

MỤC LỤC

LỜI NÓI ĐẦU	1
PHẦN MỞ ĐẦU: MÁY ĐIỆN TỐC ĐỘ CAO VÀ TRUYỀN ĐỘNG	2
CHƯƠNG 1: MÁY ĐIỆN TỐC ĐỘ CAO: CÔNG NGHỆ , XU HƯỚNG VÀ SỰ PHÁT TRIỂN	7
1.1. TÌM HIỂU MÁY ĐIỆN TỐC ĐỘ CAO	7
1.1.1. Giới thiệu	7
1.1.2. Tổng quan các ứng dụng	8
1.1.3. Vật liệu	18
1.1.4. Tổng hợp công nghệ máy điện tốc độ cao.....	25
1.1.5. Thống kê máy tốc độ cao.....	38
CHƯƠNG 2.MỘT CẤU TRÚC MỚI CHO ỨNG DỤNG MÁY CỖ NHỎ TỐC ĐỘ CAO	41
2.1. GIỚI THIỆU	41
2.2. MÁY STATOR NĂM NGANG	44
A. Mô tả Khái niệm.....	44
2.3 MÔ HÌNH VÀ TỐI ƯU HOÁ	47
2.4 THIẾT KẾ BÀN THỬ NGHIỆM.....	54
2.5. KẾT QUẢ ĐO.....	60
2.5 KẾT LUẬN.....	64
CHƯƠNG 3.ỨNG DỤNG MÁY ĐIỆN TỐC ĐỘ CAO: NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ VÀ NHỮNG THỎA HIỆP	66
3.1 KHÁI NIỆM.....	66
3.2 ỨNG DỤNG TRỰC ĐIỆN	69
3.3 THIẾT KẾ ĐỘNG CƠ ĐIỆN	71
3.3.1. Khía cạnh về điện.....	71
3.3.2. Khía cạnh cơ khí	75
PHỤ LỤC	83
KẾT LUẬN	83
TÀI LIỆU THAM KHẢO	84

LỜI NÓI ĐẦU

Ngày nay công nghệ ngày càng phát triển , xu hướng nghiên cứu và phát triển các loại máy điện có những tính năng mới đem lại hiệu suất cao ơn trong sản xuất.Máy điện tốc độ cao là một trong những sáng kiến đó. Máy điệntốc độ cao và điều khiển đang trong quá trình phát triển cho một số ứng dụng kỹ thuật như máy mai, hệ thống tua-bin kep ,động cơ ô tô Trong đợt tốt nghiệp này em được thầy giáo **GS.TSKH. Thân Ngọc Hoàn** hướng dẫn em “**Tìm hiểu động cơ máy điện tốc độ cao**”

Đề bài bao gồm 3 chương :

Chương 1: Máy điện tốc độ cao

Chương 2: Máy cỡ nhỏ tốc độ cao

Chương 3: Ứng dụng máy điện tốc độ cao

Để hoàn thành tốt được đề án, em đã được sự giúp đỡ rất nhiều của bộ môn điện công nghiệp tự động hóa và đặc biệt là sự giúp đỡ tận tình của thầy giáo **GS.TSKH.Thân Ngọc Hoàn**. Sau mười hai tuần làm đề án em đã hiểu biết thêm được nhưng kiến thức máy điện và những ứng dụng máy điện trong thực tế.. Đó là những kinh nghiệm quý báu giúp em vững tin hơn trong công việc sau này. Mặc dù đã hết sức cố gắng nhưng đề tài của em vẫn còn nhiều thiếu sót, em rất mong được sự chỉ bảo của các thầy.

Em xin chân thành cảm ơn!

Hải Phòng, Ngày 22 tháng 6 năm 2014

Sinh viên:

PHẦN MỞ ĐẦU

MÁY ĐIỆN TỐC ĐỘ CAO VÀ TRUYỀN ĐỘNG

Việc sử dụng các máy điện tốc độ cao và điều khiển đang trong quá trình phát triển cho một số ứng dụng kỹ thuật, bao gồm trục điện của dao phay và máymài, hệ thống tăng áp, hệ thống điện turbo- kếp, máy nén gió, máy bay trực thăng, động cơ xe đua, và máy bơm nhiên liệu. Các ứng dụng có tốc độ cao với hơn 10 000 vòng / phút, số vòng/phút và kW lớn hơn 10^5 .

Các ứng dụng với tốc độ tối đa lên đến 150 000-200 000 vòng/phút bây giờ đang được nghiên cứu và đã sẵn sàng cho những thử nghiệm đầu tiên. Mọi quan tâm về khoa học và công nghiệp trong chủ đề này đang phát triển rất nhanh, những công bố nghiên cứu nhằm cải tiến công nghệ với tác động đáng kể trong nhiều lĩnh vực ứng dụng. Một trong những ưu điểm chính của máy điện tốc độ cao và truyền động điện là giảm trọng lượng hệ thống với sự biến đổi năng lượng cho trước. Điều này rất cần thiết trong tất cả các ứng dụng giao thông vận tải vì giảm trọng lượng kết quả trực tiếp giảm tiêu thụ nhiên liệu và khí thải. Hệ thống giao thông vận tải điện là một trong những chủ đề chính có ý nghĩa quan trọng cho việc thúc đẩy công nghệ tốc độ cao. Lý do thứ hai để áp dụng máy điện tốc độ cao trong các ứng dụng là cải thiện độ tin cậy do việc loại bỏ các bánh răng trung gian, chẳng hạn như truyền động điện tốc độ cao.

Trong bài báo này, một tổng quan các công nghệ hiện tại được sử dụng trong máy điện tốc độ cao được thảo luận thông qua một cuộc khảo sát rộng rãi, phát triển từ các công nghệ khác nhau và được sự quan tâm trong các ngành công nghiệp và các viện nghiên cứu. Ngoài ra, các báo cáo cũng đề cập đến sự phát triển của vật liệu và các thành phần chứa thép kỹ thuật điện, hợp kim đồng. 18 bài báo khác cũng được chấp nhận đã được nhóm lại trong một loạt bài theo chủ đề chính của họ

Phần đầu tiên liên quan đến việc trình bày các cấu trúc động cơ mới. Trong thực tế, để đảm bảo yêu cầu của tải, các ứng dụng máy điện tốc độ cao thường đòi hỏi cấu trúc điện từ có tính chất đôi mới, và ba bài báo trình bày theo 1 hướng đi mới và máy điện với cấu trúc mới. Bài báo đầu tiên, của Tüysüz et al., trình bày một sơ đồ cấu trúc mới của động cơ với một stato ngang rất hữu ích cho các ứng dụng khoan vì ở đó đầu mũi khoan bị giới hạn không gian làm việc [2]. Stator của động cơ tăng theo một hướng ngang cho phép thiết kế một bộ truyền động trực tiếp. Bài báo thứ hai, do Ikäheimo et al. đã đề xuất một máy điện từ kháng đồng bộ mới có cấu trúc cơ khí bền vững [3]. Thiết kế rotor hai cực kết hợp đặc tính từ thông mềm trong một khối vật liệu không có từ tính. Bài báo thứ ba, bởi Gaussens et al., thực hiện với một sơ đồ cấu trúc mới của một máy kích từ lai với cuộn kích từ đặt trong các khe stator hoặc trong các cuộn dây dc bên trong [4]

Máy điện và truyền động điện tốc độ cao đang được mở rộng lĩnh vực ứng dụng, ở đó các hệ truyền động điện trực tiếp được áp dụng thay cho các bộ truyền động điện truyền thống tốc độ thấp hơn được kết nối với bánh răng cơ khí. Kết quả là, để hiểu rõ hơn những đặc tính yêu cầu ứng dụng mới người ta đã giới thiệu những lĩnh vực ứng dụng cách tân khi phát triển truyền động với động cơ tốc độ lớn. Vì lý do này, phần thứ hai sẽ trình bày với bốn ứng dụng thú vị của máy điện và truyền động tốc độ cao. Bài báo đầu tiên, Silberet al., trình bày một truyền động điện tốc độ cao với hệ thống treo không ma sát cho các ứng dụng dệt may [5]. Đơn vị rotor quay mới là một công nghệ dệt cách tân có khả năng đem lại năng suất cao hơn và giảm điện năng tiêu thụ và giảm tích bụi. Bài báo thứ hai, bởi Crescimbiniet al., Thảo luận về một giải pháp cho việc phát triển truyền động điện gắn trực tiếp được sử dụng kết hợp với một tua bin giãn nở hướng tâm để phục hồi năng lượng khí thải dùng trong [6]..

Các máy điện và truyền động tốc độ cao đóng một vai trò quan trọng

trong các ứng dụng ô tô . Bài báo thứ ba , bởi Abrahamsson et al. , Là trên cùng một chủ đề [7] . Bài viết này liên quan đến việc thiết kế và tối ưu hóa hệ thống lưu trữ động năng 30 000 vòng/phút . Thiết bị này được sử dụng như một bộ tích lũy năng lượng đệm lên tới 870 Wh ,ở các xe trong đô thị. Bài báo thứ tư , bởi Tenconi et al. , Liên quan đến máy điện tốc độ cao được sử dụng trong khoan điện [8] . Bài viết tổng kết và thảo luận về các khía cạnh điện và cơ khí liên quan đến việc thiết kế máy tốc độ cao, làm nổi bật những vấn đề chính và cân bằng mà các nhà thiết kế phải xem xét. Mối tương quan giữa giảm thể tích và tăng tốc độ, dựa trên đơn vị rotor - stator tần số cao thương mại , cũng được thảo luận.

Thiết kế máy điện tốc độ cao là một thách thức từ các quan điểm điện và cơ khí cần được xem xét. Tần số điện áp cung cấp cao dẫn đến sự gia tăng của tổn thất sắt trong lá thép mỏng stator và tổn thất thêm trong cuộn dây do hiện tượng đẩy điện tích ra phía ngoài dây dẫn. Vì những lý do trước đó, nhóm thứ ba sáu bài báo liên quan đến việc thiết kế điện từ của máy điện tốc độ cao . Bài báo đầu tiên , bởi Liet al. , Thảo luận về việc sử dụng một rotor hình tay áo và ảnh hưởng của nó lên các đặc tính điện từ [9] .

Phân tích được thực hiện trên một máy phát điện nam châm vĩnh cửu siêu tốc độ. Báo cáo thứ hai , bởi Gonzales và Saban , nghiên cứu sự tổn hao đồng trong máy điện nam châm vĩnh cửu tốc độ cao 5 MW được thiết kế với hình thức cuộn dây quấn [10] . Đặc biệt , tác động của cấu trúc rãnh về hiệu ứng lân cận được phân tích , xem xét các khe mở và rãnh nửa kín . Bài báo thứ ba , bởi Dems và Komezá , phân tích việc sử dụng lá thép mỏng vô định hình trên động cơ không đồng bộ nhỏ stator đc cấp với nguồn tần số cao [11] . Bài báo thứ tư , bởi Liet al. , Trình bày một máy phát điện nam châm vĩnh cửu siêu tốc có một vòng hợp kim phía mặt ngoài rotor [12]

Vòng hợp kim được sử dụng để cố định các nam châm vĩnh cửu và bảo vệ chúng khỏi ảnh hưởng tác động bởi lực ly tâm lớn vào tổn hao dòng điện

xoáy bên trong vòng hợp kim của roto sinh ra, làm tăng nhiệt độ máy . Bài báo thứ năm, bởi van der Geestet al. , Trao đổi về một phương pháp đơn giản và linh hoạt để ước tính tham số kích sinh của stator, chẳng hạn như hiệu ứng mặt ngoài và do hiệu ứng gần nên xuất hiện sự phân bố không đồng đều của dòng điện trên các nhánh và bổ sung thêm thành phần dòng điện tuần hoàn [13] . Bài báo cuối cùng của phần này, bởi Papini et al. , nói về thiết kế một động cơ nam châm vĩnh cửu tốc độ cao được sử dụng để trong hoạt động vận dụng sai [14] . Một tiếp cận đa ngành để thiết kế tối ưu được chấp nhận khi giảm thiểu các tổn hao phụ do thao làm việc trong điều kiện không phù hợp và tính toán cho chiến lược điều khiển phục hồi..

Xem xét trên khía cạnh cơ học, tốc độ quay lớn sẽ ảnh hưởng đến ứng suất cơ học do tốc độ ngoại vi và trục quay. Kết quả là , phần thứ tư được viết dựa trên hai bài báo liên quan đến vấn đề cơ khí và vấn đề trục quay trong máy điện tốc độ cao . Trước đây, được viết bởi Boissonet al. , Trình bày một phương pháp phân tích để xác định tần số riêng của stator trong máy điện [15] . Mô hình này dựa trên các tính toán và giảm thiểu tỉ số của Rayleigh và việc sử dụng mô hình động học của Timoshenko . Mới đây nhất Looser và Kolar , đã đề ra một ổ bi lai sử dụng khí động học để nâng đỡ tải, điều đó là một quan điểm dùng nam châm tích cực kích thước nhỏ đặt từ trung. Các giải pháp đề xuất sử dụng ổ đỡ hoạt động ổn định với ổ đỡ khí với nhôm là phức tạp thêm và giá cả tăng

Tốc độ quay cao , và hệ quả việc cung cấp tần số lớn sẽ làm phức tạp thêm vấn đề điều khiển cho chính xác máy điện. Bộ Điều khiển thông minh đòi hỏi đo lường chính xác dòng điện của stator, vị trí và tốc độ của rotor, và những tín hiệu này phải được xây dựng bởi phần cứng tốc độ cao (xử lý tín hiệu kỹ thuật số, các ma trận tín hiệu điều khiển có khả năng lập trình , vi điều khiển , vv) có thể đạt được yêu cầu băng thông cao . Để hiển thị các giải pháp có thể , phần cuối cùng của mục đặc biệt bao gồm ba bài báo trên các phần

cứng tốc độ cao và liên quan tới chiến lược điều khiển. Bài báo đầu tiên, bởi Mar Ceti' cet al., Trình bày hiệu suất của một truyền động tốc độ cao trực không cảm biến với tần số cắt mẫu cơ bản chậm. Báo cáo thứ hai, bởi Hasanzadehet al., Trình bày một phần cứng trong nhiều nền tảng trong vòng kín để quan sát hoạt động của một máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu tốc độ cao gắn với một Microturbine trong một hệ thống điện điện tàu thủy.

Bài báo thứ ba được viết bởi Mitterhoferet al., đề cập với khả năng tốc độ cao của truyền động không ổ đỡ khi thảo luận về truyền động một đĩa không ổ đỡ được thiết kế để đạt tốc độ cỡ 100 000 r / min. Trong bài báo, những yêu cầu về các đặc tính cơ học và hệ thống điều khiển cần thiết cho hoạt động tốc độ cao cũng được mô tả

CHƯƠNG 1

MÁY ĐIỆN TỐC ĐỘ CAO: CÔNG NGHỆ, XU HƯỚNG VÀ SỰ PHÁT TRIỂN

1.1. TÌM HIỂU MÁY ĐIỆN TỐC ĐỘ CAO

1.1.1. Giới thiệu

Máy cơ khí có Tốc độ quay cao đã được phát triển và được sử dụng trong một thời gian dài, hiện nay nó được tìm hiểu 1 cách kỹ lưỡng và được coi là công nghệ đáng tin cậy đối với một số ứng dụng kỹ thuật. Các ứng dụng này bao gồm máy nén kiểu tuabin, hệ thống cơ khí tuabin- kép, van trượt máy nén gió, động cơ máy bay trực thăng, động cơ xe đua, và máy bơm nhiên liệu với tốc độ làm việc với hơn 10 000 vòng / phút và số vòng/phút và kW lớn hơn 10 mũ 5 [1]

Sự nghiên cứu và cải tiến kỹ thuật theo hướng điều khiển ở máy điện tốc độ cao đã có một sự phát triển nhanh chóng trong vài thập kỷ qua, cùng với một số lượng lớn các ứng dụng trong thập kỷ qua. Nó cũng được nhận định lĩnh vực nghiên cứu này sẽ chiếm ưu thế trong nghiên cứu về truyền động điện, một phần là do sự tiến bộ hiện nay trong lĩnh vực công nghệ và một phần là do tác động đáng kể sự phát triển của các máy này sẽ được áp dụng trong nhiều lĩnh vực. Điều này cũng được phản ánh qua số lượng lớn các chương trình nghiên cứu được tài trợ trong nước và quốc tế. Bài báo đầu tiên sẽ khái quát về một số lĩnh vực ứng dụng máy điện tốc độ cao, và các kết luận lợi ích của hệ thống sẽ sáng giá nhất. Một ưu điểm rõ rệt của máy tốc độ cao là sự giảm bớt trọng lượng của hệ thống đem lại một tầm ảnh hưởng nhất định cho bộ chuyển đổi năng lượng

Điều này đặc biệt có ích trong các ứng dụng điện thoại di động, nơi mà bất kỳ sự tiết kiệm trọng lượng nào cũng đem lại kết quả trực tiếp trong việc giảm tiêu thụ nhiên liệu và bức xạ. Xu hướng hệ thống điện giao thông trong

tương lai cũng tạo ra sức hút đáng kể để thúc đẩy công nghệ tốc độ cao. Người ta thấy một lợi ích trong việc chấp nhận máy điện tốc độ cao ở một số ứng dụng nhất định đã cải thiện tính ổn định của hệ thống khi loại bỏ các bánh răng trung gian mà truyền động trực tiếp.

Nghiên cứu và phát triển trong lĩnh vực này cũng được thúc đẩy bởi sự phát triển của các bộ chuyên mạch điện tử công suất, cấu trúc bộ chuyển đổi, và các phương pháp điều khiển để vận hành máy điện có tần số làm việc cao hơn. Đây là sự kết hợp với sự phát triển các phần mềm và vật liệu phân cứng, đã tạo khả năng điều độ bền ứng suất cơ học cao hơn trong khi tổn thất dòng ac thấp, vận tốc ngoại vi của roto cao hơn và mật độ năng lượng cao hơn. Sau khi xem xét các ứng dụng của máy điện tốc độ cao trong nhiều lĩnh vực, bài viết này sẽ làm nổi bật những tiến bộ quan trọng gần đây trong công nghệ vật liệu liên quan đến máy tốc độ cao. Khi đó, sơ đồ cấu trúc khác của máy điện từ tài liệu cũng sẽ được xem xét và so sánh về khả năng tốc độ cao và đặc tính thực hiện.

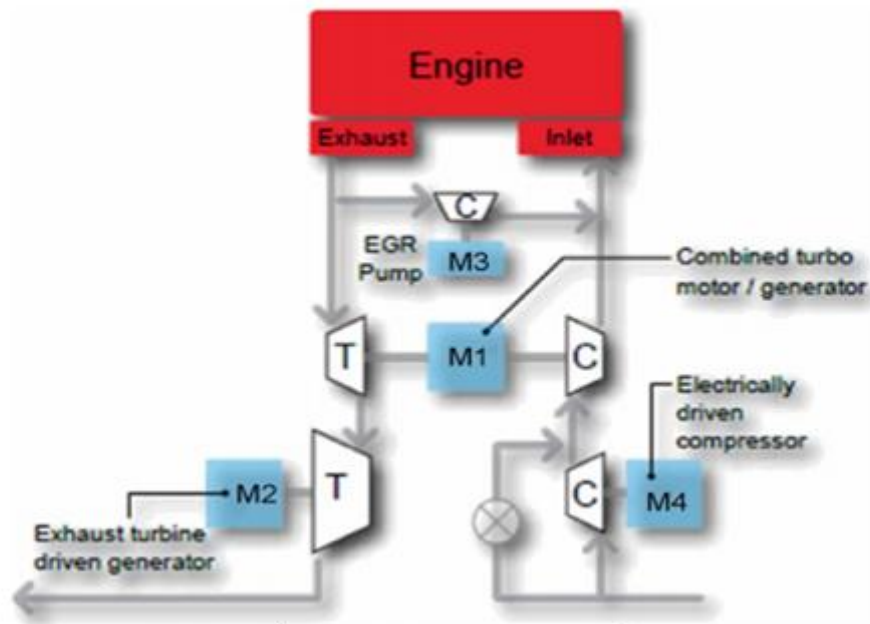
1.1.2. Tổng quan các ứng dụng

Trong một số ứng dụng, máy điện tốc độ cao trực tiếp thay thế hệ thống cơ khí tốc độ cao hiện tại, trong khi các ứng dụng khác, máy điện tốc độ cao sẽ bổ sung cho hệ thống cơ khí tốc độ cao hiện có. Phần này cho ta một cái nhìn tổng quan của các hệ truyền động bên cạnh là sự phát triển này cho một giải pháp quang phổ loạt các ứng dụng. Danh sách chưa đầy đủ nhưng đã khái quát được các ứng dụng này kéo theo đối với công nghệ máy điện tốc độ cao.

A. Máy điện tốc độ cao cho máy nhiều điện hơn

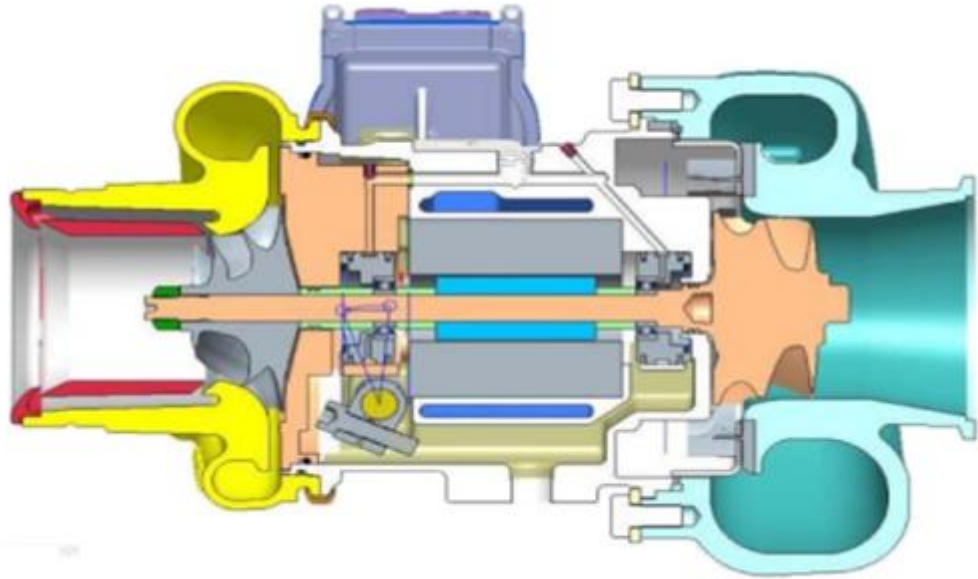
Quan điểm về máy kéo có hiệu suất cao được tích hợp trong hệ thống truyền động kéo lại nhằm nâng cao hiệu suất nhiên liệu và giảm lượng khí thải bây giờ đang độc tôn trong ô tô. Sự tăng tiêu chuẩn giảm khí thải nghiêm ngặt và các yêu cầu hiệu suất nhiên liệu sẽ đẩy mạnh điện khí hóa cho các máy móc sử dụng trong ô tô và các ứng dụng tạo năng lượng về cơ bản

sử dụng các máy điện tốc độ cao. Các ứng dụng tiềm năng của máy điện tốc độ cao trong các máy điện nhiều hơn là hàng loạt như ở hình . 1 trong đó đưa ra một tổ hợp bốn máy điện tốc độ cao có thể đặt xung quanh một động cơ tương lai.



Hình 1.1. Máy điện tốc độ cao cho máy nhiều điện hơn

Trong một ứng dụng như vậy, máy điện được đặt trên trục chính giống như tua bin và máy nén khí trong một turbo tăng áp (máy M1 trong hình . 1) . Chức năng của máy là gấp đôi. Khi khởi động và sang số (thay đổi tốc độ), khi mà thiếu năng lượng trong dòng khí thải , máy được sử dụng như một động cơ để tăng tốc độ máy nén tới tốc độ cần thiết, do đó giảm sự chậm trễ của turbin và cải thiện khả năng truyền động . Khi động cơ tải lớn , có năng lượng dư thừa trong ống xả, thay vì mở một van thải để chống vượt tốc cho trục , máy điện được sử dụng như một máy phát điện . Việc tích hợp điển hình máy điện với một máy nén kiểu tuabin được thể hiện trong hình 2



Hình 1.2.Máy điện với một máy nén kiểu tuabin

Hiệu quả đường truyền có thể được cải thiện hơn nữa bằng cách bổ sung thêm một tua-bin năng lượng và một máy tốc độ cao (máy M2 trong hình . 1) ở phía hạ lưu của máy nén kiểu tuabin đã tách nhiệt từ cửa xả khí , nó thường được gọi là tuabin hỗn hợp . Năng lượng khôi phục này được sử dụng để cấp cho tải điện, bao gồm cả máy kéo nếu được sử dụng cho cấu trúc truyền động lai. ,

Trong động cơ đốt trong , hệ thống tuần hoàn khí thải (EGR) được sử dụng để giảm lượng khí thải NOx bằng cách đưa một số loại khí thải trở lại thông qua dòng không khí hút. Trong động cơ nơi có áp suất ngược của khí thải lớn hơn áp suất không khí nạp ,sẽ tồn tại 1 áp suất âm chênh lệch ở lối ra do đó : hệ thống tuần hoàn khí thải (EGR) có thể được thực hiện bằng cách kết nối đơn giản một đường ống nối giữa ống xả và ống hút . Tuy nhiên , trong mỗi động cơ có sự thay đổi lưu lượng , thì sự chênh lệch áp suất bất lợi phải được khắc phục [2] . Một cách có hiệu quả khắc phục những vấn đề nêu trên bằng cách đưa vào một máy nén EGR ở thượng nguồn của tuabin , nó sẽ được truyền động bởi một động cơ tốc độ cao (máy M3 trong hình . 1) . Điều

này làm giảm đáng kể năng lượng bơm cần thiết so với các hệ thống tuần hoàn khí thải thông thường trong đó khí thải được rút ra ở hạ lưu của tuabin.

Để Cải thiện hiệu suất năng lượng nhiên liệu tốt hơn có thể làm được bằng cách thu hồi năng lượng nhiệt thải ra từ toàn bộ động cơ , chứ không phải chỉ từ các dòng khí thải. Điều này được thực hiện thông qua Organic Rankine Cycle , nhờ đó nhiệt được phục hồi bằng cách cho chất lỏng làm việc tuần hoàn sau đó được sử dụng để chạy tua bin tốc độ cao và một máy phát điện. Mức độ cải thiện hiệu suất nhiên liệu hơn 12 % đã được chứng minh [3] . Hình 3 cho thấy một động cơ được đề xuất bởi Cummins . Phạm vi tốc độ cho máy điện phát triển cho các ứng dụng động cơ là rất rộng , từ 2 kW/220 000 vòng / phút cho một ứng dụng xe du lịch [41] lên đến 150 kW/35 000 vòng / phút cho một thể hệ động cơ năng lượng sơ cấp.



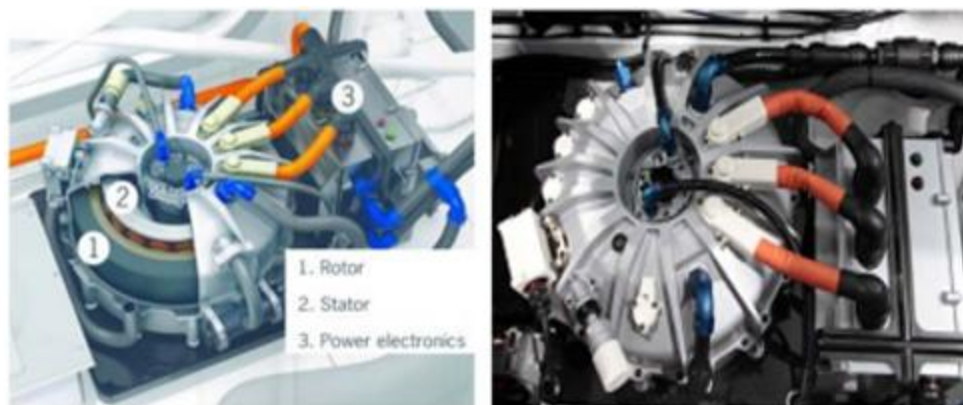
Hình 1.3. Máy điện cải thiện hiệu suất năng lượng

B.Hệ thống Bánh đà tích năng lượng

Hệ thống Bánh đà tích năng lượng hoạt động bằng trữ năng lượng cơ học trong một bánh đà quay. Năng lượng điện được lưu trữ bằng cách sử dụng một động cơ quay bánh đà , do đó chuyển điện năng thành cơ năng. Để phục hồi năng lượng , động cơ tương tự được sử dụng để làm chậm bánh đà xuống,

chuyển đổi năng lượng cơ học thành năng lượng điện trở lại . Bánh đà truyền thống đc thiết kế có đường kính lớn , xoay từ từ và có công suất và mật độ năng lượng thấp . Bánh đà hiện đại được thiết kế để quay ở tốc độ cao hơn. Bánh đà như vậy đạt được mật độ năng lượng cao hơn so với pin NiMH thường được sử dụng trong xe lai , mặc dù có mật độ năng lượng thấp hơn.

Cho các ứng dụng dự trữ năng lượng đòi hỏi phải có đầu ra công suất cao trong một khoảng thời gian ngắn (ví dụ năng lượng thấp) , như là trường hợp công suất phụ xe điện lai, hệ thống lưu trữ bánh đà tốc độ cao đem lại 1 vài ưu điểm so với công nghệ pin như một giải pháp nhỏ gọn hơn, hiệu quả cao hơn , tuổi thọ dài hơn và nhiệt độ hoạt động rộng hơn [68] hình . 4 cho thấy một bánh đà đề xuất bởi Williams Hybrid Power , được sử dụng trong Porsche911 GT3R . Bánh đà này quay 40 000 vòng / phút và được sử dụng để phát ra hoặc tiêu thụ công suất lên đến 120 kW với động cơ trục phía trước.



Hình 1.4. Hệ thống lưu trữ bánh đà tốc độ cao

C . Ứng dụng cho máy làm suốt tốc độ cao

Ngành công nghiệp máy công cụ cũng đã thúc đẩy sự phát triển của máy điện tốc độ cao . Trục máy làm suốt tốc độ cao thông thường có chi phí thấp sử dụng truyền động bằng đai, có giới hạn tốc độ tối đa. Nhu cầu gia tăng tốc độ quay cao hơn , điều khiển tốc độ , độ rung thấp , và mật độ năng lượng (do thiếu không gian) đã dẫn đến sử dụng máy điện tốc độ cao cho các ứng

dụng máy làm suốt. Dải công suất và tốc độ giới hạn trong các ứng dụng ở máy làm suốt lan rộng ra, thay đổi 9000-180 000 vòng / phút , với một mức năng lượng tương ứng khoảng từ 24 xuống 1 kW .

Theo báo cáo trong Bảng I , tốc độ quay tối đa đạt được trong các ứng dụng khác nhau phụ thuộc vào loại vật liệu chế tạo . Các ứng dụng mài giũa, nhiều máy tốc độ quay cao hơn điển hình được báo cáo trong Bảng I , các ứng dụng máy có độ chính xác lớn có thể đạt tốc độ lên đến hàng trăm ngàn vòng mỗi phút, chẳng hạn như phạm vi kích cỡ trung bình và tốc độ trung bình của hệ thống truyền động [4] . Hình 5 cho thấy một máy như vậy, được phát triển bởi Westwind Air Bearings , với tốc độ 300 000 vòng/phút được sử dụng trong bảng mạch in (PCB) cọc khoan .

Hình 1.5. tốc độ 300 000 vòng/phút
trong (PCB) cọc khoan

TABLE I
TYPICAL MILLING APPLICATIONS SPEED

Applications	Speed
Metal	4500 - 12000 rpm
Stones	8000 - 12000 rpm
Glass/Marble	8000 - 14000 rpm
Wood	18000 - 25000 rpm
Aluminum	30000 - 40000 rpm



D . Bơm phân tử tuabin

Bơm phân tử tuabin là một ứng dụng có tốc độ ngày càng tăng và được sử dụng bởi các động cơ tốc độ rất cao và có thể được coi là một sự lựa chọn phù hợp . Hiện nay, tốc độ quay lên đến 100 000 vòng/phút ở mức năng lượng thấp (vài trăm watt) là những mục tiêu tương lai cho ứng dụng này . Các Bơm phân tử tuabin được dùng để nhận được và duy trì một độ chân không cao . Các máy bơm làm việc theo nguyên tắc là phân tử khí có thể được cấp một xung lực theo một hướng mong muốn bởi sự va đập lặp đi lặp

lại với sự di chuyển một bề mặt vật rắn. Trong một máy bơm kiểu tuabin, rotor tuabin quay nhanh chóng đánh các phân tử khí từ đầu vào của bơm về phía ống xả để tạo ra hoặc duy trì chân không.

Một mặt cắt ngang của một máy bơm kiểu tuabin truyền động bởi một động cơ tốc độ cao được thể hiện trong hình 6. Các máy bơm được sử dụng để có được một điều kiện chân không rất cao lên đến 10⁻¹⁰ mbar. Loại tải này yêu cầu đặc tính của động cơ khi cần có một thiết kế phức tạp, khác xa các tiêu chuẩn thiết kế cổ điển được sử dụng cho các động cơ tiêu chuẩn. Đặc biệt, các roto chạy trong môi trường chân không sâu, với các vấn đề trao đổi nhiệt rất lớn [69]. Trong thực tế, tản nhiệt chỉ có thể được thực hiện bằng bức xạ. Quán tính của động cơ đốt trong trên quán tính tổng càng thấp càng tốt để đơn giản hóa quá trình cân bằng của những phần quay. Gợn sóng momen quay có thể rất thấp để làm giảm nguy cơ cộng hưởng cơ học trong hệ thống quay.



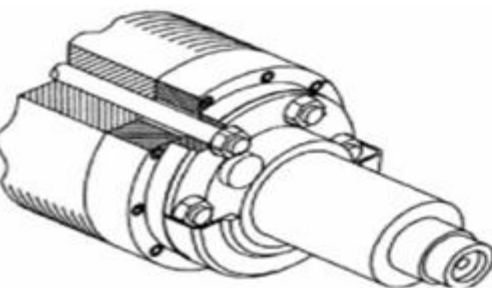
Hình 1.6. Máy bơm kiểu tuabin truyền động bởi một động cơ tốc độ cao

E . Ứng dụng máy nén khí

Máy nén khí cần thiết ở nhiều nơi trong các ngành hóa chất, dầu, và các ngành công nghiệp khí đốt, chủ yếu là để truyền và xử lý khí ở đầu ra. Động cơ và tuabin ga thông thường được dùng truyền động cho máy nén khí. Trong khi truyền động được khí đốt sẽ có lợi cho các công ty gas, họ đang gặp nhiều khó khăn trong việc lắp đặt do môi trường hạn chế. Ý tưởng sử dụng động cơ điện để truyền động máy nén nhằm giảm thiểu các vấn đề môi trường, quản lý và bảo trì không phải là mới nhưng tiến bộ trong lĩnh vực

của máy điện tốc độ cao đã làm cho nó lõi cuốn hơn. Máy nén không cần dầu đã được sử dụng thành công trong nhiều năm, nhưng khi nào vẫn cần một hệ thống dầu bôi trơn cho các truyền động hoặc ổ bi, thì những lợi ích của máy nén không cần dầu chưa thể khai thác hết

Truyền động điện tốc độ cao với gối đỡ từ (góc phương vị từ) cho phép loại bỏ các bộ dẫn động và hệ thống dầu bôi trơn, dẫn đến gia tăng an toàn, nâng cao hiệu quả, tính khả dụng tăng lên, và giảm chi phí vận hành bảo dưỡng. Do đó, các truyền động điện tốc độ cao là các truyền động máy nén thân thiện với môi trường nhất [5]. Bản thiết kế và rotor của máy điện cảm ứng (máy điện ko đồng bộ) 10 MW 20000-vòng/phút (IM) được đề xuất bởi Converteam (nay là GE Energy), và được dùng trong một ứng dụng như vậy được thể hiện trong hình . 7 và 8, tương ứng.



Hình 1.8. Máy điện cảm ứng (máy điện ko đồng bộ) 10 MW 20000-vòng/phút

F. Máy nén khí công nghiệp và Quạt gió

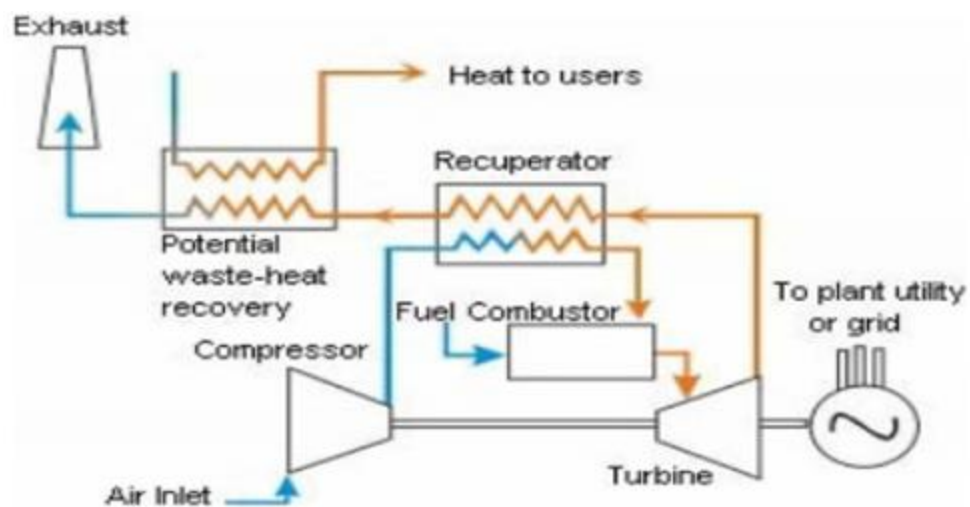
Trong nhiều ứng dụng công nghiệp, có một nhu cầu ngày càng tăng về chất lượng cao hơn và khí nén không dầu. Trong ngành công nghiệp thực phẩm và nước giải khát, cũng như trong ngành công nghiệp dược phẩm, bất kỳ ô nhiễm dầu nào cũng có thể dẫn đến sản phẩm không an toàn và nguy hiểm sức khỏe người tiêu dùng. Trong ngành công nghiệp ô tô, không khí không dầu là điều cần thiết để đạt được một kết thúc chất lượng cao. Trong ngành công nghiệp điện tử, độ ẩm có thể ảnh hưởng đến quy trình kỹ thuật nhạy cảm và gây nên quá trình oxy hóa của dải microterminal, dẫn đến thất bại của sản phẩm. Trong tất cả các ngành công nghiệp nói trên, bất kỳ ô nhiễm dầu nào cũng có thể dẫn đến việc thu hồi sản phẩm và phá sản nhà máy. Máy điện tốc độ cao hoạt động ở mức công suất của 100-500 mã lực và tốc độ 80-15 000 vòng / phút, sử dụng oorrdownx từ hoặc ổ đỡ không khí, đang được sử dụng trong thế hệ mới nhất Class- 0 " ko dầu " Máy nén công nghiệp truyền động trực tiếp, trong khoảng 4-9 Bar

Trong các nhà máy xử lý nước thải, phần lớn các nhu cầu năng lượng, trên 60%, là cần thiết cho việc cung cấp khí để cung cấp oxy cho xử lý sinh học của dòng chất thải và pha trộn với các chất rắn. Máy nén thông thường chạy với tần số biến đổi hoặc máy nén ly tâm nối qua hộp số với van vào và van thải để dung cho khí nước thải. Thập kỷ qua đã chứng kiến một sự tăng trưởng nhanh chóng trong việc điều khiển máy quạt kiểu tua bin bằng động cơ tốc độ cao, có độ tin cậy cao và độ bền cao, giảm tiếng ồn, giảm 25% điện áp và quan trọng hơn đã tiết kiệm năng lượng vượt quá 35% [70] đối với quạt gió thông thường

G . Tuabin cỡ nhỏ

Tuabin cỡ nhỏ là tuabin dùng khí đốt cỡ nhỏ có kích thước tương đương với một máy lạnh và với đầu công suất ra 30-400 kW. Chúng được sử dụng cho các ứng dụng tạo năng lượng cố định tại các địa điểm với không

gian bị hạn chế cho sản xuất điện . Nó là những cỗ máy nhiên liệu linh hoạt có thể chạy trên khí thiên nhiên, khí sinh học, propan($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$), butan(hóa dầu) , dầu diesel, dầu hỏa . Tuabin nhỏ có ít bộ phận chuyển động , hiệu quả cao , lượng khí thải thấp , và có thể sử dụng nhiệt thải. Nó cũng có trọng lượng nhẹ và kích thước nhỏ gọn.Sự thu hồi nhiệt tổn hao có thể được sử dụng trong tổ hợp nhiệt và năng lượng (CHPS) để đạt được mức hiệu suất năng lượng lớn hơn 80% [6]



Hình 1.9. Hệ thống tuabin khí cỡ nhỏ

Hình 1.9. cho thấy cách bố trí điển hình của một tuabin khí cỡ nhỏ . Nó bao gồm một máy nén , một buồng đốt , tuabin , máy dao điện, một thu hồi nhiệt (tùy chọn) , và một máy phát điện . Trong hệ thống làm nóng sơ bộ , khí nén nóng được trộn với nhiên liệu và đốt cháy trong điều kiện áp suất không đổi . Kết quả cuối cùng của khí nóng là được nở ra thông qua một tuabin để thực hiện công việc . Tuabin cỡ nhỏ chu kỳ đơn có chi phí thấp hơn , độ tin cậy cao hơn, và bộ phận đốt cháy có sẵn cho các ứng dụng CHP hơn là làm nóng sơ bộ. Bộ thiết bị phục hồi sử dụng một bộ trao đổi nhiệt bằng tấm kim loại, thiết bị này phục hồi 1 lượng nhiệt từ dòng thải, và chuyển nó cho dòng không khí cấp vào. Không khí được đốt nóng sơ bộ được sử dụng trong quá trình đốt cháy . Nếu không khí được làm nóng trước, sẽ mất ít nhiên

liệu để tăng nhiệt độ của nó đến mức cần thiết ở đầu vào tua-bin. Làm nóng sơ bộ có hiệu quả cao hơn và tỷ lệ nhiệt và điện cao hơn, và tiết kiệm 30% - 40% nhiên liệu từ sấy sơ bộ [6]

Gần đây, có sự quan tâm xem xét lại về việc sử dụng tuabin cỡ nhỏ để mở rộng phạm vi trong dòng xe lai, cũng như tất cả các xe điện, như bộ nguồn có thể sạc pin của xe. Hình 1.10 cho thấy phút Tua bin cỡ nhỏ đề xuất bởi Bladon có 50 - kW 80 000-vong/. Người ta nói rằng một công nghệ như vậy có thể giảm chỉ 5 % kích thước , trọng lượng, và các bộ phận của động cơ piston tương đương [7] .



Hình 1.10.Tuabin cỡ nhỏ 50-kW 80000 vòng/phút

1.1.3.Vật liệu

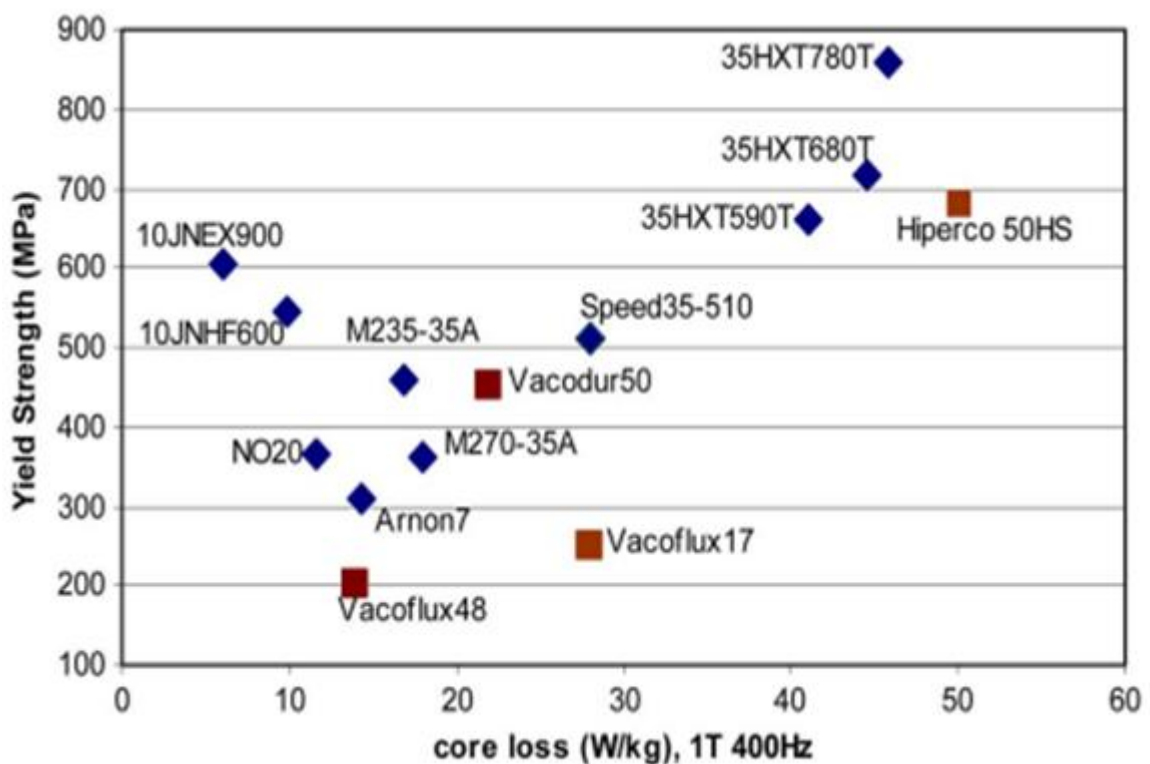
Phần này cung cấp một tổng quan về vật liệu phù hợp cho các máy điện tốc độ cao, bao gồm cả thép kỹ thuật điện, hợp kim đồng và nam châm . Nó cũng chỉ ra những phát triển chính là chìa khóa trong việc thúc đẩy các giới hạn hoạt động máy điện tốc độ cao

A. Thép điện

Cho stator và rotor là thép mỏng , khác nhau giữa hợp kim sắt silic(SIFE) và hợp kim sắt coban (CoFe) đã được nghiên cứu .CoFe đảm bảo bão hòa cao nhất trên 2 T , do đó cho phép mật độ năng lượng cao nhất có thể đạt được . Giá trị thực tế của bão hòa từ hóa cho CoFe phụ thuộc vào nhiệt độ u ,

thời gian ủ , và không khí ủ ; nói chung các đặc trưng cơ học của vật liệu ủ là tốt hơn, có độ bão hoà từ thấp hơn. Tuy nhiên, ngay cả khi ủ đến đặc tính cơ học tối ưu, bão hoà từ của CoFe vẫn cao hơn SIFE (cao hơn khoảng 20%). Mặc dù CoFe đắt hơn đáng kể so với lá mỏng SIFE , nó thường được cân nhắc cho máy tốc độ cao như khối lượng nguyên liệu cho mỗi kilowatt là rất nhỏ và không có ý nghĩa lắm ở mức hệ thống

Một tham số quan trọng khác khi lựa chọn vật liệu là thép mỏng dùng cho máy tốc độ cao là đại lượng tổn hao sinh ra trong cán thép do tần số cơ bản và tần số đóng mở rất cao. Với một tần số và mật độ từ thông cho trước , tổn thất lõi ảnh hưởng chủ yếu bởi độ dày của lá thép và phương pháp tôi luyện. Nhìn chung, dát mỏng hơn , tổn hao mạch từ ít hơn. Thép kỹ thuật điện mỏng khoảng 0,1 mm với tổn thất lõi rất thấp, được thiết kế đặc biệt cho các ứng dụng tần số cao, có tính thương mại khả dụng [8] .



Hình 1.11. Giới hạn đàn hồi cơ và đặc tính tổn hao lõi thép

Hình 1.11 so sánh giới hạn đàn hồi cơ và đặc tính tổn hao lõi thép tại 1 T và 400 Hz có tính thương mại khả dụng của SIFE (tứ giác) và CoFe (vuông) dưới tên thương mại của mình. Cần lưu ý rằng, đối với số hiệu thép (trừ các thị trường đặc biệt có đặc tính cơ học của nó), các tính chất cơ học thường có giá trị nhận dạng điển hình. M270-35A và M235-35A là phổ biến 0,35 mm lớp SIFE với một giới hạn đàn hồi khoảng 350 và 450 MPa, tương ứng. Các lớp điển hình thường được sử dụng để sản xuất với khối lượng lớn các động cơ có chất lượng cao như là máy kéo. Máy tần số cao thường sử dụng lá SIFE dày hơn 0,35 mm, chẳng hạn như NO20 và Arnon7 loại đó dày 0,2 và 0,17 mm tương ứng. Tổn hao mạch từ của lớp mỏng nói trên là cao hơn, như thể hiện trong hình 11 Tuy nhiên, điều này dẫn đến chi phí của giới hạn đàn hồi giảm, mà thường là 300-380 MPa cho các lớp như vậy.

Yêu cầu đòi hỏi ngày càng nhiều đối với thép đã tạo áp lực cho các công ty nghiên cứu luyện kim thép có tầm nhìn chiến lược xa hơn trong hai thập kỷ qua. Một trường hợp như vậy là JNEX10-Core có một lớp SIFE dày 0,1 mm và có khoảng 50% tổn hao ở tần số và mức độ cảm ứng đáng chú ý, cùng với các lá thép mỏng tần số cao khác bọc bởi 6,5% Si có trong nội dung phần [8]. Điều này cho phép các nhà thiết kế cần thúc đẩy hơn nữa các tần số cơ bản trong stator. Thép tấm silicon thông thường có hàm lượng silic 3,5% hoặc ít hơn. Từ lâu nó đã được biết đến với các đặc tính từ của lá thép silicon cải thiện hàm lượng Si, đạt đỉnh ở mức 6,5% [8]. Tuy nhiên, thực tế đã không sản xuất tấm thép mỏng với một hàm lượng Si hơn 3,5% vì thép có xu hướng cứng lại. Vấn đề sản xuất này gần đây đã được khắc phục thông qua việc áp dụng bằng cách lắng đọng hơi hóa chất.

Có một tỷ lệ phần trăm cao như vậy của silicon kết quả là tăng giới hạn đàn hồi cao. Tuy nhiên, vật liệu giòn là điều không mong muốn cho rotor tốc độ cao. Tính dẻo có thể được cải thiện bằng cách bơm gradient của silicon, nhờ đó một hàm lượng silic cao hơn được đưa vào các tấm làm giảm

tổn thất tần số rất cao , và một hàm lượng silic thấp hơn được bơm vào tại trung tâm

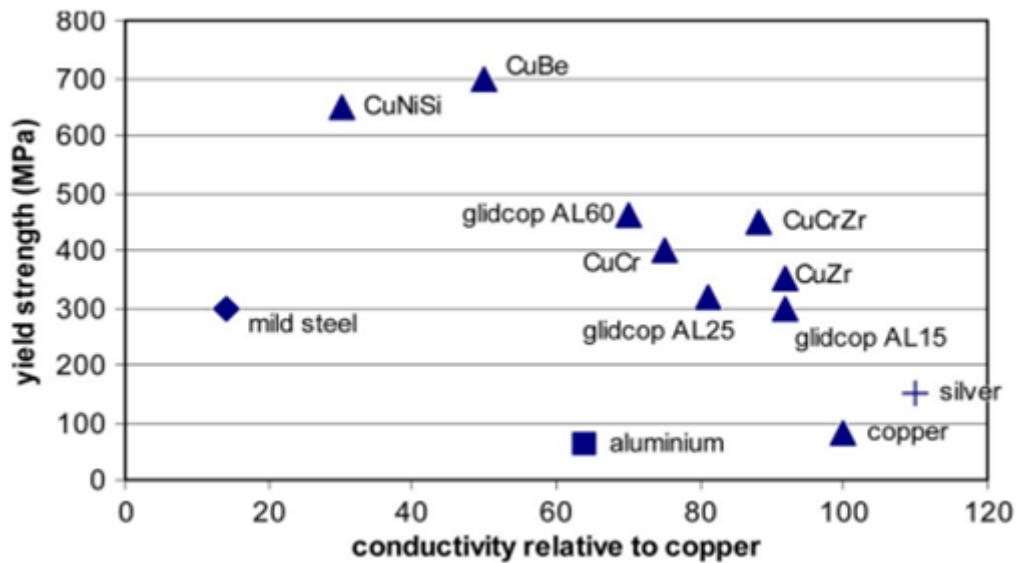
Một nghiên cứu thép khác là tập trung vào phát triển độ bền của thép kỹ thuật điện mà không ảnh hưởng tính dẻo . Hướng bên cạnh nghiên cứu tập trung vào nghiên cứu động cơ nam châm vĩnh cửu trong (IPM) dùng cho động cơ kéo lai . Động cơ như vậy đòi hỏi cầu nối phải giữ càng nhỏ càng tốt để hạn chế ngắn mạch từ thông nam châm (làm giảm khối lượng nam châm) ; Tuy nhiên , điều này bị giới hạn bởi giới hạn đàn hồi của vật liệu lá thép mỏng. Giới hạn đàn hồi cao cỡ 800 MPa có thể đạt được bằng số lượng kỹ thuật như tăng cường biến dạng tinh thể [9] , với chi phí gia tăng do thất thoát sắt . Các lớp HXT [10] , thể hiện trong hình . 11 , có thể đạt được một sức bền lớn so với độ bền cao thép carbon, vượt quá 800 MPa với độ dẫn dài vượt quá 18%

Hình 11 cũng so sánh tổn thất sắt cho bốn loại hợp kim CoFe khác nhau của. Như thể hiện trong hình này, các hợp kim CoFe với tính chất từ tối ưu Vacoflux48 có tổn thất thấp hơn đáng kể so với các vật liệu M235 -35A có cùng độ dày ; Tuy nhiên , giới hạn đàn hồi của nó chỉ khoảng 200 MPa (tức là một nửa của SIFE), trong đó với trường hợp sử dụng ở rotor tốc độ cao là chưa đủ. Để cho CoFe có giới hạn đàn hồi tương tự (ví dụ , Vacodur 50 với tính chất cơ học tối ưu) như SIFE , tính chất điện từ của nó sẽ suy giảm , và những tổn thất có thể so sánh cho cả SIFE và CoFe . Điều quan trọng cần lưu ý rằng các lớp CoFe nói trên là giòn trong tự nhiên, với Vacoflux48 độ căng là 2% và Vacodur50 độ căng là 6%. Độ căng được cải thiện đến 32 % với Vacoflux17 , trong đó hàm lượng coban giảm 17% , mặc dù tăng tổn hao mạch từ đáng kể. Hợp kim CoFe có thể được gia cố bởi sự tạo hợp kim với vanadi (V), chẳng hạn như Hiperco 50 HS , có thể đạt được giới hạn đàn hồi trên 680 MPa với 15% độ căng

B .Các Hợp kim đồng

Đối với trường hợp máy điện không đồng bộ, các thanh rotor và vòng ngắn mạch nguyên liệu cần lựa chọn cẩn thận . Giới hạn sức bền cao cần thiết ở nhiệt độ cao như các thanh phục vụ một nhiệm vụ cơ học bên cạnh các chức năng điện từ. Các thanh lắp thêm cũng tăng độ cứng của rotor và do đó giúp tăng vận tốc tới hạn của máy. Hơn nữa , đối với máy điện không đồng bộ giữ lồng rotor trong tình trạng khỏe mạnh là nền tảng cho hoạt động. Cho ứng dụng tốc độ cao ở nhiệt độ cao , đồng nguyên chất thường không được sử dụng do độ bền cơ học thấp và bị mềm ở nhiệt độ cao . Một số loại khác của hợp kim đồng - cường độ cao đã được sử dụng cho hệ thống máy điện dị bộ tốc độ cao , chẳng hạn như đồng zirconium (CuZr) , đồng beryllium (CuBe) [37] , và oxit đồng - nhôm (CuAl₂O₃) [23] , [24] , [34] , [35] .Hình. 12 là những vật liệu khác nhau được xem xét cho lồng sóc của rô to với hai thông số quan trọng nhất cho động cơ cảm ứng tốc độ cao (ví dụ , độ dẫn điện và độ bền) .

Độ bền của đồng có thể được tăng cường đáng kể bởi hợp kim nó với các yếu tố khác , nhưng hợp kim sẽ gây ra tổn hao dẫn đáng kể . Độ bền đồng cũng có thể được tăng cường bằng cách kết hợp các hạt làm mịn ở pha thứ hai trong ma trận của nó, để tạo tổn hao dẫn tương đối nhỏ . Pha thứ hai có thể là một kim loại hoặc kết tủa của hợp chất liên kim loại từ dung dịch rắn bởi một phản ứng lão hóa , hoặc nó có thể là hạt phi kim loại , chẳng hạn như oxit, thêm vào hoặc được hình thành trong ma trận đồng . Có 1 số tài liệu , thực hiện bằng cách sử dụng quá trình kỹ thuật oxy hóa nội bộ, là Glidcop từ Bắc Mỹ Höganäs , mà vẫn giữ được độ bền của nó ở nhiệt độ cao vượt quá 300 độ C.



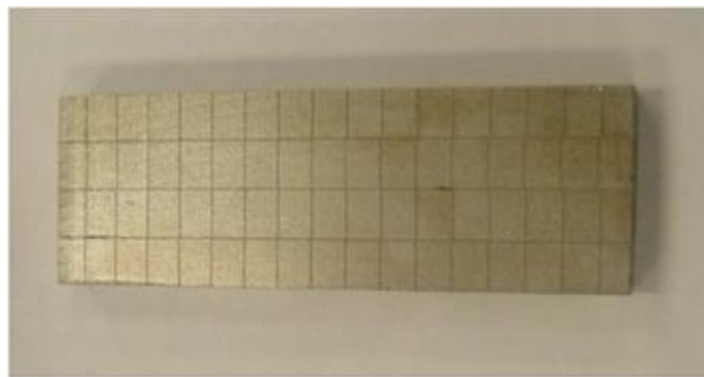
Hình 1.12. Độ bền rotor

C . Nam châm vĩnh cửu

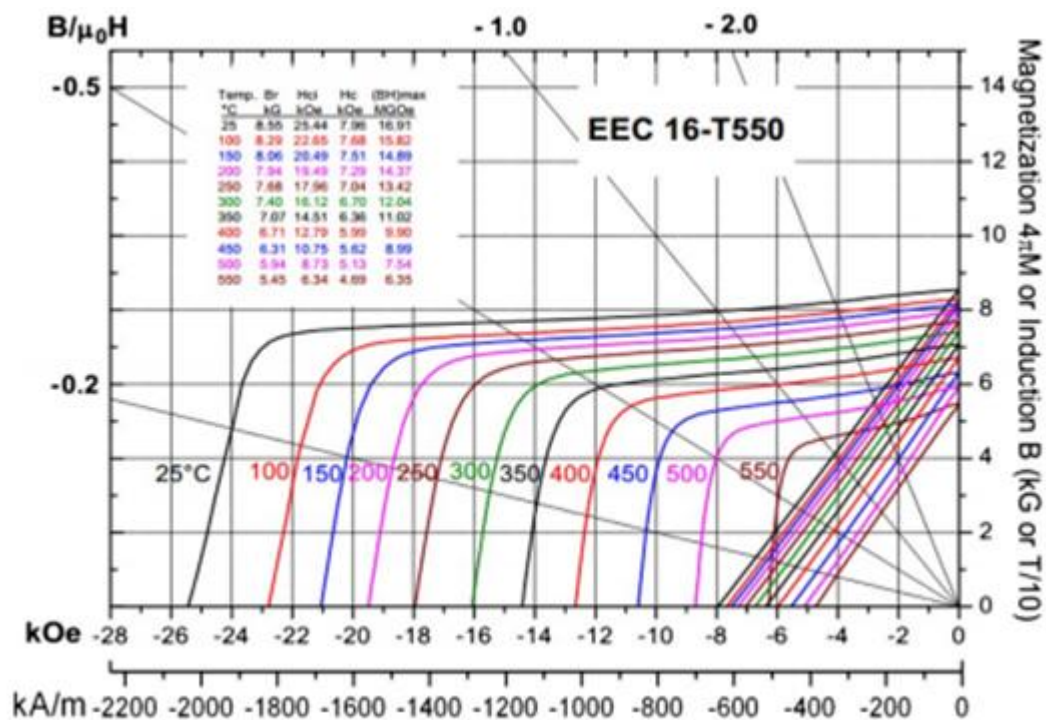
Những thách thức chính cho các nam châm ở tốc độ cao là những tác động cơ học và những tổn hao trung giando sự dao động từ thông là kết quả của stato có rãnh, các sóng hài bậc cao ở khe hở không khí và từ trường không đồng bộ do sóng hài thời gian trong điện áp cung cấp. Trục , bán kính , và những phần hình cung thường được sử dụng để giảm tổn hao như hình 13. Ngoài ra, thiết kế kích thước và cuộn dây máy điện để giảm tối thiểu tổn hao rotor và sau đó nhiệt độ nam châm là một thiết kế có tính quyết định [60] .

Máy điện tốc độ cao thường sử dụng nam châm có mật độ năng lượng cao NdFeB hoặc SmCo với khả năng làm việc ở nhiệt độ cao . Lớp hợp kim NdFeB với Dysprosium (Dy) có nghĩa là nam châm NdFeB có thể làm việc tới giới hạn nhiệt độ lên đến 250 ° C chẳng hạn như lớp N38EH . Đối với vật liệu làm việc đc trên mức nhiệt độ này chỉ có samari - coban Sm2Co17 là thích hợp. Mặc dù có độ từ dư và sự sản sinh năng lượng thấp hơn một chút so với các nam châm NdFeB, điển hình loại Sm2Co17 có thể hoạt động lên đến nhiệt độ 350 ° C , với một số loại đặc biệt đc đẩy giới hạn lên đến 550 ° C , với sự trả giá bằng giảm từ dư như trong hình . 14

Các ống bọc dẫn điện stator và rotor cũng được áp dụng để bảo vệ các nam châm khỏi từ trường không đồng bộ. Nam châm vĩnh cửu (PM) chịu căng rất yếu, mặc dù nó có thể chịu được ứng suất nén lớn. Để đảm bảo tính toàn vẹn cơ khí của rotor tốc độ cao, nam châm thường được nén trước khi sử dụng ống bọc làm bằng vật liệu có độ bền kim loại cao ví dụ như Inconel hoặc titan [61]. Sợi carbon cũng được sử dụng như một cơ chế duy trì để đặc tính cơ học tốt hơn. Điều này có thể trực tiếp làm hỏng các dây nhỏ của cuộn dây rotor khi gia công hoặc một ống bọc đúc sẵn có thể được ép vào khi lắp ráp



Hình 1.13. Nam châm vĩnh cửu cho tổn hao rotor



Hình 1.14. Nam châm vĩnh cửu ở nhiệt độ cao

1.1.4. Tổng hợp công nghệ máy điện tốc độ cao

A. Những máy điện dị bộ (IMs) tốc độ cao

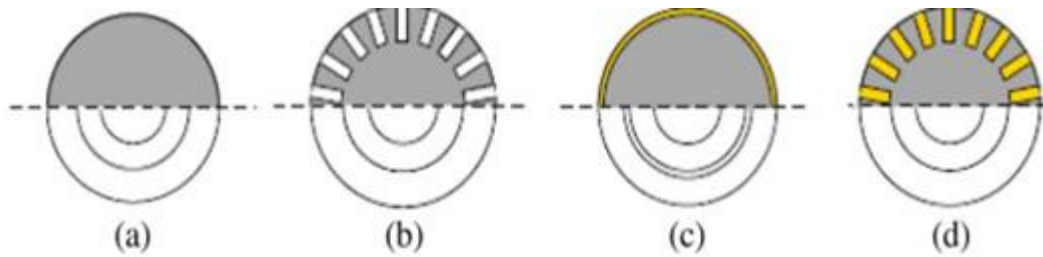
Những máy điện dị bộ, do bền vững về cấu trúc đã được dùng cho các ứng dụng tốc độ cao. Bảng II, là sự phát triển và mở rộng và được trình bày trong [19], danh sách các Những máy điện dị bộ tốc độ cao được công bố trong tài liệu, xếp theo thứ tự tốc độ vòng, " vc " (trong m / s). Từ bảng này, cần lưu ý rằng, đối với các thiết bị vận tốc vòng cao nhất, một cấu trúc rotor rắn thường đc ưa chuộng do độ bền cơ học cao của một cấu trúc như thế. Hình 15 là sơ đồ cấu trúc một Rotor rắn đơn giản nhất và bền vững nhất. Tuy nhiên, 1 thiết kế như vậy thiếu một đường dẫn cao cho các dòng điện cảm ứng ở và như vậy là một thiết kế không hiệu quả [11], [12].

Các thành phần dòng từ thông bậc cao tập trung trên bề mặt của rotor và gây ra tổn hao đáng kể trong đó, điều đó đã hạn chế mật độ công suất tổng thể của máy điện. Hơn nữa, dòng điện xoáy cố gắng đẩy từ trường cảm ứng ra ngoài rotor

Việc xẻ rãnh theo trục rotor rắn, như thể hiện trong hình . 15 (b), là một cải tiến so với rotor rắn mịn mà bằng cách xẻ rãnh theo trục trên bề mặt rotor [13], [14]. Các rãnh đó có tác dụng dẫn các thành phần cơ bản của từ thông vào rotor trong khi hiện có đường dẫn trở kháng cao hơn cho dòng điện xoáy di chuyển trên bề mặt rotor. Tuy nhiên, các rãnh cũng làm tăng tổn thất ma sát khe hở không khí, mà ở tốc độ cao thậm chí có thể coi là lớn hơn làm giảm dòng điện xoáy hiện nay, cũng như làm giảm độ bền cơ học của rotor.

TABLE II
HIGH-SPEED IMs IN LITERATURE AND INDUSTRY, RANKED
IN ORDER OF PERIPHERAL SPEED

v_c [m/s]	Rotor Diameter [mm]	Rotor Type	Power [kW]	Speed [rpm]	Reference
367	70	solid coated	60	100000	[17]
342	109	solid coated	300	60000	[30]
290	-	laminated	2000	15000	[36]
283	90	solid coated	60	60000	[19]
250	-	laminated	8000	12000	[5]
236	90	solid caged	50	50000	[19]
204	325	solid slitted	8000	12000	[13]
193	330	solid caged	2610	11160	[31]
185	118	laminated	100	30000	[32]
182	348	laminated	6000	10000	[62]
180	39	laminated	10	90000	[35]
177	28	solid	6.3	120000	[11]
168	80	laminated	35	40000	[33]
144	90	laminated solid coated	65	30600	[19]
138	47	laminated	11	56500	[24]
134	51	laminated	21	50000	[23]
126	200	laminated solid caged	200	12000	[21]
126	200	solid slitted	250	12000	[16]
124	99	solid coated	12	24000	[14]
120	46	laminated	1.5	50000	[39]
102	195	solid slitted	120	10000	[15]
63	50	solid coated	0.7	24000	[19]
62	88	solid slitted	12	13500	[14]
60	25	laminated	0.075	45000	[40]



Hình 1.15. Rotor rắn tốc độ cao (a) Rotor rắn mịn. (b) Rotor xẻ rãnh. (c) Rotor phủ lớp đồng. (d) Rotor có cuộn dây ngắn mạch

Nghiên cứu chi tiết về rãnh trục của động cơ rotor cảm ứng được trình bày bởi Aho [15] và Huppunen [16]. Trong các nghiên cứu, số lượng các khe rotor và kích thước của chúng được nghiên cứu với mục đích đạt được một thiết kế tổng thể tối ưu. Cần lưu ý rằng rãnh sâu cung cấp khả năng tạo mô-men tốt như trả giá bằng giảm độ bền cơ học. Aho khuyến cáo độ sâu khe khoảng 40% -50% bán kính rotor để đạt được một sự hài hòa giữa độ bền rotor và giảm tổn hao dòng điện xoáy. Hơn nữa, cần lưu ý rằng các số lẻ của rãnh rotor giảm độ dao động mô-men và nhưng làm tăng sự mất cân bằng lực hút từ trường.

Một cải tiến hơn nữa trong các rotor được thực hiện bằng cách phủ một lớp đồng lên rotor rắn, nó đặc trưng bất đẳng hướng điện từ [17], [18], như hình 15 (c). Lớp phủ đồng hoạt động như một số lượng vô hạn của thanh rotor và như một vòng ngắn mạch. Thiết kế như vậy cơ khí bền vững và đạt được hiệu suất cao hơn các rotor rắn đơn giản. Hình 16 cho thấy 1 rotor rắn mạ đồng IM 300 - kW 60 000-vòng/phút sử dụng cho một máy nén khí [30]. Cấu trúc liên kết này được sử dụng trong các máy có tốc độ ngoại vi cao nhất thể hiện Bảng II; Tuy nhiên, do có một lớp phủ, khe hở không khí của stato với rotor lớn hơn nhiều so với máy dị bộ ở đó đồng nằm trong các thanh vì vậy dẫn đến hệ số công suất kém.



Hình 1.16. Rotor lồng sóc 300 kw 60000vòng/phút

Lahteenmaki và Soitu [19] , [20] nghiên cứu sử dụng một rotor rắn với cuộn dây ngắn mạch, như thể hiện trong hình . 15 (d) . Ý tưởng đằng sau cấu trúc này là kết hợp độ bền cơ học của một rotor rắn với hiệu suất điện của một rotor lồng sóc . Khó khăn trong việc sản xuất một cấu trúc như vậy được trình bày cụ thể là khoan các khe trong khối thép vì vậy thiết kế rotor có rãnh hở . Lahteenmaki so sánh một rotor rắn lồng sóc với một rotor rắn mạ đồng cho máy loại 60 kW 60 000-vòng/phút và đã kết luận rằng rotor lồng sóc có mật độ năng lượng và hiệu suất tăng hơn với loại rotor được mạ, khi phải trape giá về khí giảm độ bền vững đáng kể

Lahteenmaki cũng so sánh một rotor lồng sóc với các lá thép mỏng với một rotor mạ một lớp [19] cho máy có 65 kW 30 600-r/min và thấy rằng hiệu suất cao và hệ số công suất đạt giá trị 1 đối với loại rô to cấu trúc bằng các lá thép mỏng. Rotor nhiều với các lá thép mỏng đã cấp hơn 39% năng lượng khi cùng cuộn dây stato khi nhiệt độ tăng.

Latebet al. [5] cũng so sánh các loại cấu tạo khác nhau của rotor rắn đối với cấu trúc rô to dùng các lá thép mỏng, và nó có kết quả rằng các cấu trúc rotor nhiều lá mỏng có mức hiệu suất cao hơn 2% -3% so với các cấu tạo khác nhau của rotor rắn , cũng cao hơn về hệ số công suất . Kết quả tương tự đã được báo cáo bởi Ikeda et al. [21] , người đã tiến hành thực nghiệm so sánh một sơ đồ cấu trúc rotor rắn lồng sóc với một cấu trúc rotor lá thép mỏng cho loại máy 200 - kW 12 000-r/min

Có một sự thống nhất chung trong các tài liệu công bố là là rotor thép là mỏng sẽ được sử dụng nếu khả năng cơ khí có thể đem lại hiệu suất làm

việc cao hơn đáng kể. Sau đây là một cái nhìn tổng quan về những gì đã được công bố liên quan đến việc thiết kế rô to là thép mỏng tốc độ cao cho IMs theo một thứ tự thời gian. Các bài báo của Boglietti et al. [22] là một trong những bài báo đầu tiên để thảo luận về sự phức tạp liên quan đến việc thiết kế tốc độ cao IMs rotor lá thép mỏng. Trong [22], đưa tổng quan cần phải nghiên cứu những vấn đề điện từ, nhiệt điện, cơ khí khi thiết kế khi ghi nhận rằng (so với tiêu chuẩn IMs) mật độ dòng điện ở rotor có thanh ngắn mạch được sử dụng trong các máy tốc độ lớn, đạt khoảng 20 A/mm^2 coi như là một con số điển hình cho mật độ dòng thanh rotor. Boglietti et al. cũng thảo luận về các vấn đề tổn hao sắt cao do tần số cơ bản cao trong các máy tốc độ cao.

Điều này thường hạn chế các nhà thiết kế trong việc lựa chọn mật độ từ thông thấp trong rãnh stator ($1-1,1 \text{ T}$, so với $1,5-1,8 \text{ T}$ 50 - Hz IM), cũng như trong trục stator ($1,1-1,2 \text{ T}$ so với $1,5-1,7 \text{ T}$ 50 - Hz IM). Tất cả các vấn đề nêu trên có xu hướng gây ra vấn đề nhiệt cho phần lớn các máy có kích thước nhỏ, dẫn đến hệ thống làm mát cưỡng bức là một yêu cầu. Các vấn đề thiết kế cơ khí thảo luận trong [22] liên quan chủ yếu đến vấn đề lựa chọn ổ đỡ, dầu bôi trơn và sự cân bằng, lưu ý rằng máy tốc độ cao vấn đề cân bằng đòi hỏi rất cao.

Soonget et al. [23] cung cấp một khái niệm toàn diện về thiết kế tốc độ cao IMs, mô tả thiết kế và sản xuất một sản phẩm dựa trên trường hợp nghiên cứu và thiết kế động cơ 21 - kW 50 000-r/min cho một ứng dụng máy nén khí. Nghiên cứu được tiến hành khi lựa chọn thanh rotor và vòng ngắn mạch được thảo luận, có lưu ý đặc biệt là sự cần thiết giới hạn cao về sức bền vật liệu đối với các thanh dẫn rotor, cũng như mô tả sự thỏa hiệp giữa việc xử lý nhiệt của các lá thép khác nhau để tìm ra sự thỏa hiệp giữa tính chất cơ khí và điện từ. Soonget et al. dùng SIFE mỏng cho cả rotor và stator, và các vật liệu được xử lý nhiệt một cách riêng biệt sau khi nén để đạt được các đặc tính mong muốn của rotor và stator (nghĩa là giới hạn đàn hồi cao hơn cho rotor là mỏng và tổn thất sắt thấp hơn cho stator mỏng)

Vấn đề ứng suất ở rotor lá thép mỏng là một yếu tố quan trọng trong nghiên cứu khi ghi nhận các thanh rô to dịch chuyển ứng suất cực đại tập trung trong lá thép ứng với các đĩa quay. Vấn đề này cũng được thảo luận bởi Kimet al. [24], người đã mô tả việc thiết kế một máy dị bộ 11 - kW 56 000-r/min cho máy nén ly tâm, lưu ý việc sử dụng một rãnh tròn kín để giảm thiểu ứng suất trong các rotor mỏng. Centner và Schafer [25], [26] thảo luận về các mác thép được sử dụng cho rotor lá thép mỏng như một tham số tối ưu hóa và cố gắng nghiên cứu sự phù hợp và so sánh sử dụng SIFE và CoFe mỏng cho IMs tốc độ cao

Họ so sánh 0,2 - mm " Vacoflux 50 ", chúng là một hợp kim CoFe từ Vacuumschmelze GmbH, từ M270 -35A, đó là một vật liệu làm tấm chắn tiêu chuẩn có độ dày 0,35 mm có tổn thất thấp SIFE. Họ đã xây dựng hai máy cùng một vỏ bọc, tức là, một làm từ CoFe và cái khác từ SIFE khi lưu ý rằng, do độ bảo hoà từ cao hơn, một máy có tải từ tính cao có thể được thiết kế với CoFe, kết quả là hiệu quả cao hơn máy SIFE (91% so với 89% ở 400 Hz)

Tất cả các IMS tốc độ cao nói trên sử dụng một thanh rotor hình tròn. Geradaet al. [34], [35] mô tả một phương pháp thiết kế giúp tăng mật độ năng lượng của IMs rotor nhiều lớp bằng cách sử dụng thanh hình giọt thay vì các thanh rotor tròn thông thường khi gắn tải từ và điện cho máy và chia nhỏ chúng. Các thanh hình giọt cho phép mật độ dòng điện trong rotor lỏng sóc được tập trung lại để thỏa mãn nhiệt độ cực đại. Tuy nhiên, hình dạng thanh như thế cũng làm tăng ứng suất trong lá thép; do đó việc sử dụng một môi trường thiết kế đa vùng cũng là điều cần thiết. Phương pháp được sử dụng để tăng mật độ năng lượng của 10 kW 80 000 vòng/phút IM, thể hiện trong hình 17, cho một ứng dụng máy nén kiểu tuabin

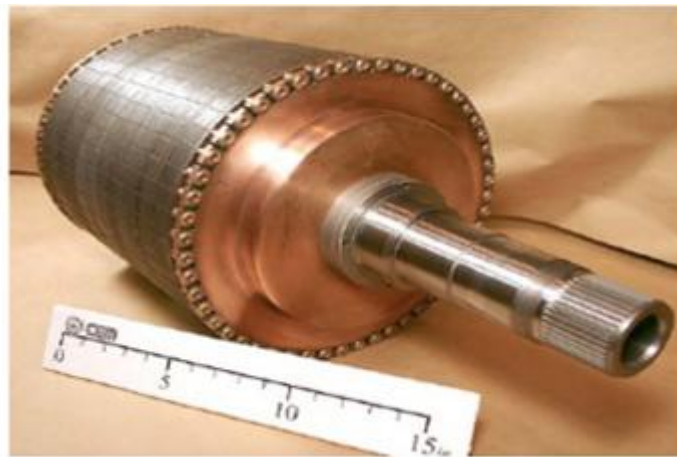


Hình 1.17. Rotor lá thép mỏng 10kW 80000 vòng/ phút

Các IMs rotor lá thép mỏng đc báo cáo trong tất cả các tài liệu nói trên có lắp ráp một rotor lá thép mỏng, tức là trực cứng với lá mỏng rỗng được lắp vào nó. Trong [23] , nó được báo cáo rằng, với thiết kế thông thường IM , tỷ lệ rotor ID / rotorOD(tỷ số đường kính trong ngoài của rôtor) là quá cỡ trong máy tốc độ cao để tăng độ cứng , và để cho phép tăng một tỷ lệ như thế việc dẫn từ thông qua trục được sử dụng. Trong một tiếp cận sáng chế thú vị [27], [28] , một lõi nhiều chỉ dùng các lá thép được sử dụng, với các vòng cuối cố định bởi bulong thép . Cấu trúc này bao gồm hai đầu trục thép và lá mỏng liên kết với nhau bởi một số bulông thép . Lồng sóc bao gồm thanh đồng làm ngăn mạch phân phối ở phía ngoài cùng của lõi và liên kết với hai vòng hợp kim đồng được đặt ở cả hai đầu của ống. Ống và các vòng được gắn chặt do các bulông neo, mà còn được phân phối ở phía ngoài của lõi và lắp vào các đầu trục

Công nghệ này đc cấp bằng sáng chế đang được sử dụng có tính thương mại bởi Converteam SAS (nay là GE Energy) [5] . Động cơ này có tên giao dịch là MGV (Moteur grande vitesse) , có công suất trong khoảng 3-30 MW 6000-18 000 vòng / phút cho máy nén trong các ngành công nghiệp dầu khí . Các phân tích máy/rotor động của cấu trúc này đã được xử lý một cách chặt chẽ trong [29]. Một cấu trúc như vậy cho phép vận tốc vòng rất cao. Động cơ dị bộ(Ims) Rotor lá thép mỏng phải đạt được với tốc độ 250 m/s [5] . Vận tốc vòng cao nhất của rotor là mỏng máy dị bộ đạt được bằng cách sử dụng các tính ưu việt của thiết kế vòng ngăn mạch và bằng cách sử dụng

tôn lá độ bền cao , đó là nam châm của rotor (tức là loại thép không điện) . Trong [36] và [37] trình bày phân tích những thiết kế vòng cuối tiên tiên trong tương lai cho máy loại 2 MW 15 000-r/min, thể hiện trong hình . 18 , bao gồm một phần không đồng dạng chéo , cắt giảm giảm stress hoop, và tích hợp làm chủ các liên kết, làm giảm nồng độ căng thẳng quan trọng , cho phép hoạt động theo một tốc độ rộng và phạm vi thiết kế nhiệt độ . Cho rotor lá mỏng, có độ bền cao máy bay cấp AISI 4130 thép hợp kim được đề cập [37] . Điều này cho phép các rotor tốc độ ngoại vi được tăng lên đến 290 m/s. Tương tự như vậy , trong [38] , các hợp kim có độ bền cao AerMet 100 được sử dụng cho các rotor lá mỏng cho máy loại 45 kW 92 500 r/min với tốc độ vòng 240 m/s.



Hình 1.18. Nam châm của rotor của máy 2-MW 15 000 vòng/phút

B. Máy PM tốc độ cao

Máy PM cũng rất phổ biến cho các ứng dụng tốc độ cao chủ yếu là do mức độ hiệu quả cao của nó mà không giống IMs , tổn hao rotor có thể khử được bằng tạo rãnh , vì vậy, nhiệt độ rotor có thể được giới hạn ở giá trị thấp hơn cho thiết kế cuộn dây quấn rải. Bảng III liệt kê một số máy PM tốc độ cao được tìm thấy trong tài liệu, một lần nữa là bậc các vận tốc vòng. Noguchiet al, thiết kế máy PM loại 2 - kW 220 000-vòng/phút cho một ứng dụng máy nén kiểu tuabin. Rotor được chuẩn bị sẵn một nam châm hình xuyên rãnh có

đường từ hóa song song , được trang bị trên một trục và giữ lại bởi một băng sợi carbon . Một tính năng thú vị của động cơ này là sáu khe 2 cực tập trung các rãnh củ cuộn dây cấu trúc cực từ

Tổ hợp các cực từ này được sử dụng bởi Shigematsuet al, người đã nghiên cứu kỹ thuật để giảm tổn thất rotor. Tuy nhiên , sự chọn lựa tổ hợp các rãnh làm cực cho kết quả là cảm ứng từ đủ cao , và nó cho phép máy có thể làm yếu từ trường . Noguchiet al. also mô tả thiết kế của một máy PM loại 1,5 - kW 150 000-r/min cho một bộ bơm tăng áp ô tô, trong đó sử dụng một rotor có cấu tạo tương tự và tổ hợp các rãnh làm cực , nhưng được giữ lại bởi sợi thủy tinh . Wanget al. mô tả đặc tính thiết kế rotor của một máy PM loại 22 kW 120 000-r/min với mục đích cải tiến thiết kế rotor để điều khiển không cảm biến . Trong bài báo này , hai cấu trúc rotor được giới thiệu: một rotor sử dụng một nam châm hình xuyên vòng rỗng từ hóa song song thông thường và rotor khác sử dụng hai đoạn từ hóa song song cho mỗi cực . Cả hai bộ phận từ tính được gắn trên một trục và được giữ lại bởi khớp nối titan. Có thể thấy , bằng cách phân đoạn các nam châm từ hóa song song, cả từ thông cơ bản và từ thông bậc 3 ở khe hở không khí đc cải thiện , do đó động cơ làm việc tốt hơn cho điều khiển không cảm biến

TABLE III
HIGH-SPEED PM MACHINES IN LITERATURE AND INDUSTRY, RANKED
IN ORDER OF PERIPHERAL SPEED

v_c [m/s]	Rotor OD [mm]	Type	sleeve	Power [kW]	Speed [rpm]	Ref.
294	47	SPM	titanium	22	120,000	[45]
288	25	SPM	carbon fiber	2	220,000	[41]
261	10	SPM	titanium	1	500,000	[47]
233	89.4	IPM	SiFe*	11	50,000	[62]
230	22	SPM	titanium	2	200,000	[48]
201	16	SPM	inconel	5	240,000	[44]
200	24.5	SPM	carbon fiber	1.5	150,000	[50]
200	-	SPM	carbon fiber	1100	30,000	†
192	24.5	SPM	glass fiber	1.5	150,000	[42]
188	30	SPM	inconel	5	120,000	Cum mins
175	83.6	SPM	carbon fiber	40	40,000	[52]
172	16.48	SPM	titanium	2	200,000	[53]
161	77	SPM	carbon fiber	40	40,000	[57]
157	6	SPM	titanium	0.1	500,000	[46]
92	29.2	SPM	carbon fiber	0.5	60,000	[58]
77	83.6	IPM	SiFe	-	40,000	[52]
52	25	SPM	none	1	40,000	[54]
51	35	SPM	Inconel	1	28,000	[51]
40	300	IPM	SiFe	60	2,600	CGT

Zwysset al. đã xây dựng một số các máy tốc độ quay cao nhất. Trong [14] , thiết kế ,phân tích và thử nghiệm máy phát điện PM loại 100 -W 500 000-r/min cho một tua bin khí cỡ trung bình. Rotor bao gồm một nam châm hình trụ từ hóa song song được đặt trong vòng một phần rỗng của một trục titan hai phần . Những máy móc và rotor động xem xét kết hợp với một cài đặt như đã trình bày. Các chi tiết của công trình này được thể hiện trong hình . 19 . Máy này được mở rộng lên 1- kW 500 000-r/min điện nút , do đó tăng

vận tốc vòng của các rotor. Cả hai máy được sử dụng một cấu trúc stator không có rãnh, với mục đích giảm thiểu các tổn hao rotor và tránh sử dụng răng stator rất mỏng (ví dụ, cơ học yếu). Các tác giả này cũng phát triển một máy PM loại 100-W 1 000 000-r/min [4]



Hình 1.19. Máy điện 100-W 500 000 vòng/phút

Zhao et al. [48], [49] trình bày các thiết kế của một động cơ PM loại 2 - kW 200 000-r/min cho tuabin đảo chiều chu trình Brayton của máy lạnh cryo. Tương tự như một stator không có rãnh được sử dụng và một nam châm rắn là phù hợp với bên trong một trục rỗng. Samari - coban được sử dụng do nó ổn định ở nhiệt độ đông lạnh. Một nam châm hình elip được sử dụng trong thiết kế này, mặc dù không trình bày lý do cho việc này

Takahashiet al, thảo luận về việc thiết kế cho động cơ 5 kW 150-000 vòng / phút dùng cho máy công cụ. Những tính năng thiết kế quan trọng được nghiên cứu, đặc biệt lưu ý những lợi ích của việc sử dụng một khe hở không khí vật lý lớn cho các máy tốc độ cao, để giảm gợn sóng khe hở không khí và tổn hao trong ống bọc trong nam châm do dòng điện xoáy. Cho việc thiết kế điện từ tương tự, vật liệu đã được nghiên cứu thực nghiệm khẳng định lợi ích của việc dùng vật liệu có độ dẫn điện yếu loại chất dẻo pha cao su với mục đích là giữ tổn hao thấp nhất. Ích lợi của việc sử dụng vật liệu dẫn điện kém nhằm bảo vệ nam châm đã được xác nhận bởi Choet al, người đã so sánh với những tổn hao của một máy nén tăng áp 50 kW 70 000-

r/min có sử dụng một ống bọc(sleeve) Inconel718 , để thiết kế khi sử dụng một ống bọc sợi carbon , nhận thấy rằng đã giảm tổn hao 6 lần

Binderet al. cung cấp các biểu thức phân tích cho thiết kế một hệ thống bảo vệ sợi carbon cho máy tốc độ cao , khi minh họa với nghiên cứu một trường hợp 40 kW 40 000-r/min. Trong bài báo đó, khi sử dụng cùng một nút nút năng lượng / tốc độ, thì sự hạn chế tốc độ của việc sử dụng máy IPM để duy trì nam châm được nghiên cứu ,và nó được thông báo rằng bằng cách sử dụng thép SIFE có độ bền bình thường vận tốc vòng quay tối đa được giới hạn trong khoảng 80 m/s. Tốc độ vòng quay cao hơn máy IPM chỉ có thể đạt được do sử dụng thép điện có độ bền cao như mô tả của Hondaet al, người đã đạt được vận tốc vòng quay vượt quá 230 m/s cho một IPM

Tài liệu khác đã tập trung vào các phương pháp thiết kế vật lý và tối ưu hóa máy tốc độ cao , chẳng hạn như công việc được thực hiện bởi Pfitser và Perriard, người đã thiết kế và tối ưu hóa động cơ 2 - kW 200 000-r/min và các tài liệu thể hiện bởi Bianchiet al, những người nghiên cứu lựa chọn thiết kế sử dụng vật liệu khác nhau cho một động cơ 1- kW 25 000-r/min dùng cho máy công cụ . Cần lưu ý rằng, đối với tất cả các máy trên, một máy SPM chỉ sử dụng vật liệu giữ nam châm độ bền cơ học (sợi titan / inconel / sợi carbon / thủy tinh)

C. Máy SR tốc độ cao

Mặc dù ít phổ biến hơn cho các ứng dụng tốc độ cao so với IMs và PM , một số máy SR đã được phát triển cho một số ứng dụng thích hợp . Vùng ứng dụng phổ biến hơn là cho công suất thấp (lên đến 1 kW) thị trường sản xuất hàng loạt với chi phí thấp như máy hút bụi và máy thổi khí. Những máy này thường rất đơn giản trong thiết kế với cấu tạo bốn rãnh hai cực thường được sử dụng .

Một ứng dụng máy SR tốc độ cao là động cơ máy bay. Ở đây , máy SR thường được sử dụng như là một hệ thống khởi động/ máy phát điện (S /

G) để bắt đầu và khai thác năng lượng điện thứ cấp. Khả năng cực hiện của chúng họ là thiết kế đơn giản, và khả năng hoạt động trong các môi khắc nghiệt (nhiệt độ môi trường khoảng 400 ° C) làm cho SR một sự lựa chọn thích hợp cho một ứng dụng như vậy . Các máy sử dụng gần như độc quyền , giới hạn đàn hồi cao lá mỏng vanadi - sắt - cobalt như Hiperco 50 HS . Bảng IV liệt kê một số máy SR tốc độ cao được tìm thấy trong tài liệu. Trong trường hợp không có các kích thước của rô to, các máy này được xếp theo thứ tự $r/\text{min} \sqrt{\text{kW}}$

TABLE IV
HIGH-SPEED SR MACHINES IN LITERATURE AND INDUSTRY,
RANKED IN ORDER OF $\text{RPM}\sqrt{\text{kW}}$

rpm	kW	$\text{rpm}\sqrt{\text{kW}}$	Ref.
22200	250	3.51E+05	[63]
52000	30	2.85E+05	[64]
60000	1	6.00E+04	[65]
48000	1	4.80E+04	[66]
30000	0.6	2.32E+04	[67]

D . Máy Đơn Cực đồng bộ tốc độ cao

Máy Đơn Cực đồng bộ có nguyên lý hoạt động tương tự như máy đồng bộ có cuộn kích từ phổ biến Tuy nhiên , trong trường hợp của các máy đơn cực , cuộn kích từ(hoặc nam châm) được cố định vào stator chứ không phải là các rotor . Một sơ đồ như vậy trong cấu trúc bền vững đơn giản như vậy có thể được xây dựng từ một mảnh đơn thép có độ bền cao và phù hợp cho hoạt động tốc độ cao . Máy đơn cực đã được nghiên cứu chủ yếu cho hệ thống bánh đà tốc độ cao tích trữ năng lượng ở đây điều quan trọng là phải có tổn hao mô-men quay zero- và tổn hao rotor thấp do máy hoạt động trong chân không. Tsao [15] đã thiết kế và thử nghiệm một máy điện có xung công suất 30 kW ,100 000-r/min ,140 Wh , được thể hiện trong hình . 20 , cho một

bánh đà tích hợp . Một rotor rỗng độ bền cao được sử dụng cho cả rotor điện và ắc quy lưu trữ năng lượng . Trong động cơ này , bốn cực được cắt ở cả phần trên và dưới của rotor, với các cực thấp xoay 45° đối với các cực trên. Cuộn dây kích từ bao quanh phần trung tâm hình trụ của rotor. Máy được kiểm tra và đã đạt được hiệu suất trung bình 83% ở công suất trung bình là 9,4 kW , trong phạm vi tốc độ 30 000 đến 60 000 vòng / phút



Hình 1.20. Máy điện 30 kW ,100 000-r/min ,140 Wh cho bánh đà tích hợp

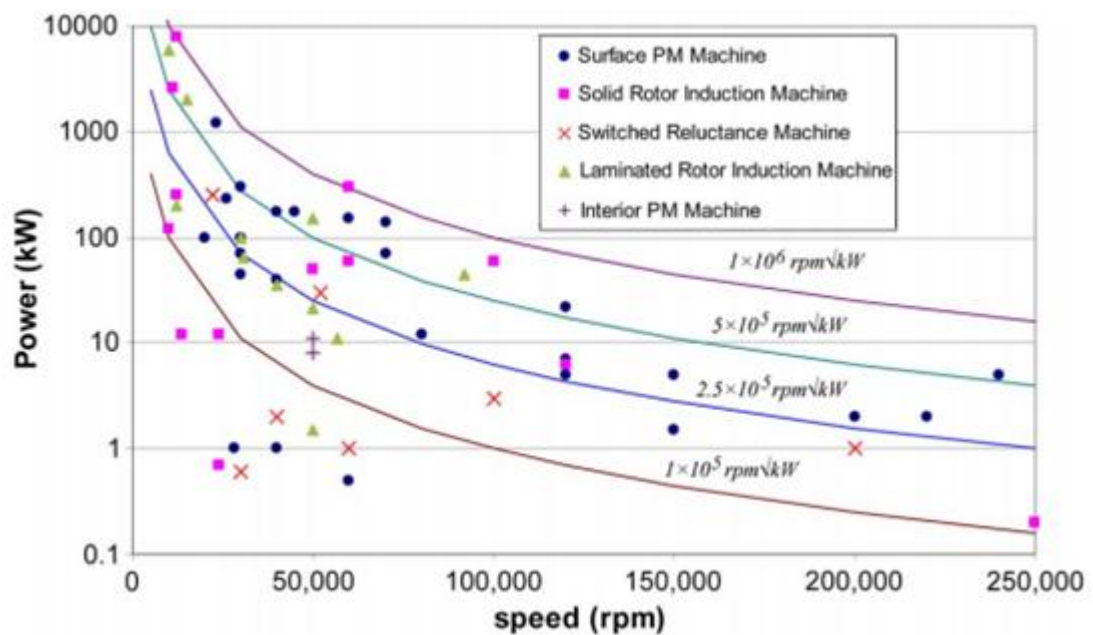
1.1.5. Thống kê máy tốc độ cao

Với các máy được liệt kê trong các tài liệu khảo sát , cũng như các máy khác được khảo sát từ công nghiệp riêng biệt , đã trình bày trên hình. 21 .Trong hình này, các nút công suất- tốc độ được vẽ cho tất cả các máy điện được xây dựng và thử nghiệm của các tác giả đã biết. Trên cùng một đường vẽ, các r / min dòng $\sqrt{\text{kW}}$ được chồng lên nhau . Các khái niệm về r / min $\sqrt{\text{kW}}$, như đã giới thiệu và mô tả trong [1], là một hình ảnh được chấp nhận cho các máy quay tốc độ cao . Nó cung cấp một "chỉ số hướng dẫn" đáng tin cậy để cập nhật từ các tổ hợp của tốc độ và năng lượng, nó giống như mức độ nghiêm trọng của vấn đề động học như tốc độ tới hạn, giá trị cao của ổ đỡ , tốc độ thiết bị ngoại vi và ứng suất , và nhạy cảm với cân bằng [1] . Nói chung , vấn đề động học là không đáng kể đối với máy móc hoạt động dưới 1×10^5 r / min $\sqrt{\text{kW}}$ và vừa phải cho máy móc hoạt động từ 5×10^5 r / min $\sqrt{\text{kW}}$

kW và $1 \times 10^6 \text{ rpm} \sqrt{\text{kW}}$. Ở trên các giá trị này, vấn đề cơ khí trở nên khó khăn để thỏa mãn [1]. Các quan sát sau đây đã được ghi nhận cho máy điện quay tốc độ cao và tóm tắt trong bảng V.

TABLE V
SUMMARY OF HIGH-SPEED MACHINE LIMITS

Machine Technology	$\text{rpm} \sqrt{\text{kW}}$	m/s
solid rotor IM	1×10^6	400
surface PM with sleeve (no rotor laminations)	8×10^5	300
laminated rotor IM with high strength SiFe	6×10^5	280
SR with high strength VCoFe laminations	3.5×10^5	210
laminated rotor IM with normal SiFe	2.5×10^5	185
IPM with high strength SiFe laminations	1.5×10^5	230



Hình 1.21. Công suất cao và số vòng phút, kW

1) Tốc độ cao nhất $\text{r} / \text{min} \sqrt{\text{kW}}$, khi chỉ cần vượt quá 1×10^6 , đạt được chỉ thông qua công nghệ IM rắn rotor. Công nghệ này cũng đạt được xung tốc độ ngoại vi cao nhất theo báo cáo, khoảng 400 m/s.

2) Bề mặt máy PM với một cơ chế duy trì độ bền cao (thường Inconel, titan, hoặc sợi carbon) hiện chỉ giới hạn khoảng $8 \times 10^5 \text{ r} / \text{min} \sqrt{\text{kW}}$

KW và tốc độ ngoại vi 300 m / s

3) Máy điện dị bộ rô to làm bằng thép mỏng sử dụng thép điện kỹ thuật thường đạt được một điện r / min $\sqrt{\text{kW}}$ khoảng $2,5 \times 10^5$ r / min $\sqrt{\text{kW}}$ và tốc độ ngoại vi của 185 m / s

4) IMs rotor nhiều lớp sử dụng thép có độ bền cao cho tấm mỏng , chẳng hạn như AerMet 100 hoặc AISI 4130 có thể đạt khoảng 6×10^5 r / min $\sqrt{\text{kW}}$. Điều này cũng có thể đạt được bằng cách sử dụng lớp thép điện mới được giới thiệu có độ bền cao với độ bền vật liệu vượt quá 800 MPa , chẳng hạn như 35HXT780T . Tốc độ ngoại vi điển hình ở mức 280 m / s.

5) Máy SR với bão hòa từ cao và sức bền vật liệu lớn với là thép laminations VCoFe đạt được r / min $\sqrt{\text{kW}}$ khoảng 3.5×10^5 và tốc độ ngoại vi hơn 200 m / s.

6) Sự phát triển thép cường độ cao là tạo một khả năng cho các máy IPM được sử dụng cho tốc độ cao hơn , với over 1.5×10^5 r / min $\sqrt{\text{mã lực}}$ và 230 m / s đạt được [62].

Việc lựa chọn và thiết kế của máy cấu trúc máy điện cho các ứng dụng tốc độ cao thường là một vấn đề phức tạp cần phải được quyết định bằng cách xem xét chặt chẽ các ngành khoa học có liên quan, cụ thể là các thiết bị điện từ , cơ khí, nhiệt , và điện tử công suất.. Bài viết này đã trình bày các ứng dụng chính đẩy sự phát triển của công nghệ, và thông qua một cuộc khảo sát tài liệu phong phú và các nhà thiết kế kinh nghiệm , nghiên cứu này đã xác định có thể đạt được r / min $\sqrt{\text{kW}}$ và tốc độ cho các cấu trúc nghiên cứu. Sự sẵn sàng đưa ra thị trường gần đây của loại thép kỹ thuật điện có độ bền cơ học cao chắc chắn sẽ tạo một khả năng cho nhiều lớp rotor máy điện dị bộ và máy IPM để tìm thêm sử dụng trong các ứng dụng tốc độ cao

CHƯƠNG 2.

MỘT CẤU TRÚC MỚI CHO ỨNG DỤNG MÁY CỖ NHỎ TỐC ĐỘ CAO

2.1. GIỚI THIỆU

Truyền động bằng điện tốc độ cao đã là một đề tài nghiên cứu rất phổ biến thời gian gần đây . Một số truyền động điện với tốc độ trên 100 000 vòng/phút và mức công suất từ 100 W đến vài KWS đã được nêu trong tài liệu . Bên cạnh động lực này chủ yếu là xu hướng thu nhỏ trong các ứng dụng như máy nén khí kiểu tuabin , tua bin khí và các máy tạo con suốt [1] . Một truyền động có công suất 100 W , 500.000 vòng / phút được mô tả trong [1] . Một máy có công suất 2 kW , 200 000 r / min được thiết kế , tối ưu hóa và thử nghiệm trong [2] . Tổng quan về hệ thống truyền động siêu tốc độ cao được đưa ra trong [3] . Các tác giả đã phân tích giới hạn tốc độ của máy điện tốc độ cao trong [4] . Các ứng dụng được mô tả ở trên có điểm làm việc với một tốc độ và công suất định mức. Do đó, các động cơ được thiết kế và tối ưu hóa cho tốc độ và công suất danh này , những máy đó phù hợp cho các ứng dụng tốc độ cao điển hình như máy nén turbo. Tuy nhiên , có những ứng dụng tốc độ cao có yêu cầu mô-men điện từ và tốc độ khác nhau.

Ví dụ , xu hướng trong máy cỡ nhỏ là hướng tới các công cụ nhỏ hơn có tốc độ quay cao và yêu cầu mô-men xoắn thấp. Mặt khác , với trục quay còn có khả năng truyền động dụng cụ lớn hơn đòi hỏi phải có mô-men xoắn lớn ở tốc độ thấp hơn. Một ứng dụng như vậy là máy nghiền cỡ nhỏ tốc độ cao ở đó đường kính công cụ giảm xuống còn 0,1 mm được sử dụng yêu cầu mô-men gần như bằng không khi ở tốc độ cao [5] , trong khi cũng một trục như vậy được áp dụng cho cắt chỉ ở tốc độ thấp có mô-men lớn là cần thiết . Thêm 1 vài ví dụ, cụm đầu máy văn phòng mới được cải tiến để xử lý việc gia công linh kiện rất nhỏ cho ngành công nghiệp đồng hồ và mũ răng.

Một ứng dụng tiếp theo với đặc điểm kỹ thuật tương tự là thiết bị nha khoa cầm tay. Hiện nay, thiết bị cầm tay khác nhau được gia công khác nhau chúng thường cần mô-men quay thấp ở tốc độ cao và mô-men quay cao ở tốc độ thấp. Do đó, có các hoạt động để thay thế 1 vài thiết bị cầm tay động cơ tốc độ thấp với hộp số để nâng cao cho các ứng dụng riêng biệt chỉ cho thiết bị cầm tay được truyền động trực tiếp

Các ứng dụng khác có yêu cầu tương tự như các thiết bị điện cầm tay như máy mài cầm tay. Máy điện Nam châm vĩnh cửu có rãnh (PM) thường được sử dụng trong truyền động tốc độ cao, chủ yếu do đơn giản và cấu trúc rotor bền vững và phản ứng phần ứng yếu điều đó để giới hạn tổn hao rotor [6]. Mô-men quay của một máy như vậy chỉ có thể được tăng lên bằng cách tăng khối lượng máy (với tỷ số tổn hao không đổi). tuy nhiên như thế không thể có trong một số ứng dụng, cần kích thước nhỏ để không làm ảnh hưởng tới sự điều khiển linh hoạt. Ví dụ, không gian trung tâm màn hình máy cỡ nhỏ cho đầu trục máy phay là rất hạn chế và kích thước đầu của trục chính hạn chế có thể tạo hình của các phần công việc Tương tự như vậy, kích thước đầu của một khoan răng cầm tay ảnh hưởng đến vấn đề thẩm mỹ cho bệnh nhân và bác sĩ nha khoa. Hơn nữa, tốc độ quay tối đa của một máy được giới hạn bởi đường kính và chiều dài của roto do tác động cơ học và hạn chế động lực học rotor [4 Trong [7] các tác giả đã đề xuất một cấu trúc động cơ mới, được gọi là máy điện stator nằm ngang (LSM), để khắc phục những hạn chế của các động cơ tốc độ cao hiện diện trong ứng dụng không gian bị hạn chế. Trong công việc này, chiếc máy stator nằm ngang đã được chứng minh cho phép cả mô-men quay cao ở tốc độ thấp và mô-men quay thấp hoạt động tốc độ cao, với kích thước đầu nhỏ bao quanh rotor. Hai loại máy stator nằm ngang được thể hiện và được phân tích khi sử dụng phương pháp mô phỏng phần tử hữu hạn (FEM) kích thước do kích thước phức tạp của máy và độ bão hòa từ trong các phần sắt

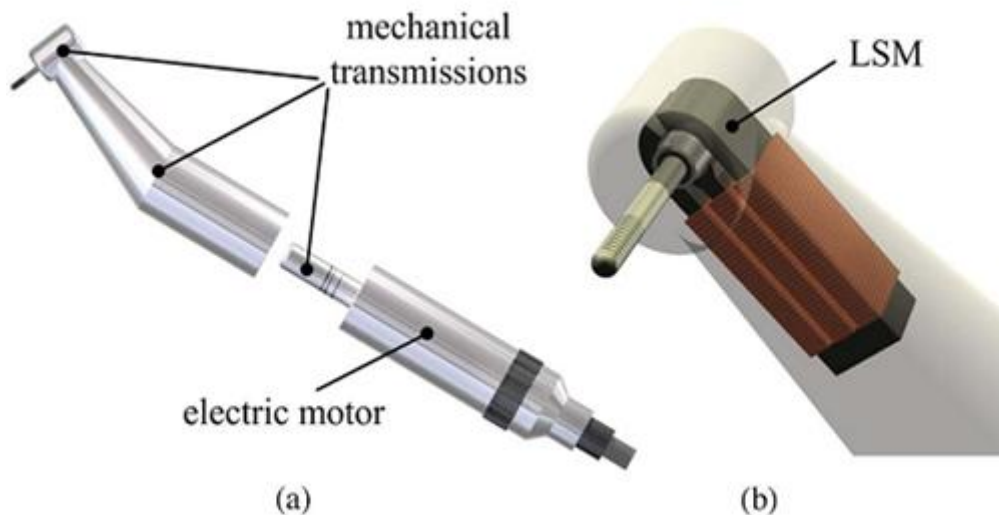
Việc xác định kích thước hình học mô men và tổn hao được cho trước và đã xác định thông số của 2 loại máy stato nam châm ngang cũng như mô hình các loại tổn hao khác nhau được mô tả chi tiết. Một cách tiếp cận đánh giá đầy đủ được thông qua, có nghĩa là tất cả các tham số máy cho ở không gian rời rạc được đánh giá và sau đó được chọn 1 cái tốt nhất Trong [8] các tác giả đã tiếp tục xem xét về việc xây dựng các máy stator nam châm ngang một cách chi tiết. Hơn nữa, họ đề xuất một bàn thử nghiệm có thể đánh giá tổn hao máy điện mô-men quay, cho phép kiểm nghiệm trực tiếp của mô phỏng FEM. Cái này được làm bằng cách thiết kế hai băng ghế thử nghiệm khác nhau, 1 cái để đo mô-men quay dừng và cái khác đo tổn thất không tải ở tốc độ cao. Trong việc thiết lập để đo mô-men quay ở trạng thái dừng, một cấu hình không ổ đỡ được thiết kế, và mô-men được đo ở phía stator. Điều này cho phép chỉ đo mô-men điện từ, mà không có ma sát ổ trục, nó có khả năng kiểm tra trực tiếp của phân tích FEM. Trong các thiết lập đo tổn hao ở tốc độ cao không tải, việc giảm tốc được sử dụng để đo tổng tổn hao không tải. Hơn nữa, một phương pháp cho việc tách các tổn thất cơ khí từ những tổn thất điện được đề xuất

Trong bài báo này, điểm nổi bật nhất của [7] và [8] được tóm tắt bằng cách hiển thị các cấu trúc máy được đề xuất và tổng hợp các phương pháp mô hình hóa. Các mô hình FEM được cải tiến để được nhanh hơn một chút và cũng để chuyển đổi các tổn thất roto đã bị lãng quên trong công việc trước đây. Cho một cấu trúc đơn giản hơn một máy stator nam châm ngang nam châm dạng bột được đặt trên roto được phân tích, sử dụng một cách tiếp cận toàn diện tương tự, cho việc xác định hơi khác một ít. Máy với hiệu suất tốt nhất được xây dựng và đánh giá bằng cách sử dụng bàn thử nghiệm được mô tả trong [8]. Kết quả đo rất tốt để kiểm tra quá trình thiết kế

2.2. MÁY STATOR NẪM NGANG

A. Mô tả Khái niệm

Để máy làm công việc rất nhỏ (ví dụ , cho ngành công nghiệp đồng hồ) hoặc vì lý do làm việc (ví dụ , cho các mũi khoan nha khoa) đầu của trục chính có kích thước giới hạn , và động cơ điện được phép phát triển chỉ theo một hướng bên nếu truyền động trực tiếp được sử dụng . Trong ví dụ về khoan răng, một công việc rất tỉ mỉ ở tốc độ thấp (thường là 40 000 vòng / phút) các bộ phận của tay nơi đó có đủ không gian truyền động đầu mũi mũi khoan qua một số giai đoạn được truyền cơ khí như như hình . 1 (a) . Các khâu truyền cơ khí giới thiệu thêm trọng lượng, tiếng ồn âm

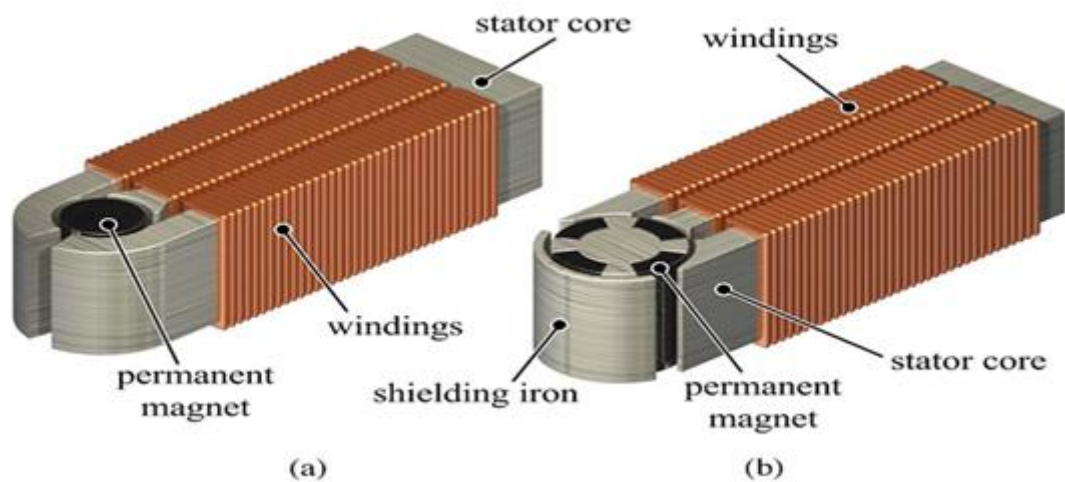


Hình 2.1 (a) Các khâu truyền cơ khí của máy tốc độ thấp và tay khoan
(b) truyền động trực tiếp của máy stator bên

thanh và thiệt hại. Một truyền động trực tiếp loại bỏ sự cần thiết phải truyền tải cơ khí; Tuy nhiên , không gian vào đầu là quá nhỏ đối với một stator mà có thể tạo ra mô-men xoắn mong muốn. Trong trường hợp này , một máy stator bên có thể được sử dụng như hình . 1 (b) vì nó làm cho việc sử dụng không gian ở cổ công cụ, mà nếu không sẽ không được sử dụng. Hai mẫu thiết kế của LSM được hiển thị trong hình . 2 . Máy hình . 2 (a) được gọi là xung quanh loại LSM như Stator bao quanh các rotor . Nó có nguồn gốc từ

một 3pha , hai cực , ba khe cắm máy điện với hai lớp tập trung cuộn dây . Hình dạng của stator được sửa đổi bằng cách di chuyển các cuộn dây từ khu vực nơi không gian bị hạn chế Nhiều không gian hơn cho các cuộn dây là đã đạt được bằng cách làm cho răng stator dài hơn và mang dòng nam châm vĩnh cửu ra khỏi không gian hạn chế . Máy mô tả trong hình . 2 (b) là một dạng khác của LSM , được gọi là phần loại LSM , như stator bên chỉ bao gồm một phần của các rotor . Điều này dẫn đến một rot lớn hơn với số lượng cực cao hơn . Một rotor với bốn cực được sử dụng và sắt che chắn được thêm vào thiết kế để hướng dẫn từ trường của nam châm rotor mà không phải đối mặt với răng stator

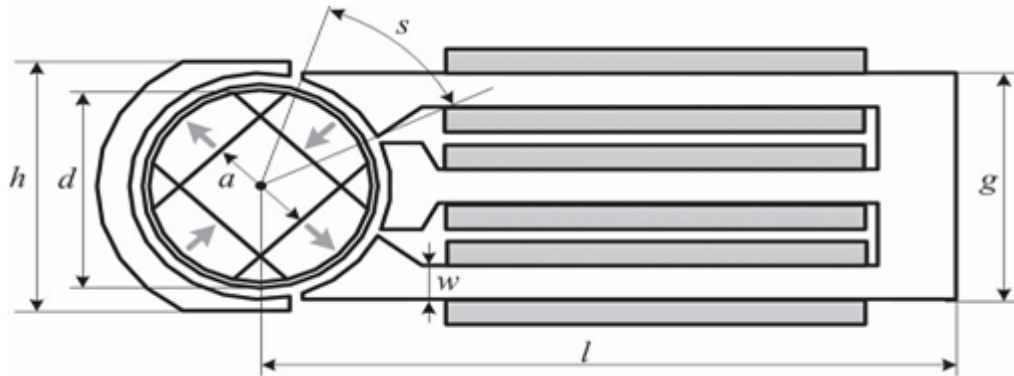
Như kết quả mô phỏng của [7] cho thấy , với loại LSM , mô-men quay tăng lên sẽ phải thỏa hiệp giữa sự đơn giản trong cấu tạo rô to khi có nhiều không gian hơn



Hình 2.2. Hai mẫu thiết kế của LSM: (a) Stator bao quanh các rotor.
(b) phần loại LSM

cho nam châm vĩnh cửu và số lượng cực tăng lên. Vì lý do đó , trong phần này chỉ có loại máy được xem xét. Tuy nhiên , nam châm bột được sử dụng thay vì các nam châm hình vòng cung để dễ dàng xây dựng và một mảnh trục coban - sắt được sử dụng do độ bền cơ học của nó thay vì một rotor là thép mỏng. Các nam châm được dán trên lõi rotor và mài trên bề mặt ngoài để có

đường kính ngoài chính xác. Hình. 3 cho thấy một LSM được phân tích trong bài này, theo các thông

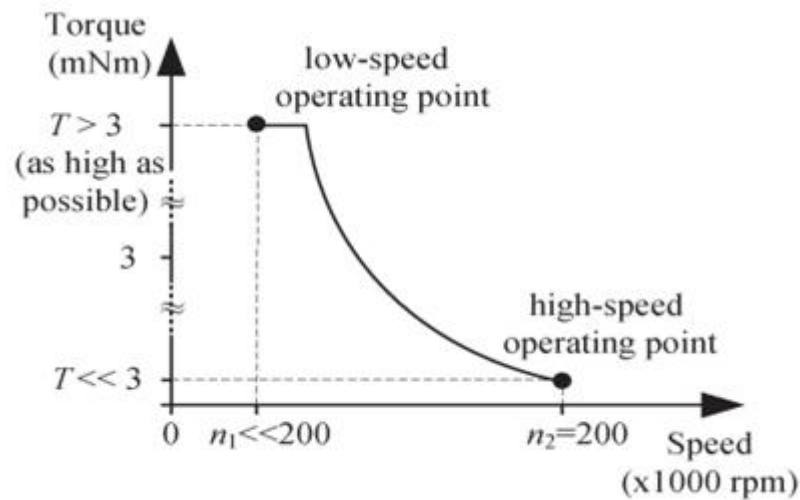


Hình 2.3. Một loại của LSM được phân tích trong bài này

số hình học được sử dụng để tối ưu hóa hình dạng máy. Sắt vô định hình được chọn là vật liệu lõi stator do tổn hao thấp hơn so với thép điện tiêu chuẩn và mật độ bão hòa cao hơn so với vật liệu ferrite. Nam châm đất hiếm nung chảy được sử dụng cho rotor để đạt được một mật độ mô-men quay cao. Một ống titan được đặt xung quanh nam châm để giữ chúng lại với nhau ở tốc độ cao như đã đề cập trong [9] và [10]. Rotor được cân động như là bước cuối cùng của việc xây dựng rotor

B. Đặc điểm kỹ thuật

Xu hướng trong các ứng dụng máy cỡ nhỏ cho thấy tốc độ từ như gần bằng không tới tốc độ lên đến 200 000 r / min. Mô-men quay cho máy khoan và máy nghiền tốc độ cao rất bé và nó tạo ra một dòng điện cảm ứng có thể có thể bỏ qua do đó tổn hao đồng đồng cũng có thể bỏ qua. Do đó, chỉ những tổn hao không tải có liên quan cho các hoạt động tốc độ cao của LSM. Đối với các hoạt động ở tốc độ thấp, mô-men quay của 3 mNm được coi như là tối thiểu với mục tiêu là để tối đa hóa mô-men quay đối với tổn hao đồng cho trước. Tốc độ phụ thuộc vào thành phần tổn hao như tổn hao lõi thép, tổn hao đồng xoay trong các rotor có thể được bỏ qua ở tốc độ thấp, và chỉ có những tổn thất đồng được đưa vào tính toán. Vì vậy, hoạt động của LSM được đơn giản hóa bằng cách sử dụng hai điểm hoạt động riêng biệt như hình. 4



Hình 2.4. Đặc tính Momen và tốc độ của ứng dụng máy cỡ nhỏ

Đối với mục tiêu ứng dụng cho máy khoan răng, một mô hình nhiệt sơ bộ được xây dựng để xác định giới hạn tổn hao khi chú ý tới việc sử dụng các bình xịt khí bằng tay để làm mát máy. Đặt nhiệt độ không khí đầu vào đến 25°C và hạn chế nhiệt độ không khí đầu ra ở 37°C (vì lý do làm việc) dẫn đến tổn hao tối đa cho phép là $2,4\text{ W}$ tại tốc độ cao hoạt động định mức là $200\,000\text{ r/min}$. Mặt khác, vì mô-men quay tối đa thường chỉ được áp dụng trong một thời gian ngắn, khi nghiên cứu nhiệt dung và sơ bộ giả định các chu kỳ truyền động, thì tổn hao đồng cực đại cho phép là 6 W để tránh quá nóng của các cuộn dây

2.3 MÔ HÌNH VÀ TỐI ƯU HOÁ

Mô hình phân tích để đánh giá hiệu các tính chất của PM với dạng hình học đơn giản được đưa ra trong [11]. Tuy nhiên, quan điểm tiếp cận được trình bày trong tài liệu này không sử dụng ở đây như phần bảo hòa của stator, từ thông tản và mô-men quay gợn sóng đóng một vai trò lớn trong việc xác định tính chất của các máy stator ngang; và những hiện tượng này không dễ dàng mô hình giải tích trên sự phức tạp về hình học. Vì vậy, FEM được sử dụng thay vì cách tiếp cận mô hình phân tích để tìm ra máy có tính chất suất tốt nhất. Để có thể đánh giá các máy khác nhau và xác định những ảnh hưởng

các thông số hình học cụ thể lên hiệu suất máy , dạng máy LSM được tham số hóa như hình . 3 , như vậy là một tập hợp các thông số xác định một máy duy nhất. Các thông số này được tóm tắt trong Bảng I. Mỗi bộ thông số của tập các thông số này đại diện cho một máy duy nhất định được đánh giá bằng cách sử dụng 2-D FEA . Lợi thế của một đánh giá đầy đủ như vậy là sự đơn giản của nó và chắc chắn cho tối ưu tổng thể trong không gian tham số rời rạc . Hơn nữa, nó mang dữ liệu được phân phối trên phạm vi toàn bộ tham số , cho phép phân tích độ nhạy cảm phụ thuộc vào bất kỳ tham số và bất kỳ tiêu chuẩn hiệu suất . Các bước rời rạc thể hiện trong Bảng I được lựa chọn tương đối

TABLE I
DISCRETIZATION OF THE PARAMETER RANGE: INDEPENDENT
PARAMETERS, PARAMETERS THAT ARE FIXED ACCORDING
TO PREVIOUS ANALYSIS AND GEOMETRIC CONSTRAINTS

Symbol	Parameter name	Values
<i>a</i>	Shaft width	3.5, 4 (mm)
<i>d</i>	Rotor diameter	6.8 (mm)
<i>g</i>	Stator width	8 (mm)
<i>h</i>	Head width	8.8 (mm)
<i>l</i>	Stator length	10, 15, 20, 25 (mm)
<i>s</i>	Shoe span	40, 45 (deg)
<i>w</i>	Leg width	0.8, 1, 1.2, 1.4 (mm)
<i>not shown</i>	Machine depth (active length)	7.4 (mm)

thô , và kết quả của việc phân tích trong [7] được đưa vào bảng tính trong khi thiết lập phạm vi tham số (đường kính rotor được gắn cố định với giá trị lớn nhất có thể, sắt che chắn không phải là tham số để đảm bảo đủ che chắn và nhíp giày không được giảm xuống dưới một mức nhất định để duy trì một mô-men xoắn ổ mìn) . Tuy nhiên , sau khi kiểm tra các thủ tục thiết kế , đó là mục đích chính của bài báo này, bước khả quan hơn của rời rạc có thể được áp dụng cho một phạm vi rộng hơn các thông số để cải thiện thiết kế.

Hai mô phỏng phần tử hữu hạn được thực hiện cho mỗi máy trong phạm vi tham số , một đánh giá hiệu quả của chúng trong tốc độ thấp và một ở điểm hoạt động tốc độ cao như trong hình . 4 . Đầu tiên, một hình dạng máy được

tạo ra bằng cách chọn các thông số hình học từ các thiết lập thông số rời rạc. Sau đó, tùy thuộc vào dạng máy, tổng diện tích tổng của cuộn dây được tính toán. Giả sử một hệ số làm đầy đồng là 0,3, mật độ dòng cao điểm được tính theo giá trị tổn hao đồng cho ở mục III -A2. Ba pha, 120^0 lệch pha của 3 pha dòng hình sin được cấp vào cuộn dây. Cuối cùng, mô hình FEM quá độ về thời gian được giải quyết trong một chu kỳ điện. Mô-men quay được tính theo nguyên lý ảo và ghi lại. Trong chương trình con mô phỏng không tải, các tính toán được lặp đi lặp lại khi cho dòng cuộn dây bằng 0 và tổn hao lõi thép máy điện stato ngang và đai thép cũng như tổn hao dòng điện xoáy trong các rotor được tính như mô tả trong Phần III -A1, Mục III - A3 và ghi

A. Mô hình tổn hao

1) tổn hao lõi Core: Các tổn hao lõi được tính bằng sử dụng phương pháp trình bày trong [12] bởi vì nó chấp nhận cả từ thông quay không hình sin để tính, và nó chỉ cần các hệ số tổn thất tiêu chuẩn, thường được cung cấp bởi các nhà sản xuất.

2) tổn hao đồng : tổn hao đồng ở tần số cơ bản có giá trị đáng kể ở tốc độ thấp như đã giả thiết và nó chỉ cần hệ số tổn hao chuẩn được cung cấp bởi nhà sản xuất. Với tốc độ định mức khoảng 200 000 r / min, tần số dòng điện truyền động là 6,66 kHz. Ở những tần số này và sử dụng dây dẫn đồng mỏng đối với độ sâu lớp bề mặt, hiệu ứng bề mặt và thiệt hại gây ra bởi từ trường lạc có thể được bỏ qua và tổng tổn hao đồng được sử dụng tính toán (1), trong đó nơi J_{pis} mật độ xung dòng trong cuộn dây, σ_{Cu} là độ dẫn của đồng và k_f là hệ số lấp đầy đồng là yếu tố đồng điện Aw đại diện cho mặt cắt ngang cuộn dây (ví dụ, khu vực của một trong hai hình chữ nhật liền kề giữa hai chân stator trong hình . 3) và lw đại diện cho chiều dài cuộn dây (tức là, tổng chiều dài của cuộn dây xung quanh một chân stator). Cả hai Aw và lw phụ thuộc vào các thông số được đưa ra trong Bảng I, và chúng được tính riêng cho mỗi bộ thông số độc lập

$$P_{Cu} = \frac{3 \cdot J_p^2 \cdot A_w \cdot l_w}{2 \cdot k_f \cdot \sigma_{Cu}} \quad (1)$$

3) **Tổn hao Rotor** : Sóng hài không gian và Thời gian của từ trường ở khe hở không khí cảm ứng dòng điện xoáy trong các vật cứng dẫn điện và trong rotor máy điện. Để phân tích những dòng điện xoáy chính xác, một mô hình 3-D là cần thiết, vì vấn đề dòng xoáy là một vấn đề 3-D bởi bản chất của nó. Tuy nhiên, 3-D mô phỏng FEM đòi hỏi nhiều thời gian tính toán hơn mô phỏng 2-D. Vì lý do đó đã có những nỗ lực để ước tính tổn thất dòng xoáy chỉ sử dụng mô phỏng, 2-D như trong [13]. Phương pháp này phụ thuộc vào các giả định về mật độ từ trường đồng nhất trên vật thể nam châm, và điều chỉnh điện trở của nam châm vĩnh cửu theo kích thước của chúng. Phương pháp này được đề xuất cho các nam châm vĩnh cửu hình chữ nhật. Trong bài báo này, khi dòng được bỏ qua tại các điểm hoạt động tốc độ cao, chỉ tính dòng xoáy không tải trong rô to. Vì rằng Những dòng xoáy được cảm ứng trong không gian thẳm từ không đồng nhất. Một giải pháp trường 2-D được sử dụng để tính toán dòng điện xoáy, bỏ qua điện trở của nam châm vĩnh cửu. Bằng cách này, việc tính toán được đơn giản; Hơn nữa, các dòng điện xoáy tính dự kiến sẽ lớn hơn so với dòng điện xoáy thực sự là ngưỡng kháng cự cuối đang bị bỏ qua. Đây được coi là một yếu tố an toàn bổ sung liên quan đến những vấn đề nhiệt, như làm mát ở các rotor kém và quá nóng có thể khử từ các nam châm vĩnh cửu. Đối với một dây dẫn rắn dòng điện tổng I được cho trước và phân mềm tính toán với một nguồn dòng, chưa biết J_s theo (2), trong đó A_c là chiều rộng của mặt cắt ngang của dây dẫn, J_t là tổng mật độ dòng và A_{is} vector từ thế.

$$\iint_{A_c} \left(-\sigma \frac{dA}{dt} + dAc \right) = \iint_{A_c} J_t dAc = I_t \quad (2)$$

Để đánh giá dòng điện xoáy cảm ứng trong rô to, (2) được giải với điều kiện

phụ $I_t = 0$ trong các vật dẫn của rotor. Cuối cùng tổn hao dòng điện xoáy tính toán khi sử dụng (3) trong đó where P_{eddy} là tổn hao dòng xoáy trong một vật dẫn mà độ dẫn của nó là σ và thể tích là V .

$$P_{\text{eddy}} = \frac{1}{\sigma} \int J_i^2 dV \quad (3)$$

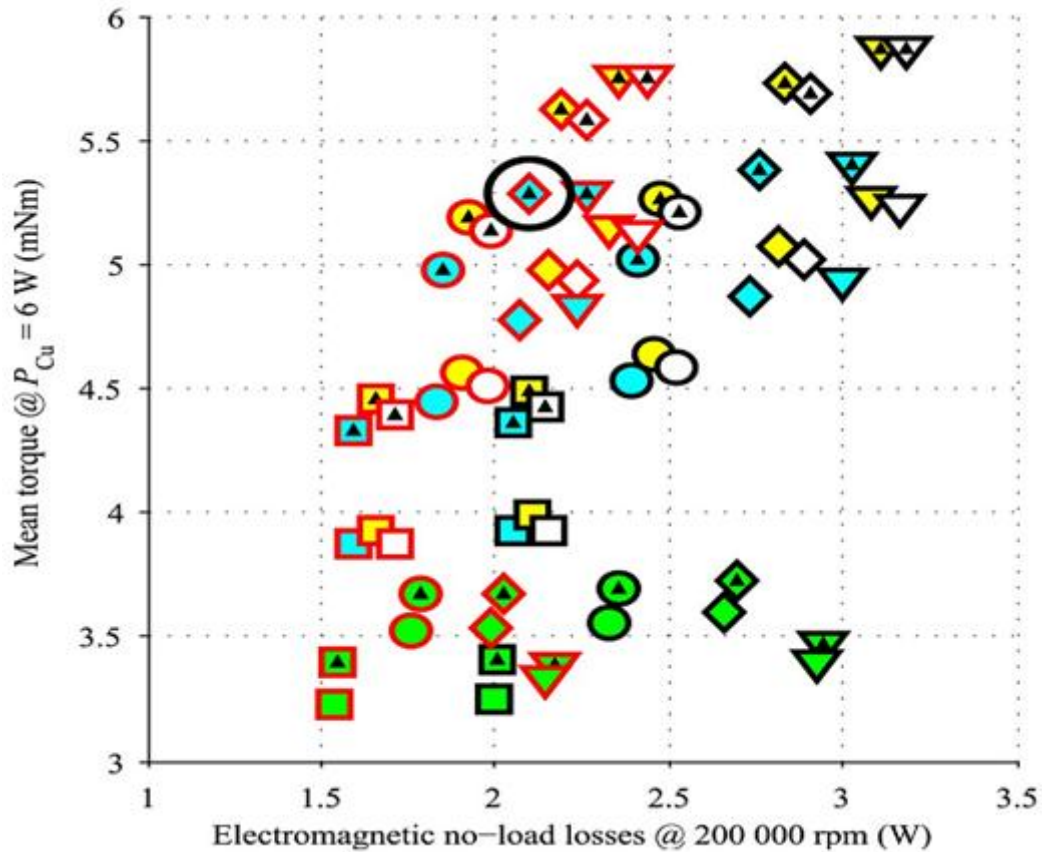
4) Tổn hao ổ đỡ và tổn hao ma sát không khí : tổn thất ma sát không khí được tính theo [11] như

$$P_{\text{air}} = c_f \cdot \pi \cdot \rho_{\text{air}} \cdot \omega^3 \cdot r^4 \cdot z \quad (4)$$

Trong đó ρ_{air} là mật độ không khí, ω là tốc độ góc, r là bán kính và z là độ dài của rotor và xem là hệ số ma sát. Khi đường kính rotor, khe hở không khí và chiều dài trục của rotor đều là hằng số trong công trình này, những tổn thất ma sát không khí cho tất cả các máy trong không gian tham số được coi là 0,3 W 200 000 r / min. Tổn thất ổ đỡ bị bỏ qua ở giai đoạn ban đầu khi độ dẫn nhiệt từ các ổ đỡ truyền cho phần kim loại của máy là cao thì tổn hao ổ đỡ được xem xét để cho không vượt quá nhiệt trong các cuộn dây hay nam châm của động cơ.

B. Kết quả mô phỏng

Trong hình . 5 là, kết quả của các mô phỏng được hiển thị. Trục x cho tổn thất điện không tải ở tốc độ định mức 200 000 r / min. Khi những tổn thất ma sát không khí bằng cho tất cả máy trong không gian thiết kế, nó bị loại ra khỏi biểu đồ này để đánh giá hiệu quả của từng tham số về các hành vi điện từ của máy được rõ ràng. Một quan sát cẩn thận hình vẽ này cung cấp cho cái nhìn sâu sắc vào các tính chất điện từ của máy. Ví dụ, nó có thể được nhìn thấy rằng dưới một chiều dài stator nhất định, diện tích cuộn dây nhỏ, hạn chế mô-men quay

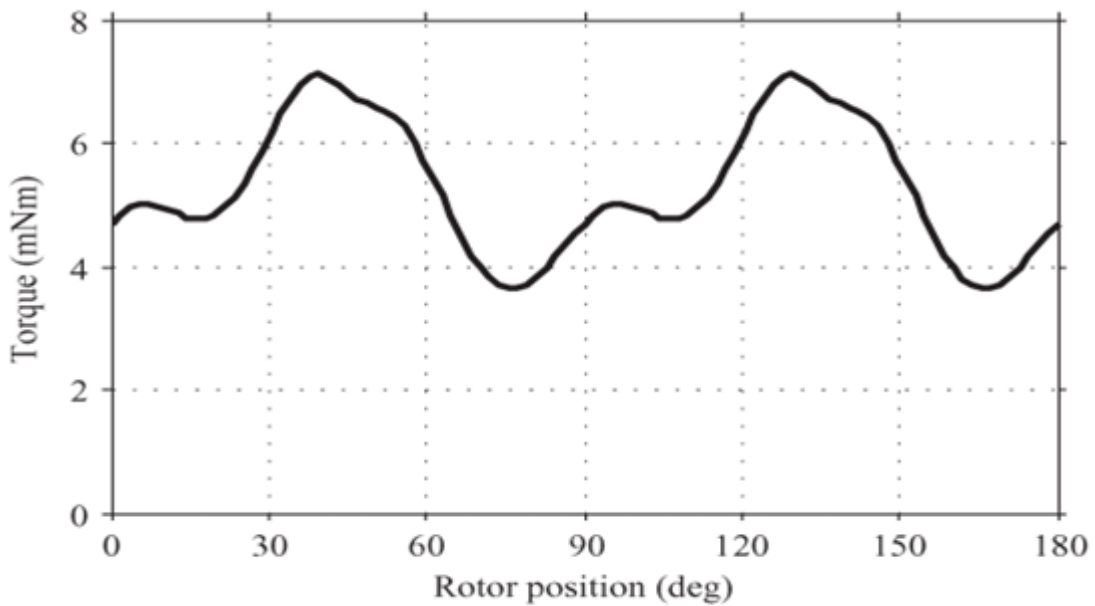


Hình 2.5. Kết quả của các mô phỏng

Tuy nhiên, sau một độ dài stator nhất định, một stator dài hơn không cần phải có mô men trung bình lớn điều đó có nghĩa là nghĩa là một mô-men quay cao hơn. Điều này là do sự tăng từ thông tản khi tăng độ dài stator. Trong không gian tham số phân tích ở đây, việc tăng chiều rộng của chân stator dẫn đến mô-men quay cao hơn và cũng tổn thất không tải cao hơn. Những kết quả xác định từ thông tản và độ bão hòa của hai chân như hai yếu tố hạn chế chính của mô-men quay. Hơn nữa, giảm khoảng dày trong mọi trường hợp dẫn đến tăng mô-men quay ở cùng tổn thất không tải, do giảm từ thông tản

Từ các máy tạo ra ít tổn thất không tải nhỏ hơn giới hạn không tải 2,4 W (có nghĩa là 2.1 W điện tổn thất không tải như những tổn thất ma sát không khí là 0,3 W cho tất cả các máy), là với giá trị trung bình cao nhất mô-men xoắn ở 6 W được chọn. Theo mô phỏng, máy lựa chọn có tổn hao rotor 1,67 W, 0,42 W tổn thất lõi và 0,3 W tổn thất ma sát không khí. Khi truyền động

với dòng hình sin kết quả trong 6 W tần suất đồng, nó tạo ra mô-men quay có dạng như hình . 6 .



Hình 2.6 Đặc tính momen của máy điện khi truyền động với dòng hình sin

Dòng hình sin đối xứng 3 pha tạo ra mô men có độ gợn sóng lớn do stator có rãnh và bão hòa từ. [7] trình bày một dạng dòng điện để giảm độ gợn sóng của mô men của một LSM khi phải trả giá chút ít về tăng tổn hao đồng.

Hình 5 . là kết quả của các mô phỏng . Màu đánh dấu biên giới biểu thị độ rộng trục a (đỏ 3,5 mm , màu đen 4 mm) , hình vẽ ký hiệu độ rộng của chân biểu thị độ dài 1 stator (màu xanh lá cây 10 mm, màu lục lam 15 mm, 20 mm màu vàng , màu trắng 25 mm) , là bất hình dạng đánh dấu chiều rộng chân w (0,8 mm vuông , hình tròn 1 mm, kim cương 1,2 mm , hình tam giác 1,4 mm) và nhíp giày s được ký hiệu là có hay không có một hình tam giác màu đen ở trung tâm của các điểm đánh dấu (tam giác 40 ° . , không tam giác 45 ° .) . Giới hạn mật không tải là 2,1 W và máy lựa chọn được đánh dấu bằng một vòng tròn. Stator của máy này có thể được nhìn thấy trong hình . 11 (b)

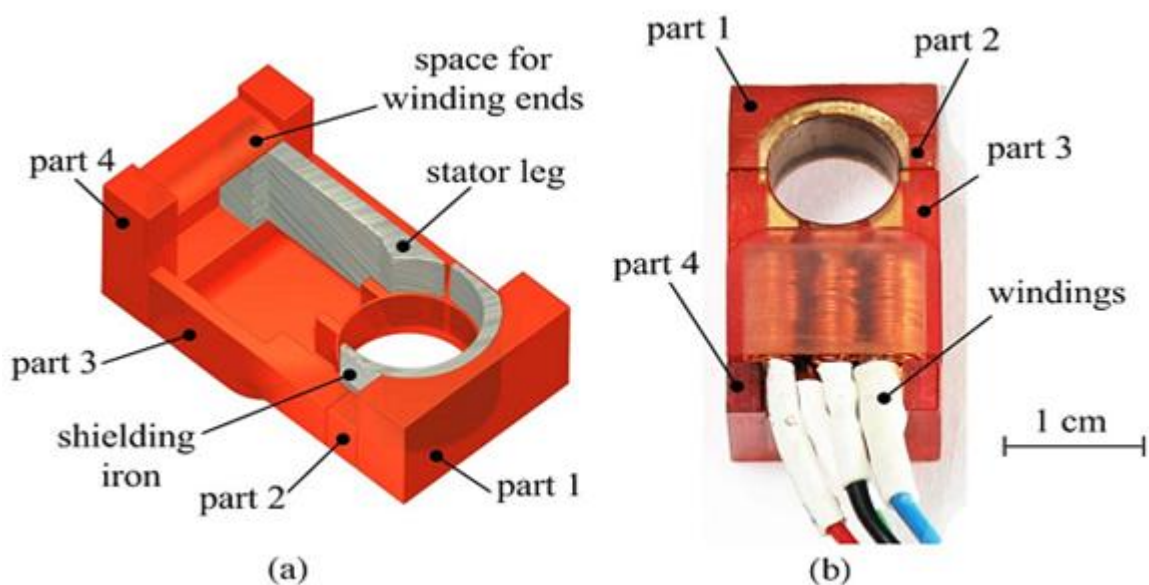
2.4 THIẾT KẾ BÀN THỬ NGHIỆM

Sau khi máy được nhận dạng tốt nhất bởi các mô phỏng đầy đủ trên phạm vi xác định tham số được xây dựng, một bàn ghế thử nghiệm được thiết kế để đánh giá mô-men quay khi dừng và không tải và tổn hao của nó ở 200 000 r / min, để xác minh các mô phỏng FEM. Nhiệm vụ đầu tiên của bàn thử nghiệm này là để xác định vị trí các thành phần tích cực của LSM (rotor, stator, che chắn sắt vv) một cách chính xác đối với nhau với, nói cách khác, để giữ các vị trí tích cực trong vị trí hoạt động của mình Điều này đạt được bởi các trường hợp máy bao gồm một buồng nhựa và vỏ bọc ở xung quanh nó. stereolithography technique

Hình 7 . (a) Sự minh họa buồng chất dẻo và các bộ phận stator . để đơn giản chỉ biểu diễn một nửa của phần 3, chỉ có một chân stator và cuộn dây được hiển thị. (b) Ảnh buồng nhựa với máy stator ngang bên trong . Sắt che chắn và chân stator nằm ngang cũng như các cuộn dây có thể nhìn thấy qua buồng chất dẻo . Buồng chất dẻo đã được cách điện để đảm bảo rằng không có thêm tổn hao dòng xoáy xảy ra do từ thông rotor hoặc từ thông tản giữa những stator để . Nó cũng cần được làm bằng vật liệu phi từ tính để duy trì khe hở không khí của thiết kế. Hơn nữa, nó phải được gia công bằng máy chính xác để có thể xác định vị trí các bộ phận hoạt động một cách chính xác đối với nhau với . Cuối cùng, nó phải có đặc tính cơ đủ mạnh để chịu được các lực tác dụng lên các cánh quạt và các bộ phận stator . Thực hiện đầy đủ các yêu cầu này, buồng chất dẻo là 3-D in bằng kỹ thuật chụp ảnh lập thể

Buồng chất dẻo gồm bốn phần, giúp các vị trí của stator bên và sắt che chắn . Trong Hình 7 (a), một buồng nhựa được hiển thị. Để nhìn tốt hơn, chỉ nhìn được một nửa mặt cắt của phần 3 và phần 2 của buồng chất dẻo và chỉ có một chân của stator ngang được hiển thị và các cuộn dây bị bỏ qua. Có thể thấy rằng phần 3 của buồng chất dẻo được sử dụng cho việc sắp xếp các chân stator đối với nhau . Sắt che chắn được sắp xếp tương ứng với các chân stator ở phần 2 . Khe hở không khí, được hình thành bởi những mặt tròn của phần 3 và phần 2 không thay đổi khi phần 1, phần 4 và phần sắt được đưa ra .

Điều này cho phép tách tôn thất không tải (xem Phần IV-B) .Phần cuối cuộn dây được đưa ra thông qua các không gian trống trên phần 4 [8] . Hình ảnh của buồng chất dẻo cũng như các bộ phận máy stator ngang có thể thấy trong hình 7 (b) . Để nhôm xung quanh vị trí buồng chất dẻo (và do đó stator ngang và sắt bao bọc) ứng với rotor . Các bộ phận bằng nhôm được thiết kế theo một cách sao cho buồng chất dẻo dễ lấy ra và đặt vào vị trí cũ một cách chính xác mà không cần tháo các vòng bi [8] . LSM , buồng chất dẻo và đế nhôm xung quanh có thể nhìn thấy trong hình 8 .



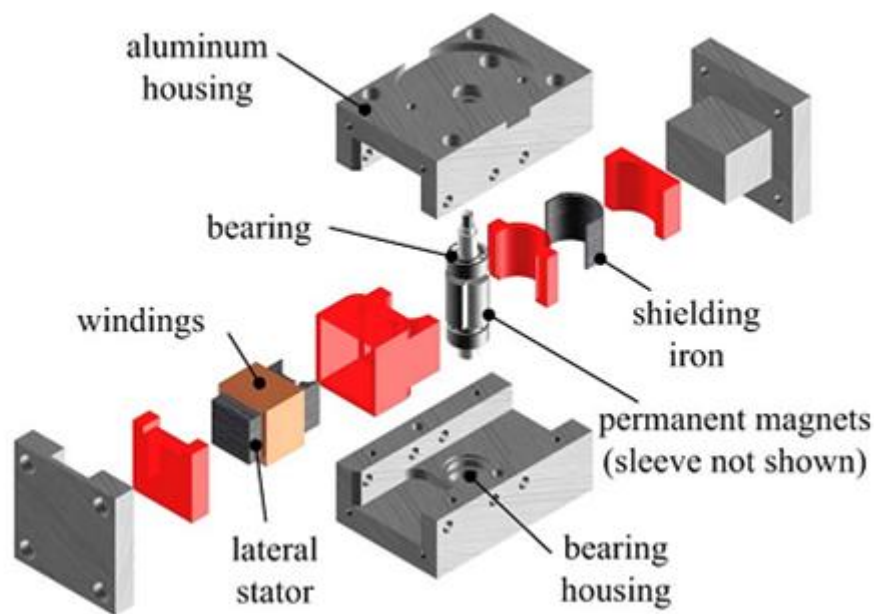
Hình 2.7.(a) Một buồng nhựa được hiển thị, (b) buồng chất dẻo cũng như các bộ phận máy stator ngang

A. Đo Mô-men quay tĩnh

Mô-men quay tức thời của máy PM phụ thuộc vào vị trí rotor và dòng stator như cho bởi (5), ở đây T_{em} là mô-men quay i_1, i_2, i_3 là ba giai đoạn dòng stator còn φ là vị trí góc của rotor . [7] một đặc tính của chức năng này được hiển thị cho dòng 3 pha hình sin và một vị trí rotor của LSM (với vòng cung hình nam châm) . Thiết lập đo mô-men quay tĩnh được mô tả ở đây để đo chức năng này tại các vị trí tĩnh bằng cách đo mô-men quay phản ứng stator trên cấu trúc không ổ đỡ.

$$T_{em} = f(i_1, i_2, i_3, \phi). \quad (5)$$

Đo mô-men quay tĩnh được thể hiện trong hình .9 khi sử dụng một giản đồ. Trong cách đo này rotor được gắn cố định vào mặt đất khi sử dụng một thiết bị quay vị trí, mà với thiết bị này vị trí góc φ của rotor có thể được điều chỉnh và cố định. Các bộ phận tích cực của stator (stator ngang, che chắn sắt và cuộn dây) được hỗ trợ với nhau bởi buồng chất dẻo và khung nhôm được gắn cố định với tấm



Hình 2.8. LSM, buồng nhựa và khung nhôm

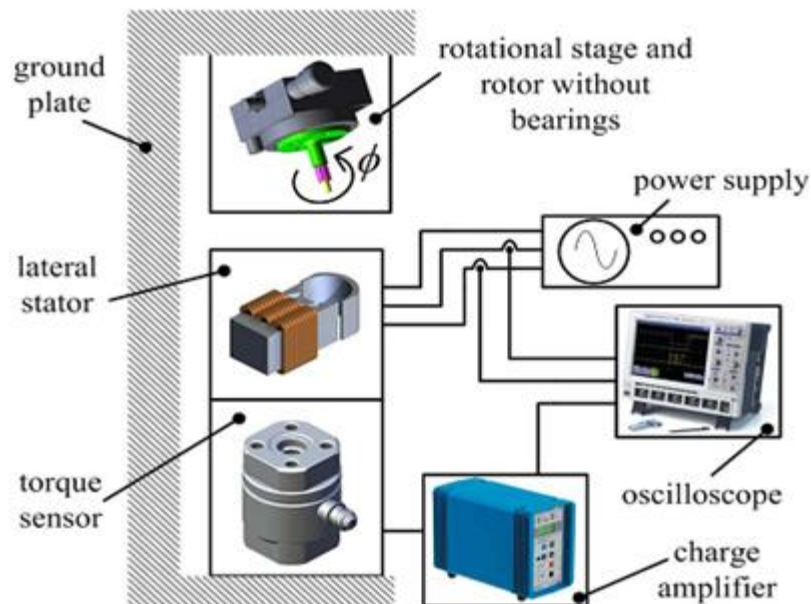
phẳng trên mặt đất thông qua bộ chuyển đổi mô-men quay áp điện. Bộ chuyển mô-men quay được kết nối với một máy hiện sóng thông qua một bộ khuếch đại. Một khi các bộ phận giữ rotor và stator được định vị sao cho rotor được định tâm tại lỗ khoan stator ở nó sẽ trong quá trình hoạt động bình thường với vòng bi được lắp đặt - thì phản ứng của mô-men quay stator được ghi lại cùng với dòng stator tức thời cho mỗi vị trí rotor [8] . Sử dụng dữ liệu này, các hàm mô-men quay trong (5) có thể được tái tạo.

Ưu điểm của cấu hình này là có khả năng đo trực tiếp mô-men quay trên cấu

trúc không ổ đỡ , loại bỏ bất kỳ nhiễu nào gây ra bởi các vòng bi. Tuy nhiên , không giống như dụng cụ đo điện quen thuộc , hiện tượng tích lũy xảy ra khi làm việc với các thiết bị áp điện và vì vậy phép đo tĩnh không bị giới hạn thời gian về cơ bản là không thể. Vì lý do đó , thiết lập này không thể đo lường dao động của mô-men quay của LSM , cũng như vị trí rotor được cố định trong các phép đo . Điện áp cung cấp cho các cuộn dây máy trong trường hợp này hoàn toàn là điện áp sin do vậy ảnh hưởng của đóng mở chuyển đổi đối với mô men quay không đánh giá thể trực tiếp . Tuy nhiên , mô phỏng FEM có thể được kiểm tra cho điều kiện tải trọng khác nhau với độ chính xác đo cao , đó là mục tiêu chính trong bài báo này.

B.Đo lường tổn hao không tải

Những tổn hao không tải trong một máy điện là tổn hao tổn hao cơ khí (tổn hao ke hở, tổn hao ổ bi, tổn hao ma sát) còn tổn hao điện từ là toonbr hao do dòng xoáy , tổn hao lõi stator và tổn hao do bỏ qua từ thông tản trong cuộn dây) . Khi sử



Hình 2.9. Thiết lập đo lường tốc độ cao được giải thích với sơ đồ khối dụng các thiết lập đo lường tổn hao không tải được mô tả trong phần này, thì những tổn hao này có thể được đo và tách biệt . Trong [2] , mô-men quay của

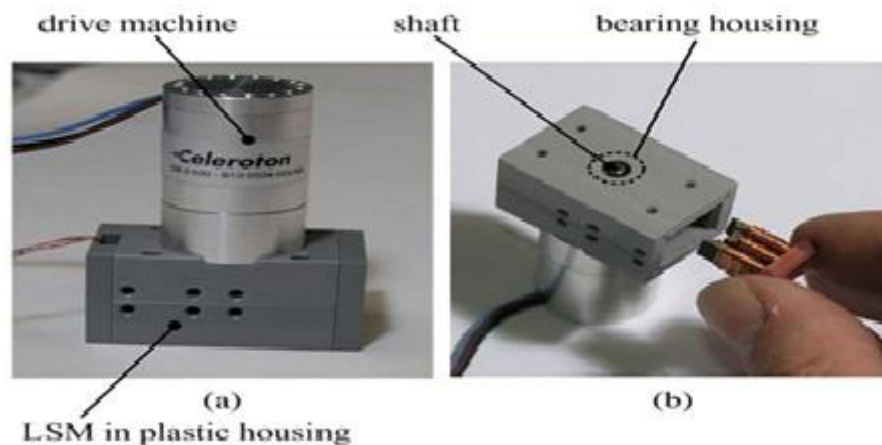
một máy điện được tính bằng cách tăng tốc độ máy tính và ghi lại vị trí góc theo (6), trong đó T_m là moment quay tổng đặt trên trục, J_m là quán tính của rotor, ω là tốc độ góc của rotor và t là thời gian

$$T_m = J_m \frac{d\omega}{dt} \quad (6)$$

Tương tự như vậy, nếu máy đầu tiên được tăng tốc đến một tốc độ nhất định và sau đó nguồn điện bị cắt, mô-men hãm gây ra bởi những tổn thất không tải có thể được tính bằng cách sử dụng quán tính và giảm tốc độ của máy. Sử dụng thử nghiệm giảm tốc độ này, tổng số tổn hao không tải trong một máy có thể được đo như là một hàm của tốc độ. Tuy nhiên, các thành phần khác nhau của tổng số tổn hao không tải không thể tách ra [8]. Trong [14], một phương pháp khác được đề xuất để đo tổn hao của một máy nam châm vĩnh cửu. Một rotor giả, trong đó có kích thước giống như các rotor ban đầu được xây dựng, nhưng với nam châm vĩnh cửu không được kích từ. Sử dụng rotor giả này, tổn thất điện và tổn thất ma sát cơ khí được tách ra. Tuy nhiên, tổn thất ma sát ổ bi phụ thuộc chặt vào tải sơ bộ, sự thay đổi của nó là khó tránh khỏi trong khi lắp ráp bàn thử nghiệm hoặc ghép nối máy được thử nghiệm với máy truyền động. Điều này mang lại một sự không chắc chắn trong cấu trúc của tổn hao ổ bi vào tổng tổn hao không tải. Khi nghiên cứu máy làm việc tốc độ cao năng lượng thấp, sự không chắc chắn này không thể bỏ qua

Để tách các tổn hao điện từ tổng tổn hao không tải, một phương pháp khác được đề xuất trong [8]. Phương pháp này bao gồm chạy thử nghiệm giảm tốc có và không có stator. Trong hình 10, thiết lập đo lường tốc độ cao được giải thích với sơ đồ khối. Một máy điện siêu cao tốc thương mại từ Celeroton, CM -2- 500, được sử dụng như một máy truyền động để tăng tốc độ máy stator ngang với một tốc độ mong muốn. Sau đó, nguồn điện bị cắt, và sức phản điện động (EMF) của máy truyền động được ghi với một máy hiện sóng khi giảm tốc. Tốc độ được tính toán bằng cách sử dụng sức phản điện động

EMF . Với tốc độ và quán tính đã biết , tổng số tổn hao không tải của máy và truyền động máy stator ngang có thể được tính toán. Sau khi chạy thử nghiệm giảm tốc độ trên hệ thống này, để của bàn thử nghiệm được tháo ra ở cả hai bên để lấy stator và che chắn sắt ra . Khi các vòng bi không tháo rời , tải sơ bộ và do đó tổn hao ma sát của các vòng bi không thay đổi. Buồng chất dẻo đảm bảo rằng kích thước khoảng cách không khí vẫn như nhau do đó thiệt hại gió phát ra cũng là như nhau trong các thiết lập có và không có tato Vỏ bằng nhôm của các máy lồng được thay thế bằng vỏ nhựa có kích thước tương tự để tránh thêm bất kỳ tổn hao dòng xoáy nào khác khi stator và sắt che chắn được lấy đi . Một thử nghiệm giảm tốc vào thiết lập này cho phép tính tổng tổn hao không tải của máy cộng với chỉ tổn hao cơ khí của máy stator ngang. Theo đó, tổn hao điện từ của máy stator ngang có thể được trích xuất. Hơn nữa, tổn hao gần đúng có thể bằng một phương pháp tương tự , khi chạy thử nghiệm giảm tốc có và không có các cuộn dây xung quanh stato . Trong hình . 11 , là ảnh của các thiết lập



Hình 2.11. (a) động cơ truyền động và LSM trong buồng chất dẻo. (b) stator và shieding iron trong LSM

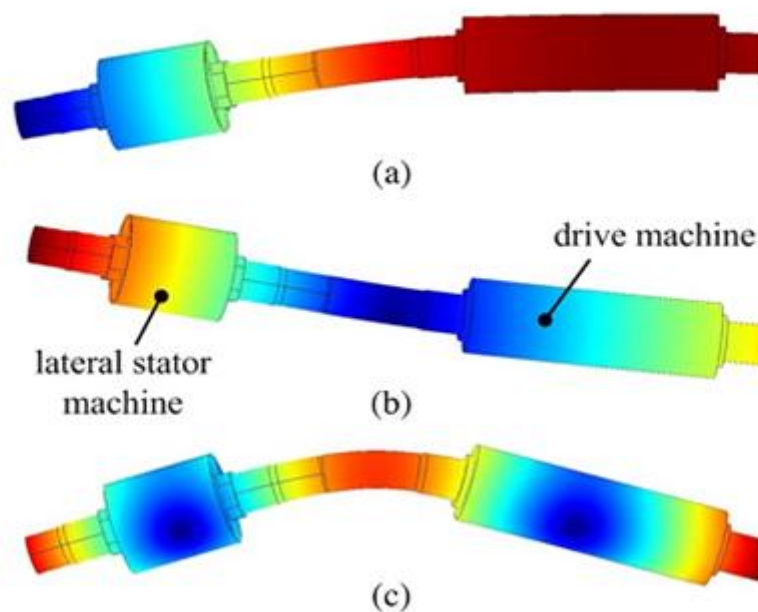
đo lường tổn hao tốc độ cao được thể hiện [8] . Trong máy điện , tốc độ giới hạn của rô to có thể là một hệ số giới hạn tốc độ tối đa đạt được . Do đó, động lực rotor của bàn thử nghiệm được phân tích bằng cách sử dụng một mô hình

FEM 3-D. Tốc độ quan trọng của việc thiết lập đo lường mất tốc độ cao được thể hiện trong hình .. 12 Có thể thấy rằng điểm uốn cong đầu tiên là giới hạn tốc độ vượt ra khỏi phạm vi tốc độ bình thường của bàn thí nghiệm bị kiểm tra (200 000 r / min) ; Tuy nhiên , hai điểm cứng đầu tiên xảy ra dưới tốc độ định mức của bàn thử nghiệm chất dẻo được sử dụng với vòng bi tốc độ cao để hạn chế ảnh hưởng của rung động kích thích ở những tốc độ rất quan trọng. O -ring cũng làm cho việc xây dựng ít nhạy cảm với độ sai lệch trong khi nối máy truyền động vào máy kiểm tra

2.5. KẾT QUẢ ĐO

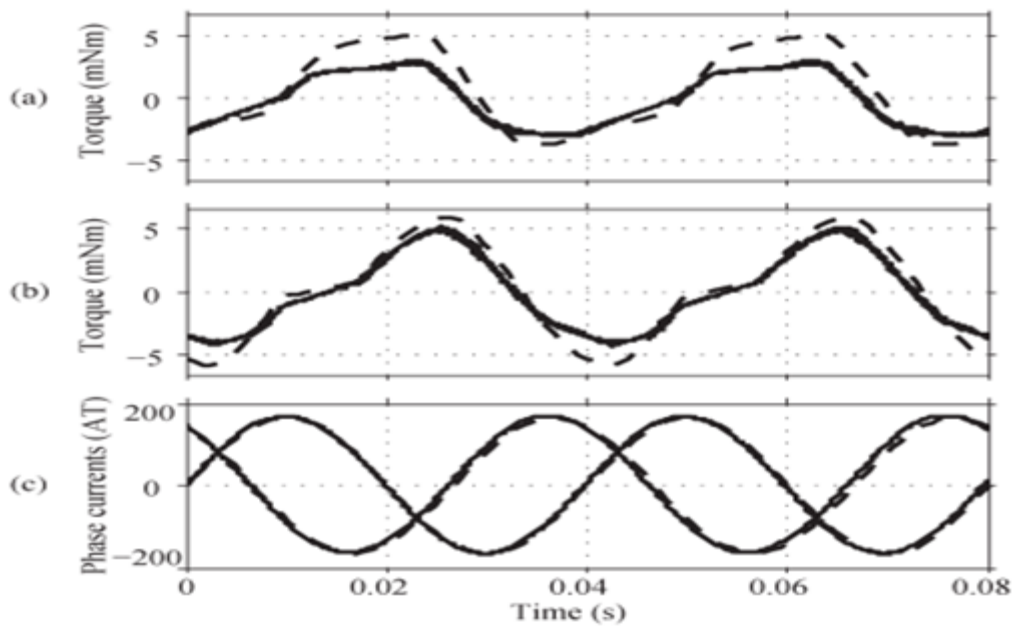
A. đo momen quay tĩnh

Để xây dựng thí nghiệm đo mô-men quay tĩnh , các rotor được cố định ở góc độ khác nhau dòng 3 pha hình sin được cấp vào các cuộn dây . Mô-men quay được ghi lại cùng với các dòng . Vì 3 pha nối sao được xây dựng ta nghiên cứu trường hợp không có điểm nối sao, chỉ có hai pha dòng điện được đo . Hình 13 cho thấy các kết quả của phép đo này và mô phỏng FEM 2-D , cho toàn tải và hai vị trí rotor khác nhau.



Hình 2.12. Điểm uốn cong đầu tiên là giới hạn tốc độ vượt ra khỏi phạm vi

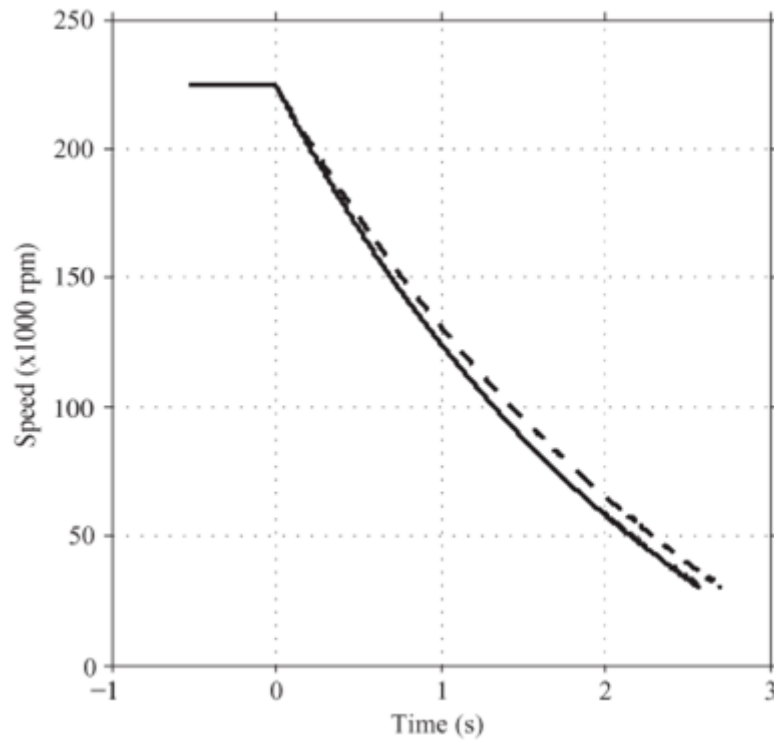
tốc độ bình thường của bàn thí nghiệm bị kiểm tra (200 000 r / min)



Hình 2.13. Các kết quả của phép đo này và mô phỏng FEM 2-D , cho toàn tải và hai vị trí rotor khác nhau

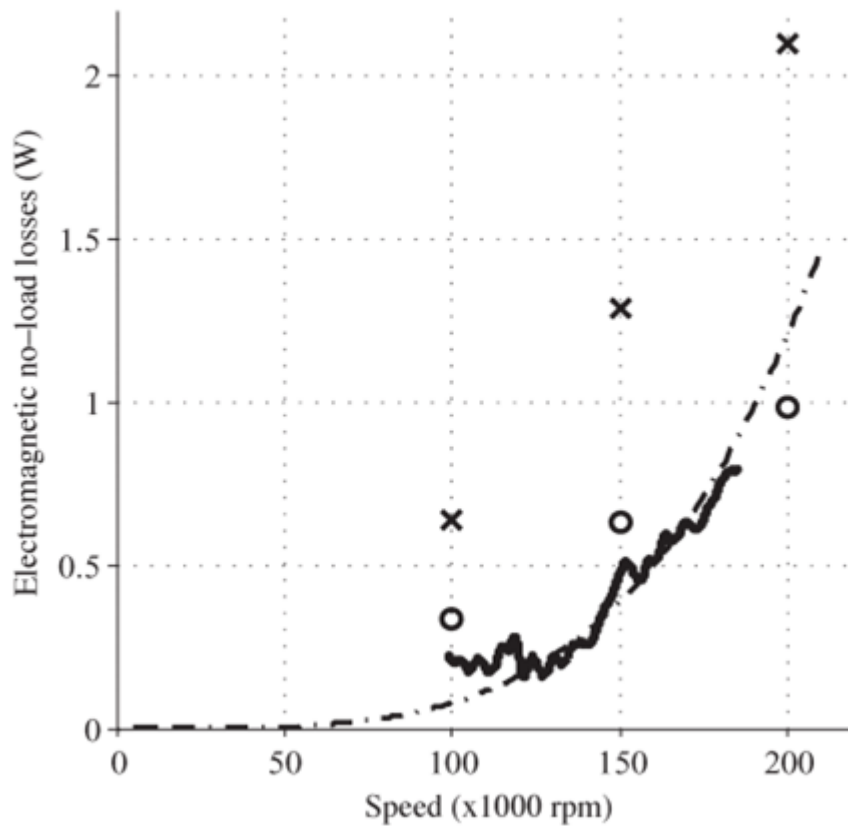
B. Phép đo tổn hao không tải

Để đo lường những tổn thất không tải , hai thực nghiệm giảm tốc được thực hiện , một có và một không có các bộ phận tích cực của LSM . Tốc độ ban đầu trong các thử nghiệm được xác định là 225 000 r / min , cao hơn so với yêu cầu tốc độ tối đa . Lý do là để có kết quả đo trên một phạm vi rộng hơn, khi xem xét một số dữ liệu tổn hao do lợc và làm mịn ở giai đoạn sau chế tạo. Sức phản điện động EMF của máy truyền động được đo trên hai thiết bị đầu cuối của nó và ghi lại khi giảm tốc . Một đường cong hình sin đang giảm là phù hợp cho các số liệu và tần số được và do đó nhận được tốc độ. Dạng tốc độ trong hai thí nghiệm giảm tốc được vẽ trong hình . 14. Các tổn hao cho các thử nghiệm giảm tốc được tính toán bằng cách sử



Hình 2.14. Dạng tốc độ trong hai thí nghiệm giảm tốc

dụng dạng tốc độ đã được tính toán và (6). Sự khác biệt cho những tổn thất điện không tải của LSM, được thể hiện trong hình 15. Có thể thấy trên cùng một hình vẽ kết quả mô phỏng FEM 2-D gây tổn hao không tải cao hơn nhiều so với kết quả đo lường. Để nghiên cứu sự khác biệt này thêm, một mô hình 3-D của máy thử nghiệm được xây dựng và mô phỏng cho ba tốc độ khác nhau. Kết quả từ các mô hình 3-D thống nhất với các số liệu đo tốt hơn. Điều này xác nhận cách tiếp cận của việc sử dụng mô hình 2-D và xem xét tính toán tổn hao nhiều hơn như một

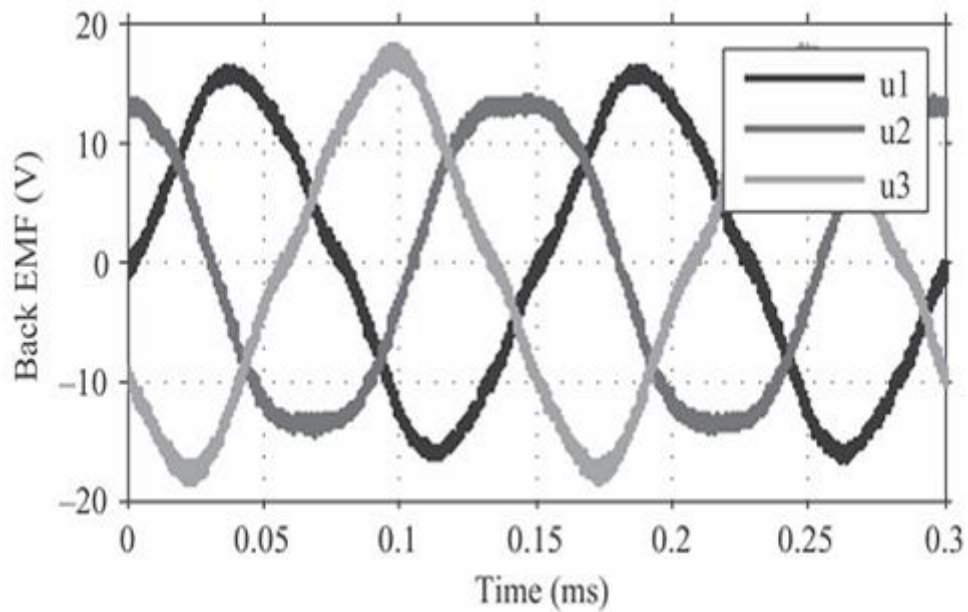


Hình 2.15. Hình vẽ kết quả mô phỏng FEM 2-D gây tổn hao không tải cao hơn nhiều so với kết quả đo lường, Kết quả từ các mô hình 3-D

hệ tổ an toàn bổ sung. Tuy nhiên, vì sự khác biệt đo lường là khá cao, các phương pháp như được mô tả trong [13] sẽ được xem xét trong công việc tương lai để có được kết quả chính xác hơn từ các mô hình 2-D.

Sức phản điện động ở EMF 200 000 r / min của LSM được hiển thị trong hình 16. Các thuộc tính bất đối xứng của LSM có thể thấy một lần nữa khi EMF của pha giữa khác so với hai pha bên ngoài. Cho mẫu thử nghiệm này số lượng cuộn dây stato lần lượt là 33, dẫn đến độ cảm ứng pha là $27\mu\text{H}$ cho các pha bên ngoài và $36\mu\text{H}$ cho pha giữa. Điện trở pha là 0.3Ω . Trong các mẫu thử nghiệm đầu tiên hệ số lấp đầy đồng k_f thấp hơn so với giá trị giả định $k_f = 0.3$ do các cuộn dây quấn tay bị hỏng, kết quả là điện trở của stator cao hơn. Tuy nhiên, máy nguyên mẫu này có thể được sử dụng mà không có bất kỳ

vấn đề gì cần kiểm tra cho quá trình thiết kế.



Hình 2.16. Sức phản điện động ở EMF 200 000 r / min của LSM

2.5 KẾT LUẬN

Trong các ứng dụng khoan và gia công với phạm vi tốc độ và mô-men xoắn rộng, nơi không gian đầu của công cụ bị hạn chế truyền động cơ khí nên tránh, công nghệ hiện đại tốc độ cao động cơ nam châm vĩnh cửu không thể cung cấp mô-men xoắn yêu cầu ở mức thấp tốc độ. Do đó, một khái niệm động cơ mới phù hợp cho phần đầu của công cụ này bằng cách mở rộng stator sang một bên được mô tả trong bài báo này. Do hình học phức tạp của máy, mô hình FEM tham số được sử dụng, cho phép lựa chọn một máy lý tưởng liên quan đến đặc điểm mô-men xoắn và tổn hao. Một trục chính đã được lựa chọn như là một mục tiêu ứng dụng ví dụ, và các mô phỏng xác định máy lý tưởng mà có thể cung cấp 5,4 MNM mô-men xoắn ở tốc độ thấp và chỉ có 2,1 W tổn hao không tải 200 000 r / min Các LSM được gắn vào một bàn thử nghiệm dự bị có thiết kế được mô tả chi tiết. Sử dụng bàn thử nghiệm này, mô-men xoắn của máy có thể được đo mà không có ma sát mang; Do đó, việc phân tích FEM có thể được xác nhận trực tiếp. Trong một thiết lập thử

nghiệm sửa đổi, tổng số tổn hao không tải bao gồm các tổn hao điện và cơ khí của máy có thể được đo . Đo kiểm tra các thủ tục thiết kế máy. Công việc trong tương lai bao gồm sửa đổi các mô hình mất rotor 2-D như vậy mà họ chiếm hiệu ứng 3- D cho các tính toán tổn thất rotor chính xác hơn. Mô hình nhiệt hơn chi tiết và kiểm tra nhiệt độ tăng sẽ được sử dụng để xác minh các hạn mức lỗi giả định cho ứng dụng ví dụ được đưa ra . Kiểm tra tuổi thọ lâu dài sẽ được thực hiện để kiểm tra như thế nào vòng bi cư xử dưới các lực lượng không cân xứng tác động lên các rotor, đó là một tài sản nội tại của LSM .

CHƯƠNG 3.

ỨNG DỤNG MÁY ĐIỆN TỐC ĐỘ CAO: NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ VÀ NHỮNG THỎA HIỆP

3.1 KHÁI NIỆM

Trong thập kỷ qua, các ứng dụng được áp dụng điều khiển tốc độ cao (HS) ngày càng tăng, đặc biệt là các giải pháp điều khiển trực tiếp. Điều khiển trực tiếp, loại bỏ truyền động cơ khí, có nhiều lợi thế tiềm năng, ví dụ như giảm trọng lượng, tăng hiệu quả toàn bộ hệ thống, bảo trì, và giảm hỏng hóc. Trong tài liệu, một số bài báo giải quyết máy điện tốc độ cao với các ứng dụng khác nhau, với công suất định mức khác nhau, từ một vài watt cho dụng cụ cầm tay di động lên đến hàng trăm kW cho các nhà máy điện phân phối hoặc máy phát điện trên tàu và máy bay. Cho dù là những ứng dụng mà các máy điện tốc độ cao được chấp nhận, những máy điện này được đặc trưng bởi nhiều đòi hỏi có tính thách thức như mức độ nhỏ gọn và nhẹ.

Trong máy khoan cầm tay nha khoa và các công cụ phẫu thuật y tế, lợi thế chính của các máy điện HS đối với khía cạnh đối với công cụ khí nén thông thường liên quan đến độ chính xác sự thay đổi tốc độ của nó và điều khiển mô-men. Trong lĩnh vực này, tốc độ quay cao hơn cho hiệu suất cao hơn trong điều kiện của tốc độ cắt và giảm đường kính mũi khoan, cũng như một thiết kế gọn nhẹ hơn [1], [2]. Ngày nay, máy điện HS cũng được áp dụng rộng rãi trong các ứng dụng vận tải đường bộ có yêu cầu nhỏ gọn và nhẹ. Được báo cáo trong [2] và [3] là những đặc điểm chính của máy điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSM) 12 kW 120 000-r/min và một động cơ từ trở (SRM) 6,5 kW 14 000-r/min cho máy nén khí thùng nhiên liệu ô tô. Một số ví dụ về các turbo tăng áp ô tô và máy phụ trợ trong khoảng vài kW với tốc độ quay lên đến 200 000 r/min. Các đặc tính chi tiết của máy điện dị bộ (IM)

10 kW 75 000-r/min hỗ trợ turbo tăng áp được mô tả trong [4] . Đặc biệt, các tác giả dựa trên thiết kế của họ trong môi trường khác nhau để xem xét các khía cạnh về điện , cơ khí, và nhiệt để có được các tài liệu vận dụng gần với thực tiễn hơn với giới hạn nhiệt và cơ khí của họ

Để tăng cường tiết kiệm nhiên liệu , việc áp dụng điều khiển trực tiếp bánh đà tích trữ năng lượng bằng máy HS được đề xuất ; những ưu điểm và nhược điểm của những cấu trúc khác nhau được trình bày trong [5] ,khi nghiên cứu cầ kích từ theo trục và bán kính. Đối với mẫu thiết kế thử 25 kW 50 000-r/min, 2 stato kích từ theo trục đã được chọn vì những lý do cơ học. Một hệ thống động cơ / máy phát điện nam châm vĩnh cửu (PM) 3 kW 60 000-r/min có trang bị bánh đà được phát triển bởi NASA cho các ứng dụng hàng không vũ trụ được trình bày trong [6] . Nhẹ và rắn chắc trở nên quan trọng hơn của vận chuyển hàng không trong tương lai. Các máy HS khác nhau được đề xuất cho máy phát điện trên tàu ,ở đó PMSMs và SRMs là lựa chọn tốt nhất [7] - [9]; các PMSMs thể hiện mật độ năng lượng và hiệu quả cao nhất, trong khi SRM thể hiện cơ học và nhiệt cao hơn trong môi trường khắc nghiệt . Dải công suất cho ứng dụng này có thể lên đến 250-300 kW , với tốc độ quay thường trong khoảng 5000-30 000 r / min

Máy điện HS cũng được áp dụng cho máy bơm nhiệt, máy làm lạnh , quạt gió, và hệ thống điều hòa không khí ; một số ví dụ về động cơ dị bộ IMs và PMSMs cho máy nén ly tâm có thể tìm thấy trong [2] . Trong các ứng dụng này , công suất thường nằm trong khoảng vài hàng chục kW lên đến vài trăm kW và tốc độ trong khoảng 50-100 000 vòng / phút , ưu điểm của các máy điện dị bộ IMs là khả năng hoạt động mà không cần cảm biến [1] , [3] . Các đặc điểm thiết kế chính của PMSMs tốc độ cao cho các ứng dụng quạt / máy nén được báo cáo trong [4] và [5] , trong đó mô tả bề mặt lắp đặt PM 15 kW 120 000-r/min và giải pháp bên trong PM (IPM) 8 kW 40 000-r/min . Máy bơm phân tử cũng là một ứng dụng có nhu cầu tăng tốc độ cao(HS) một cách

liên tục. Một máy dị bộ (IM) 500 -W 31 800-r/min được trình bày trong [6], ở đó các tác giả đã thấy trong một tương lai gần ứng dụng này sẽ đạt được mục tiêu 100 000 r / min. Trong [7] , IM được thiết kế cho một bơm phân tử turbo 150 -W 75 000-r/min đạt hiệu suất cao hơn so với một động cơ kéo. Trong sản xuất điện , điều khiển trực tiếp tốc độ cao (HS) dự kiến cho các ứng dụng từ một vài watt lên đến hàng trăm kilowatt . Ví dụ, trong [8] , các tác giả tiến hành làm thí nghiệm trên mẫu thử PM 100 W 500 000-r/min để phát điện cho các thiết bị di động , trong khi đó [9] và [10] mô tả các đặc điểm của một cho máy IM phát điện phân phối có công suất 4,5 - kW 90 000-r/min và PMSM 100 kW 100 000-r/min

Trong các ứng dụng trực chính, HS(tốc độ cao) là cần thiết để loại bỏ những loại có thể tích lớn , đồng thời bảo đảm độ cứng , độ bền cơ học cao và giảm biến dạng cho cả hướng bán kính và hướng của trục [9] . Các trục chính về mặt lịch sử đóng vai trò tiên phong trong lĩnh vực điều khiển trực tiếp HS , và có một loạt các ví dụ , từ PMSM 5 kW 150 000-r/min cung cấp bởi một biến tần nguồn dòng [12] một máy IM 7,5 - kW 30 000-r/min [13] , [14] và SRM 100 -W 750 000-r/min cho máy cỡ nhỏ đã trình bày trong [15] . Trong tài liệu , việc phân loại các máy điện " HS " và " siêu HS " có chức năng của cả công suất định mức và tốc độ quay , và một số công thức để xác định một các đường đặc tính được trình bày trong [12] - [14] . Tốc độ quay tối đa được giới hạn bởi các tác động cơ học vào các bộ phận quay , cũng như các vấn đề về điện và nhiệt bắt nguồn từ việc tăng tần số.

Mặc dù điện tử công suất và vấn đề điều khiển là trọng tâm trong bài báo này, nó có thể được nhấn mạnh ngoài ra theo hướng nào đó máy điện tốc độ cao(HS) đã bị hạn chế phát triển trong một thời gian dài ; máy quay tốc độ cao hơn, cao hơn nữa là tần số cơ bản , và do đó tần số đóng ngắt của các thiết bị điện tử công suất . Ngoài ra, thời gian tính toán có thể là một lối thoát trong việc sở hữu , xây dựng , và tạo ra các tín hiệu cho chiến lược điều khiển

tần số cao ; Hơn nữa , phương pháp xác định khô dùng cảm biến vị trí rotor cần được nghiên cứu để tránh những hạn chế của việc sử dụng trục dài (tốc độ giới hạn thấp hơn) và độ tin cậy thấp hơn của truyền động [2] .

Tuy nhiên , trong những năm gần đây , sự phát triển không ngừng của nhiều loại linh kiện điện tử hiện đại và tiếp tục cải tiến giải thuật điều khiển đã góp phần làm tăng tốc độ giới hạn của máy điện. Bài viết này nhằm mục đích tổng kết các giải pháp liên quan đến máy điện tốc độ cao(HS) trong thực tế và được nêu trong các tài liệu kỹ thuật và có giá trị trong ứng dụng thương mại , khi đã nêu rõ những thách thức chính của chúng , đặc biệt là trong các ứng dụng trực chính. Cũng được biết rằng kích thước điện trong thiết kế máy điện không liên quan đến cơ học và nhiệt . Tuy nhiên , với tốc độ thông thường, một số thiết kế ban đầu có thể được chọn và sau đó được khi kiểm tra trong bước thứ hoàn toàn ngược lại ở HS nơi cơ học (và nhiệt) liên hệ chặt chẽ với nhau nên cần thiết phải giải quyết tất cả các vấn đề khác nhau cùng một lúc. Ví dụ, trong thiết kế máy tốc độ thông thường, tỷ lệ giữa đường kính rotor và chiều dài rotor bằng một trong thông số tự do lựa chọn của các nha thiết kế, trong khi đó ở HS , các vấn đề động lực học rotor buộc các nhà thiết kế nghiên cứu trong phạm vi hẹp . Bài viết này nhằm mục đích xác định công suất so với tốc độ, làm nổi bật những vấn đề thiết kế chính của máy điện HS

3.2 ỨNG DỤNG TRỰC ĐIỆN

Dải công suất và tốc độ giới hạn trong các ứng dụng trực chính biến đổi từ 9000 vòng / phút lên đến 180 000 r / min và công suất tương ứng từ 24 kW xuống 1 kW . Xu hướng đáp ứng công suất cho các ứng dụng mài ở tốc độ khác nhau được mô tả bằng sơ đồ trong Hình 1 . Tuy nhiên sự phát triển của công nghệ trong sự tiến hóa do những yêu cầu không thể tránh khỏi từ ngành công nghiệp cơ khí để tăng giới hạn tốc độ lên đến 300 000 r / min và cao hơn nữa cho các ứng dụng rất đặc biệt [2], [13], [15] . Các ứng dụng trực điện có thể được chia thành hai phần chính, cụ thể là cán và mài . Tốc độ tối đa đạt

được trong các ứng dụng cán khác nhau phụ thuộc vào loại vật liệu chế tạo . Cho các ứng dụng mài, tốc độ có thể còn cao hơn nhiều được nêu trong Bảng I , đạt tốc độ lên đến hàng trăm ngàn vòng mỗi phút trong gia công cắt gọt kim loại như kích thước trung bình và hệ thống truyền động siêu tốc độ [2], [25]

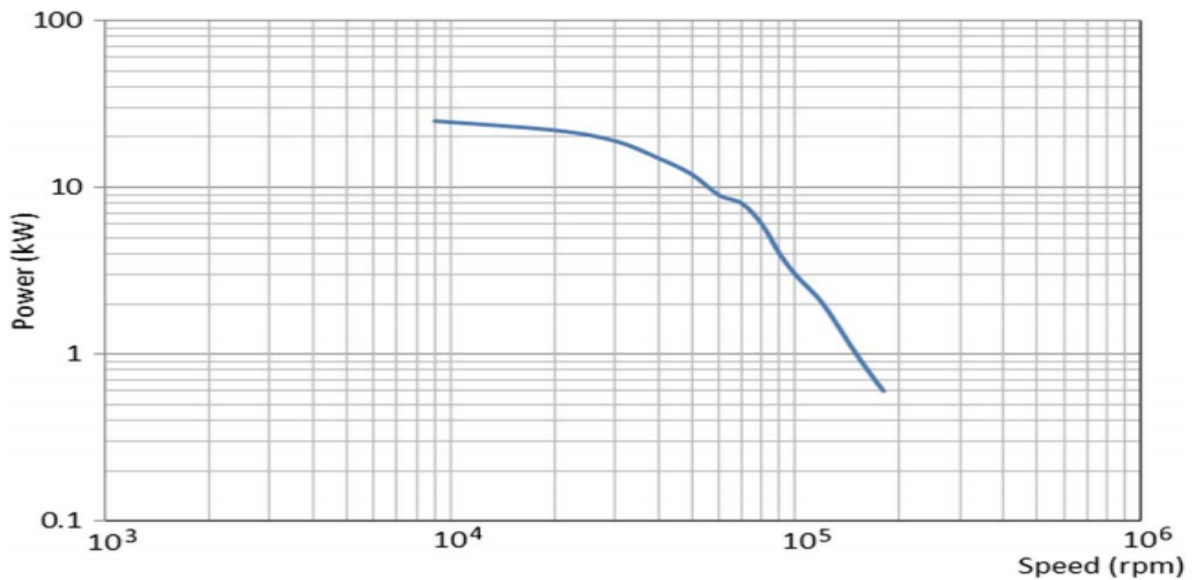


Fig. 1. Rated power versus speed diagram of HS spindle drives.

Hình 3.1. Xu hướng đáp ứng công suất cho các ứng dụng mài ở tốc độ khác nhau

TABLE I
TYPICAL MILLING APPLICATION SPEED

Applications	Speed
Metal	4'500 – 1'000 rpm
Stones	8'000 – 12'000 rpm
Glass/Marble	8'000 - 14'000 rpm
Wood	18'000 - 25'000 rpm
Aluminum	30'000 - 40'000 rpm

3.3 THIẾT KẾ ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Thiết kế máy điện bắt đầu từ thực hiện theo yêu cầu của ứng dụng, mà thường là công suất đầu ra, tốc độ quay, độ cứng động lực và các giới hạn dao động. Khi đó, thiết kế phải đạt được sự hòa hợp tốt nhất giữa những hạn chế điện và cơ. Các bộ phận chính của một động cơ trục chính HS là những cấu trúc điện từ, trục, vòng bi, hệ thống bôi trơn và hệ thống làm mát. Máy điện được cung cấp bởi bộ biến đổi tĩnh để giảm điện áp và dòng sóng hài, để giảm tổn hao thép và tổn hao phụ nhiệt ở rô to; bộ chuyển đổi phải cung cấp điện áp đầu ra có thể điều chỉnh và tần số ổn định, cũng như khả năng khởi động và hãm điện từ hệ thống. Hơn nữa, để bảo vệ các trục điện chính trong tình trạng xung quá tải do các điều kiện máy điện làm việc tới hạn (ví dụ, khởi động hoặc do va đập cơ khí), bộ biến đổi phải bao gồm một HS bảo vệ dòng giới hạn.

3.3.1. Khía cạnh về điện

Trong phần này, một vài nghiên cứu về vấn đề điện quan trọng trong máy HS và máy siêu HS (VHS). Đặc biệt, các hệ máy điện khác nhau thích ứng để làm việc trong những điều kiện được phân tích, cần tính đến ảnh hưởng của những tổn hao khi tối thiểu hóa thể tích. IM được chấp nhận trong các ứng dụng HS [11], do rotor có kết cấu vững chắc và ít phải bảo trì. Tuy nhiên, liên quan đến máy điện khác IMs có đặc điểm là hiệu suất thấp hơn do sự có mặt của tổn hao jun (đơn vị nhiệt) rotor. SRM có cấu trúc rô to bền vững và đơn giản thích hợp cho hoạt động HS, nó không có bất kỳ cuộn dây hoặc PMs trong rotor. Tuy nhiên, so với PMSMs, các SRMs yêu cầu dòng điện kích từ cao do chiều dài hiệu quả khe hở không khí lớn, điều đó làm giảm hệ số công suất và hiệu suất tổng máy điện. Hơn nữa, SRMs cũng thường được đặc trưng bởi sự dao động mô-men lớn, ảnh hưởng đến hiệu suất máy và độ chính xác. PMSMs thường được đặc trưng bởi mật độ công suất cao hơn và hiệu quả cao hơn đối với động cơ dị bộ IMs và SRMs, nhưng nó có một số nhược điểm quan trọng điều đó đã hạn chế trong một số trường hợp sử dụng chúng.

trong các ứng dụng HS [2] , [6] . Đặc biệt , cấu trúc của rotor và vị trí của nam châm phải được lựa chọn cẩn thận theo hàm các thiết bị tốc độ ngoại vi tiếp tuyến để hạn chế các tác động cơ học tác động lên nam châm [7] . Do đó việc áp dụng các băng hoặc ống bọc [8] để giữ các nam châm vào rotor ở HS là bắt buộc

Các băng hoặc ống bọc thường được làm bằng vật liệu không từ tính , nếu vật liệu dẫn điện sẽ có tổn hao dòng điện xoáy [4] . Nhiều nghiên cứu về các vật liệu băng rotor để có được độ bền cơ học tối đa với những tổn hao điện tối thiểu có thể thấy trong các tài liệu [13] - [15]. Để đạt được các ứng suất cơ học tối thiểu trong PMs , cấu trúc rotor khác nhau đã được nghiên cứu , đặc biệt là cấu trúc IPM [15] . Tuy nhiên , trong thiết kế các máy IPM ' cho các ứng dụng HS , đặc biệt phải chú ý khi phải trả giá cho kích thước các gờ tản nhiệt của rotor phải chịu được các lực ly tâm cao ở HS . Những vấn đề này là điều cốt lõi trong các hệ máy PM rotor ngoài. Các loại máy này được áp dụng trong các ứng dụng HS ở đó những phần tử cơ khí được truyền động bởi động cơ có thể được kết nối trực tiếp đến các bộ phận bên ngoài của như quạt hoặc bánh đà cho phục hồi động năng [5] Hình 2 cho thấy sự phân bố các loại sơ đồ máy điện khác nhau tùy thuộc vào công suất định mức và tốc độ được nêu trong tài liệu . Từ tài liệu, chúng ta thấy rằng những giải pháp tốt nhất cho các ứng dụng HS là IM (chủ yếu là cho độ cơ học bền vững) , tiếp theo là PMSMs và SRMs . Vì lý do này , những thiết kế cần lưu ý trong bài báo này , ngay cả khi tổng thể có hiệu quả cho tất cả các cấu trúc máy, chủ yếu là tham khảo về IM

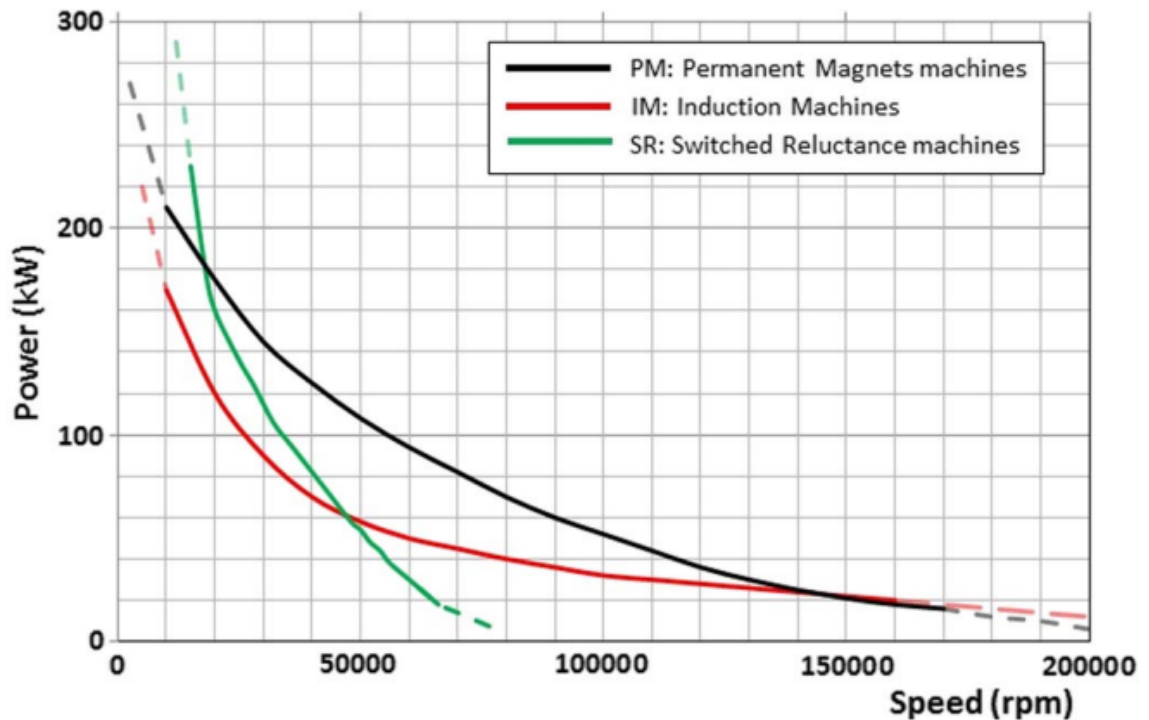


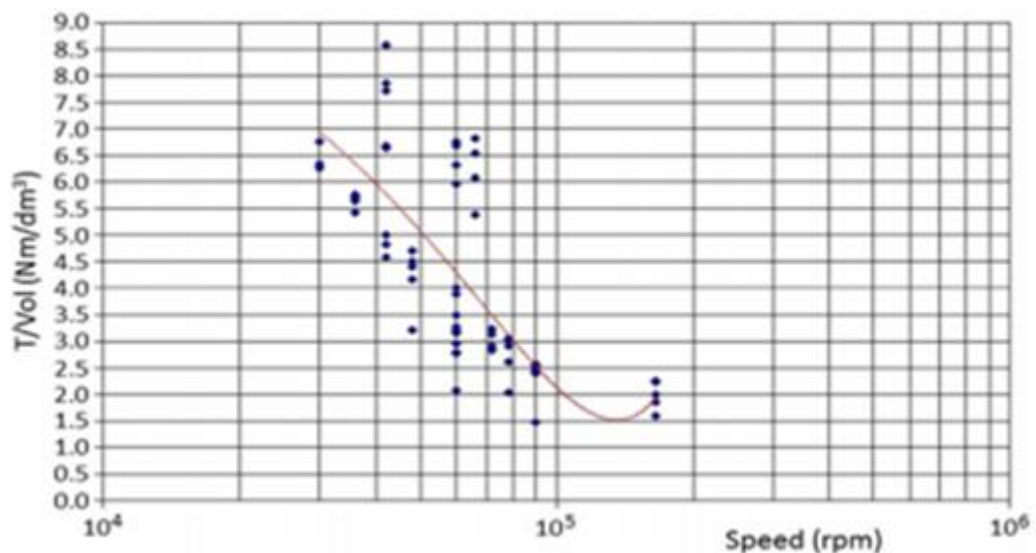
Fig. 2. Qualitative power–speed distributions based on literature investigation for PMSM, IM, and SRM typologies.

Hình 3.2. Các ứng dụng trực chính điển hình, gia công cơ khí cần công suất cao thực hiện ở tốc độ tương đối thấp

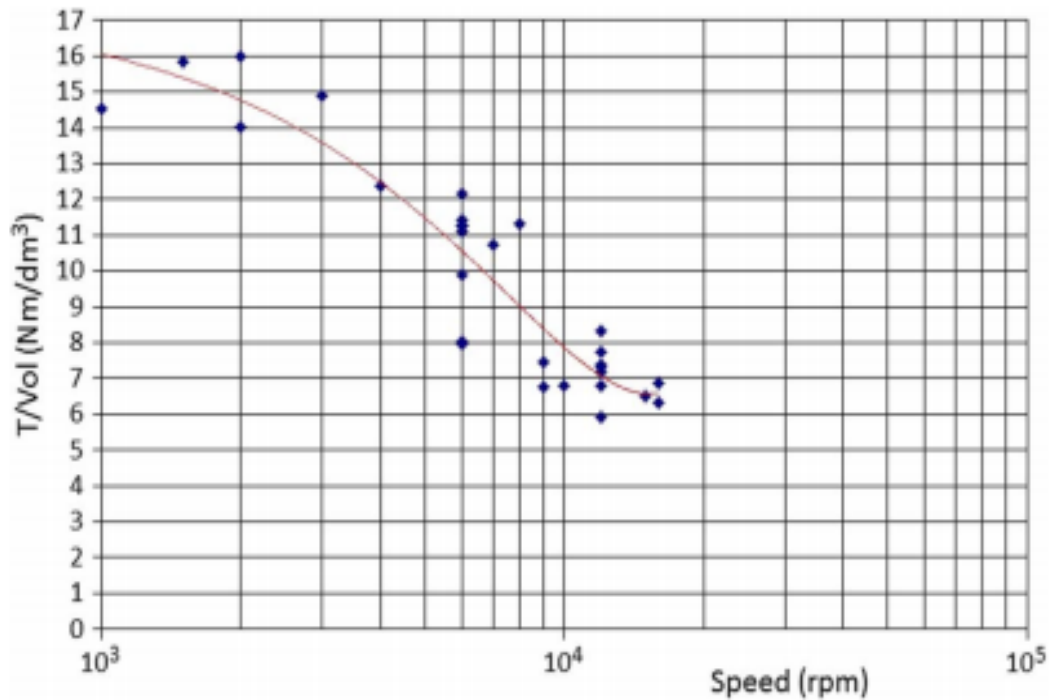
Hơn nữa hình. 2 cho thấy trong các ứng dụng trực chính điển hình, gia công cơ khí cần công suất cao thực hiện ở tốc độ tương đối thấp ; Trong khi đó, tại VHS yêu cầu công suất thấp hơn. Kết quả là ,tỷ lệ hợp lý giữa các mô-men điện từ và thể tích khe hở không khí , kích thước của máy giảm nhanh khi tăng tốc độ . Đồng thời ,mật độ mô-men cũng giảm trong khi tốc độ tăng , thể hiện qua sơ đồ sau đây . Hình 3 và 4 cho thấy mật độ mô-men là một hàm của tốc độ cho cho rotor - stator tần số cao . Đặc biệt, hình . 3 đề cập đến I_{ms} hai cực ($2p$) , trong khi hình . 4 đề cập đến IMs bốn cực ($4p$). Rõ ràng từ 2 hình cho thấy mật độ mô-men giảm khi tốc độ tăng. Điều này chủ yếu do vấn đề nhiệt và các hệ số vật liệu . Trong thực tế , khi cho rằng hiệu suất điện từ của máy với tốc độ gần như const với tốc độ, tổng tổn hao đồng và sắt cũng không đổi . Kết quả là mật độ mô-men bị giới hạn bởi bề mặt tối thiểu cần

thiết để tiêu tan những tổn hao máy

Hơn nữa, tăng tần số cung cấp máy điện, các chỉ số ứng suất vật liệu (như mật độ dòng điện và mật độ từ thông) phải giảm để giữ cho tổn hao sắt và đồng và trong giới hạn cho phép. Để hạn chế tổn hao đồng ở tần số cao , cuộn dây stato với dây Litz được sử dụng. Để hạn chế tổn hao sắt từ, sử dụng thép cán với độ dày thấp (ví dụ , $\leq 0,2$ mm) và vật liệu thép với hệ số tổn hao thấp là bắt buộc . Một cấu trúc rô to không rãnh được áp dụng để giảm tổng tổn hao thép do mật độ từ thông thấp hơn do khe hở hiệu quả không khí lớn hơn. Ngoài ra, tăng khe hở không khí tới mức giới hạn thì mật độ từ thông thay đổi do sức từ động thành phần sóng hài và điều chế gợn sóng dòng điện kéo theo tổn hao sắt từ rotor. Cuối cùng, trong một số ứng dụng , ví dụ như trong điều khiển máy nén cho các thùng nhiên liệu ô tô , tốc độ tăng hơn giá trị nhất định là không thích hợp đứng về góc nhìn máy điện nhưng có thể là một lợi thế về hiệu suất động lực học chất lỏng. Trong trường hợp này , sự tăng tốc độ được chấp nhận để nâng cao toàn bộ hiệu suất hệ thống.



Hình 3.3. mật độ mô-men là một hàm của tốc độ cho cho rotor - stator tần số cao với Ims hai cực (2p)



Hình 3.4. mật độ mô-men là một hàm của tốc độ cho cho rotor - stator tần số cao với Ims bốn cực (4p)

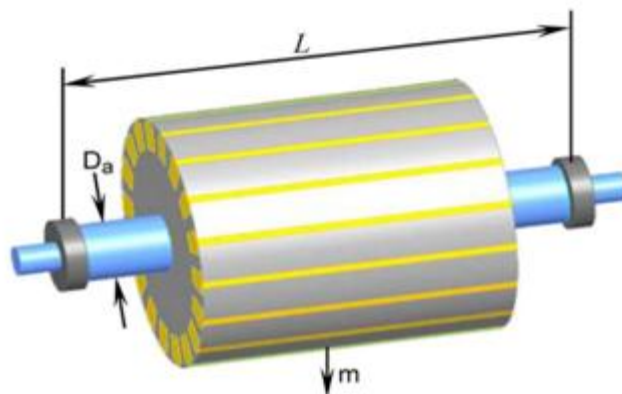
3.3.2. Khía cạnh cơ khí

Trong các ứng dụng HS và VHS , các vấn đề cơ học có tầm quan trọng đứng sau những vấn đề về điện Trong phần tiếp theo , một số chi tiết về các về vấn đề cơ học sẽ được thảo luận . Kích thước Trục : như đã biết rằng trục sẽ to hơn để truyền mô-men cơ học đến tải , các đường kính trục đã to hơn; nó cũng được biết đến rằng mô-men được phát triển bởi các máy điện và tỷ lệ thuận với khối lượng rotor [10] . Nói chung , các yêu cầu cân bằng cho rotor có thể tìm thấy trong ISO 1940-1 , đó là thông số kỹ thuật cho rotor ở trạng thái không đổi (cố định) , tùy theo loại máy điện và tốc độ vận hành tối đa. Những kiến nghị này dựa trên kinh nghiệm trên toàn thế giới .

Tại HS , để giảm tốc độ quay ngoại vi và các lực ly tâm tác động lên các rotor, đường kính rotor bên ngoài phải càng nhỏ càng tốt . Như một hệ quả , để tăng mô-men quay, chiều dài trục rotor phải được tăng lên. Đây cũng là thuận lợi cho việc giảm tổn thất ma sát trong khe hở không khí , là một phần quan trọng của tổn hao trong các máy HS khi tỷ lệ thuận với chiều dài trục

rotor, và là hàm bậc 4 của của đường kính bên ngoài của nó. Tuy nhiên , chiều dài trục rotor tăng tới giới hạn bởi vận tốc giới hạn rotor. Để giảm thiểu những hỏng hóc có thể của các phần tử cơ khí sự phát phát ra tiếng ồn tăng lên, vận tốc giới hạn rotor phải được đánh giá một cách chính xác ở giai đoạn thiết kế.

Vận tốc tới hạn khác nhau được đặc trưng bởi kiểu trục khác nhau. Sự tương ứng của vận tốc tới hạn là đủ cho một nhiều bên ngoài máy điện thấp có thể xảy ra cộng hưởng , do đó động cơ bị hỏng do sự tác động cơ học giữa rotor và stator . Thông thường, tốc độ định mức được chọn dựa trên tốc độ tới hạn để tránh sự tác động của bất kỳ hiệu ứng cộng hưởng. Tuy nhiên , trong một số trường hợp , các máy HS có thể hoạt động trong điều kiện siêu tới hạn. Trong trường hợp này , tốc độ tới hạn phải vượt thông qua càng nhanh càng tốt để tránh bất kỳ tác động cơ học bên ngoài hoặc nhiễu



Hình 3.5. Trục chính

Gần đúng tốc độ tới hạn đầu tiên của một trục quay có thể tính được khi nghiên cứu trục như một dầm đỡ trong trường hợp này , tốc độ quay tới hạn (trong vòng mỗi phút) tương ứng với các tần số dao động riêng lần đầu và nó có thể được đánh giá bằng phương trình sau đây

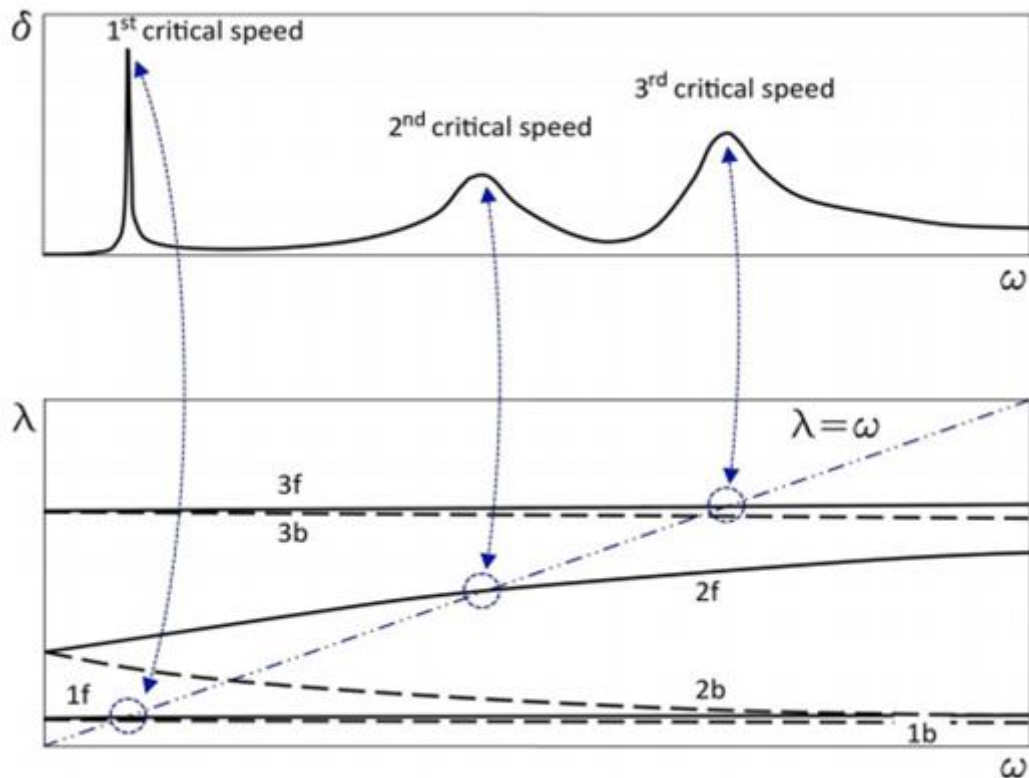
$$n_{cr} = \frac{60}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{48E\pi D_a^4}{64L^3m}} \quad (1)$$

Ở đây D_a đo bằng mm (xem hình . 5).

Thay vì xem xét các trục như một dầm đỡ , trục quay gần đúng coi như một dầm kẹp. Trong trường hợp này , tốc độ tới hạn kết quả gấp đôi so với giá trị nhận được từ (1) . Một thỏa hiệp có thể là giá trị trung bình giữa hai giải pháp , đó là cao hơn 50% so với giá trị thu được bằng cách (1) . Một lưu ý quan trọng là (1) chỉ xem xét các trục quay , trong khi đó phải xen xét tổng thể cấu trúc đều xoay (cần chú ý khi rô to cấu trúc lá thép mỏng hay rô to rắn rô to có bọc sắt hoặc không bọc sắt hoặc PMs , vv), thu được độ bền cao hơn, tăng tốc độ tới hạn. Phương pháp đề xuất để đánh giá một trục quay tốc độ tới hạn cần được xem xét để nhìn nhận đánh giá ban đầu . Trong thiết kế máy, phân tích tỉ mỉ hơn với các phương pháp phân tử hữu hạn đã được thực hiện để đánh giá chính xác hơn tốc độ tới hạn rotor, sự cố xảy ra có thể rất nguy hiểm trong quá trình máy hoạt động. Tuy nhiên cần chú ý đến hiệu ứng con quay hiệu ứng này có thể được mô hình hóa như một hiệu ứng giảm xóc. Sự hiện diện của các hiệu ứng con quay trong động lực học của rotor là một trong những nguyên nhân tiến lên về phía trước ($1f$, $2f$, ...) và lùi lại ($1b$, $2b$, ...) tần số quay, như thấy trong hình . 6 (phía dưới) , ở đó ba chế độ đầu tiên được vẽ . Hình . 6 (phía trên) cũng cho phép hiểu được mối quan hệ giữa tốc độ tới hạn rotor và tần số xoáy về phía trước : tốc độ tới hạn tương ứng với giao điểm của đường xoáy về phía trước với đường phân giác $\lambda = \omega$. Cuối cùng, mối quan tâm đến biên độ xoáy ngược là yếu tố trong khi xác định giới hạn ổn định của hệ thống

Về vật lý , ví dụ, trong một quá trình cán , điều này có nghĩa độ sâu cắt trục tới hạn phải giảm xuống và giới hạn của ổn định cũng giảm . Trong các máy điện HS , thiết kế cũng rất quan trọng để giữ quán tính rotor ; thực vậy lực quán tính rotor cao hơn dẫn đến quá tải ở vòng bi làm giảm tuổi thọ thiết bị , Vòng bi và bôi trơn : Vòng bi là những thành phần quan trọng tới hạn trong việc thiết kế toàn bộ trục chính: chúng phải có hiệu suất cao hơn khi ở tốc độ quay tối đa , nhiệt độ làm việc thấp , độ bền , độ chính xác , và không gây tiếng

Ồn lớn hơn những ứng dụng tốc độ thấp thông thường. Vì những lý do, vòng bi hỗn hợp được sử dụng trong các ứng dụng HS. Các vòng bi được cấu tạo bên trong và một vòng thép bên ngoài và mật độ thấp nhưng được làm bằng gốm có độ cứng cao hơn (ví dụ như silicon nitride Si_3N_4). Đường kính trục ảnh hưởng đến lựa chọn vòng bi vì đường kính vòng bi lớn hơn, khả năng tốc độ quay tối đa thấp hơn để đảm bảo tuổi thọ của nó.



Hình 3.6. Cách xác định khả năng dầu mỡ bôi trơn tốc độ

Như một hệ quả cho máy điện HS, đường kính trục phải càng bé càng tốt, để hạn chế đường kính của vòng bi. Hơn nữa, tốc độ quay tối đa vòng bi phụ thuộc vào độ nhớt bôi trơn xen giữa các bi lăn, các rãnh và khung. Các hệ thống bôi trơn sử dụng nhiều nhất trong các vòng bi lăn là mỡ và dầu. Dầu mỡ bị hạn chế về tốc độ làm việc tối đa bởi độ nhớt cao hơn. Để xác định khả năng dầu mỡ bôi trơn tốc độ, các "yếu tố tốc độ" tham số NDM được xác định. Các chỉ số tốc độ, được đưa ra trong (2), là kết quả của tốc độ tối đa

n_{Max} trong vòng phút, nhân với trung bình cộng bán kính trong d và bán kính ngoài D theo đơn vị mm

$$NDm = \frac{D + d}{2} \cdot N_{max}. \quad (2)$$

Cho các ứng dụng HS, với tốc độ thực tế hơn 700 000 mm / phút, mỡ thích hợp nhất là những thứ có độ nhớt thấp. Cho các ứng dụng VHS, dầu là giải pháp phù hợp nhất để có tuổi thọ làm việc hợp lý. Xu hướng công nghệ hiện nay là đạt được giá trị tốc độ thực tế lên đến 3 000 000 mm / phút. Hai phương pháp phổ biến nhất của dầu bôi trơn là sương mù dầu và vòi phun dầu

- sương mù dầu : Một bể chứa dầu được sử dụng và không khí nén được trộn với dầu để tạo ra những giọt dầu những giọt dầu này mang dòng dầu tới diện tích bôi trơn. Với hệ thống này, ngoài việc đơn giản nó còn có lợi thế của việc làm sạch và làm mát các vòng bi. Nó được áp dụng tốt nhất để trục có HSS và tải tương đối nhẹ. Do những khó khăn trong việc đo lường và kiểm soát dòng sương mù, nếu lượng dầu cung cấp cho các vòng bi chính xác, loại sương dầu có thể không phải là hệ thống tốt nhất để sử dụng.

- vòi phun dầu : người ta sử dụng một máy bơm áp suất cao cung cấp dầu trực tiếp vào vành các ổ bi. Hệ thống này là phù hợp với tải lớn, HS, và trục nhiệt độ cao. Sự chăm sóc phải được thực hiện để đảm bảo rằng dầu có thể truyền nhanh qua ổ bi để tránh khuấy dầu. Hạn chế của giải pháp này là cấu tạo phức tạp của nó vì nó đòi hỏi một máy bơm phức tạp, một bể chứa và một hệ thống kiểm soát nhiệt độ. Một sự thay thế được đại diện bởi xung dầu khí, khí dầu với số lượng rất nhỏ trộn với không khí nén vào trong hốc ổ bi. Tần số của sự phun có thể liên quan đến hoạt động trục chính hoặc đơn giản là cơ sở tính thời gian

Vì rằng Trục điện phải thực hiện đồng thời cùng một thời gian tải lớn theo bán kính và trục tải, vòng bi tiếp xúc góc thường được sử dụng. Riêng tải

trọng đặt trước của góc ổ bi là quan trọng đối với tốc độ, độ bền, độ chính xác, và tuổi thọ của trục chính. Đối với trục thông thường đặc biệt là cho các ứng dụng cắtphôi thô, tải không đổi không trục tuyến được đề xuất vì phương pháp này có thể mang lại hiệu suất trục chính cao. Tuy nhiên, trong ứng dụng cắt HS, phương pháp này có thể không đảm bảo được tính chất yêu cầu vì tải trọng lên ổ bi có thể nhanh chóng tăng lên do nhiệt gây ra. Trong thực tế, khi bị nung nóng, trục sẽ dài ra: Sự thay đổi kích thước nhìn thấy được bởi các vòng bi khi sự gia tăng tải sơ bộ, khi vòng ổ lăn bên trong ép vào ổ bi. Hiện tượng này không được ưa chuộng vì nó có thể gây ra sự cố với các vòng bi. Do đó, để cân bằng cho sự thay đổi chiều dài, nó thường gắn các vòng bi trục chính phía trong rãnh di động nối với lò xo. rãnh thoát dầu được đặt trong một lỗ khoan, hoặc rãnh tròn, nó tự do di chuyển theo hướng trục. Lò xo được sử dụng để cung cấp một tải sơ bộ không đổi để liên tục chống lại trục chính theo hướng trục để các tải trọng sơ bộ tính toán từ các vòng bi không thay đổi và được duy trì bởi lực tác dụng của các lò xo. Kỹ thuật này được sử dụng cho trục cán HS và trục mài, thậm chí nếu chi phí lớn và hệ thống phức tạp. Đây là loại vòng bi được đặc trưng bởi tổn hao công suất cơ học cao hơn so với vòng bi thông thường. Những tổn hao công cơ học do các vòng bi tỷ lệ thuận với tốc độ và tổng mô-men ma sát, mà chủ yếu là do các khía cạnh cơ học liên quan đến viên bi, rãnh và lắp ráp chúng. Đặc biệt, những cấu trúc sau xác định tổng ma sát

- mô-men quay ;
- mô-men quay do ma sát;
- hệ thống mô-men quay do ma sát;
- lực cản, rung, và momen với trục quay.

Như mô tả ở trên, góc tiếp xúc vòng bi có thể để duy trì tải cao trong 1 khoảng thời gian theo bán kính và trục. Cho các ứng dụng cán ở đó kết hợp tải bán kính và trục và độ cứng tổng được yêu cầu, kiểu kết nối lưng giáp

lưng được sử dụng. Các ứng dụng mài ở đó tải không theo phương của trục (trong khi tải trọng hướng tâm phụ thuộc vào áp dụng tải đặt trước) , kết nối song song được ưu tiên. Như đã nói, góc vòng bi tiếp xúc dạng bi côn được thiết kế để cung cấp cho cả hai trục và tải trọng hướng tâm khi tải sơ bộ. Trong một số trường hợp , vòng bi côn có thể được sử dụng do khả năng chịu tải cao và độ bền tốt hơn vòng bi . Tuy nhiên , vòng bi côn không cho phép HSS theo yêu cầu của nhiều trục. Để khắc phục những hạn chế cơ học do các vòng bi , đã có các nghiên cứu thành công trong những năm gần đây về vòng bi từ và vòng bi biến dạng cánh [14] . Trong thực tế, với các công nghệ này , nguy cơ hỏng hóc do mòn ổ bi và cọ xát được khắc phục. Hơn nữa, hiệu suất góc phương vị không đòi hỏi sự bôi trơn chuyên dụng, với một hệ thống phức tạp tổng thể giảm hậu quả và khả năng của hệ thống không cần dầu bôi trơn hoàn chỉnh [6] . Khía cạnh thứ hai này đặc biệt phù hợp khi bất kỳ một nguy cơ ô nhiễm môi trường có thể tránh được, ví dụ khi máy điện phải hoạt động trong một " buồng trắng . " Tuy nhiên, bỏ qua nhưng khó khăn không đáng kể phát sinh trong trường hợp này từ điểm quan sát của hệ thống ổ bi sẽ đảm bảo độ cứng cơ khí và dung sai cần thiết

Hệ thống làm lạnh : Hệ thống làm mát phải cực kỳ đáng tin cậy và hiệu quả để tránh cuộn dây stato , roto và quá nhiệt ổ bi và biến dạng trục . Như một hệ quả , hệ thống làm mát máy HS là quan trọng hàng đầu và phụ thuộc rất nhiều vào ứng dụng. Ví dụ, trong hệ thống turbo- máy nén , rotor và stator thường trực tiếp làm mát bằng chất lỏng nén. Trong trường hợp động cơ trục chính, làm mát thường được sử dụng lưu thông chất lỏng trong vỏ bọc stato . Trong một số trường hợp đặc biệt , ví dụ, trong bàn thử HS, khoang được thực hiện đường dẫn cả 2 chiều ngược nhau để tránh bất kỳ trục sự biến dạng mô-men trục chính nào do sự lưu thông chất lỏng. Vì nhiệt độ vòng bi cao, chất lỏng lưu thông chạy xung quanh vòng ngoài của giá đỡ bao gồm , tránh nhiệt độ cao giữa các bộ phận bên trong và bên ngoài của vòng bi và , như một hệ quả

, phần cơ khí ổ bi biến dạng nhiệt . Hơn nữa, cho các ứng dụng như mài lỗ cắt, một hệ thống làm mát ro to có thể được trang bị , các chất lỏng làm mát chảy vào trục rotor . Tùy thuộc vào kích thước bề mặt và tốc độ hoạt động tối đa , hệ thống khác nhau có thể được sử dụng , ví dụ , chỉ có không khí , chỉ có chất bôi trơn làm mát, và một hỗn hợp không khí và nước làm mát được cung cấp trong một hoặc hai dòng riêng biệt . Các giải pháp với hai kênh sử dụng dầu bôi trơn hỗn hợp cho phép tốc độ cao hơn , tránh sương dầu ; Hơn nữa, nó cho phép để trộn dầu và không khí trong tỷ lệ hoặc chỉ sử dụng không khí

Để thực hiện một hệ thống làm mát hiệu quả , kiến thức về các nguồn nhiệt bên trong máy là rất quan trọng ; cho mục đích này , mô hình số , tính toán mô phỏng động lực học chất lỏng và mạng nhiệt chi tiết thường được xem xét trong giai đoạn thiết kế. Trong [14] , một thí nghiệm tiến hành trên động cơ trục chính IM nêu bật tầm quan trọng của hệ thống làm mát để chuyển nhiệt được tạo ra từ các rotor vào stato , nâng cao hiệu quả hệ thống làm mát. Tuy nhiên , điều quan trọng được nhắc nhở rằng các dòng nước làm mát thông qua các khe hở không khí của máy HS có thể tạo ra những tổn thất lớn , có thể làm giảm hiệu suất máy . Để ngăn chặn rò rỉ dầu trong động cơ và khe hở không khí những kỹ thuật khác nhau được sử dụng . Chỉ trong trường hợp đường kính tương đối nhỏ và vận tốc quay tương đối thấp , có thể sử dụng van khớp nối;, Bịt kín được thực hiện bằng cách sử dụng đệm kín kiểu mê lộ hoặc bằng cách đảm bảo một sự khác biệt áp lực tích cực giữa bên trong và bên ngoài của động cơ. Thông thường, chót không tiếp xúc là những sắp xếp phổ biến nhất trong các ứng dụng máy công cụ , mặc dù có nhiều khó khăn để sản xuất , đắt tiền hơn , và phức tạp hơn. Trong số các chót không tiếp xúc, có đệm kín kiểu mê lộ là sử dụng rộng rãi nhất trong các ứng dụng trục chính: người ta truy cập vào vòng bi và do đó ,ít gây ô nhiễm và ngăn ngừa dung dịch xâm nhập vào khu vực vòng bi

KẾT LUẬN

Sau 3 tháng nghiên cứu và thực hiện đề tài, đề án đã thực hiện được những nội dung sau:

- Tìm hiểu tổng quan về lịch sử nghiên cứu và phát triển máy điện tốc độ cao và ứng dụng
- Tìm hiểu máy điện cỡ nhỏ tốc độ cao .

Tuy nhiên do kinh nghiệm và khả năng bản thân còn hạn chế khi thực hiện đề án nên quyển đề án này chắc hẳn không tránh khỏi những khuyết điểm và thiếu sót. Những thông tin và tài liệu về nội dung đề án còn hạn chế, tuy vậy đây là một vấn đề mới đang nghiên cứu, nó là một xu hướng phát triển trong tương lai không xa và thực tế, hy vọng trong thời gian tới nhiều kết quả nghiên cứu, nhiều thông tin về việc này sẽ được công bố.

Em xin chân thành cảm ơn thầy !

Hải Phòng ,ngày...tháng...năm...2014

Sinh viên

Đào Khánh Duy

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. D. Gerada, A. Mebarki, N. L. Brown, C. Gerada, A. Cavagnino, and A. Boglietti, “**High-speed electrical machines: Technologies, trends, and developments**,”IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 61, no. 6, pp. 2946–2959, Jun. 2014.
2. A. Tüysüz, C. Zwyssig, and J. W. Kolar, “**A novel motor topology for highspeed micro-machining applications**,”IEEE Trans. I. Electron., vol. 61, no. 6, pp. 2960–2968, Jun. 2014.
3. J. Ikäheimo, J. Kolehmainen, T. Käsäkangas, V. Kivela, and R. R. Moghaddam, “**Synchronous high-speed reluctance machine with novel rotor construction**,”IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 61, no. 6, pp. 2969–2975, Jun. 2014.
4. B. Gaussens, E. Hoang, M. Lécivain, P. Manfe, and M. Gabsi, “**A hybrid-excited flux-switching machine for high speed DC-alternator applications**,”IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 61, no. 6, pp. 2976–2989, Jun. 2014.
5. S. Silber, J. Sloupensky, P. Dirnberger, M. Moravec, W. Amrhein, and M. Reisinger, “**High-speed drive for textile rotor spinning applications**,” IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 61, no. 6, pp. 2990–2997, Jun. 2014.
6. F. Crescimbin, A. Lidozzi, G. Lo Calzo, and L. Solero, “**High-speed electric drive for exhaust gas energy recovery applications**,”IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 61, no. 6, pp. 2998–3011, Jun. 2014.
7. J. Abrahamsson, M. Hedlund, T. Kamf, H. Tobias, and H. Bernhoff, “**High-speed kinetic energy buffer: Optimization of composite shell and magnetic bearings**,”IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 61, no. 6, pp. 3012–3021, Jun. 2014.
8. A. Tenconi, and A. Vigliani, “**Electrical machines for highspeed applications: Design considerations and tradeoffs**,” IEEE Trans.

Ind. Electron., vol. 61, no. 6, pp. 3022–3029, Jun. 2014.

9. W. Li, H. Qiu, X. Zhang, J. Cao, S. Zhang, and R. Yi, “**Influence of rotorsleeve electromagnetic characteristics on high-speed permanent-magnet generator**,” IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 61, no. 6, pp. 3030–3037, Jun. 2014.

10. D. A. Gonzalez and D. M. Saban, “**Study of the copper losses in a highspeed permanent-magnet machine with form-wound windings**,” IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 61, no. 6, pp. 3038–3045, Jun. 2014.

11. M. Dems and K. Komeza, “**Performance characteristics of a high-speed energy-saving induction motor with an amorphous stator core**,” IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 61, no. 6, pp. 3046–3055, Jun. 2014.

IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 61, NO. 6, JUNE 2014 2945

12. W. Li, H. Qiu, X. Zhang, J. Cao, and R. Yi, “**Analyses on electromagnetic and temperature field of superhigh-speed permanent-magnet generator with different sleeve materials**,” IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 61, no. 6, pp. 3056–3063, Jun. 2014.

13. M. van der Geest, H. Polinder, J. A. Ferreira, and D. Zeilstra, “**Current sharing analysis of parallel strands in low-voltage high-speed machines**,” IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 61, no. 6, pp. 3064–3070, Jun. 2014.

14. L. Papini, T. Raminosa, D. Gerada, and C. Gerada, “**A high-speed permanent-magnet machine for fault-tolerant drive trains**,” IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 61, no. 6, pp. 3071–3080, Jun. 2014.

15. J. Boisson, J. F. Louf, J. Ojeda, X. Mininger, and M. Gabsi, “**Analytical approach for mechanical resonance frequencies of high-speed machines**,” IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 61, no. 6, pp. 3081–3088, Jun. 2014.

16. TRANG TÌM KIẾM TÀI LIỆU <https://www.google.com.vn>

17. TÀI LIỆU ĐIỆN TỬ WIKI PEDIA (Tiếng Việt)