

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC DÂN LẬP HẢI PHÒNG**



ISO 9001:2015

**TÌM HIỂU XU HƯỚNG PHÁT TRIỂN
HỆ THỐNG MÁY PHÁT ĐIỆN SỬ DỤNG
TRONG NĂNG LƯỢNG GIÓ**

**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP ĐẠI HỌC HỆ CHÍNH QUY
NGÀNH ĐIỆN TỰ ĐỘNG CÔNG NGHIỆP**

HẢI PHÒNG - 2018

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC DÂN LẬP HẢI PHÒNG**



ISO 9001:2015

**TÌM HIỂU XU HƯỚNG PHÁT TRIỂN
HỆ THỐNG MÁY PHÁT ĐIỆN SỬ DỤNG
TRONG NĂNG LƯỢNG GIÓ**

**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP ĐẠI HỌC HỆ CHÍNH QUY
NGÀNH ĐIỆN TỰ ĐỘNG CÔNG NGHIỆP**

Sinh viên: Đặng Phúc Hưng

Người hướng dẫn: GS.TSKH Thân Ngọc Hoàn

HẢI PHÒNG - 2018

Cộng hoà xã hội chủ nghĩa Việt Nam
Độc lập – Tự Do – Hạnh Phúc
-----o0o-----
BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC DÂN LẬP HẢI PHÒNG

NHIỆM VỤ ĐỀ TÀI TỐT NGHIỆP

Sinh viên : Đặng Phúc Hưng – MSV : 1412102002
Lớp : ĐC1802- Ngành Điện Tự Động Công Nghiệp
Tên đề tài : Tìm hiểu xu hướng phát triển hệ thống máy phát
điện sử dụng trong năng lượng gió

NHIỆM VỤ ĐỀ TÀI

1. Nội dung và các yêu cầu cần giải quyết trong nhiệm vụ đề tài tốt nghiệp (về lý luận, thực tiễn, các số liệu cần tính toán và các bản vẽ).

.....

.....

.....

.....

.....

2. Các số liệu cần thiết để thiết kế, tính toán

.....

.....

.....

.....

.....

3. Địa điểm thực tập tốt nghiệp.....:

.....

.....

CÁC CÁN BỘ HƯỚNG DẪN ĐỀ TÀI TỐT NGHIỆP

Người hướng dẫn thứ nhất:

Họ và tên :
Học hàm, học vị :
Cơ quan công tác : Trường Đại học dân lập Hải Phòng
Nội dung hướng dẫn : Toàn bộ đề tài

Người hướng dẫn thứ hai:

Họ và tên :
Học hàm, học vị :
Cơ quan công tác :
Nội dung hướng dẫn :

Đề tài tốt nghiệp được giao ngày tháng năm 2018.
Yêu cầu phải hoàn thành xong trước ngày.....tháng.....năm 2018

Đã nhận nhiệm vụ Đ.T.T.N
Sinh viên

Đã giao nhiệm vụ Đ.T.T.N
Cán bộ hướng dẫn Đ.T.T.N

Đặng Phúc Hưng

GS.TSKH Thân Ngọc Hoàn

Hải Phòng, ngày.....tháng.....năm 2018

HIỆU TRƯỞNG

GS.TS.NGUYỄN TRẦN HỮU NGHỊ

PHẦN NHẬN XÉT TÓM TẮT CỦA CÁN BỘ HƯỚNG DẪN

1. Tinh thần thái độ của sinh viên trong quá trình làm đề tài tốt nghiệp.

.....
.....
.....
.....
.....

2. Đánh giá chất lượng của Đ.T.T.N (so với nội dung yêu cầu đã đề ra trong nhiệm vụ Đ.T.T.N, trên các mặt lý luận thực tiễn, tính toán giá trị sử dụng, chất lượng các bản vẽ..)

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

3. Cho điểm của cán bộ hướng dẫn
(*Điểm ghi bằng số và chữ*)

Ngày.....tháng.....năm 2018
Cán bộ hướng dẫn chính
(*Ký và ghi rõ họ tên*)

NHẬN XÉT ĐÁNH GIÁ CỦA NGƯỜI CHĂM PHẢN BIỆN

ĐỀ TÀI TỐT NGHIỆP

1. Đánh giá chất lượng đề tài tốt nghiệp về các mặt thu thập và phân tích số liệu ban đầu, cơ sở lý luận chọn phương án tối ưu, cách tính toán chất lượng thuyết minh và bản vẽ, giá trị lý luận và thực tiễn đề tài.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Cho điểm của cán bộ chăm phản biện
(Điểm ghi bằng số và chữ)

.....

.....

.....

.....

.....

Ngày.....tháng.....năm 2018
Người chăm phản biện
(Ký và ghi rõ họ tên)

MỤC LỤC

LỜI MỞ ĐẦU	1
CHƯƠNG I.TỔNG QUÁT VỀ NĂNG LƯỢNG GIÓ VÀ NĂNG LƯỢNG TÁI TẠO.....	2
1.1.GIỚI THIỆU VỀ NĂNG LƯỢNG GIÓ	2
1.2.NĂNG LƯỢNG TÁI TẠO.....	7
CHƯƠNG II.MÁY ĐIỆN SỬ DỤNG TRONG NĂNG LƯỢNG GIÓ.....	11
2.1 MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU	11
2.1.1. Giới thiệu qua về máy điện một chiều	11
2.1.3. Phương trình cân bằng sđđ của máy phát	11
2.1.4. Mô men điện từ của máy phát	12
2.2. MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ	13
2.2.1. MÁY PHÁT ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ.....	13
2.2.2. Mở đầu	13
2.2.3. Nguyên lý làm việc của máy phát điện di bộ.....	14
2.2.4.Cấu tạo động cơ dị bộ:.....	15
2.2.5. Các chế độ làm việc của máy phát điện dị bộ.....	17
2.3. Cấu tạo của động cơ roto dây quấn.....	19
2.3.1. Cấu tạo cuộn dây roto máy điện dị bộ nạp từ 2 phía (roto dây quấn) ..	23
2.3.1.1. Nguyên lý hoạt động của cuộn dây máy điện dị bộ roto dây quấn ...	23
2.3.1.2. Nguyên lý xây dựng cuộn dây máy điện.....	25
2.3.1.3.Phân loại cuộn dây.....	28
2.3.1.4. Dạng cuộn dây 3 pha 1 lớp xếp có q chẵn	29
2.3.1.5. Dạng cuộn dây 3 pha 2 lớp xếp có q chẵn	30
2.3.1.6. Dạng cuộn dây 3 pha xếp bước ngắn	30
2.3.1.7 Dạng cuộn dây 3 pha sóng	31
2.3.4. Sự hình thành sđđ trong cuộn dây roto máy điện dị bộ roto dây quấn .	31
2.3.5. Nguyên lý hoạt động của máy điện dị bộ roto dây quấn	34

CHƯƠNG III: XU HƯỚNG TRONG HỆ THỐNG MÁY PHÁT ĐIỆN	
TUABIN GIÓ (99)	36
3.1. YÊU CẦU VÀ QUAN HỆ CƠ BẢN	36
3.2. HỆ THỐNG MÁY PHÁT ĐIỆN SỬ DỤNG HIỆN TẠI	38
3.3. HỆ THỐNG MÁY PHÁT ĐIỆN TƯƠNG LAI	44
3.4. KẾT LUẬN	58
KẾT LUẬN	59

LỜI MỞ ĐẦU

Ngày nay vai trò của điện năng là rất quan trọng vì nó phải đáp ứng nhu cầu cung cấp điện liên tục cho tất cả các ngành công nghiệp sản xuất và đời sống xã hội của con người. Hơn thế nữa, việc sản xuất nguồn điện năng ngày nay người ta còn đặc biệt chú trọng đến môi trường. Trong khi các nhà máy thủy điện không hoạt động hết công suất của mình thì các nhà máy nhiệt điện lại gây ra ô nhiễm môi trường và nguyên nhân gây nên hiệu ứng nhà kính. Cho nên vấn đề hàng đầu được đặt ra là phát triển xây dựng phải đảm bảo vấn đề về vệ sinh môi trường. Trên thực tế đó, cần phải tìm ra nguồn năng lượng tái sinh để thay thế.

Năng lượng gió là nguồn năng lượng thiên nhiên vô tận, nguồn năng lượng tái tạo không gây ô nhiễm môi trường, vì vậy chúng ta có thể tận dụng nguồn năng lượng đó để biến thành nguồn năng lượng điện phục vụ nhu cầu của con người. Việc xây dựng nhà máy điện gió góp phần đáp ứng nhu cầu tiêu thụ điện và tạo ra cảnh quan du lịch. Với những tiềm năng vô cùng lớn đó, việc nghiên cứu phát triển, cải tiến công nghệ chế tạo tuabin gió thực sự là rất cần thiết. Do vậy em đã chọn đề tài: **“Tìm hiểu xu hướng phát triển hệ thống máy phát điện trong năng lượng gió”** do GS.TSKH Thân Ngọc Hoàn hướng dẫn. Đề tài gồm các nội dung sau:

Chương 1: Tổng quan về năng lượng gió và năng lượng tái tạo

Chương 2: Máy điện sử dụng trong năng lượng gió

Chương 3: Xu hướng trong hệ thống máy phát điện tuabin

CHƯƠNG I.

TỔNG QUÁT VỀ NĂNG LƯỢNG GIÓ VÀ NĂNG LƯỢNG TÁI TẠO

1.1.GIỚI THIỆU VỀ NĂNG LƯỢNG GIÓ

Năng lượng gió là nguồn năng lượng thiên nhiên mà con người đang chú trọng đến cho nhu cầu năng lượng trên thế giới trong tương lai. Hiện nay, năng lượng gió đang mang đến nhiều hứa hẹn cho tương lai năng lượng của nhân loại, tuy nhiên nếu muốn đẩy mạnh nguồn năng lượng này trong tương lai, chúng ta cần phải hoàn chỉnh thêm công nghệ cũng như làm thế nào để đạt được năng suất chuyển động năng của gió thành điện năng cao để từ đó có thể hạ giá thành và cạnh tranh được với những nguồn năng lượng khác. Hình 1.1 và 1.2 dưới đây là những hình ảnh về những trang trại gió quy mô lớn ở Tuy Phong - Bình Thuận - Việt Nam và tại Hà lan.



Hình 1.1: Cánh đồng điện gió Tuy Phong - Bình Thuận

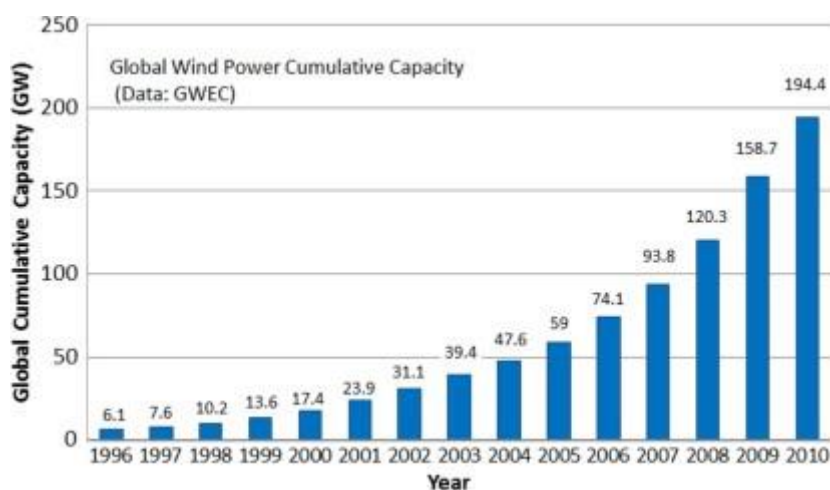


Hình 1.2: Tuabin gió tại Hà Lan

Hiện nay, trên thế giới, việc phát triển phong điện đang là một xu thế lớn, thể hiện ở mức tăng trưởng cao so với các nguồn năng lượng khác. Năng lượng điện gió là nguồn năng lượng có triển vọng và phát triển trong thời gian gần đây. Có rất nhiều quốc gia đã phát triển với quy mô lớn như Đức, Hà Lan, Mỹ, Anh và đã thành lập cơ quan năng lượng quốc tế (CEA) với 14 nước thành viên hợp tác nghiên cứu các kế hoạch trao đổi thông tin kinh nghiệm về việc phát triển năng lượng điện gió. Các quốc gia này là : Úc, Canada, Đan Mạch, Thụy Điển, Na Uy, Tây Ban Nha, Phần Lan, Đức, Ý, Nhật, Hà Lan, New Zealand, Thụy Sĩ, Anh, Mỹ. Vào năm 1995 các nước thành viên có khoảng 25000 tuabin được kết nối với mạng lưới điện và đang vận hành tốt. Tổng công suất của các tuabin này là 3500MW và hằng năm sản xuất ra 6 triệu MWh. Năng lượng điện gió đã trở thành nguồn năng lượng tái sinh phát triển nhanh nhất trên thế giới đặc biệt là ở châu Âu đang chiếm 70% tổng công suất này.

Theo BTM consult[1] năng lượng gió cho đến nay đã đạt mức tích lũy trên toàn thế giới là 200 GW và gần 40 GW đã được lắp đặt vào năm 2010,

cho thấy điện gió thực sự là một phần quan trọng trong ngành công nghiệp năng lượng của thế giới trong tương lai. Điện gió chiếm 1,8% tổng sản lượng điện trên toàn thế giới và dự đoán cho tới năm 2019 là hơn 8% hoặc 1 TW. Trung Quốc đang là thị trường lớn nhất trong năm 2010, đồng thời cùng với EU và Mỹ chiếm một phần ba tổng số thị trường điện gió trên toàn thế giới. Dưới đây hình 1.3 thể hiện năng lực lắp đặt năng lượng gió toàn cầu :



Hình 1.3: Năng lực lắp đặt năng lượng gió toàn cầu từ năm 1996 đến 2010

Thuận lợi lớn nhất của Việt Nam khi phát triển điện gió là nước ta có tiềm năng năng lượng gió tương đối lớn. Theo kết quả điều tra, đánh giá của Ngân hàng thế giới, Việt Nam có tới 8,6% diện tích lãnh thổ được đánh giá là tốt và rất tốt để xây dựng các trạm điện gió cỡ lớn, tập trung và có tới 41% diện tích nông thôn có thể phát triển trạm điện gió cỡ nhỏ. Đây là những số liệu cho chúng ta tin vào tiềm năng phát triển nguồn năng lượng vô tận và thân thiện với môi trường này.

Những tín hiệu vui toàn cầu

Điện từ năng lượng gió chiếm khoảng 1.5% tổng sản lượng điện toàn cầu. Ở Mỹ, năng lượng gió đóng góp khoảng 42% công suất bổ sung mới (đứng thứ hai chỉ sau khí gas tự nhiên trong cuộc chạy đua 4 năm) và ở Châu Âu, con số này xấp xỉ 36%. Trên khắp thế giới, hiện có khoảng 80 quốc gia đang khai thác nguồn năng lượng này với mục đích thương mại.

Đẩy mạnh lắp đặt các trạm thu gió, Mỹ vượt qua Đức để giữ vị trí đứng đầu về khai thác và sử dụng điện năng sản xuất từ gió. Công suất điện năng từ gió của Mỹ tăng 8 358 Mw, tương đương với 50%, lên 25 170 Mw vào cuối năm 2008. Trên

thực tế, công suất này có thể tăng gấp đôi hoặc hơn thế nếu không gặp trở ngại do việc giảm thuế tín dụng sản xuất bị trì hoãn.

Texas là bang có sản lượng điện năng sản xuất từ gió lớn nhất, với công suất lớn gấp hơn hai lần công suất của bang có sản lượng đứng thứ hai và chỉ thấp hơn công suất của 5 quốc gia trên thế giới.

Khoảng 1/3 lượng điện năng sản xuất từ gió trên thế giới được tạo ra từ Châu Á. Trung quốc đứng thứ 2 chỉ sau Mỹ, với khoảng 6 300 Mw sản xuất trong năm 2008 và dự định sẽ tăng gấp đôi sản lượng trong vòng 4 năm tới. Tháng 4 năm 2008, chính phủ Trung quốc đã nâng mục tiêu đến năm 2010 cho ngành công nghiệp điện năng này từ 5 000 lên 10 000 Mw, song mục tiêu đó cũng nhanh chóng bị bứt phá vào cuối năm 2008 khi sản lượng điện tạo ra ước tính đạt 12 200 Mw.

Do phát triển thị trường đang là ưu tiên hàng đầu của nước này, Trung quốc phải tiếp tục đối mặt với các vấn đề tổ chức phân vùng phát triển năng lượng gió. Hiệp hội Công nghiệp Năng lượng Tái tạo của Trung Quốc dự đoán đến năm 2015, công suất điện sản xuất từ gió có thể đạt tới 50 000 Mw.

Năm 2008, với công suất 1800 Mw, Ấn Độ đứng thứ 3 trên thế giới về sản lượng điện sản xuất từ gió. Nước này cũng đang giữ vị trí thứ 5 về tích lũy năng lượng chỉ sau Mỹ, Đức, Tây Ban Nha và Trung Quốc với tổng số 9 645 Mw. 44% tổng sản lượng điện năng gió được sản xuất từ Tamil Nadu, 1 bang miền Nam Ấn Độ. Những bang có sản lượng thấp hơn đang bước đầu áp dụng những thay đổi trong chính sách để tạo điều kiện cho ngành công nghiệp năng lượng gió phát triển xa hơn.

Tổng sản lượng điện năng gió của Châu Âu cuối năm 2008 là 65 946 Mw, tương đương với 55% tổng công suất của toàn thế giới. Lần đầu tiên, năng lượng gió trở thành đại diện hàng đầu cho nguồn năng lượng mới ở Châu Âu, vượt xa cả khí gas tự nhiên (với sản lượng 6,939 Mw) và than đá (với sản lượng 763 Mw). Cuối năm 2008, năng lượng gió chiếm 8% công suất năng lượng của Liên minh Châu Âu (EU), đủ để sản xuất ra 4.2% lượng điện cần thiết cho khu vực, trong điều kiện gió bình thường.

Với 1 665 Mw điện năng gió được sản xuất vào năm 2008, Đức tiếp tục dẫn

đầu khu vực trong ngành công nghiệp năng lượng này mặc dù sản lượng có giảm nhẹ (< 1%) so với năm 2007. Năng lượng gió đáp ứng khoảng 40% nhu cầu về điện của 3 bang ở Đức và 7.5% lượng điện tiêu thụ trên toàn quốc. Viện Năng lượng Gió Đức dự đoán năng lượng gió sẽ đáp ứng khoảng 31% nhu cầu về điện của quốc gia vào năm 2030 dù hiện tại tốc độ phát triển của ngành công nghiệp năng lượng này có phần chững lại. Rất nhiều bãi biển lộng gió ở Đức đã được lắp đặt tuabin và nước này dự định sẽ tiếp tục lắp đặt các hệ thống như vậy tại vùng biển ngoài khơi phía Nam.

Tây Ban Nha đứng hàng thứ tư về số lượng các hệ thống lắp đặt mới trong năm 2008. Với sản lượng khoảng 16 740 Mg, Tây Ban Nha hiện đứng thứ 3 sau Mỹ và Đức về sản lượng năng lượng sản xuất từ gió. Năng lượng gió tạo ra hơn 11% lượng điện của Tây Ban Nha vào năm ngoái và đã giúp hạ giá thành điện năng tiêu thụ trong nước.

Một nghiên cứu gần đây đã khẳng định, công nghiệp năng lượng gió có đóng góp lớn nhất vào tổng sản phẩm nội địa, hơn tất cả các ngành công nghiệp khác. Tây Ban Nha và Đan Mạch – trong một thời gian dài là các thị trường chủ yếu ở Châu Âu – trong năm 2008 chỉ đóng góp khoảng gần 40% vào tổng sản lượng, so với 60% của năm 2007. Ngoài ra, còn một số nước Châu Âu khác cũng có đóng góp không nhỏ như Italy (1 010 Mg), Pháp (950 Mg), Anh (836 Mg) và Bồ Đào Nha (712Mg).

Năm 2008, Australia sản xuất được 482 Mg điện từ gió, tăng 58% so với năm 2007. Ở Châu Mỹ Latin, Brazil là quốc gia duy nhất đóng góp một lượng đáng kể năng lượng gió, với 94 Mg được tạo ra vào năm 2008. 3 nước Ai-cập, Morocco và Tunisia đóng góp tổng số 99 Mg, Iran là 17 Mg. Thổ Nhĩ Kỳ đã đưa vào vận hành turbine gió lớn nhất vào thời điểm hiện tại, với công suất hơn 42 Mg và chính thức gia nhập các quốc gia sản xuất năng lượng gió.

Hầu hết năng lượng gió được sản xuất ở vùng bờ biển, nhưng ngày càng nhiều turbine được vận hành ở xa bờ, đặc biệt là ở Châu Âu. Cuối năm 2008, có 9 quốc gia trong EU đưa các trang trại sản xuất năng lượng gió xa bờ vào hoạt động, tăng 4 quốc gia so với hồi đầu năm. Ước tính có khoảng 357 Mg đã được tạo ra vào

năm ngoái, nâng tổng sản lượng năng lượng sản xuất xa bờ ở châu Âu lên 1 486 Mg. Ước tính các các dự án xa bờ đang được lắp đặt hoặc đang trong giai đoạn lập kế hoạch và dự định hoàn thành vào năm 2015 sẽ mang lại công suất khoảng hơn 30,822 Mg nữa.

Chi phí của việc lắp đặt 1 tuabin gió trên thị trường thế giới vào khoảng 47.5 tỉ USD vào năm 2008, tăng khoảng 42% so với năm 2007. Nhìn chung, ngành năng lượng gió đã tạo công ăn việc làm cho khoảng hơn 400 000 người. Tuy nhiên, rất nhiều người làm việc trong lĩnh vực này đang có nguy cơ bị thất nghiệp, đặc biệt là ở Mỹ, do khủng hoảng kinh tế toàn cầu. Đầu năm 2009, chi phí cho những dự án mới, đơn đặt hàng turbin và các bộ phận khác đã giảm đáng kể

.Năng lượng gió và cái nhìn lạc quan vào tương lai

Mặc dù kỳ vọng trước mắt về ngành công nghiệp này không mấy sáng sủa, triển vọng phát triển trung và dài hạn trong tương lai rất sáng lạn. Giá tuabin được trông đợi giảm do cuộc suy thoái kinh tế đã giúp giảm chi phí cho nguyên liệu và lắp đặt. Cùng với một số điều kiện thuận lợi không nhỏ khác, công nghiệp năng lượng gió vẫn tiếp tục được đầu tư phát triển với ít nhất 3 dự án lớn ở bờ biển phía bắc Châu Âu.

Chương trình vực dậy nền kinh tế ở Mỹ và một số quốc gia khác đang tập trung chủ yếu vào năng lượng gió và những nguồn năng lượng có thể tái tạo khác. Chính phủ Trung quốc cũng đã phản ứng với cuộc suy thoái kinh tế toàn cầu bằng việc xác định phát triển năng lượng gió là mục tiêu then chốt hàng đầu của nền kinh tế.

Hội đồng Năng lượng Gió Quốc tế dự đoán 332 000 Mg năng lượng gió sẽ được tạo ra vào năm 2013. Còn BTM Consult, một công ty nghiên cứu thị trường của Đan Mạch dự đoán điện năng từ gió sẽ chiếm khoảng 6% lượng điện được tạo ra trên thế giới vào năm 2017.

1.2.NĂNG LƯỢNG TÁI TẠO

Năng lượng tái tạo hay **năng lượng tái sinh** là năng lượng từ những nguồn liên tục mà theo chuẩn mực của con người là vô hạn như năng lượng mặt trời, gió, mưa, thủy triều, sóng và địa nhiệt. Nguyên tắc cơ bản của việc sử dụng năng lượng tái sinh là tách một phần năng lượng từ các quy trình diễn biến liên tục

trong môi trường và đưa vào trong các sử dụng kỹ thuật. Các quy trình này thường được thúc đẩy đặc biệt là từ Mặt Trời. Năng lượng tái tạo thay thế các nguồn nhiên liệu truyền thống trong 4 lĩnh vực gồm: phát điện, đun nước nóng, nhiên liệu động cơ, và hệ thống điện độc lập nông thôn.

Có khoảng 16% lượng tiêu thụ điện toàn cầu từ các nguồn **năng lượng tái tạo**, với 10% trong tất cả năng lượng từ sinh khối truyền thống, chủ yếu được dùng để cung cấp nhiệt, và 3,4% từ thủy điện. Các nguồn năng lượng tái tạo mới (small hydro, sinh khối hiện đại, gió, mặt trời, địa nhiệt, và nhiên liệu sinh học) chiếm thêm 3% và đang phát triển nhanh chóng. Ở cấp quốc gia, có ít nhất 30 quốc gia trên thế giới đã sử dụng năng lượng tái tạo và cung cấp hơn 20% nhu cầu năng lượng của họ. Các thị trường năng lượng tái tạo cấp quốc gia được dự đoán tiếp tục tăng trưởng mạnh trong thập kỷ tới và sau đó nữa. Ví dụ như, năng lượng gió đang phát triển với tốc độ 30% mỗi năm, công suất lắp đặt trên toàn cầu là 282.482 (MW) đến cuối năm 2012.



Hình 1 .4. Tích lũy năng lượng gió bằng bánh đà
Dùng cánh quạt thu gió biến thành chuyển động quay, rồi chuyển năng lượng cơ học đó vào bánh đà (vô lăng) thành “kho” năng lượng sử dụng cho máy phát điện.

Nhờ thế máy có thể chạy ổn định liên tục dù gió mạnh hay yếu.



Hình 1.5 Gió được xem như nguồn năng lượng thiên nhiên vô tận.

Đây là ý tưởng mới của [kỹ sư Trần Đình Bá](#), Hội kiến trúc tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu, công bố tại Viện Khoa học và công nghệ Việt Nam, khu vực TP HCM.

Theo kỹ sư Bá, đây là giải pháp tiềm năng nhằm khai thác, tích lũy năng lượng từ gió - nguồn năng lượng vô tận vừa sạch vừa rẻ và cũng là một biện pháp "chia lửa" với cuộc khủng hoảng năng lượng hiện nay.

Ý tưởng dùng bánh đà để tích lũy năng lượng gió được thực hiện theo nguyên lý động lượng của Newton, tức "nếu không chịu tác dụng bởi một tổng lực khác không thì một vật đang đứng yên sẽ đứng yên mãi mãi, và một vật đang chuyển động sẽ chuyển động mãi mãi".

Sau khi được tích năng, bánh đà sẽ bảo toàn năng lượng theo định luật: "Năng lượng không tự nhiên xuất hiện và cũng không tự nhiên mất đi, nó chuyển từ dạng này sang dạng khác".

Kỹ sư Bá cho biết, phương pháp tích năng bằng bánh đà hiệu quả và tiện lợi hơn các phương pháp dùng điện gió xưa nay bởi có thể trữ lại một lượng năng lượng khổng lồ, đủ sức vận hành máy phát điện trong những khi gió yếu.

Cấu trúc của bánh đà là một khối kim loại có hình trụ đồng trục đặt trên 2 gối đỡ làm bằng vòng bi chịu được sự phá hoại của lực li tâm khi ở tốc độ cao. Bánh đà có vận tốc càng lớn thì năng lượng tích lũy được càng lớn.

Năng lượng gió sẽ được tích trữ trong vô lăng theo nguyên lý như hồ thủy điện tích nước, từ đó nó sẽ được sử dụng cho các máy công cụ hoặc máy phát ra điện bằng việc kết nối truyền động, năng lượng trong vô lăng sẽ cưỡng bức làm quay máy công cụ theo đúng nguyên lý truyền năng lượng từ cao đến thấp.

Khi máy công cụ không sử dụng, năng lượng trong bánh đà vẫn được bảo toàn theo nguyên lý động lượng. " Khi không có gió, máy công cụ, máy phát điện vẫn hoạt động do có được năng lượng cơ học đã tích trữ trong bánh đà", kỹ sư Bá

giải thích.

Cũng theo ông Bá, theo nguyên lý “góp gió thành bão” con người vẫn thu được năng lượng trong những làn gió yếu để tích lũy được vào bánh đà, vì vậy bố trí các nhà máy khai thác năng lượng gió có thể xây dựng khắp mọi nơi mà không phụ thuộc vào tốc độ gió, bản đồ năng lượng gió và không hề tác động có hại cho môi trường. Bánh đà cấu tạo đơn giản, trục thẳng, không cần làm mát như động cơ nhiệt, không thải ra chất độc hại nên việc khai thác năng lượng gió sẽ đặt bất kỳ vị trí nào trong bệnh viện, trường học, chợ búa, khách sạn, trên tàu thuyền, trong nhà máy, hải đảo, đỉnh núi...

Tuy nhiên theo ý kiến của một số nhà khoa học, việc thiết kế các nhà máy "phong điện" dường như chỉ phù hợp với những địa phương ít bị chắn gió, địa hình trống trải hơn là ở các đô thị vì chúng rất dễ làm hỏng mỹ quan.

Còn theo giáo sư Nguyễn Mộng Giao, Viện Vật lý hạt nhân tại TP HCM thì cho rằng, cần chi tiết hóa hơn nữa vấn đề tích trữ năng lượng gió bằng vô lăng bởi theo ông Giao, xét về mặt lý thuyết, việc tích lũy năng lượng từ gió không khó, thế nhưng cho đến nay các nhà khoa học lớn trên thế giới vẫn chưa tìm ra một giải pháp khả thi nào để “làm chủ” nguồn năng lượng này.

Kết luận

Các nguồn năng lượng tái tạo tồn tại khắp nơi trên nhiều vùng địa lý, ngược lại với các nguồn năng lượng khác chỉ tồn tại ở một số quốc gia. Việc đưa vào sử dụng năng lượng tái tạo nhanh và hiệu quả có ý nghĩa quan trọng trong an ninh năng lượng, giảm thiểu biến đổi khí hậu, và có lợi ích về kinh tế. Các cuộc khảo sát ý kiến công cộng trên toàn cầu đưa ra sự ủng hộ rất mạnh việc phát triển và sử dụng những nguồn năng lượng tái tạo như năng lượng mặt trời và gió.

CHƯƠNG II.

MÁY ĐIỆN SỬ DỤNG TRONG NĂNG LƯỢNG GIÓ

2.1 MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

2.1.1. Giới thiệu qua về máy điện một chiều

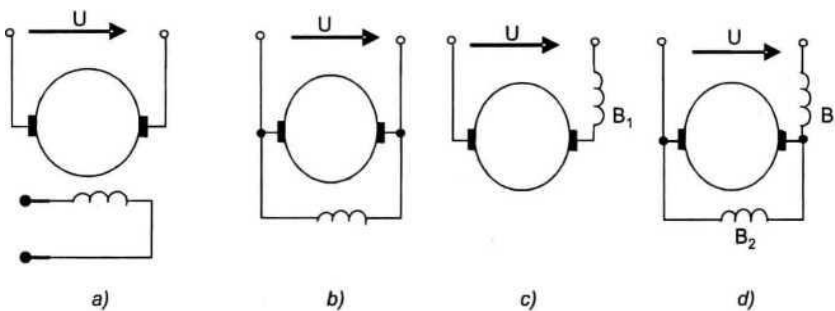
Có nhiều loại máy phát điện dung trong năng lượng gió hiện nay: máy phát điện một chiều, máy phát điện dị bộ, máy điện dị bộ nạp từ hai phía.

2.1.2 Phân loại máy phát điện một chiều

Máy phát điện một chiều là nguồn cung cấp năng lượng điện một chiều. Căn cứ vào cách sử dụng nguồn điện kích từ, người ta chia máy phát điện thành:

Máy phát điện kích từ độc lập;

Máy phát tự kích: kích từ song song, kích từ nối tiếp, kích từ hỗn hợp



Hình 2.1: Sơ đồ các loại máy phát điện một chiều a) Máy phát kích từ độc lập; b) Máy phát kích từ song song c) Máy phát kích từ nối tiếp; d) Máy phát kích từ hỗn hợp.

Máy phát kích từ độc lập là máy phát có nguồn kích từ độc lập với phần ứng, còn máy tự kích từ phụ thuộc vào phần ứng.

2.1.3. Phương trình cân bằng sđđ của máy phát

Gọi U là điện áp ở 2 trụ nối dây của máy phát, I_r - dòng tải. R_a - điện trở cuộn dây phần ứng, R_c - điện trở tiếp xúc của chổi, ΔU_C - tổn hao điện áp trên chổi, E_r - sđđ phần ứng. Vậy ta có phương trình điện áp như sau:

$$U = E_r - I_r R_a - \Delta U_C$$

hay: $U = E_u - I_u (R_a + R_c)$

trong đó: $R_c = \frac{\Delta U_c}{I_u}$; đặt $R_t = R_a + R_c$

vậy: $U = E_u - I_u R_t$ (6.15)

2.1.4. Mô men điện từ của máy phát

Khi động cơ lai cấp cho máy điện 1 chiều một mô men M_i làm rotor quay, nếu có kích từ, trong phần ứng sẽ xuất hiện 1 sđđ theo biểu thức (6.3). Nếu mạch ngoài kín, sẽ có dòng điện chạy trong các thanh dẫn. Vì dòng điện chạy qua các thanh dẫn nằm trong từ trường kích từ nên ở các thanh dẫn này sẽ xuất hiện một lực điện từ có chiều xác định bằng quy tắc bàn tay trái với giá trị:

$$F_x = B_x I_a$$

trong đó:

B_x - độ cảm ứng từ trung bình của từ trường;

L - độ dài tác dụng của dây dẫn phần ứng;

I_a - dòng điện chạy trong dây dẫn, lực điện từ là một ngẫu lực nên ta có mô men xác định bằng biểu thức:

trong đó:

B_x - độ cảm ứng từ trung bình của từ trường;

L - độ dài tác dụng của dây dẫn phần ứng;

I_a - dòng điện chạy trong dây dẫn, lực điện từ là một ngẫu lực nên ta có mô men xác định bằng biểu thức:

$$M_x = F_x \frac{D_a}{2} = B_x I_a \frac{D_a}{2} \quad (6.16)$$

Mô men M_x có chiều chống lại chiều quay do mô men động cơ lai cung cấp, nó là mô men cản. Trong thực tế mỗi cực có $N/2p$ dây dẫn, vậy mô men điện từ của máy điện được tính như sau:

$$M_{dt} = 2p \sum_1^{N/2p} M_x = 2p I_a \sum_1^{N/2p} B_x$$

Với giá trị đủ lớn thì đại lượng $\sum_1^{N/2p} B_x$ sẽ là giá trị trung bình B_{tb} nhân với số dây quấn trên một cực, vậy:

$$\sum_1^{N/2p} B_x = B_{tb} \cdot \frac{N}{2p}$$

vì: $B_{th} = \frac{\phi}{l\tau} = \frac{\phi}{\pi D l} = 2p \frac{\phi}{\pi D l}$ còn $I_a = \frac{I_u}{2a}$

vậy: $M_{dt} = 2p I_a \frac{D}{2} N \frac{\phi}{\pi D l} = pN \frac{1}{a\pi} I_a \phi$

hay:
$$M_{dt} = C_m \phi I_r \quad (6.17)$$

trong đó:

$$C_m = \frac{p N}{\pi a} - \text{hằng số của máy điện;}$$

D - đường kính rô to;

l - độ dài tác dụng dây dẫn phần ứng.

Biểu thức (6.17) còn có thể nhận được bằng cách sau đây:

$$M_{dt} = \frac{P_{dt}}{\omega}$$

trong đó: $P_{dt} = E_r I_r$, $\omega = 2\pi$ - tốc độ quay của rô to.

Thay E_r bằng biểu thức (6.3) ta được:

$$M_{dt} = \frac{C_e \phi I_r}{2\pi} = \frac{C_e}{2\pi} \phi I_r = C_m \phi I_r \quad (6.18)$$

trong đó: $C_m = C_e / 2\pi$.

Khi máy phát làm việc, trên trục máy ngoài M_{dt} còn mô men M_0 ứng với tổn hao công suất khi không tải (tổn hao cơ và tổn hao lõi thép). Như vậy, mô men của máy phát sẽ bằng:

$$M_{mf} = M_0 + M_{dt} \quad (6.19)$$

Ở chế độ ổn định mô men động cơ lai (M_1) phải bằng mô men máy phát, vậy:

$$M_1 = M_0 + M_{dt} \quad (6.20)$$

➤ Đây là loại máy phát điện ít được sử dụng trong động cơ tuabin gió

2.2. MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

- Máy điện đồng bộ là máy điện xoay chiều có tốc độ rotor n bằng tốc độ từ trường quay trong máy n1. Ở chế độ xác lập máy điện đồng bộ có tốc độ quay của rotor luôn không đổi. Stator của máy điện đồng bộ giống như stator của máy điện không đồng bộ. Dây quấn stator còn gọi là dây quấn phần ứng.
- Rotor của máy điện đồng bộ là nam châm điện gồm có lõi thép và dây quấn kích thích. Dòng điện đưa vào dây quấn kích thích là dòng điện một chiều. Rotor của máy điện đồng bộ có hai kiểu là rotor cực lồi và rotor cực ẩn.

2.2.1. MÁY PHÁT ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

2.2.2. Mở đầu

Loại máy phát điện quay có cấu tạo đơn giản là loại máy phát điện không đồng bộ (dị bộ). Máy điện dị bộ có loại 1 pha, 2 pha hoặc 3 pha, nhưng phần lớn máy phát điện dị bộ 3 pha có công suất từ một vài oát tới vài mê ga oát, có điện áp từ 1 oov đến 6000V.

Căn cứ vào cách thực hiện rô to, người ta phân biệt 2 loại: loại có rotor ngắn mạch và loại rotor dây quấn. Cuộn dây rotor dây quấn là cuộn dây cách điện, thực hiện

theo nguyên lý của của cuộn dây dòng xoay chiều

Cuộn dây rotor ngắn mạch gồm một lồng bằng nhôm đặt trong các rãnh của mạch từ rô to, cuộn dây ngắn mạch là cuộn dây nhiều pha có số pha bằng số rãnh. Động cơ rotor ngắn mạch có cấu tạo đơn giản và rẻ tiền, còn máy điện rotor dây quấn đắt hơn, nặng hơn nhưng có tính động tốt hơn, do có thể tạo các hệ thống khởi động và điều chỉnh.

2.2.3. Nguyên lý làm việc của máy phát điện di bộ

Để xét nguyên lý làm việc của máy phát điện di bộ, ta lấy mô hình máy điện 3 pha gồm 3 cuộn dây đặt cách nhau trên chu vi máy điện một góc 120° , rotor là cuộn dây ngắn mạch (hình 4.1). Khi cung cấp vào 3 cuộn dây 3 dòng điện của hệ thống điện 3 pha có tần số là f thì trong máy điện sinh ra từ trường quay với tốc độ $60f_1/p$. Từ trường này cắt thanh dẫn của rotor và stator, sinh ra ở cuộn stator sđđ tự cảm e_1 và ở cuộn dây rotor sđđ cảm ứng e_2 có giá trị hiệu dụng như sau:

$$E_1 = 4,44 W_1 \phi f_1 k_{cd}$$

$$E_2 = 4,44 W_2 \phi f_1 k_{cd}$$

Do cuộn rotor kín mạch, nên sẽ có dòng điện chạy trong các thanh dẫn của cuộn dây. Sự tác động tương hỗ giữa dòng điện chạy trong dây dẫn rotor và từ trường sinh ra lực, đó là các ngẫu lực (2 thanh dẫn nằm cách nhau đường kính rô to) nên tạo ra mô men quay. Mô men quay có chiều đẩy stator theo chiều chống lại sự tăng từ thông móc vòng với cuộn dây. Nhưng vì stator gắn chặt còn rotor lại treo trên ổ bi, do đó rotor phải quay với tốc độ n theo chiều quay của từ trường. Tuy nhiên tốc độ này không thể bằng tốc độ quay của từ trường, bởi nếu $n = n_u$ thì từ trường không cắt các thanh dẫn nữa, do đó không có sđđ cảm ứng, $E_2 = 0$ dẫn đến $I_2 = 0$ và mô men quay cũng bằng không, rotor quay chậm lại, khi rotor chậm lại thì từ trường lại cắt các thanh dẫn, nên lại có sđđ, lại có dòng và mô men, rotor lại quay. Do tốc độ quay của rotor khác tốc độ quay của từ trường nên xuất hiện độ trượt và được định nghĩa như sau:

$$s\% = \frac{n_{tt} - n}{n_{tt}} 100\% \quad (4.1)$$

Vậy tốc độ quay của rotor có dạng:

$$n = n_{tt}(1 - s) \quad (4.2)$$

Bây giờ ta hãy xem dòng điện trong rotor biến thiên với tần số nào.

Do $n \neq n_{tt}$ nên $(n_{tt} - n)$ là tốc độ cắt các thanh dẫn rotor của từ trường quay.

Vậy tần số biến thiên của sđđ cảm ứng trong rotor biểu diễn bởi:

$$f_2 = \frac{(n_{tt} - n)p}{60} = \frac{n_{tt}}{n_{tt}} \frac{(n_{tt} - n)p}{60} = \frac{n_{tt}p}{60} \frac{(n_{tt} - n)}{n_{tt}} = sf_1 \quad (4.3)$$

Khi rotor có dòng I_2 chạy, nó sinh ra một từ trường quay với tốc độ:

$$n_{tt2} = \frac{60f_2}{p} = \frac{60sf_1}{p} = sn_{tt} \quad (4.4)$$

So với một điểm không chuyển động của stato, từ trường rotor sẽ quay với tốc độ:

$$n_{tt2s} = n_{tt2} + n = sn_{tt} + n = sn_{tt} + n_{tt}(1 - s) = n_{tt}$$

Như vậy so với stato, từ trường quay của rotor có cùng giá trị với tốc độ quay của từ trường stato.

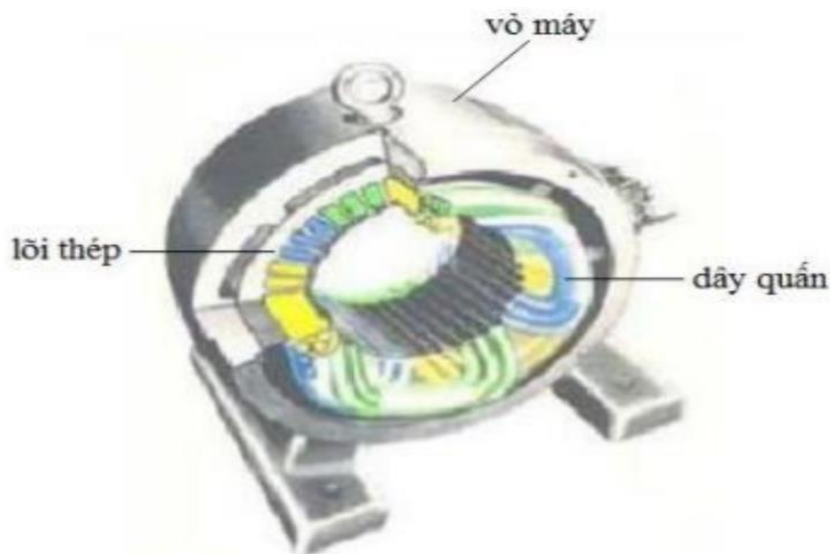
2.2.4. Cấu tạo động cơ dị bộ:

Phần tĩnh (stato)

Stato bao gồm vỏ máy, lõi sắt và dây quấn.

Vỏ máy

Vỏ máy là nơi cố định lõi sắt, dây quấn và đồng thời là nơi ghép nối nắp hay gối đỡ trục. Để chế tạo vỏ máy người ta có thể đúc, hàn, rèn và nguyên liệu để làm vỏ máy có thể làm bằng gang, nhôm hay lõi thép. Vỏ máy có hai kiểu: vỏ kiểu kín và vỏ kiểu bảo vệ. Hộp cực là nơi để đấu điện từ lưới vào



Hình 2.1: Cấu tạo của stator

Đối với động cơ kiểu kín hộp cực yêu cầu phải kín, giữa thân hộp cực và vỏ máy với nắp hộp cực phải có giăng cao su. Trên vỏ máy còn có bulon vòng để cầu máy khi nâng hạ, vận chuyển và bulon tiếp mát.

Lõi sắt

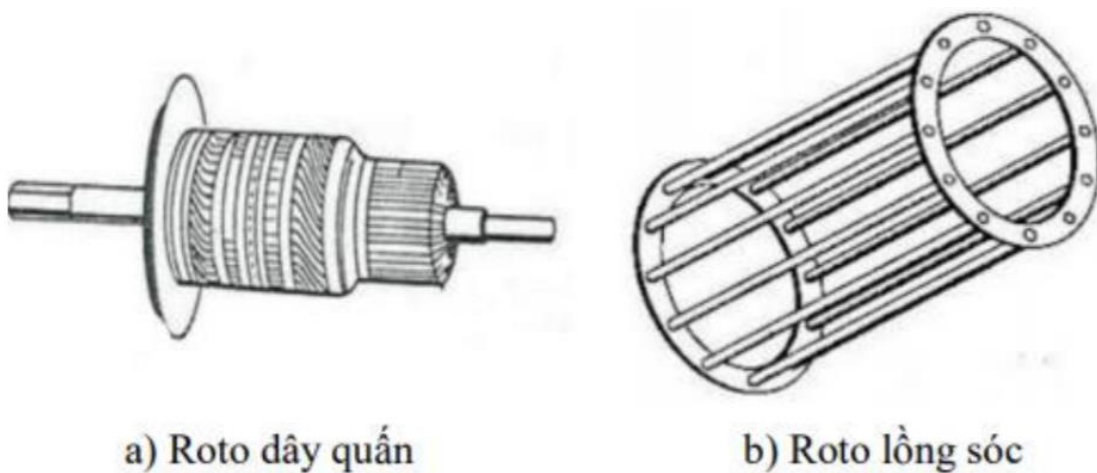
Lõi sắt là phần dẫn từ. Vì từ trường đi qua lõi thép là từ trường quay, nên để giảm tổn hao lõi sắt được làm từ những lá thép kỹ thuật điện dày 0,5mm ép lại. Yêu cầu của lõi sắt là phải dẫn từ tốt, tổn hao nhỏ và chắc chắn. Mỗi lá thép kỹ thuật điện đều phủ sơn cách điện trên bề mặt để giảm tổn hao do dòng điện xoáy gây nên.

Dây quấn

Dây quấn stato được đặt vào rãnh của lõi sắt và được cách điện tốt với lõi sắt. Dây quấn đóng vai trò quan trọng của máy điện vì nó trực tiếp tham gia vào quá trình biến đổi năng lượng điện năng thành cơ năng hay ngược lại, đồng thời về mặt kinh tế thì giá thành của dây quấn cũng chiếm một phần khá cao trong toàn bộ giá thành máy.

Phần quay (rôto)

Rôto của động cơ không đồng bộ gồm lõi sắt, dây quấn và trục (đối với động cơ dây quấn còn có vành trượt).Trên hình 1.8 là hai loại rotor của động cơ không đồng bộ.



Hình 2.2: Rotor máy điện không đồng bộ

Lõi sắt

Lõi sắt của rôto bao gồm các lá thép kỹ thuật điện như stato, điểm khác biệt ở đây là không cần sơn cách điện giữa các lá thép vì tần số làm việc trong rôto rất

thấp chỉ vài Hz, nên tổn hao do dòng phuco trong rôto rất thấp. Lõi sắt được ép trực tiếp lên trục máy hoặc lên một giá rôto của máy. Phía ngoài của lõi sắt có xẻ rãnh để đặt dây quấn rôto.

Dây quấn rôto

Phân làm hai loại chính: rôto kiểu dây quấn và kiểu lồng sóc. Loại rôto dây quấn: Rôto có dây quấn giống như dây quấn stato.

Máy điện kiểu trung bình trở lên dùng dây quấn kiểu sóng hai lớp, vì bớt những dây đầu nối nên kết cấu dây quấn trên rôto chặt chẽ. Máy điện cỡ nhỏ dùng dây quấn đồng tâm một lớp. Dây quấn ba pha của rôto thường đấu hình sao. Đặc điểm của loại động cơ kiểu dây quấn là có thể thông qua chổi than đưa điện trở phụ hay suất điện động phụ vào mạch rôto để cải thiện tính năng mở máy, điều chỉnh tốc độ hay cải thiện hệ số công suất của máy.

Loại rôto kiểu lồng sóc

Kết cấu của loại dây quấn rất khác với dây quấn stato. Trong mỗi rãnh của lõi sắt rôto đặt các thanh dẫn bằng đồng hay nhôm dài trong lõi sắt và được nối tắt lại hai đầu bằng hai vòng ngắn mạch bằng đồng hay nhôm. Nếu là rôto đúc nhôm thì trên vành ngắn mạch còn có các cánh quạt gió. Rôto thanh đồng được chế tạo từ đồng hợp kim có điện trở suất cao nhằm mục đích nâng cao mômen mở máy. Để cải thiện tính năng mở máy, đối với máy có công suất lớn, người ta làm rãnh rôto sâu hoặc lồng sóc kép. Đối với máy điện cỡ nhỏ, rãnh rôto được làm chéo góc với tâm trục. Dây quấn lồng sóc không cần cách điện với lõi sắt.

Trục

Trục máy điện mang rôto quay trong lòng stato. Trục máy điện được chế tạo tùy theo kích thước và nguyên liệu chủ yếu là thép cacbon. Trên trục của rôto có lõi thép, dây quấn, vành trượt và quạt gió.

2.2.5. Các chế độ làm việc của máy phát điện dị bộ

Máy phát điện dị bộ có thể làm việc ở những thể loại sau:

1. Động cơ

Chế độ chúng ta vừa nghiên cứu trên là chế độ động cơ của máy dị bộ. Ở chế độ này động cơ nhận điện năng từ lưới điện và biến thành cơ năng để chuyển động một

cơ khí gắn trên trục động cơ (tải). Động cơ có tốc độ quay nhỏ hơn tốc độ từ trường, quay cùng chiều với từ trường. Sẽ bàn kỹ hơn chế độ này ở phần sau.

2. Chế độ máy phát

Với mô hình máy điện dị bộ trên, nếu bây giờ gắn vào trục máy điện một máy lai ngoài (ví dụ động cơ di-e-zen) và quay rotor với tốc độ n cùng chiều từ trường nhưng có giá trị lớn hơn tốc độ từ trường, thì thứ tự cắt các thanh dẫn của rotor sẽ ngược với thứ tự cắt vừa nghiên cứu. Sđđ cảm ứng trong các thanh dẫn đổi chiều, dòng điện cũng đổi chiều, trước đây chạy từ lưới vào máy điện thì bây giờ dòng điện chạy từ máy điện về lưới điện, ta có chế độ máy phát. Độ trượt bây giờ tính như sau:

$$s = \frac{n_{tt} - (-n)}{n_{tt}} > 1$$

3. Chế độ máy hãm

Nếu bây giờ có một lực từ bên ngoài, kéo rotor máy dị bộ quay ngược với chiều quay của từ trường, do hướng của từ trường quay không đổi nên hướng của sđđ và dòng điện trong các thanh dẫn rotor không đổi chiều, nên mô men không đổi chiều nhưng do rotor đổi hướng quay nên bây giờ mô men do động cơ sinh và tốc độ ngược chiều nhau, ta có chế độ hãm điện. Vì $n = -n$ nên bây giờ độ trượt có giá trị:

$$s = \frac{n_{tt} - n}{n_{tt}} < 0 \text{ vì } n > n_{tt}.$$

4. Chế độ biến áp

Nếu máy điện dị bộ rotor dây quấn để hở cuộn dây rô to, thì khi cấp điện cho mạch stato, từ trường quay stator cắt các cuộn dây rotor và sinh ra sđđ trong các cuộn dây theo nguyên tắc của máy biến áp. Giá trị hiệu dụng của các sđđ này như sau:

$$E_1 = 4,44k_{cd1}\phi W_1 f_1$$

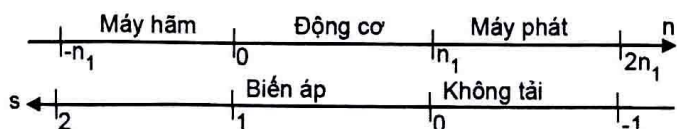
$$E_2 = 4,44k_{cd2}\phi W_2 f_1$$

trong đó: k_{cd1} và k_{cd2} - hệ số cuộn dây phía sơ cấp và thứ cấp.

Vì mạch rotor hở, nên không có dòng chạy và không có mô men. Máy điện dị bộ làm việc như máy biến áp.

Nếu ta khép mạch rô to, nhưng giữ cho rotor không quay thì tần số của sđđ cảm

ứng trong mạch rotor $f_1 = f_2$, ta vẫn có chế độ biến áp. Máy dị bộ có rotor không quay làm việc như máy biến áp, trong thực tế được dùng như bộ dịch pha hoặc bộ điều chỉnh điện áp. Tuy nhiên cần lưu ý, khi rotor động cơ không quay, máy điện bị đốt nóng do phương pháp làm mát bị thay đổi và tổn hao ở lõi thép tăng đột ngột vì độ trượt tăng ($s = 1$). Lúc này thường phải giảm dòng bằng giảm điện áp. Máy dị bộ làm việc như máy biến áp, nên có thể cấp nguồn từ phía rô to. Các loại chế độ làm việc của máy điện dị bộ biểu diễn trên hình



Hình 2.2: Các thể loại chế độ làm việc của máy điện dị bộ

2.3.Cấu tạo của động cơ roto dây quấn

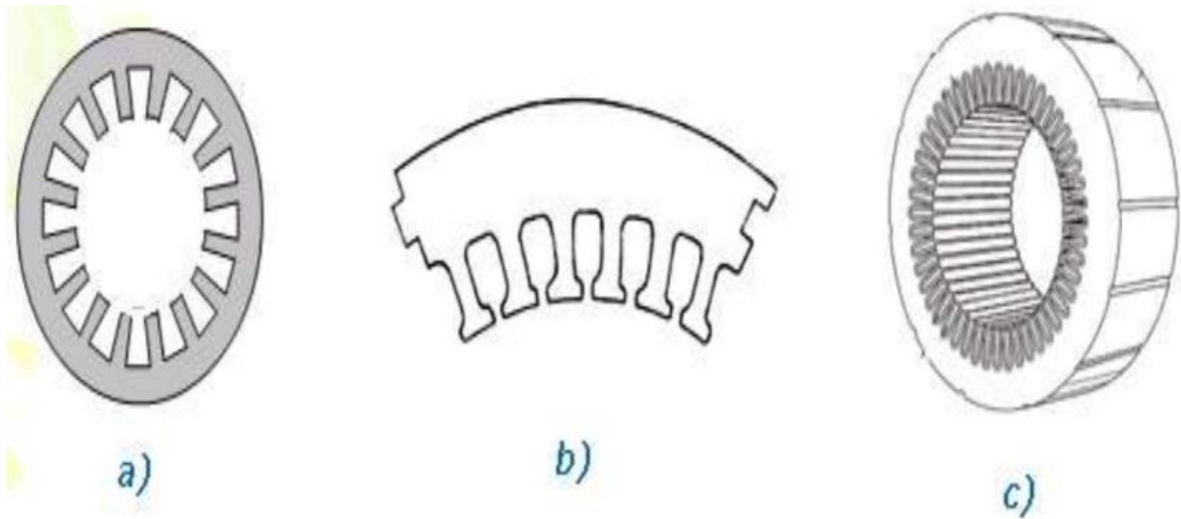
Máy điện không đồng bộ roto dây quấn gồm các bộ phận chính sau: Stato, Roto.

a. Stato

Là thành phần tĩnh gồm 2 bộ phận chính là lõi thép và dây quấn. Ngoài ra còn có vỏ máy, nắp máy.

- Lõi thép: Lõi thép được làm bằng những lá thép kỹ thuật điện dày $0,35 \div 0,5$ mm, bề mặt có phủ sơn cách điện để chống tổn hao do dòng điện xoáy. Hình 2.1 trình bày về lõi thép Stato của máy điện dị bộ. Khi đường kính máy nhỏ, các lá thép được dập theo hình tròn như ở hình 2.1a. Khi đường kính ngoài lõi thép lớn (trên 990 mm) các lá thép được dập thành hình rẻ quạt (hình 2.1b). Các lá thép ghép lại với nhau rồi ép chặt tạo thành hình trụ rỗng, bên trong hình thành các rãnh để đặt dây quấn như ở hình 2.1c.

Nếu lõi thép dài quá thì các lá thép được ghép thành từng thép dày $6 \div 8$ cm, các thép đặt cách nhau 1 cm để tạo đường thông gió hướng tâm.



Hình 2.1. Lõi thép stato máy điện không đồng bộ

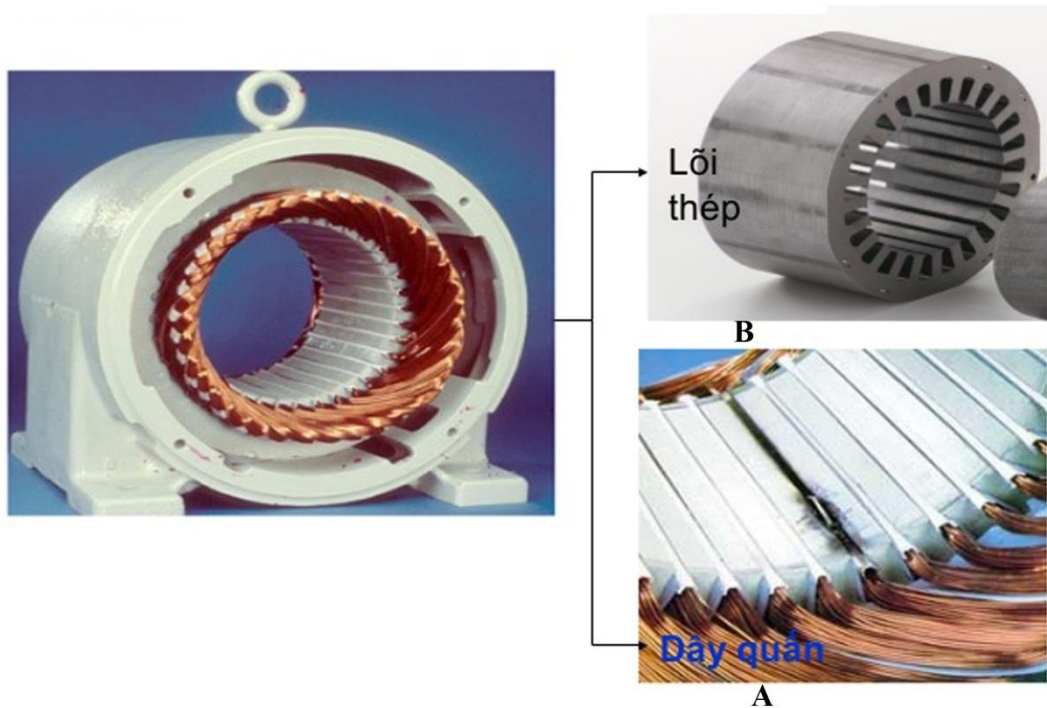
a) Hình vành khăn

b) Hình rãnh quạt

c) Mạch từ stato

- Dây quấn: Là phần dẫn điện, được làm bằng dây đồng có bọc cách điện

Dây quấn stato của máy điện không đồng bộ 3 pha gồm ba dây quấn pha có trục đặt lệch nhau trong không gian 120^o điện, mỗi pha gồm nhiều bó dây, mỗi bó dây gồm nhiều vòng dây (hình 2.2a). Mỗi vòng dây có hai cạnh tác dụng. Các bó dây được đặt vào rãnh của lõi thép stato (hình 2.2b) và được nối với nhau theo một quy luật nhất định. Dây quấn của máy điện dị bộ có thể thực hiện theo rất nhiều kiểu quấn dây. Tùy theo mục đích, yêu cầu sử dụng, và yêu cầu công nghệ, người ta sẽ thiết kế đáp ứng theo các tiêu chí kỹ thuật.



Hình 2.2. Dây quấn stato

- Vỏ máy: Vỏ máy làm bằng nhôm hoặc gang dùng để cố định lõi thép và dây quấn cũng như cố định máy trên bệ, không dùng để làm mạch dẫn từ. Đối với máy có công suất tương đối lớn (1000kw) thường dùng thép tấm hàn lại thành vỏ. Tùy theo cách làm nguội máy mà dạng vỏ cũng khác nhau. Hai đầu vỏ có nắp máy và ổ đỡ trục. Vỏ máy và nắp máy còn dùng để bảo vệ máy.

b. Roto

Là phần quay gồm lõi thép, dây quấn, vành trượt và trục máy

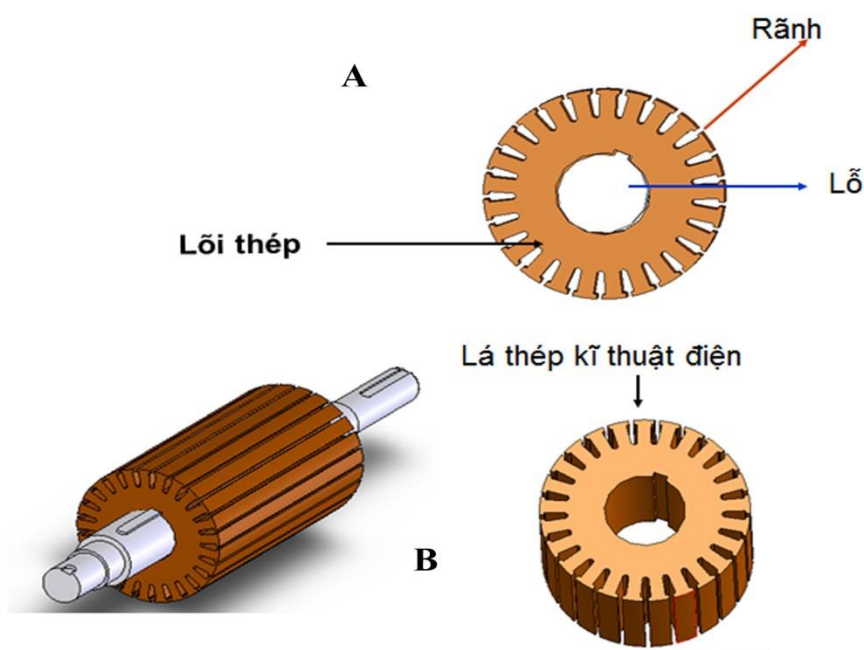
Lõi thép: Lõi thép roto được làm bằng các lá thép kĩ thuật điện, dập như hình 2.3a.

Các lá thép sau khi sơn cách điện được ghép lại thành khối hình trụ mặt ngoài hình thành các rãnh để đặt dây quấn roto, ở giữa có lỗ để ghép trục và nếu công suất lớn người ta khoan lỗ để thông gió làm mát.

Trên thực tế, tổn hao sắt ở lõi thép roto với máy công suất nhỏ là không lớn lắm cho nên trong nhiều trường hợp người ta cũng có thể sử dụng thép rèn. Với các máy công suất lớn thì lõi thép phải là loại thép lá kĩ thuật điện có công nghệ chế tạo giống như lõi thép của Stato. Khi sử dụng thép lá người ta có thể để lợi dụng phần thép kĩ thuật điện sau khi dập lõi sắt stato, người ta dùng để ép lõi thép roto. Hình

2.3 trình bày về cấu trúc của lõi roto.

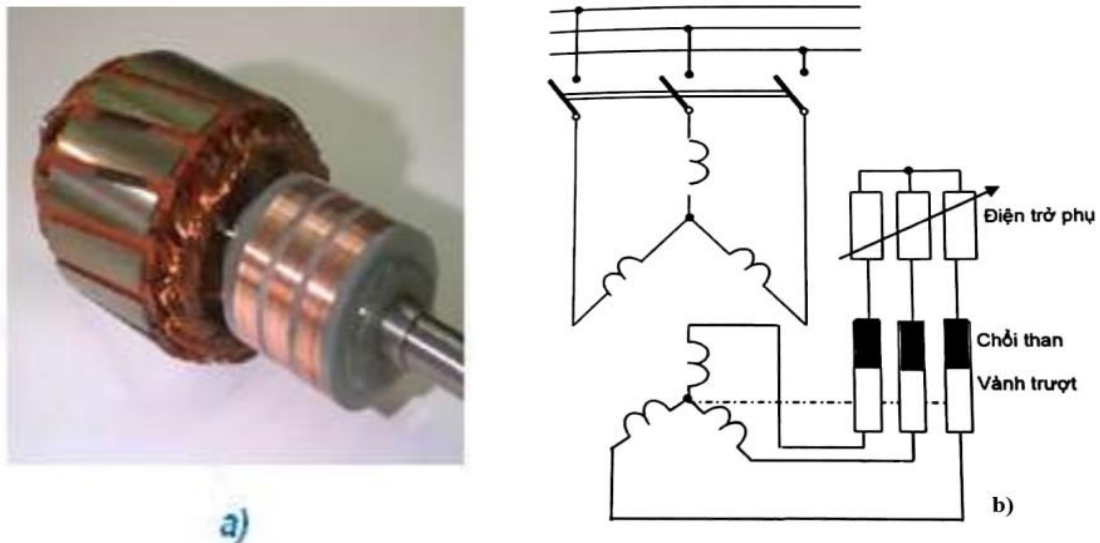
Dây quấn roto cũng được thực hiện như công nghệ quấn dây của Stator. Cuộn dây Roto cũng là ba pha với cách quấn được thiết kế giống như stator nhưng kích thước dây quấn và số vòng mỗi pha dây quấn phải được tính toán phù hợp với dòng điện và điện áp tính toán cho Roto.



Hình 2.3. Lá thép roto của máy điện không đồng bộ

Dây quấn được đặt trong rãnh của lõi thép roto. Dây quấn 3 pha của roto thường đầu hình sao (Y), ba đầu còn lại được nối với ba vành trượt làm bằng đồng cố định ở đầu trục (hình 2.4a), từ lên ba vành trượt là ba chổi than (hình 2.4b). Hệ thống chổi than và vành trượt của Roto máy điện dị bộ là để ghép nối phần điện với mạch điện bên ngoài nên về công nghệ hệ thống này cũng đòi hỏi được chế tạo chính xác, chắc chắn và làm việc tin cậy. Các vành góp phải được làm từ đồng được chế tạo ở áp suất cao với độ bền cơ khí tốt để chịu nhiệt, chống mài mòn, không bị biến dạng trong quá trình làm việc. Hệ thống chổi than với giá đỡ, lò xo, cán chổi và than cũng phải được thiết kế theo tiêu chuẩn và giống như của máy điện một chiều. Một trong những yêu cầu về điện là điện trở tiếp xúc giữa than và chổi than là phải nhỏ. Thông qua chổi than có thể ghép thêm điện trở phụ hay đưa sức điện động phụ vào mạch roto trong chế độ động cơ và để ghép nối với các bộ Inverter, Converter trong chế độ máy phát (nếu cần).

Hình 2.4 trình bày hình ảnh một roto dây quấn của máy điện dị bộ (hình 2.4a) và cách ghép nối giữa cuộn dây Roto với điện trở bên ngoài trong chế độ động cơ (hình 2.4b).



Hình 2.4. Roto dây quấn (a) và sơ đồ mạch điện (b) của roto dây quấn

2.3.1. Cấu tạo cuộn dây roto máy điện dị bộ nạp từ 2 phía (roto dây quấn)

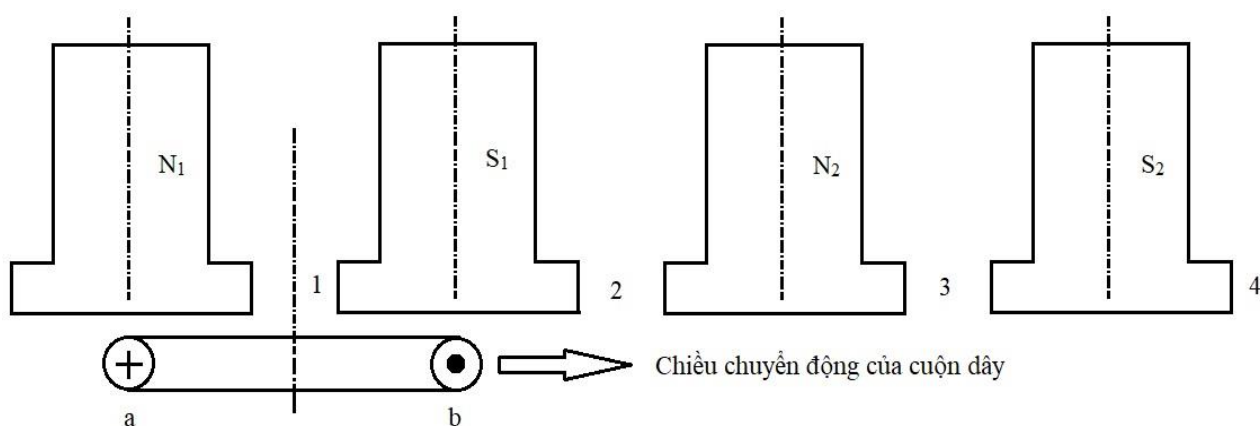
Cuộn dây máy điện chính là mạch điện của máy điện. Phần lớn các máy điện trong thực tế gồm 2 loại cuộn dây: Cuộn dây đặt ở phần tĩnh (stato) và cuộn dây đặt ở phần quay (roto). Cuộn dây máy điện là nguồn cảm ứng sđđ và dòng điện hoặc là mạch điện qua nó chạy dòng điện để tạo ra từ trường. Loại cuộn dây thứ nhất gọi là cuộn dây phân ứng, còn cuộn dây thứ hai gọi là cuộn dây kích từ. Cuộn dây kích từ nói chung là cuộn dây tập trung trong đó các vòng dây móc vòng với từ thông chính.

Cuộn dây phân ứng thường là cuộn dây phân tán được đặt trong các rãnh nằm rải rác trên chu vi phần tĩnh (stato hoặc phần động roto) máy điện, do đó tại 1 thời điểm nhất định một nhóm cuộn dây sẽ móc vòng với những đường sức từ khác nhau.

2.3.1.1. Nguyên lý hoạt động của cuộn dây máy điện dị bộ roto dây quấn

Để có sđđ xoay chiều, phương pháp đơn giản nhất là dịch chuyển cuộn dây có bước rải thích hợp trong từ trường biến đổi. Ở hình 2.5 biểu diễn một cuộn dây có cạnh a-b cách nhau một bước cực, chuyển động từ trường với tốc độ đều theo

hướng mũi tên. Các cực của từ trường có kích thước giống nhau và đặt cách đều nhau.

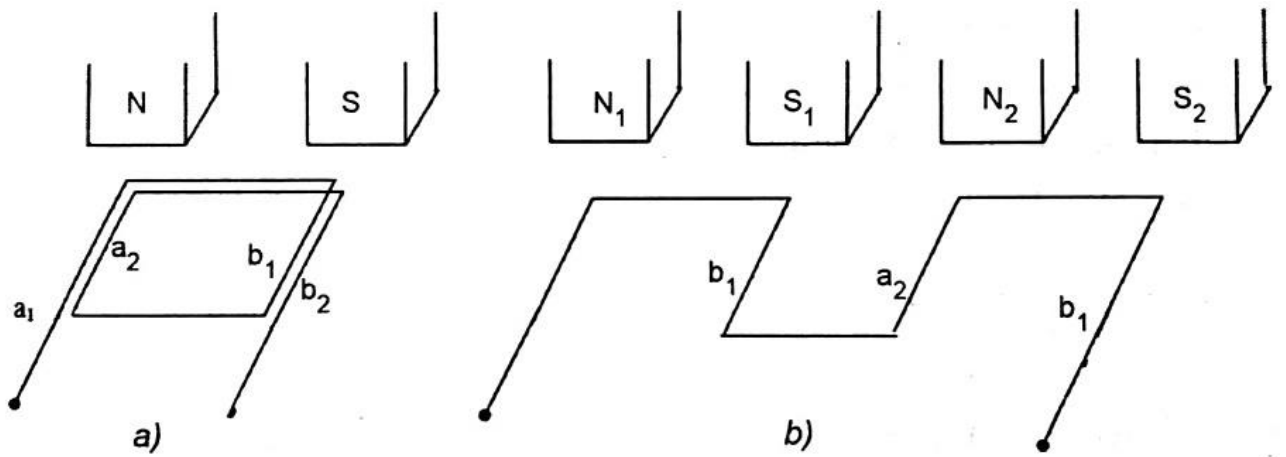


Hình 2.5. Nguyên lý hoạt động cuộn dây xoay chiều

Tại thời điểm nghiên cứu, tâm cuộn dây nằm ở vị trí số 1, cách đều trục 2 cực $S_1 - N_1$. Theo qui tắc bàn tay phải, sđđ cảm ứng xuất hiện có chiều như hình vẽ. Sau một thời gian nào đó, tâm cuộn dây nằm ở vị trí 2, chiều của sđđ cảm ứng có chiều ngược với chiều ở vị trí 1. Vị trí 2 dịch trong không gian so với vị trí 1 một bước cực. Khi tâm cuộn dây nằm ở vị trí thứ 3 thì sđđ trong cuộn dây lại giống như ở vị trí 1. Thời gian cần thiết để dịch chuyển cuộn dây từ vị trí 1 sang 3 chính là 1 chu kỳ sđđ cảm ứng. Hình 2.5 ta thấy vòng dây dịch chuyển đi 1 khoảng bằng 2 bước cực. Ta nhận được kết quả tương tự nếu cuộn dây đứng im nhưng từ trường dịch chuyển theo chiều ngược lại.

Người ta thường chọn khoảng cách giữa 2 cạnh a, b của cuộn dây bằng bước cực để sđđ có giá trị cao nhất. Nếu sự phân bố của từ trường các cực có dạng hình sin, thì sđđ cảm ứng cũng có dạng hình sin. Muốn tăng sđđ thì phải tăng số vòng dây của cuộn dây, các vòng dây này phải mắc nối tiếp với nhau. Các vòng dây mắc nối tiếp với nhau phải nằm ở cùng 1 trạng thái trong từ trường thì sđđ cuộn dây sẽ lớn nhất.

Trên hình 2.6a biểu diễn các vòng dây nối tiếp nhau nằm ở dưới các cực cạnh nhau trong từ trường, còn hình 2.6b các vòng dây nối tiếp nằm dưới các cực cạnh nhau.

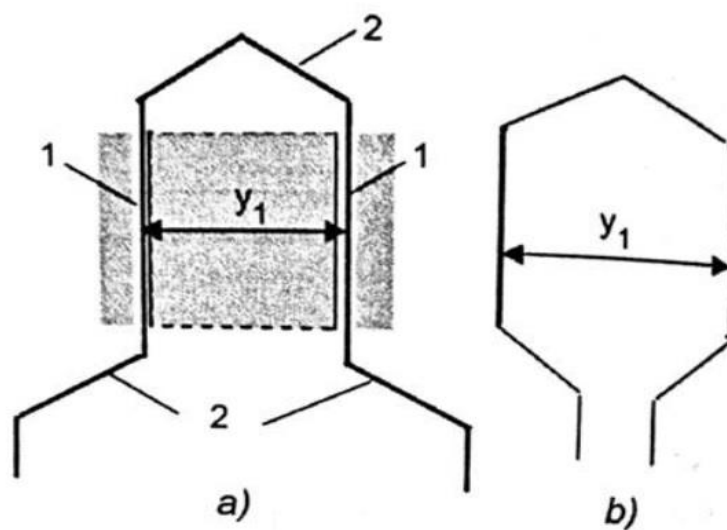


Hình 2.6. Cách nối các vòng dây của cuộn dây

Cuộn dây máy điện thường được đặt vào các rãnh của lõi thép. Để có thể sử dụng tối đa mạch từ thì vòng dây của 1 pha phải chiếm một cung nào đó của chu vi. Độ dài cung chiếm bởi các cạnh cùng tên thuộc một pha gọi là chiều rộng của dải.

2.3.1.2. Nguyên lý xây dựng cuộn dây máy điện

Phần tử cơ bản và đơn giản nhất của mỗi cuộn dây là vòng dây gồm 2 cạnh như hình 2.7a, b. Các cạnh được đặt vào các rãnh của lõi thép và nó là phần tử tác dụng của cuộn dây. Các cạnh của vòng dây được nối với nhau bằng nối đầu cuộn dây, đó là phần nằm ngoài lõi thép. Có nhiều cách nối khác nhau phụ thuộc vào phương pháp thực hiện cuộn dây. Thông thường phải thực hiện nối đầu cuộn dây ngắn nhất để tiết kiệm vật liệu và giảm tổn hao công suất. Ở những máy có công suất lớn việc nối đầu cuộn dây phải đảm bảo chắc chắn để chống biến dạng do lực điện từ vì có dòng điện lớn chạy qua



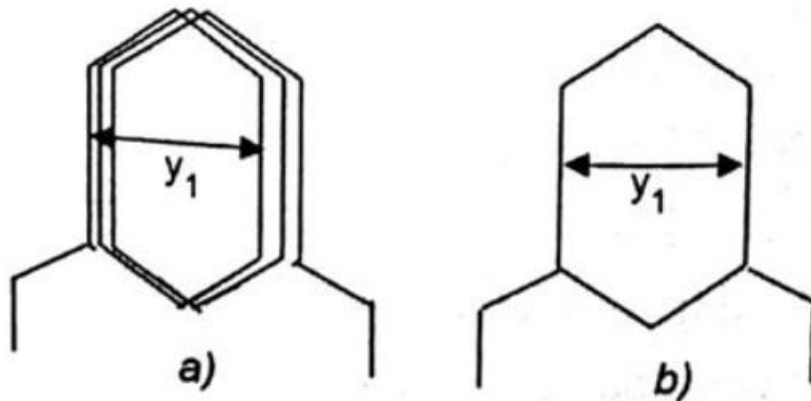
Hình 2.7. Vòng dây

a) Cuộn dây sóng; b) Cuộn dây xếp.

1 – Thanh dẫn; 2 – nối đầu cuộn dây;

y_1 – bước cuộn dây.

Chúng ta nối tiếp một số vòng dây lại với nhau được 1 nhóm và gọi là bin. Bin được coi là phần tử cấu trúc của cuộn dây, người ta có thể thực hiện nó ngoài máy điện như quán cách điện, tấm sấy,... sau đó mới đặt vào các rãnh. Việc vẽ và đọc cuộn dây biểu diễn trên hình 2.8a phức tạp do đó thường dùng sơ đồ đơn giản như hình 2.8b.



Hình 2.8. Bin 3 vòng dây.

a) Sơ đồ điện; b) Giản đồ

Thông số đặc trưng của cuộn dây là bước cuộn dây, đó là khoảng cách giữa 2 cạnh của vòng dây. Số đo của bước cuộn dây là số lượng rãnh nằm trong khoảng cách giữa 2 cạnh, ví dụ $y_1 = 6$ có nghĩa là nếu cạnh trái nằm ở cạnh 1 thì cạnh phải sẽ nằm ở rãnh 7

Khi nói về cuộn dây ta còn dùng khái niệm bước cực và cũng đo bằng số lượng rãnh như sau: $\tau = \frac{Z}{2p}$, trong đó Z – tổng số rãnh trên chu vi máy điện, p – số đôi cực.

Cuộn dây có bước cuộn dây bằng bước cực $y_1 = \tau = \frac{Z}{2p}$ gọi là cuộn dây đường kính, còn nếu $y_1 < \tau$ ta gọi là cuộn dây rút gọn

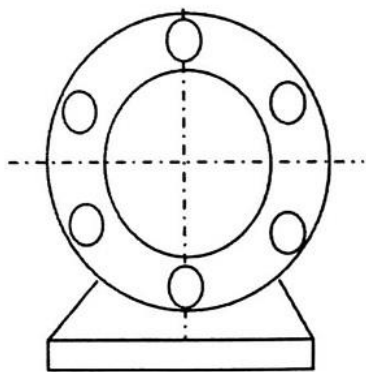
Ngoài bước cực người ta cũng còn dùng bước rãnh $\tau_z = \frac{\pi D}{Z}$ trong đó D – đường kính của rotor hay stato

Để nhận được sđđ 3 pha đối xứng cần phải đặt ở chu vi lõi thép 3 cuộn dây như nhau có bước cuộn dây τ_p và nằm cách nhau 1 góc 120° (hình 2.11). Để xây dựng cuộn dây đúng và dễ dàng ta dùng sao sđđ. Trường hợp đơn giản nhất là ở mỗi rãnh chỉ có thanh dẫn. Sđđ lúc này có thể biểu diễn bằng véc tơ và hình thành sao điện áp, trong đó mỗi véc tơ biểu diễn một sđđ. Nếu tỷ số Z/p là một số nguyên thì sao điện áp có Z/p tia, mỗi tia ứng với p rãnh và dịch pha đối với nhau một góc $2\tau_p$. Góc lệch pha giữa các sđđ nằm ở cạnh nhau xác định:

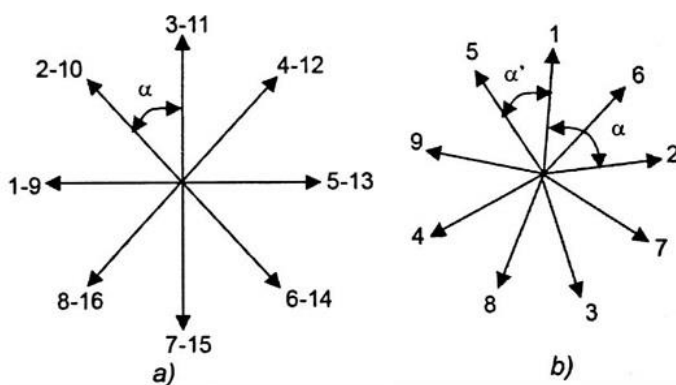
$$\alpha = \frac{360p}{Z} \quad (2.0)$$

Nếu Z không chia hết cho p thì sao điện áp có 2 thông số góc: góc α là góc của 2 sđđ nằm cạnh nhau trên chu vi máy điện tính theo (2.0) và góc α' là góc hợp bởi 2 tia điện áp cạnh nhau trên sơ đồ tính theo biểu thức:

$$\alpha' = \frac{360t}{Z} \quad (2.0a)$$



Hình 2.9. Cuộn dây 3 pha đặt trên chu vi máy điện Z/p lẻ



Hình 2.10. Sao điện áp của cuộn dây 3 pha a) Có Z/p nguyên; b) Có Z/p lẻ

Trong đó t là ước số chung lớn nhất của Z và p . Trên hình 2.10 biểu diễn sao điện áp cho 2 trường hợp

Cuộn dây có $Z = 16$ rãnh, $p = 2$; Ta có $Z/p = 8$ là số nguyên do đó số tia là 8, còn góc hợp bởi 2 tia là $\alpha = \frac{360.2}{16} = 45^\circ$

Cho cuộn dây có $Z = 9$, $p = 2$; Ta có $Z/p = 9/2$ – lẻ, vậy số tia là 9, ta có 2 số đo sau đây:

- Góc của 2 rãnh nằm cạnh nhau trên chu vi $\alpha = \frac{360.2}{9} = 80^\circ$
- Góc của 2 tia điện áp nằm cạnh nhau:

Ước số chung lớn nhất của Z và p là $t = 1$, ta có $\alpha' = \frac{360.1}{9} = 40^\circ$

2.3.1.3. Phân loại cuộn dây

Cuộn dây máy điện có thể chia thành: Cuộn dây 1 pha, 2 pha, 3 pha

Cuộn dây 3 pha lại có thể được phân loại theo số lớp, theo số lượng rãnh trên một cực 1 pha và phân loại theo phương pháp thực hiện.

Phân loại theo lớp cuộn dây: Theo lớp cuộn dây đặt trong rãnh người ta phân ra loại: 1 lớp, 2 lớp, 3 lớp.

Phân loại theo số lượng rãnh trên một cực một pha. Số rãnh trên một cực một pha q tính như sau:

$$q = \frac{Z}{2mp} \quad (2.1)$$

Cho cuộn dây 3 pha, ta có $q = \frac{Z}{6p}$. Căn cứ vào q chia ra cuộn dây q chẵn q lẻ.

Phân loại theo cách thực hiện cuộn dây. Sự phân loại này dựa trên các cơ sở sau :

a – Cách đặt cuộn dây vào rãnh: Căn cứ cách đặt cuộn dây vào rãnh chia ra rải dây, luôn dây và khâu dây

b – Cách thực hiện bin: Thực hiện bằng tay, thực hiện bằng máy

Để xây dựng cuộn dây ta cần bước cuộn dây, có 3 loại bước cuộn dây: bước tiến và bước lùi và bước toàn phần.

- Bước tiến là khoảng cách giữa 2 cạnh cuộn dây (y_1) (hình 2.11)
- Bước lùi là khoảng cách giữa cạnh thứ 2 của vòng dây trước với cạnh thứ 1 của cuộn dây tiếp theo (hình 2.11)

- Bước cuộn dây toàn phần là khoảng cách giữa các cạnh của các vòng dây với nhau (hình 2.11)

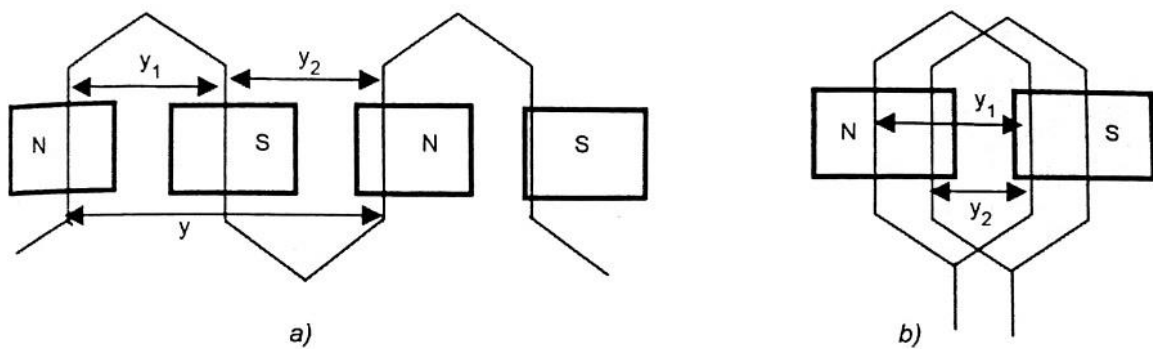
Căn cứ vào các tính bước cuộn dây ta có 2 loại cuộn dây:

Cuộn sóng là cuộn có bước toàn phần tính theo:

$$y = y_1 + y_2 \quad (2.2)$$

Cuộn xếp là cuộn có bước toàn phần:

$$y = y_1 - y_2 \quad (2.3)$$



Hình 2.11. Biểu diễn bước cuộn dây

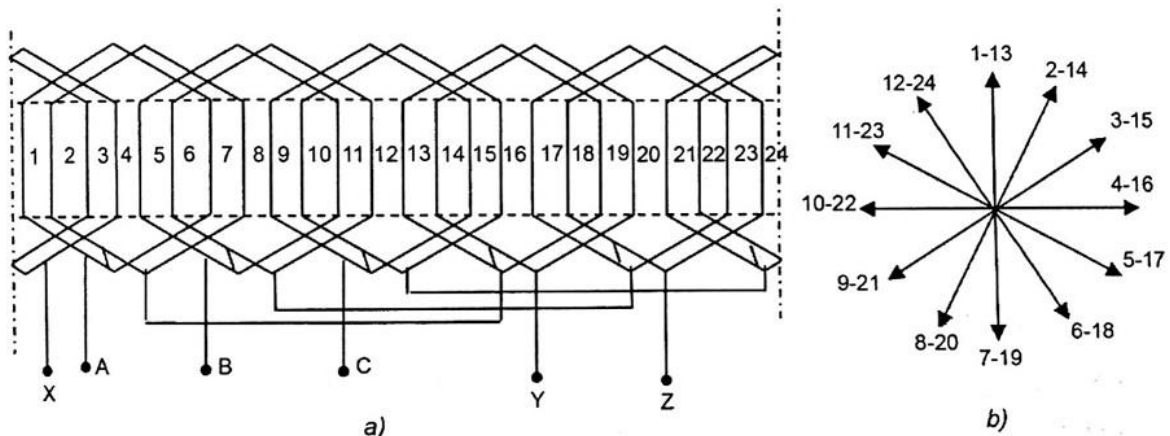
a) Cuộn dây quấn sóng ; b) Quấn dây xếp

2.3.1.4. Dạng cuộn dây 3 pha 1 lớp xếp có q chẵn

Loại cuộn dây này thường dùng cho các máy có $p > 1$.

Ví dụ, dựng sơ đồ cuộn dây có $Z = 24$, $2p = 4$, $q = 2$. Để dựng cuộn dây ta qui định như sau: các rãnh được biểu thị bằng các đường thẳng và được đánh số thứ tự (hình 2.12). Ta thực hiện cuộn dây bán kính ($y_1 = \tau$), tính bước cuộn dây như sau:

$$y_1 = \tau = Z/2p = 24/2.2 = 6$$



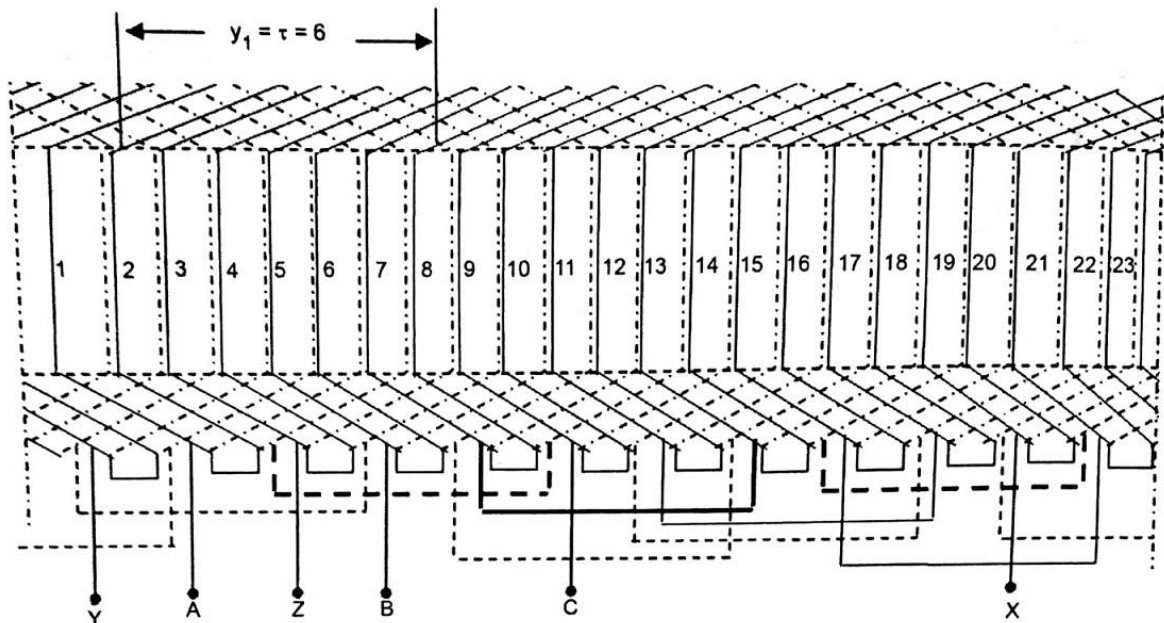
Hình 2.12. Cuộn dây 3 pha cuốn xếp

a) Sơ đồ; b) Sao điện áp

2.3.1.5. Dạng cuộn dây 3 pha 2 lớp xếp có q chẵn

Cuộn dây thường gặp là cuộn dây 2 lớp xếp đường kính hoặc rút gọn. Đặc điểm của cuộn dây này là vòng dây và mô bin có hình dáng à kích thước giống nhau nên đối xứng về pha và các nhánh song song trong cuộn dây tuy nhiên quá trình đặt cuộn dây đặc biệt là lớp dưới sẽ phức tạp hơn cuộn dây 1 lớp. Để dựng cuộn dây 2 lớp ta qui định lớp trên vẽ liền, lớp dưới vẽ bằng nét đứt.

Ví dụ dựng cuộn dây 3 pha 2 lớp có $Z = 24$, $p = 2$, $y_1 = \tau = 6$ (hình 2.13).



Hình 2.13. Cuộn dây 3 pha 2 lớp đường kính có $Z = 24$, $p = 2$, $q = 2$, $y_1 = \tau = 6$

2.3.1.6. Dạng cuộn dây 3 pha xếp bước ngắn

Trong thực tế người ta cũng dựng cuộn dây có bước cuộn dây nhỏ hơn bước cực $y_1 < \tau$. Nếu gọi S là số rãnh rút ngắn thì bước cuộn dây rút ngắn sẽ là:

$$y_1 = \frac{Z}{2p} - S$$

Bước cuộn dây tương đối lúc này là:

$$\beta = \frac{y_1}{\tau}$$

Cuộn dây rút ngắn có những ưu điểm sau:

- Sđđ có dạng hình sin hơn, từ trường do cuộn dây tạo ra có dạng tốt hơn;

- Đặt cuộn dây vào rãnh để hơn đặc biệt ở máy có hình nhiều cực;
- Tiết kiệm đồng do rút ngắn nối đầu cuộn dây.

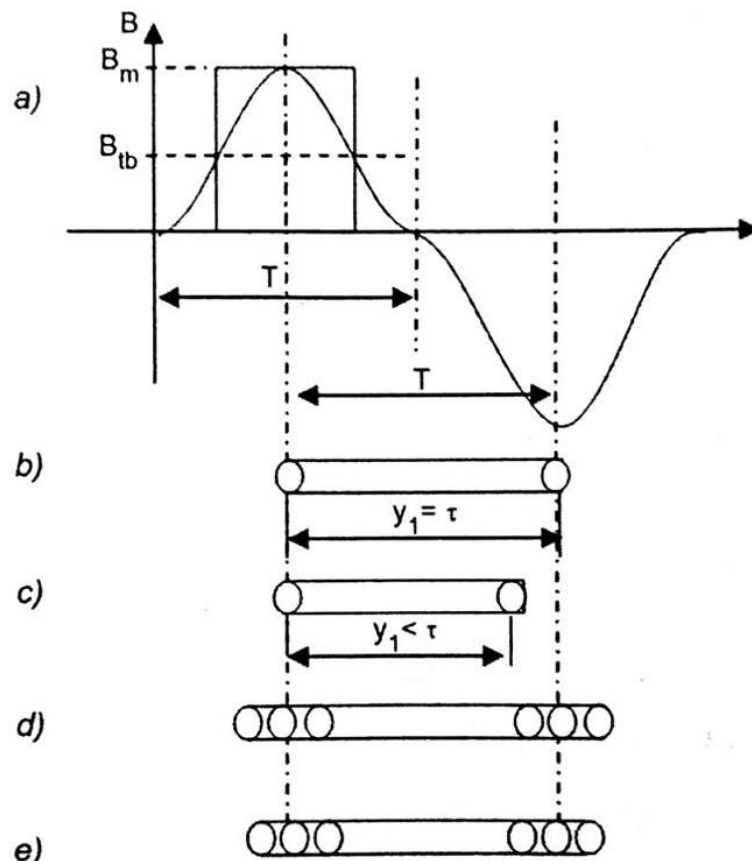
Sđđ bị biến dạng vì có sóng bậc cao. Nếu rút ngắn bước cuộn dây đi $\frac{1}{v}\tau$ thì sóng bậc v sẽ bị khử. Ví dụ rút ngắn bước cuộn dây đi $1/5$ thì sóng bậc 5 bị khử.

2.3.1.7 Dạng cuộn dây 3 pha sóng

Ở cuộn dây 2 lớp sóng, thì cuộn dây của 1 pha chạy q lần toàn bộ chu vi phần ứng về phía phải sau đó dịch đi 180° trong từ trường vòng theo phía trái q lần. Mỗi một vòng sóng, ở cuộn dây sóng đường kính gồm $2p-1$ bước bằng bước cực, bước cuối cùng thường rút ngắn một bước rãnh để cho vòng tiếp theo bắt đầu từ dây bên cạnh không phải bắt chéo. Cuộn dây sóng cho máy điện một chiều ít dùng cho máy điện xoay chiều.

2.3.4. Sự hình thành sđđ trong cuộn dây roto máy điện bị bộ roto dây quấn

Nhằm xác định biểu thức sđđ cảm ứng trong cuộn dây pha bởi từ trường quay ta nghiên cứu máy điện có từ trường không sin (nhưng đối xứng so với trục x và y và chu kỳ lặp lại dưới các cực hình 2.14a [1].



Hình 2.14. a) Xác định sđđ trong bin dây; b) Đường kính;
c) Rút ngắn; d) Nhóm đường kính; e) Nhóm rút ngắn.

Biên độ trong bin dây đường kính xác định bằng biểu thức:

$$E_m = B_m 2l_i z_z v \quad (2.4)$$

Trong đó l_i – độ dài tác dụng của cạnh cuộn dây, z_z – số vòng dây có trong bin, v – tốc độ dài theo chu vi của sóng từ trường quay so với cuộn dây, B_m – biên độ của độ cảm ứng từ. Trong trường hợp cuộn dây rút ngắn (hình 2.14b) thì 2 cạnh của một vòng dây không khi nào nằm trong cùng một trạng thái trong từ trường do đó sđđ cảm ứng trong bin sẽ nhỏ hơn sđđ của bin đường kính. Vì lý do đó ta đưa ra khái niệm hệ số rút gọn k_s , hệ số này phụ thuộc vào bước cuộn dây, dạng của sóng từ trường và được định nghĩa: là tỷ số giữa sđđ cảm ứng trong bin rút ngắn với sđđ cảm ứng trong bin đường kính.

$$k_s = \frac{E_{mrng}}{E_{mrdk}} = \frac{E_{mrng}}{2z_z E_{mcanh}} \quad (2.5)$$

Với định nghĩa này thì hệ số rút ngắn cho cuộn dây đường kính $k_s = 1$, cho cuộn rút ngắn $k_s < 1$.

Sđđ của bin rút ngắn bây giờ có dạng:

$$E_m = E_m = k_s B_m 2l_i z_z v \quad (2.6)$$

Để xác định sđđ của nhóm ta nhớ rằng nhóm được hình thành bằng cách nối tiếp các bin với nhau như hình 2.14d. Do các nhóm gồm các vòng dây nằm ở những trạng thái khác nhau trong từ vịnh, vì vậy chúng không nằm trong cùng tình trạng, ta đưa vào khái niệm hệ số nhóm và được định nghĩa như sau:

Là tỷ số sđđ của nhóm thực tế (nằm rải trên chu vi) với sđđ của nhóm tập trung:

$$k_{nh} = \frac{E_{mrai}}{E_{mtrung}} = \frac{E_{mn hom}}{q E_{mbin}} \quad (2.7)$$

Giá trị k_{nh} nhận như sau:

Với $q > 1$ thì $k_{nh} < 1$;

Với $q = 1$ thì $k_{nh} = 1$.

Sđđ nhóm với cuộn dây đường kính có dạng:

$$E_m = k_{nh} B_m 2l_i z_z v \quad (2.8)$$

Sđđ nhóm với cuộn dây rút ngắn có dạng:

$$E_m = k_{nh} k_s B_m 2l_i z_z v \quad (2.9)$$

Tích hệ số rút ngắn và hệ số nhóm là hệ số cuộn dây

$$k_{cd} = k_{nh} \cdot k_s \quad (2.10)$$

Vậy biểu thức (2.9) có thể viết:

$$E_m = k_{cd} B_m 2l_i z_z v \quad (2.11)$$

Khi biết được sđđ nhóm ta có thể viết biểu thức sđđ pha do mắc nối tiếp các nhóm như sau:

$$E_m = k_{cd} B_m 2l_i z_z q p v \quad (2.12)$$

Ký hiệu W là số vòng dây nối tiếp trong một pha ta có $W = z_z q p$ do đó sđđ pha có dạng:

$$E_m = 2k_{cd} B_m l_i W v \quad (2.13)$$

Thay B_m bằng từ thông của một cực ϕ ta có:

$$\phi = l_i \tau B_{tb} \quad (2.14)$$

Thay tốc độ dài bằng biểu thức: $v = \frac{2pn\tau}{60} = 2\tau f$

Cuối cùng biểu thức giá trị hiệu dụng sđđ của pha cuộn dây máy điện có dạng:

$$E = 4,44k_{cd}Wf\phi$$

(2.15)

2.3.5. Nguyên lý hoạt động của máy điện dị bộ roto dây quấn

Máy phát điện không đồng bộ roto dây quấn có 2 cuộn dây: dây quấn stato (phần tĩnh) nối với lưới điện tần số không đổi f_1 , dây quấn roto (phần động) được nối tắt lại hoặc khép kín trên điện trở, hoặc nối với các thiết bị phụ khác.

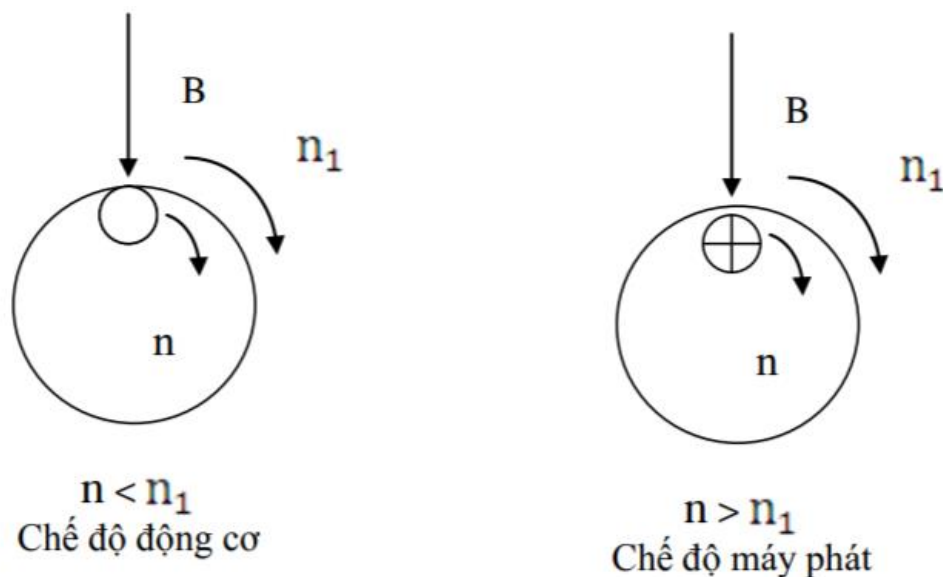
Khi nghiên cứu máy điện dị bộ trong chế độ máy phát người ta phải đưa điện xoay chiều 3 pha vào 3 cuộn dây của Stato - Dòng điện 3 pha này tạo thành từ trường quay quay với tốc độ:

$$n_1 = \frac{60f}{p}$$

Trong đó: f : Tần số, p : Số đôi cực

Lúc đó nếu ta sử dụng một động cơ sơ cấp lai Roto của máy điện, quay cùng chiều và với tốc độ n lớn hơn tốc độ n_1 thì độ trượt.

$$S = \frac{n_1 - n}{n_1} < 0$$



Hình 2.15. Dòng điện Roto trong chế độ động cơ (a) và chế độ máy phát (b)

Dòng điện chạy trong Roto trong trường hợp máy phát này sẽ ngược chiều với dòng điện ở chế độ động cơ. Hình 2.15 trình bày chiều dòng điện Roto trong hai chế độ. Như vậy thông qua từ trường của máy điện, cơ năng của động cơ sơ cấp đã

biến thành điện năng và cấp năng lượng trả lên lưới. Tuy nhiên, qua phân tích thấy rằng máy điện đã sử dụng một phần công suất của lưới để tạo nên từ trường quay – Đó chính là công suất phản kháng Q . Và như vậy nếu làm việc ở chế độ này thì máy điện đã phải tiêu hao một lượng công suất phản kháng của lưới. Như thế hệ số \cos của lưới sẽ bị giảm đi. Nếu như máy điện muốn làm việc độc lập thì cần phải có thiết bị để tạo nên lượng công suất phản kháng này – Và thực tế phải sử dụng bộ tụ điện để làm việc đó. Đây chính là nhược điểm rất lớn mà máy điện dị bộ làm việc ở chế độ máy phát gặp phải. Chính lý do này như đã trình bày ở trên nên so với máy điện đồng bộ thì máy phát điện dị bộ bị lãng quên trong quá khứ là hoàn toàn có lí.

Kết luận

Ở chương này, em đã tìm hiểu được cấu tạo, nguyên lý hoạt động máy điện dị bộ roto dây quấn nạp từ 2 phía ngoài ra còn có cấu tạo của cuộn dây, nguyên lý hoạt động của cuộn dây và cấu tạo, nguyên lý hoạt động của máy điện 1 chiều.

Trong ứng dụng năng lượng gió, đối với máy điện dị bộ nói chung và máy điện dị bộ roto dây quấn nạp từ 2 phía nói riêng thì đây vẫn là 1 sự lựa chọn rộng rãi và tối ưu nhất với các ưu điểm vượt trội trong các hệ thống phát điện với tốc độ thay đổi. Máy điện 1 chiều thì ít được sử dụng hơn.

CHƯƠNG III: XU HƯỚNG TRONG HỆ THỐNG MÁY PHÁT ĐIỆN TUABIN GIÓ (99)

3.1. YÊU CẦU VÀ QUAN HỆ CƠ BẢN

Mục tiêu chính của sự phát triển trong tuabin gió là giảm thiểu chi phí năng lượng được cung cấp cho hệ thống điện. Sự đóng góp của hệ thống máy phát điện cho mục tiêu này là để chuyển đổi năng lượng đầu vào cơ học từ lưỡi dao thành năng lượng điện, một lần nữa cho phép giảm thiểu chi phí năng lượng. Điều này có một số ý nghĩa quan trọng

1) Chi phí vốn (như sản xuất, vận chuyển và lắp đặt) là quan trọng, nhưng không quyết định, bởi vì chi phí hoạt động (chẳng hạn như sửa chữa và bảo trì) cũng phải được xem xét.

2) Hệ thống máy phát điện tốt nhất thay đổi theo thời gian bởi vì chi phí vật liệu thay đổi theo thời gian, như chúng ta đã thấy cho nam châm vĩnh cửu (PM). Sự không chắc chắn về những phát triển giá này ảnh hưởng đến quyết định.

3) Hệ thống máy phát điện tốt nhất phụ thuộc vào vị trí lắp đặt tuabin, vì tổng năng lượng được tạo ra phụ thuộc vào tốc độ gió.

4) Hiệu quả của hệ thống là quan trọng, nhưng không quyết định, bởi vì một hệ thống có hiệu suất thấp hơn mang lại năng lượng với chi phí năng lượng thấp là tốt

Bên cạnh việc hoàn thành mục tiêu chính này, các hệ thống máy phát điện tuabin gió phải đáp ứng một số yêu cầu khác.

1) Kết nối lưới: Để cho phép ứng dụng năng lượng gió quy mô lớn mà không ảnh hưởng đến sự ổn định của hệ thống điện, các nhà khai thác hệ thống điện có các mã lưới để mô tả các yêu cầu về chất lượng và hình thức mà nguồn được phân phối tới hệ thống [2]. Tua bin gió được yêu cầu đối với khả năng đi xe qua lưới điện (hoặc đi qua điện áp thấp) (LVRT): chúng phải được kết nối và đóng góp vào lưới điện trong trường hợp có sự xáo trộn như nhúng điện áp. Về lâu dài, các trang trại gió phải giống như các nhà máy điện thông

thường — cung cấp năng lượng hoạt động và phản kháng để điều khiển tần số và điện áp trong hệ thống.

2) Độ tin cậy và tính khả dụng: Đặc biệt là chi phí ngoài khơi, chi phí hoạt động có thể tạo thành một phần quan trọng (theo thứ tự 30%) của chi phí năng lượng. Do đó, các yêu cầu liên quan đến độ tin cậy, tính khả dụng và khả năng bảo trì được chú ý nhiều hơn và nhiều nghiên cứu hơn trong lĩnh vực này là cần thiết [3] - [9]. Bảo vệ thích hợp chống lại môi trường nước ngoài ẩm ướt và mặn tích cực là vô cùng quan trọng.

3) Tốc độ biến: Để cho phép kết hợp tối ưu giữa hệ thống máy phát và khí động học của rôto, hệ thống máy phát điện được yêu cầu phải có tốc độ thay đổi. Sức mạnh có thể được chụp từ gió bằng tuabin gió được cho bởi [1]

$$P = 0.5 \rho a r C_p(\lambda, \theta) \pi r b^2 v w^3$$

trong đó ρ là mật độ khối không khí, v là tốc độ gió, r là bán kính rotor (hoặc chiều dài lưỡi), và C_p là hệ số công suất, phụ thuộc vào thiết kế cụ thể của lưỡi dao, góc lưỡi dao θ và tốc độ đầu tip λ (tốc độ đầu lưỡi dao chia cho tốc độ gió). **B. Scaling máy phát điện**

Chi phí của máy phát điện phụ thuộc vào kích thước và vật liệu được sử dụng. Kích thước của máy phát điện là trong xấp xỉ đầu tiên tỷ lệ thuận với mô-men xoắn định mức. Ứng suất cắt (lực trên mỗi mét vuông diện tích bề mặt khe hở hoạt động) trong các máy điện được cho bởi [10] - [12]

$$F_d = 0.5 A^* B^* g \cos \gamma$$

trong đó A^* và B^* là biên độ của các nguyên tắc cơ bản của tải trọng dòng stato và mật độ thông lượng khoảng trống, và γ là góc giữa chúng.

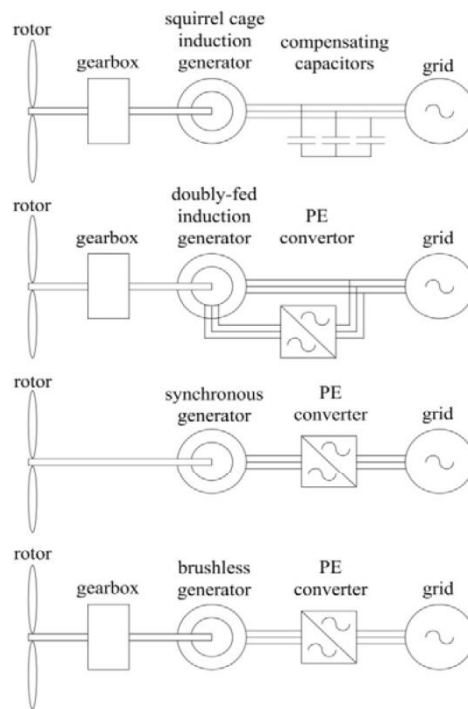
Ứng suất cắt này khá ổn định trên một loạt các loại máy và mức công suất, bởi vì nó là sản phẩm của mật độ thông lượng, bị hạn chế do bão hòa và tải trọng hiện tại, bị hạn chế do tản. Bằng cách sử dụng làm mát chất lỏng cưỡng bức, ứng suất cắt này có thể tăng [10], nhưng với chi phí giảm hiệu quả.

Với ứng suất cắt này, ước tính đầu tiên về kích thước máy phát điện của bộ tạo sóng thông lượng có thể được thực hiện. Sức mạnh được tạo ra bởi một máy phát điện xuyên tâm được cho bởi [12]

$$P = \omega m T = 2\pi \omega m r_s 2l_s Fd = 2\omega m Fd V_r$$

trong đó ωm là tốc độ góc cơ học, r_s là bán kính khoảng trống, l_s là chiều dài ngăn trục, và V_r là thể tích rotor của máy phát.

Mức mô-men xoắn của hệ thống máy phát điện tăng hơn tỷ lệ thuận với mức công suất. Điều này là do tốc độ đầu lưỡi dao phải được giới hạn để tránh các lực cơ học quá mức, hao mòn và nhiễu âm thanh. Nếu tốc độ đầu lưỡi dao được đánh giá được giả định độc lập với kích thước của rôto, thì tốc độ quay cơ học của rôto ω_r tỷ lệ nghịch với bán kính của rôto.



Hình 3.1. Bốn hệ thống máy phát điện thường được sử dụng [18].

3.2. HỆ THỐNG MÁY PHÁT ĐIỆN SỬ DỤNG HIỆN TẠI

Bốn hệ thống máy phát điện được sử dụng phổ biến nhất được áp dụng trong tuabin gió được thể hiện trong hình 2 và được thảo luận bên dưới [13] - [18]. Bảng I liệt kê 10 nhà sản xuất tuabin gió hàng đầu năm 2012 [19] với mức

công suất của sản phẩm [20] - [29] và các hệ thống máy phát điện mà họ sử dụng.

A. tốc độ không đổi sóc- lồng cảm ứng máy phát điện

Trong những thập niên cuối của thế kỷ trước, hầu hết các nhà sản xuất máy phát điện gió chủ yếu chế tạo tuabin gió tốc độ không đổi với công suất tăng lên 1,5 MW. Hệ thống tốc độ không đổi này bao gồm hộp số ba cấp và bộ tạo cảm ứng lồng sóc được kết nối trực tiếp với lưới điện. Hệ thống này (thể hiện trong hình 3) cũng được gọi là khái niệm Đan Mạch.

Trên tốc độ gió định mức, công suất chủ yếu bị hạn chế sử dụng nguyên lý ngăn xếp cổ điển: nếu tốc độ gió tăng cao hơn tốc độ gió định mức, hệ số công suất giảm, sao cho công suất của tuabin vẫn xấp xỉ bằng công suất định mức. Đôi khi gian hàng hoạt động được sử dụng: góc sân tiêu cực được sử dụng để hạn chế sức mạnh.

Sức mạnh chính của hệ thống này là nó bao gồm các thành phần đơn giản và giá rẻ, do đó, nó rẻ.

BẢNG I : TOP 10 NHÀ MÁY SẢN XUẤT TURBINE WIND 2012, SỬ DỤNG HIỆN TẠI

Ý KIẾN MÁY PHÁT ĐIỆN VÀ ĐIỆN THOẠI [20] - [29]

Manufacture	Concep	Rotor diameter	Power range
General Electric (US)	DFIG	77 – 120m	1.5 – 2.85 MW
	DD PM	113m	4.1 MW
Vestas (Denmark)	DFIG	80 -100 m	1.8 -3 MW
	GFC PM	112 – 164m	1.8 – 8 MW
Siemens	GFC IG	82 – 120m	2.3 – 3.6 MW
Enercon(Germany)	DD EE	48 – 126m	0.8 – 7.5 MW
Suzlon/Repower(india)	CS	52 – 88m	0.6 – 2.1MW
	DFIG	95 – 97m	2.1 MW
Gamesa (Spain)	DFIG	52 – 114m	0.85-2MW
	GFC PM	128m	4.5MW
Goldwind(China)	DD PM	70-109m	1.5-2.5MW
Sinovel (China)	DFIG	60-113m	1.5-5MW
MingYang (China)	DFIG	77-83m	1.5MW
	GFC PM	92-108m	2.5-3MW

1) Máy tạo cảm ứng thay đổi cực có hai cuộn dây stato với các số cực khác nhau để tua bin có thể hoạt động ở hai tốc độ không đổi để tăng năng suất và giảm tiếng ồn.

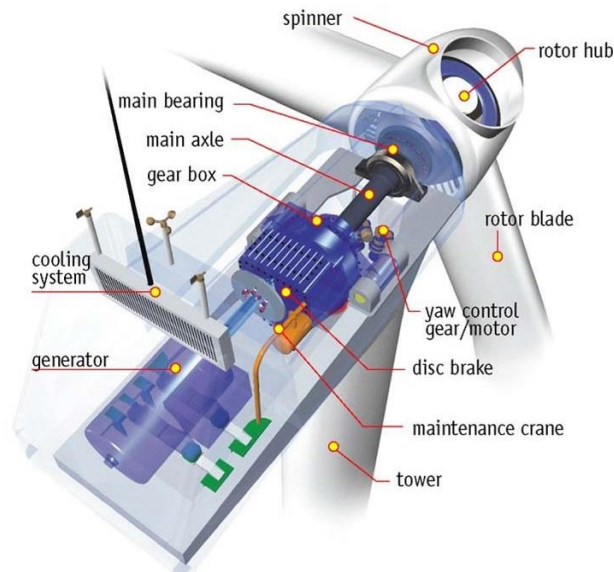
2) Tuabin gió tốc độ bán biến đổi có máy phát điện cảm ứng rôto có rôto điện tử. Điều này cho phép các biến thể tốc độ lớn hơn và giảm tải cơ học và các vấn đề về chất lượng điện. Hệ thống này đôi khi được đề cập đến như một hệ thống tạo gen riêng biệt [15].

B. Doubly Fed cảm ứng phát điện

Sau năm 1996, nhiều nhà sản xuất tuabin gió đã thay đổi thành một hệ thống tốc độ thay đổi với một máy phát điện cảm ứng kép (DFIG) cho tua-bin gió với mức công suất trên 1,5 MW. Hệ thống này bao gồm hộp số nhiều tầng, một DFIG tiêu chuẩn có chi phí tương đối thấp và bộ chuyển đổi điện tử định mức một phần cho phép cuộn dây rôto. Pitch kiểm soát giới hạn công suất đầu ra để đánh giá sức mạnh ở tốc độ gió trên đánh giá cao.

Công suất của bộ chuyển đổi là 25% công suất định mức, cho phép phạm vi tốc độ từ khoảng 60% đến 110% tốc độ định mức. Điều này là đủ cho một năng suất năng lượng tốt bởi vì tỷ lệ tốc độ tip có thể được giữ tối ưu cho một phần lớn của phạm vi hoạt động.

So với hệ thống tốc độ không đổi, hệ thống này cho phép khớp linh hoạt hơn với các yêu cầu xem xét tiếng ồn âm thanh, tải trọng cơ học, chất lượng điện và năng suất. Một bất lợi quan trọng của hệ thống này xuất hiện khi các mã lưới của các nhà khai thác hệ thống điện được quy định khả năng đi qua do lỗi lưới [2]. Điều này là không thể với hệ thống DFIG tiêu chuẩn, và do đó rất nhiều công việc đã được thực hiện để cho phép đi qua lỗi lưới [30] - [36]. Công trình này đã thành công đến mức mà điện nói chung (GE), sau khi chuyển sang các hệ thống chuyển đổi hoàn toàn (GFC) vào khoảng năm 2005, đã thay đổi trở lại DFIG vào năm 2012 [14].



Hình 3.2 Phác họa một vỏ bọc với hộp số, trong trường hợp này là tuabin gió tốc độ không đổi NEG. Nguồn: Bundesverband WindEnergie e.

C. Máy phát điện không chổi than với GFC

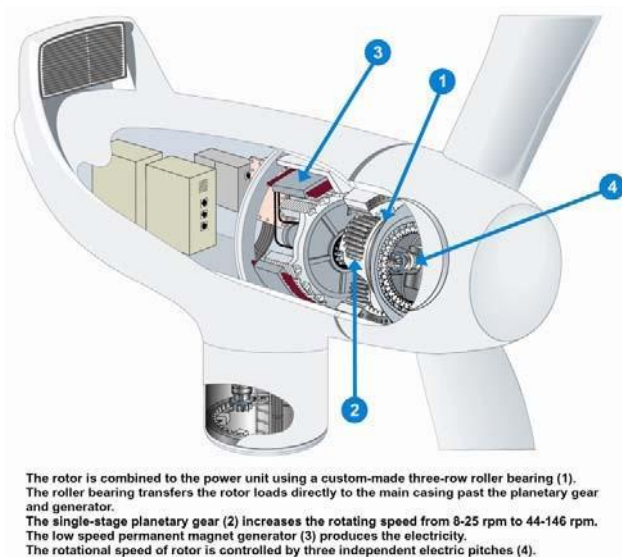
Kể từ khoảng năm 2005, một số nhà sản xuất lớn đã phát triển tuabin gió tốc độ biến thiên với hộp số, máy phát điện không chổi than và bộ chuyển đổi cho công suất định mức đầy đủ. Pitch kiểm soát giới hạn công suất đầu ra để đánh giá sức mạnh ở tốc độ gió trên đánh giá cao. Hệ thống này chủ yếu được sử dụng để có được các đặc tính đi xe xuyên qua lưới tốt hơn so với DFIG và để tránh việc bảo trì và thất bại của các chổi của DFIG. Tuy nhiên, bộ chuyển đổi được đánh giá đầy đủ có nhiều tổn thất hơn bộ chuyển đổi được đánh giá một phần như trong trường hợp của DFIG.

Có khá nhiều biến thể của hệ thống này trên thị trường vì các loại máy phát điện khác nhau và các hộp số khác nhau được sử dụng. Một số nhà sản xuất sử dụng máy phát điện PM, nhưng máy phát điện cảm ứng lồng cũng được sử dụng (Bảng I). Số lượng các giai đoạn thiết bị trong hệ thống này có thể thay đổi từ một đến ba. Theo (3), một số thấp hơn của các giai đoạn thiết bị ngụ ý một máy phát điện lớn hơn, nhưng hệ thống kết quả có thể hiệu quả hơn và đáng tin cậy hơn vì sự thiếu sót của giai đoạn tốc độ cao của hộp số [17], [37].

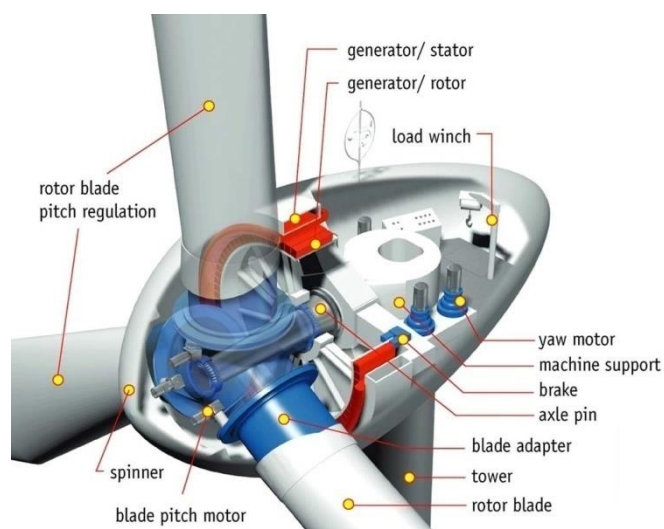
Hệ thống multibrid thể hiện trong hình 4 có một hộp số một giai đoạn và một máy phát điện PM.

D. Hệ thống máy phát trực tiếp

Kể từ năm 1992, cũng có các nhà sản xuất tuabin gió sử dụng các hệ thống máy phát điện không có bánh răng với các máy phát trực tiếp (DD) như Hình 5. Máy phát điện là một máy đồng bộ. Bộ chuyển đổi điện tử được đánh giá đầy đủ là cần thiết cho kết nối lưới.



Hình 3.3. Phác họa hệ thống đa mẫu. Nguồn: Winwind.



Hình 3.4. Phác thảo của một vỏ bọc không có bánh răng, trong trường hợp này là tuabin gió Enercon E-66 DD. Nguồn: Bundesverband WindEnergie e.V.

Trong những năm chín mươi, các máy phát điện DD chủ yếu có điện, bởi vì các PM quá đắt. Khi giá của các PM giảm, trọng tâm chuyển sang máy phát điện PM. Giá nam châm cao trong năm 2011 một lần nữa lại làm tăng sự quan tâm đến các lựa chọn thay thế cho các PM.

Trong một thời gian dài, Enercon là nhà sản xuất DD thành công lớn duy nhất, mặc dù có một số nhà sản xuất DD nhỏ hơn. Tuy nhiên, các nhà sản xuất tuabin gió lớn khác cũng đã bắt đầu sản xuất tuabin gió DD (Bảng I). Lý do chính để sử dụng hệ thống DD là tăng độ tin cậy bằng cách tránh việc bảo trì và thất bại của hộp số và bằng cách giảm số lượng các bộ phận tuabin. Tuy nhiên, nó vẫn chưa được chứng minh rằng độ tin cậy của DD thực sự tốt hơn so với hệ thống truyền động [6].

Nhược điểm chính của bộ tạo DD là bộ tạo mô-men xoắn tốc độ cao (3) là máy phát lớn, nặng và đắt tiền và máy phát tốc độ thấp kém hiệu quả hơn máy phát tốc độ cao. Do đó, rất nhiều nghiên cứu đã được thực hiện để tối ưu hóa các máy này. Các giới hạn nhiệt điện từ và nhiệt của các máy tạo dòng điện xuyên tâm sắt được ứng dụng trong công nghiệp được mô tả trong [10] - [12] và [38] - [40]. Để giảm chi phí sản xuất của các chi nhánh DD, các cuộn dây tập trung vết thương răng đã được đề xuất [41] - [43]. Các tổn thất bổ sung do các sóng hài không gian bổ sung là một điểm đáng quan tâm.

E. Kết luận về hệ thống máy phát điện hiện đang được sử dụng

Rõ ràng là hệ thống tốc độ không đổi đang biến mất. Tuy nhiên, không có sự hội tụ rõ ràng đối với một hệ thống máy phát điện tuabin gió tốt nhất, nhưng thay vào đó, sự đa dạng của các hệ thống máy phát điện tuabin gió ngày càng tăng. Ba hệ thống tốc độ biến được sử dụng hiện nay đều có điểm mạnh và điểm yếu và được kỳ vọng sẽ còn lại trong những năm tới. Một nỗ lực để so sánh các hệ thống máy phát điện về chi phí và năng suất năng lượng đã được

thực hiện trong [17], nhưng so sánh này cũng không dẫn đến một người chiến thắng rõ ràng.

3.3. HỆ THỐNG MÁY PHÁT ĐIỆN TƯƠNG LAI

Phần này xem xét các yếu tố của các hệ thống máy phát điện tương lai có thể, bao gồm truyền thủy lực, máy phát DD thay thế, DFIG không chổi than, DD giả từ, máy phát điện siêu âm và bộ chuyển đổi điện tử. Đối với hầu hết các hệ thống này, chúng tôi chưa thể dự đoán liệu chúng có dẫn đến chi phí năng lượng thấp hơn so với các hệ thống máy phát hiện đang được sử dụng hay không. Do đó, bài báo này mô tả các hệ thống máy phát điện tương lai được đề xuất và liệt kê các ưu điểm và nhược điểm quan trọng so với các hệ thống máy phát điện hiện đang được sử dụng.

A. Cơ khí truyền liên tục biến

Truyền dẫn liên tục có thể làm cho nó có thể sử dụng trực tiếp các máy đồng bộ được kết nối lưới điện với kích thích điện, do đó tránh được các bộ chuyển đổi điện tử.

Hộp số truyền động liên tục được sử dụng phổ biến nhất dựa trên hộp số có hai trục đầu ra [44], [45]. Trục đầu ra chính được kết nối với bộ tạo tốc độ không đổi. Tốc độ của trục đầu ra khác được điều khiển bằng cách sử dụng một ổ đĩa tốc độ thay đổi sao cho tốc độ của trục chính được giữ cố định. Trong một biến thể của hệ thống này [46], trục tốc độ biến đổi được kết nối cơ học với trục tốc độ không đổi với tốc độ truyền liên tục thay đổi dựa trên một vành đai kim loại.

Để có được sự thay đổi tốc độ hợp lý, mức công suất của hệ thống tốc độ biến đổi phải đáng kể, có thể so sánh với hệ thống DFIG. Hơn nữa, hệ thống này làm tăng sự phức tạp của hộp số. Vì vậy, chúng ta chưa thấy những lợi thế thuyết phục so với hệ thống DFIG.

B. Hệ thống truyền động thủy lực

Hệ thống truyền động thủy lực có thể được chia thành các hệ thống thủy động lực và thủy tĩnh [47] - [49]. WinDrive (của Voith) dựa trên truyền động thủy

động lực học hoặc bộ chuyển đổi mô-men xoắn, nơi các tuabin cung cấp năng lượng và lấy năng lượng từ dòng dầu. Điều này chỉ hoạt động với tốc độ cao, do đó hệ thống này được kết hợp với hộp số. Các chuyển tàu lửa của Wikov, ChapDrive và Artemis (của Mitsubishi) được dựa trên truyền dẫn thủy tĩnh hoặc máy bơm dịch chuyển tích cực, nơi các bình chứa dầu thay thế áp suất. Hệ thống Wikov bao gồm sự kết hợp giữa hộp số và hệ thống thủy lực, trong khi hộp số được bỏ qua trong các hệ thống của ChapDrive và Artemis.

Truyền tĩnh điện có những ưu điểm lớn mà chúng nhẹ hơn và rẻ hơn đáng kể so với hộp số [47]. Hệ thống truyền động thủy lực thường được sử dụng như các bộ truyền biến đổi liên tục, do đó có thể sử dụng bộ tạo đồng bộ kết nối lưới trực tiếp, do đó tránh được các bộ chuyển đổi điện tử. Tuy nhiên, việc truyền tải thủy lực vẫn chưa thành công về mặt thương mại trong các tuabin gió. Lý do là hiệu quả thấp hơn hiệu quả của hộp số, và có nguy cơ ô nhiễm dầu nếu xảy ra sự cố. Vì các hệ thống này chưa được sử dụng trên quy mô hợp lý trong các tuabin gió, nên không có dữ liệu về độ tin cậy của các hệ thống này. Tuy nhiên, chúng được sử dụng trong nhiều ứng dụng khác với tốc độ thấp và mô men cao, chẳng hạn như máy xúc và máy bay cho thấy độ tin cậy có thể được chấp nhận.

C. Máy phát điện DD thay thế

Việc giảm chi phí, kích thước và trọng lượng của máy phát điện DD cho tuabin gió là một vấn đề, đặc biệt ở mức công suất cao, bởi vì (4) mức mô-men xoắn tăng hơn tỉ lệ với mức công suất. Các chức năng chia tỷ lệ minh họa cho [50], [51].

Để tăng ứng suất cắt, việc sử dụng các máy phát xung thông lượng ngang đã được đề xuất [52] - [57]. Tuy nhiên, cho đến nay, sự căng thẳng cắt kết quả của các máy phát điện DD trong ứng dụng này đã không vượt quá các máy thông lượng xuyên tâm thông thường vì khoảng cách không khí tương đối lớn. Các nhược điểm khác của các máy này là hệ số công suất thấp và cấu trúc phức tạp do các đường dẫn 3-D.

Nếu trọng lượng của máy phát điện DD được chia thành vật liệu hoạt động và vật liệu cấu trúc điện từ, cấu trúc kết hợp là phần nặng nhất [38], [57] - [65]. Do đó, các phương pháp khác nhau để giảm lượng vật liệu kết cấu đã được đề xuất.

Ý tưởng sử dụng các máy tạo đường kính lớn với lõi khí để loại bỏ lực hấp dẫn giữa stator và rotor [11], [38] - [60] đã được chấp nhận bởi, ví dụ, Sway Turbine [61] (Hình 6)) và Boulder Wind Power [62]. Cùng với các đường so sánh, Goliath [63] sử dụng một máy tạo đường kính lớn, nhưng máy phát điện này dường như có một khoảng cách trống giữa stator và sắt rotor như được mô tả trong [64].

Các công trình như vậy làm cho nó có thể sử dụng vật liệu cấu trúc và hoạt động ít điện từ hơn. Tuy nhiên, bảo vệ các cuộn dây và nam châm chống lại môi trường tích cực với độ ẩm và muối là một vấn đề.

Trong [11], [50], [51] và [65], nó được đề xuất để giảm khoảng cách giữa các vòng bi và vị trí của các lực điện từ bằng cách sử dụng vòng bi từ tính hoặc vòng bi chất lỏng. Một lần nữa, điều này cho phép sử dụng các công trình nhẹ hơn, nhưng các vòng bi trở nên phức tạp hơn.



Hình 3.5. Hình ảnh của máy phát điện DD đường kính lớn của Sway Turbine.



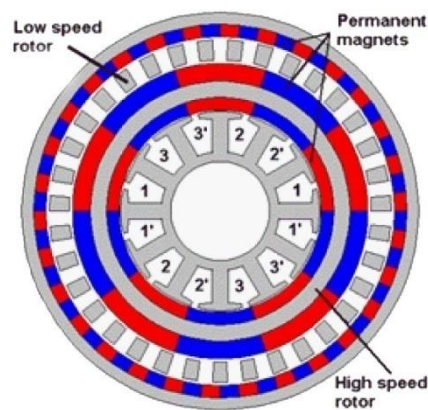
Hình 3.6. Rotor của một DFIG không chổi than với sáu vòng lồng nhau, như được sử dụng trong một máy với một stato với một bốn cực và một cuộn dây tám cực.

D. Brushless DFIG

Trong [66] - [72], nó đã được đề nghị sử dụng máy phát điện cảm ứng kép không chổi than (BDFIG), còn được gọi là máy nạp không chổi than gấp đôi, như một máy phát điện để sử dụng trong các tuabin gió. BDFIG có hai cuộn dây stato, một trong số đó được nối với lưới (cái gọi là cuộn dây điện) và cái còn lại (cái gọi là cuộn dây điều khiển) được cung cấp thông qua bộ chuyển đổi, giống như DFIG. Máy có hai trường chính, liên kết với hai cuộn dây stato, các số cực khác nhau mà cặp chéo qua rôto. Rôto có một cuộn dây mạch ngắn bao gồm cái gọi là vòng lồng nhau như trong Hình 7. Máy hoạt động ở chế độ đồng bộ với tỷ số cố định giữa tốc độ trục và hai tần số stato, một lần nữa giống như DFIG.

Máy đã được đề xuất sử dụng tuabin gió vào khoảng năm 1990 bởi một nhóm tại Đại học bang Oregon [68] và đã được phát triển kể từ đó. Máy không dễ phân tích mặc dù việc xây dựng đơn giản của nó và chỉ các thủ tục thiết kế đơn giản hơn gần đây đã xuất hiện. Theo mô tả của các máy thí nghiệm tương đối nhỏ [69], một số máy lớn hơn gần đây đã được chế tạo, bao gồm một máy 70 kW từ Brazil [70], một máy Trung Quốc có công suất 200 kW và được cho là máy lớn nhất hiện nay cụ thể là một máy 250 kW được xây dựng ở Anh [67].

Những máy lớn hơn này chứng minh rằng BDFIG có thể được xây dựng với kích thước lớn hơn nhưng một máy có xếp hạng MW vẫn được chứng minh. Có những hạn chế về cực cho phép số của hai trường chính, với tốc độ tự nhiên cao nhất (tương ứng với tốc độ đồng bộ của DFIG) với kết hợp 2 cực / 6 cực là 750 vòng / phút trên hệ thống 50 Hz. Do đó, BDFIG được xem là một phần tự nhiên của một ổ đĩa tốc độ trung bình với tốc độ tự nhiên theo thứ tự 300 vòng / phút. Nghiên cứu ở chỗ không có vật liệu PM nào được sử dụng và chỉ cần sử dụng một bộ chuyển đổi được đánh giá cao. Đồng thời, sự vắng mặt của brush-gear obviates một trong những chế độ thất bại chính của DFIG. Do đó, việc sử dụng BDFIG mang lại một lựa chọn chi phí thấp nhưng đáng tin cậy [66]. BDFIG cũng có hiệu năng LVRT cải thiện đáng kể so với DFIG tương đương, làm giảm chi phí và độ phức tạp của hệ thống [67]. Hơn nữa, nó là một máy phát tốc độ trung bình, làm tăng hiệu quả và độ tin cậy vì bánh răng tốc độ cao giai đoạn của hộp số là tránh.



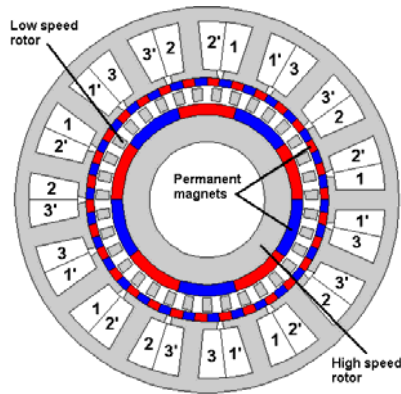
Hình 3.7. Máy điện được cung cấp trong lỗ khoan của rôto tốc độ cao của thiết bị từ tính.

E. Máy phát DD giả từ

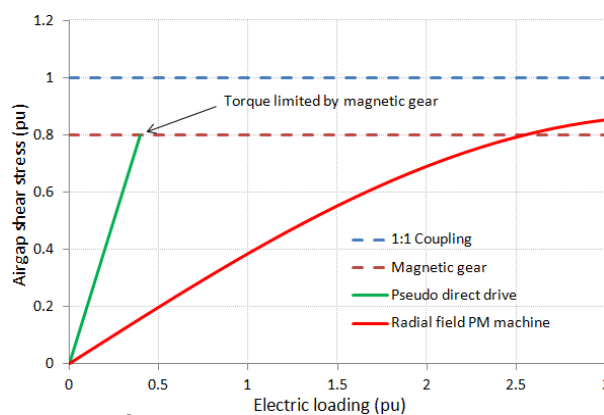
Một thiết bị từ tính [73], [74] có thể được kết hợp với một máy điện để nhận ra một mật độ mô men xoắn cao được điều khiển từ tính theo nhiều cách khác

nhau. Cách đơn giản nhất và rõ ràng nhất là để máy móc kết nối máy điện với một thiết bị từ tính như trong Hình 8.

Hình 9, tuy nhiên, cho thấy một máy điện giả DD (PDD), nơi mà các thiết bị từ tính và máy điện được cơ học cũng như tích hợp từ tính [75], [76]. Thành phần mật độ thông lượng cơ bản của các PM trên các cặp rotor tốc độ cao với cuộn dây stator để tạo ra mô-men xoắn, trong khi điều hòa không gian không đồng bộ phát sinh từ điều chế bởi các mảnh cực sắt từ của từ trường của các cặp PM các PM trên stator để truyền mô-men xoắn ở tỷ số truyền cố định. Khi so sánh với sự sắp xếp như hình 8, cấu trúc liên kết này tạo điều kiện tiếp cận và làm mát cuộn dây stator và đơn giản hóa việc sản xuất đáng kể, đặc biệt là đối với các máy lớn, vì nó chỉ có hai khoảng trống.

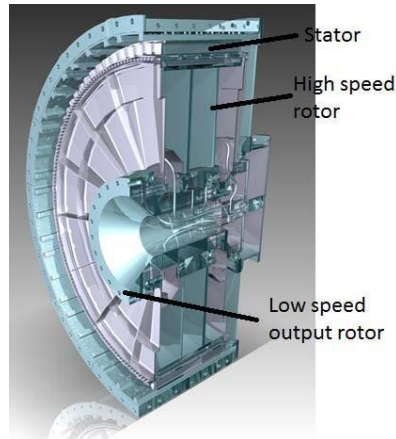


Hình 3.8 PDD với từ trường và máy móc từ tính và máy điện.



Hình 3.9. Ứng suất cắt khoảng cách không khí trong PDD và các máy PM trường xuyên tâm (tải điện 1 pu tương ứng với giới hạn nhiệt của máy PM trường xuyên tâm).

Các mô-men xoắn điện từ kết quả từ sự tương tác của rotor tốc độ cao và cuộn dây stato là tương tự như của một bề mặt thông thường gắn máy PM. Các thiết bị từ tính làm tăng mô-men xoắn này với tỷ lệ bánh răng Gr, có thể vượt quá 10 trong một giai đoạn duy nhất, và do đó mật độ mô-men xoắn tăng đáng kể. Hình 10 cho thấy sự so sánh giữa ứng suất cắt khoảng cách không khí điển hình trong các máy PDD và các máy PM trường xuyên tâm. Có thể thấy mô-men xoắn được tạo ra bởi các máy PDD bị giới hạn bởi bộ phận từ trường, và do đó, máy PDD sẽ phù hợp hơn cho các ứng dụng mà mô-men xoắn cực đại không cao hơn đáng kể so với mô-men xoắn định mức, chẳng hạn như tạo năng lượng gió. Nó cũng có thể được nhìn thấy và do tải điện vốn thấp, một máy PDD có thể hoạt động liên tục ở khả năng mô-men xoắn cực đại của nó. Các nguyên mẫu của các máy PDD từ tính đã được thiết kế và thử nghiệm cho các ứng dụng khác nhau. Một máy PDD với một đầu ra mô-men xoắn liên tục 4 kNm đã được thử nghiệm, và nguyên mẫu với đầu ra momen xoắn 20 kNm hiện đang trải qua giai đoạn thử nghiệm ban đầu. Tuy nhiên, sự phát triển đang được tiến hành để tăng mô-men xoắn đến độ lớn cần thiết cho tuabin gió. Hình 11 cho thấy một thiết kế của một máy phát PDD cho một tuabin gió 3 MW, và do tải điện vốn thấp, Hình 11, hiệu quả đánh giá của nó là > 98%. Mặt khác, tổng khối lượng của máy phát điện, bao gồm các thành phần cấu trúc, chỉ là 35 tấn, và tổng thể đường kính là 3,8 m. Do đó, người ta dự đoán rằng kích thước / khối lượng của bộ tạo PDD sẽ là <50% kích thước / khối lượng của máy phát PM DD. Tuy nhiên, mặc dù số lượng PM trong máy PDD có thể cao hơn, nhưng điều này có thể được giảm đáng kể bằng cách tối ưu hóa thích hợp. Đây là chủ đề của nghiên cứu sâu hơn.



Hình 3.10. Máy phát PDD 3-MW, 15 vòng / phút cho tua-bin gió (lịch sử của giới hạn phép thuật).

F. Siêu dẫn DD Máy phát điện

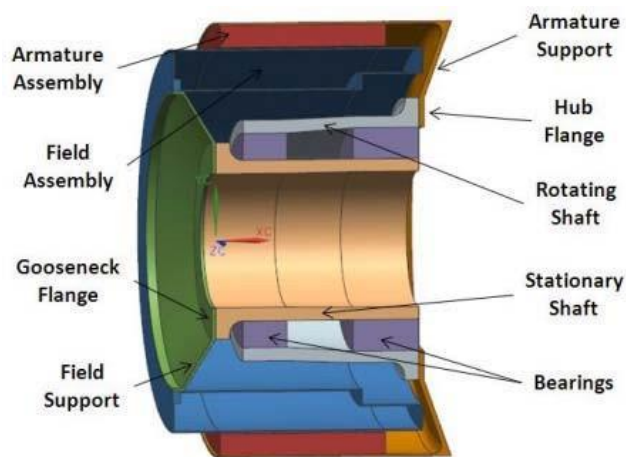
Máy siêu dẫn đã được đề xuất cho tuabin gió của cả hai ngành công nghiệp [77] - [79] và học viện [80] - [85], do tiềm năng của chúng đối với mật độ và hiệu suất mô-men xoắn cao. Các chất siêu dẫn thể hiện sức đề kháng gần như bằng không dc và do đó thường được đề xuất cho các cuộn dây trường trong các máy phát đồng bộ trường vết thương. Với khả năng kháng dc biến mất, tổn thất điện trở sẽ bị triệt tiêu và dòng điện trường có thể tăng lên sao cho mật độ dòng thông khí khoảng 2-3 T có thể đạt được. Do đó, các máy siêu dẫn có mật độ mômen rất cao. Sử dụng (3), thể tích của máy siêu dẫn có thể được giảm xuống 2-3 so với máy truyền thống có mật độ thông lượng khoảng trống dưới 1 T. Nếu mật độ dòng, J_{Cu} , trên stato được giữ hằng số khi máy bị giảm kích thước, tổn thất đồng, P_{Cu} , sẽ tỷ lệ thuận với thể tích đồng, V_{Cu} , và do đó sẽ giảm khi máy trở nên nhỏ hơn về kích thước

$$P_{Cu} \propto J^2 V_{Cu}.$$

Điều này dẫn đến tăng hiệu quả cho máy siêu dẫn so với các máy truyền thống.

Có ba loại dây siêu dẫn: 1) chất siêu dẫn nhiệt độ thấp (LTS) với nhiệt độ tới hạn dưới $T_C < 18$ K; 2) các chất siêu dẫn nhiệt độ cao (HTS) với $T_C < 110$ K; và 3) MgB₂ được phát hiện vào năm 2001 với $T_C < 39$ K đan xen giữa LTS

và HTS. Mặc dù việc sử dụng các chất siêu dẫn trong các máy phát điện tuabin gió có thể dẫn đến những lợi thế hấp dẫn, nhưng chúng hiện đang có những bất ổn và thách thức phụ. Chỉ chất siêu dẫn vẫn còn siêu dẫn miễn là điểm hoạt động của chúng được giữ trong ba giới hạn phụ thuộc lẫn nhau; cụ thể là mật độ dòng quan trọng, mật độ thông lượng quan trọng và nhiệt độ tới hạn TC. Vì LTS này thường hoạt động ở 4 K, MgB₂ ở 15–20 K và HTS ở 30-50 K.



Hình 3.11. Máy phát điện tuabin gió LTS 10 MW được đề xuất từ GE. Sao



chép từ [78]

Hình 3.12. Máy phát điện tuabin gió HTS 10 MW được đề xuất từ AMSC. Sao chép từ [79].

LTS đã được đề xuất bởi GE cho một tuabin gió DD công suất 10 MW [78], Hình 12, nơi cuộn dây trường LTS là cố định và cuộn dây ứng lực quay với vòng trượt. LTS được bán trên thị trường với chi phí tương đối thấp cho các thiết bị MRI và GE đề xuất chuyển giao công nghệ MRI cho các tuabin gió. Tuy nhiên, khi nhiệt độ hoạt động cần được giữ ở mức 4 K, máy sẽ yêu cầu một hệ thống làm mát phức tạp và cách nhiệt, cho đến nay đã ngăn chặn tất cả sự phát triển gia công LTS.

HTS đã được đề xuất bởi chất siêu dẫn của Mỹ (AMSC) cho tua-bin D Dwind 10 MW [79], Hình 13. HTS có lợi thế là hệ thống làm mát và cách nhiệt có thể tương đối đơn giản, nơi các thiết bị cryocooler có thể được tháo ra -cái kệ. Mặt khác, HTS rất đắt và hiện không có đủ thời gian để triển khai thương mại. MgB₂ đã được đề xuất bởi phòng thí nghiệm nam châm tiên tiến (AML) trong một tuabin gió DD công suất 10 MW siêu dẫn hoàn toàn [81], Hình 14, nơi cả hai cuộn dây và cuộn dây trường đều siêu dẫn điện. Điều này ngụ ý rằng chất tại không có dây dẫn MgB₂ nào sẵn sàng cho dòng điện xoay chiều ở các trường cao. Dây MgB₂ được bán trên thị trường với giá tương đối thấp nếu mật độ thông lượng được giữ ở mức 1 T. Tuy nhiên, nếu trường được tăng lên 3 T thì giá sẽ trở nên tương đương với HTS ở mật độ và nhiệt độ thông lượng tương tự [81]. MgB₂ đòi hỏi nhiệt độ hoạt động 15–20 K và do đó sẽ yêu cầu hệ thống làm mát tinh vi và cách nhiệt. Tóm lại, có ba loại siêu dẫn khác nhau và cả ba loại này đều được đề xuất cho tua-bin gió 10 MW trong tương lai. Chưa có cái nào trong số này được xây dựng hoặc trình diễn. Đối với các ứng dụng khác, chẳng hạn như tàu đẩy, máy siêu dẫn đã được xây dựng và thử nghiệm [83] - [85], nhưng chúng chưa trở thành một thành công thương mại. Điều này cho thấy khu vực máy phát điện tuabin gió siêu dẫn rất xa so với tiêu chuẩn hóa và tất cả các đường dẫn vẫn mởkhám phá.



Hình 3.13. Máy phát điện tuabin gió MgB₂ 10 MW được đề xuất từ AML.
Sao chép từ [81].

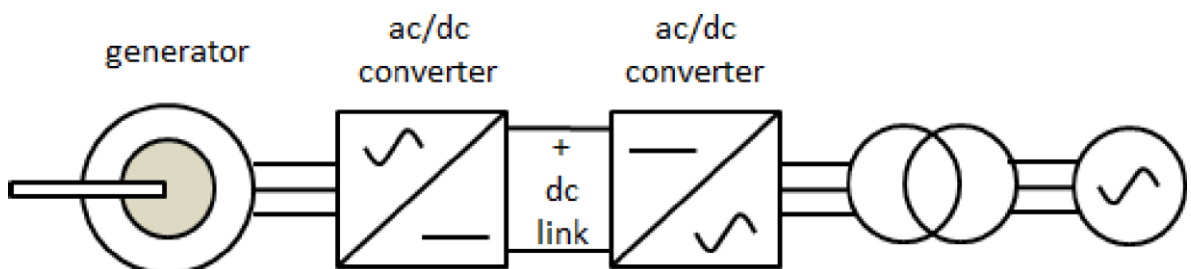
Hình 14, nơi cả hai cuộn dây và cuộn dây trường đều siêu dẫn điện. Điều này ngụ ý rằng chất siêu dẫn sẽ mang dòng điện xoay chiều, dẫn đến tổn thất lớn trong dây dẫn siêu và do đó yêu cầu lớn về công suất làm mát. Những tổn thất này có thể bị giới hạn bởi việc phát triển thêm các dây MgB₂ với các sợi rất nhỏ, nhưng hiện tại không có dây dẫn MgB₂ nào sẵn sàng cho dòng điện xoay chiều ở các trường cao. Dây MgB₂ được bán trên thị trường với giá tương đối thấp nếu mật độ thông lượng được giữ ở mức 1 T. Tuy nhiên, nếu trường được tăng lên 3 T thì giá sẽ trở nên tương đương với HTS ở mật độ và nhiệt độ thông lượng tương tự [81]. MgB₂ đòi hỏi nhiệt độ hoạt động 15–20 K và do đó sẽ yêu cầu hệ thống làm mát tinh vi và cách nhiệt. Tóm lại, có ba loại siêu dẫn khác nhau và cả ba loại này đều được đề xuất cho tua-bin gió 10 MW trong tương lai. Chưa có cái nào trong số này được xây dựng hoặc trình diễn. Đối với các ứng dụng khác, chẳng hạn như tàu đẩy, máy siêu dẫn đã được xây dựng và thử nghiệm [83] - [85], nhưng chúng chưa trở thành một thành công thương mại. Điều này cho thấy khu vực máy phát điện tuabin gió siêu dẫn rất xa so với tiêu chuẩn hóa và tất cả các đường dẫn vẫn mở khám phá.

G. Bộ chuyển đổi điện tử công suất

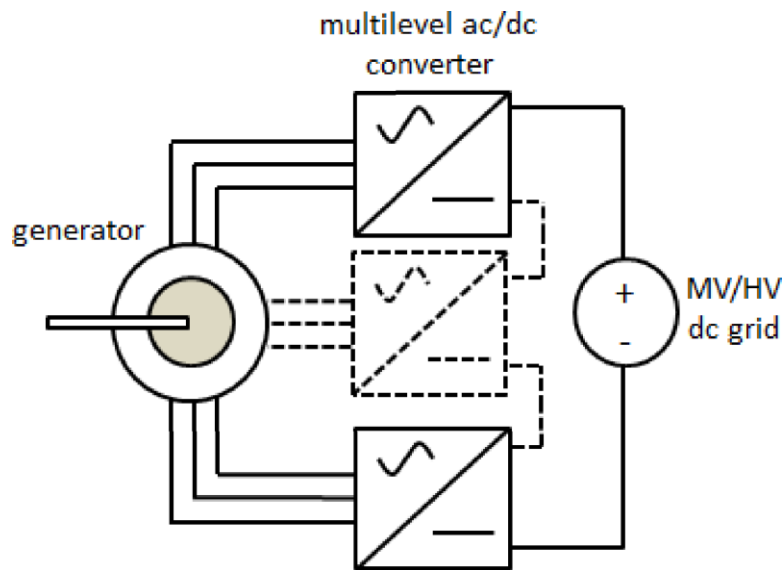
Trong các hệ thống máy phát điện tuabin gió tốc độ biến đổi với bộ chuyển đổi một phần hoặc toàn phần, chủ yếu là bộ biến tần nguồn điện áp ngược tiêu chuẩn, cho cả hệ thống DFIG và hệ thống với bộ chuyển đổi đầy đủ [30] - [36], [86] - [88].

Hệ thống này cần nhiều hơn một giai đoạn chuyển đổi để kết hợp tần số và mức điện áp làm cho nó tương thích với điện áp lưới, như được hiển thị trong Hình 15. Tốc độ công suất ngày càng tăng đi kèm với sự cần thiết phải tăng điện áp trên dc liên kết giữa các trình chuyển đổi ngược lại. Một giá trị điển hình sẽ là 5 kV cho điện áp lưới chính thứ cấp 3.3.kV. Để xử lý các bộ chuyển đổi đa cấp điện áp này là cần thiết.

Sự phát triển hơn nữa của các hệ thống năng lượng gió sẽ chủ yếu dựa trên các cân nhắc độ tin cậy [3] - [9], ngụ ý rằng các bộ chuyển đổi đa cấp trưởng thành như tô pô ba điểm trung tính được ưu tiên. Việc lựa chọn các cấu trúc liên kết chuyển đổi phù hợp và phát triển thêm các thiết bị điện tử và các gói thiết bị điện sẽ chủ yếu là một sự hiểu biết tốt hơn về các cơ chế thất bại và cân nhắc đi xe đạp nhiệt. Đặc biệt, bộ chuyển đổi phía máy phát điện bị ảnh hưởng nặng bởi hành vi chu kỳ nhiệt độ và các yếu tố phi tuyến của tải trọng gió như nhiễu loạn và gió [89]. Trong DFIG và hệ thống DD siêu dẫn, tình hình càng trầm trọng hơn vì bộ chuyển đổi điện tử xử lý các tần số ac có thể theo thứ tự hoặc dưới 2 Hz, có thể so sánh với hằng số thời gian nhiệt của các gói thiết bị.



Hình 3.14. Tổng quan về các thành phần chuyển đổi năng lượng.



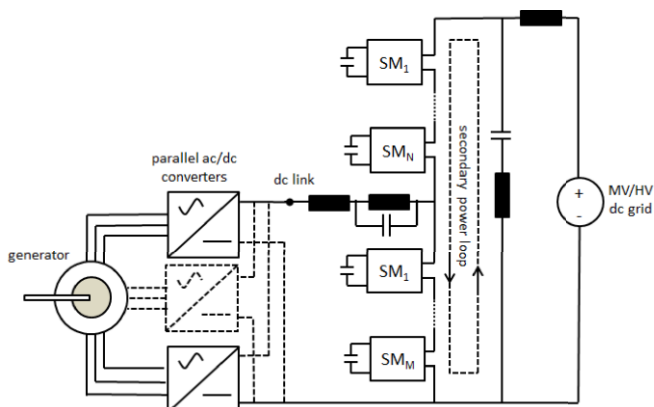
Hình ..15. Hệ thống đa cấp mô-đun biến đổi máy phát điện.

1) Hệ thống chuyển đổi lỗi dung sai mô-đun: Bộ chuyển đổi năng lượng cao cần một số lượng lớn các thiết bị bán dẫn và phức tạp. Điều này có khả năng làm tăng nguy cơ thất bại. Tuy nhiên, nếu các biện pháp có thể được thực hiện để cho phép thất bại an toàn thì sự sẵn có của hoạt động hệ thống có thể được đảm bảo. Các trình biến đổi mô-đun là các ứng viên hấp dẫn khi các đơn vị bị lỗi có thể bị bỏ qua.

Trong một số nghiên cứu, thiết kế biến áp được đầu tư dựa trên khái niệm đa cấp mô-đun cho chuyển đổi điện áp cao [90] - [92]. Liên kết trung gian dc được loại bỏ và nó được đề xuất để trực tiếp tạo ra một điện áp đầu ra ac hoặc dc trong phạm vi 10-100 kV. Một tính năng hấp dẫn là ở các công viên gió ngoài khơi, các tuabin gió có thể được kết nối trực tiếp với lưới thu gom MVDC hoặc HVDC.

Trong hình 16, một sơ đồ của hệ thống đa mô-đun như vậy được hiển thị. Máy phát điện được chia thành một số phân đoạn, mỗi phân đoạn hoạt động như một bộ phận ba pha hoặc một pha riêng lẻ. Các phân đoạn mang cuộn dây stato, được cách điện bởi các đoạn cuộn khác và lõi stato. Một mô-đun chính lưu hoạt động chuyển đổi ac thành dc và các đơn vị được xâu thành chuỗi.

Dung sai lỗi cần phải đạt được cả trong phân khúc máy và mô-đun điện tử công suất. Một mô-đun điện có thể được bỏ qua, nhưng nó cũng cần thiết để đảm bảo rằng một lỗi quanh co không gây quá nóng hoặc tạo ra mô-men xoắn phá vỡ không mong muốn. Bộ chuyên đổi điện tử công suất và thiết kế phân đoạn máy nên kết hợp thất bại chế độ, các giải pháp kỹ thuật nhiệt và



điện áp cao sử dụng một số nguyên tắc được mô tả trong [93] và [94]. Các bộ phận chuyên đổi điện và máy được tích hợp vật lý và phản ứng lớn của cuộn dây stato tập trung giới hạn dòng điện đến 1 PU khi xảy ra đoản mạch [94].

Hình 316. Hệ thống đa cấp mô-đun biến đổi máy phát điện

2) Hệ thống máy phát điện biến áp liên kết DC: Hệ thống mô-đun đa cấp chuyển đổi máy phát điện đặt yêu cầu cao về sự cô lập điện áp cao của các cuộn dây của máy, đặc biệt là sự cách ly bức tường mặt đất. Các nghiên cứu ban đầu, [95], [96] cần được theo dõi bởi các thiết kế chi tiết và xác nhận trên các hệ thống thử nghiệm. Đáp ứng các yêu cầu cách ly của điện áp chế độ chung lớn và các hiệu ứng ghép nối điện dung do chuyển đổi dv / dt có thể là một thách thức kỹ thuật điện áp cao khó khăn. Hơn nữa, mô-men xoắn được tạo ra bởi máy phát sẽ bị tổn hại do hệ số làm đầy đồng giảm trong các khe do khối lượng vật liệu cách ly cần được thêm vào. Khả năng chịu nhiệt của cuộn dây cũng sẽ bị ảnh hưởng bởi vật liệu cách ly làm giảm mật độ dòng điện trong dây dẫn. Vì lý do này, chúng tôi thích các giải pháp sử dụng điện áp liên

kết dc tương thích với các lớp điện áp cách ly hiện tại cho cuộn dây stato, như được sử dụng trong các ổ đĩa công suất cao [97].

Dựa trên điện áp điện hình được sử dụng trong các ổ đĩa công suất cao, một điện áp liên kết dc thực tế từ 1–10 kV phải thực tế bằng cách sử dụng công nghệ hiện tại. Điện áp sau đó được nâng lên tới MV / HVDC bằng cách sử dụng bộ chuyển đổi bước lên dc như được thể hiện trong sơ đồ hệ thống trong Hình 18. Người ta đề xuất rằng mô-đun chuyển đổi đa mô-đun dc mô tả được mô tả trong [98] được sử dụng vì nó không biến áp và chia sẻ khả năng chịu lỗi của các mô-đun dự phòng với các trình biến đổi đa cấp mô-đun khác.

Một tính năng độc đáo của bộ chuyển đổi này là một vòng lặp công suất thứ cấp có chu kỳ công suất giữa các mô-đun bằng cách sử dụng nguyên tắc mà sức mạnh ở các tần số khác nhau là trực giao với nhau.

3.4. KẾT LUẬN

Không có sự hội tụ đối với một hệ thống máy phát điện tuabin gió tốt nhất, nhưng thay vào đó, sự đa dạng của các hệ thống phát điện tuabin gió đang gia tăng. Ba hệ thống tốc độ biến được sử dụng hiện nay (với hộp số và DFIG, với hộp số và bộ chuyển đổi đầy đủ và DD) dự kiến sẽ tồn tại trong những năm tới. Truyền động

KẾT LUẬN

Trong thời gian nghiên cứu và thực hiện đồ án dưới sự hướng dẫn tận tình của GS.TSKH Thân Ngọc Hoàn và các thầy cô trong khoa Điện- Điện tử trường đại học dân lập Hải Phòng em đã hoàn thành đồ án tốt nghiệp của mình. Đồ án gồm những nội dung sau:

- Tổng quan về năng lượng gió và năng lượng tái tạo
- Máy điện sử dụng trong năng lượng gió
- Xu hướng trong hệ thống máy phát điện tuabin

Đề tài **Tìm hiểu xu hướng phát triển hệ thống máy phát điện trong năng lượng gió**. Giúp chúng ta biết được thế nào là năng lượng gió nhân tạo và những loại máy điện nào thường được sử dụng trong hệ thống tuabin

Dù đã cố gắng hoàn thành đồ án này và có sự hướng dẫn cụ thể của thầy cô nhưng do hiểu biết còn hạn chế và chưa có kinh nghiệm thực tiễn nên chắc chắn đồ án này còn có nhiều hạn chế, thiếu sót và bất cập. Vì vậy, em rất mong sự sửa chữa đóng góp ý kiến của quý thầy cô và các bạn để em được rút kinh nghiệm và bổ sung thêm kiến thức.

Em xin chân thành cảm ơn!

- [1] J. F. Manwell, J. G. McGowan, and A. L. Rogers, *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*, 2nd ed. Chichester, U.K.: Wiley, 2009.
- [2] M. Tsili and S. Papathanassiou, “A review of grid code technical requirements for wind farms,” *IET Renew. Power Generat.*, vol. 3, no. 3, pp. 308–332, 2009.
- [3] P. Tavner, *Offshore Wind Turbines: Reliability, Availability and Maintenance*, Stevenage, U.K.: IET, 2012.
- [4] F. Spinato, “The reliability of wind turbines,” Ph.D. dissertation, School Eng., Durham Univ., Durham, England, 2008.
- [5] P. J. Tavner, F. Spinato, G. J. W. van Bussel, and E. Koutoulakos, “Reliability of wind turbine subassemblies,” *IET Renew. Power Generat.*, vol. 3, no. 4, pp. 387–401, Dec. 2009.
- [6] H. Arabian-Hoseynabadi, P. J. Tavner, and H. Oraee, “Reliability comparison of direct-drive and geared drive wind turbine concepts,” *Wind Energy*, vol. 13, no. 1, pp. 62–73, 2010.
- [7] E. Echavarria, B. Hahn, G. J. W. van Bussel, and T. Tomiyama, “Reliability of wind turbine technology through time,” *J. Solar Energy Eng.*, vol. 130, no. 3, pp. 031005-1–031005-8, 2008.
- [8] P. J. Tavner, S. Faulstich, B. Hahn, and G. J. W. van Bussel, “Reliability and availability of wind turbine electrical and electronic components,” *EPEJ.*, vol. 20, no. 4, pp. 1–25, 2011.
- [9] H. Polinder, H. Lendenmann, R. Chin, and W. M. Arshad, “Fault tolerant generator systems for wind turbines,” in *Proc. IEEE IEMDC*, May 2009, pp. 675–681.
- [10] R. Scott Semken, M. Polikarpova, P. Røytta, J. Alexandrova, J. Pyrhönen, J. Nerg, A. Mikkola, and J. Backman, “Direct-drive permanent magnet generators for high power wind turbines: Benefits and limiting factors,” *IET Renew. Power Generat.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–8, Jan. 2012.

- [11] M. Mueller and A. Zavvos, “Electrical generators for direct drive systems: A technology overview,” in *Electrical Drives for Direct Drive Renewable Energy Systems*, M. Mueller and H. Polinder, Ed. Oxford, U.K.: Woodhead, 2013, pp.1–29.
- [12] H. Polinder, “Principles of electrical design of permanent magnet generators for direct drive renewable energy systems,” in *Electrical Drives for Direct Drive Renewable Energy Systems*, M. Mueller and H. Polinder, Eds. Oxford, U.K.: Woodhead, 2013, pp. 30–50.
- [13] M. Liserre, R. Cárdenas, M. Molinas, and J. Rodríguez, “Overview of multi-MW wind turbines and wind parks,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 4, pp. 1081–1095, Apr. 2011.
- [14] E. de Vries, “Wind turbine drive systems: A commercial overview,” in *Electrical Drives for Direct Drive Renewable Energy Systems*, M. Mueller and H. Polinder, Eds. Oxford, U.K.: Woodhead, 2013, pp.139–157.
- [15] A. D. Hansen, F. Iov, F. Blaabjerg, and L. H. Hansen, “Review of contemporary wind turbine concepts and their market penetration,” *Wind Eng.*, vol.28, no.3, pp.247–263, 2004.
- [16] H. Polinder, S. W. H. de Haan, M. R. Dubois, and J. G. Slootweg, “Basic operation principles and electrical conversion systems of wind turbines,” *EPE J.*, vol. 15, no. 4, pp. 43–50, Dec.2005.
- [17] H. Polinder, F. F. A. van der Pijl, G. J. de Vilder, and P. Tavner, “Comparison of direct-drive and geared generator concepts for wind turbines,” *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 21, no. 3, pp. 725–733, Sep.2006.
- [18] H. Polinder, “Overview of and trends in wind turbine generator systems,” in *Proc. IEEE Power Eng. Soc. General Meeting*, Jul.2011, pp.1–8.
- [19] *International Wind Energy Development—World Market Update 2012*, BTM Consult, Copenhagen, Denmark, 2013.
- [20] (2013, Sep. 26) [Online]. Available: <http://www.ge-energy.com/wind>

- [21] (2013, Apr. 26) [Online]. Available:<http://www.vestas.com>
- [22] (2013, Apr. 26) [Online]. Available:<http://www.siemens.com/wind>
- [23] (2013, Apr. 26) [Online]. Available: <http://www.enercon.de>
- [24] (2013, Apr. 26) [Online]. Available: <http://www.suzlon.com>
- [25] (2013, Apr. 26) [Online]. Available:<http://www.gamesacorp.com>
- [26] (2013, Apr. 26) [Online]. Available:<http://www.goldwindglobal.com>
- [27] (2013, Apr. 26) [Online]. Available:<http://www.gdupc.com.cn/>
- [28] (2013, Apr. 26) [Online]. Available: <http://www.sinovel.com>
- [29] (2013,Jun.16)[Online]. Available:<http://www.mywind.com.cn/English/index.aspx>
- [30] Z. Chen, J. M. Guerrero, and F. Blaabjerg, “A review of the state of the art of power electronics for wind turbines,” *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 24, no. 8, pp. 1859–1975, Aug. 2009.
- [31] R. Cardenas, R. Pena, S. Alepuz, and G. Asher, “Overview of control systems for the operation of DFIGs in wind energy applications,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 60, no. 7, pp. 2776–2798, Jul. 2013.
- [32] J. Morren and S. W.H. deHaan, “Ride through of wind turbines with doubly-fed induction generator during a voltage dip,” *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 20, no. 2, pp. 435–441, Jun. 2005.
- [33] C. Wessels, F. Gebhart, and R. W. Fuchs, “Fault ride-through of a DFIG wind turbine using a dynamic voltage restorer during symmetrical and asymmetrical grid faults,” *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 26, no. 3, pp. 807–815, Mar. 2011.
- [34] A. D. Hansen and G. Michalke, “Fault ride-through capability of DFIG wind turbines,” *Renew. Energy*, vol. 32, no. 9, pp. 1594–1610, 2007.
- [35] G. Pannell, D. J. Atkinson, and B. Zahawi, “Minimum-threshold crowbar for a fault-ride-through grid-code-compliant DFIG wind turbine,” *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 25, no. 3, pp. 750–759, Sep. 2010.
- [36] L. G. Meegahapola, T. Littler, and D. Flynn, “Decoupled-DFIG fault ride-

- through strategy for enhanced stability performance during grid faults,” *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 1, no. 3, pp. 152–162, Oct.2010.
- [37] H. Li, Z. Chen, and H. Polinder, “Optimization of multibrid permanent magnet wind generator systems,” *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 24, no. 1, pp. 82–92, Mar.2009.
- [38] A.McDonald,M.Mueller,andA.Zavvos,“Electrical,thermalandstruc- tural generator design and systems integration for direct drive renewable energysystems,”in*ElectricalDrivesforDirectDriveRenewableEnergy Systems*, M. Mueller and H. Polinder, Eds. Oxford, U.K.: Woodhead, 2013, pp.51–79.
- [39] A. Jassal, K. Versteegh, and H. Polinder, “Case study of the permanent magnet direct drive generator in the Zephyros wind turbine,” in *Electrical Drives for Direct Drive Renewable Energy Systems*, M. Mueller and H. Polinder, Eds. Oxford, U.K.: Woodhead, 2013, pp.158–174.
- [40] V. Ruuskanen, J. Nerg, M. Niemela, J. Pyrhonen, and H. Polinder, “Effect of radial cooling ducts on the electromagnetic performance of the permanent magnet synchronous generators with double radial forced air cooling for direct-driven wind turbines,” *IEEE Trans. Magn.*, vol. 49, no.6,pp.2974–2981,Jun.2013.
- [41] S. Brisset, D. Vizireanu, and P. Brochet, “Design and optimization of a nine-phase axial-flux PM synchronous generator with concentrated winding for direct-drive wind turbine,” *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 44, no.3,pp.707–715,May/Jun.2008.
- [42] H. Polinder, M. J. Hoeijmakers, and M. Scuotto, “Eddy-current losses in the solid back-iron of PM machines for different concentrated fractional pitchwindings,”in*Proc.3rdIEEEIEMDC*,May2007,pp.652–657.
- [43] A. K. Jassal, H. Polinder, D. Lahaye, and J. A. Ferreira, “Analytical and FE calculation of eddy-current losses in PM concentrated winding machines for wind turbines,” in *Proc. IEEE IEMDC*, Niagara Falls, ON, Canada, May 2011, pp.727–732.

- [44] B.-R. Höhn, "Future transmissions for wind turbines," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 86, pp. 18–25, Oct.2011.
- [45] C. Rossi, P. Corbelli, and G. Grandi, "W-CVT continuously variable transmission for wind energy conversion system," in *Proc. IEEE Conf. Power Electron. Mach. Wind Appl.*, Jun. 2009, pp.1–10.
- [46] V.Miltenović ,M.Velimirović ,M.Banić ,andA.Miltenović ,“Designof wind turbines drive train based on CVT,” *Balkan J. Mech. Transmiss.*, vol.1no.1,pp.46–56,2011.
- [47] N.Diepeveen,“Onfluidpowertransmissionforoffshorewindturbines,” Ph.D. dissertation, Dept. Aerosp. Eng., Delft Univ. Technol., Delft, The Netherlands,2013.
- [48] A. Ragheb and M. Ragheb, “Wind turbine gearbox technologies,” in*Proc.1stINREC*,2010,pp.1–8.
- [49] B. Skaare, B. Hörnsten, and F. G. Nielsen, “Modeling, simulation and control of a wind turbine with a hydraulic transmission system,” *Wind Energy*, pp. 1–19, 2012, doi:10.1002/we.1552.
- [50] G. Shrestha, H. Polinder, D. Bang, and J. A. Ferreira, “Structural flexibility: A solution for weight reduction of large direct drive wind turbine generators,” *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 25, no. 3, pp. 732–740, Sep.2010.
- [51] G. Shrestha, “Structural flexibility of large direct drive generators for wind turbines,” Ph.D. dissertation, Electr. Eng. Dept., Delft Univ. Technol., Delft, The Netherlands,2013.
- [52] H. Weh and H. May, “Achievable force densities for permanent magnet machinesinnewconfigurations,” in*Proc.Int.Conf.Electr.Mach.*,1986, pp.1107–1111.
- [53] J. Hystad, “Transverse flux generators in direct-driven wind energy converters,” Ph.D. dissertation, Electr. Eng. Dept., Norwegian Univ. Sci. Technol., Trondheim, Norway,2000.

- [54] M. Dubois, “Optimized permanent magnet generator topologies for direct drive wind turbines,” *Electr. Eng. Dept., Delft Univ. Technol., Delft, The Netherlands*, 2004.
- [55] D. Bang, “Design of transverse flux permanent magnet machines for large direct-drive wind turbines,” *Ph.D. dissertation, Electr. Eng. Dept., Delft Univ. Technol., Delft, The Netherlands*, 2010.
- [56] D. Sveczkarenko, A. Cosic, J. Soulard, and C. Sadarangani, “Transverse flux machines for sustainable development—Road transportation and power generation,” in *Proc. 7th Int. Conf. PEDS*, Nov. 2007, pp.1108–1114.
- [57] A. Zavvos, D. J. Bang, A. McDonald, H. Polinder, and M. Mueller, “Structural analysis and optimisation of transverse flux permanent magnet machines for 5 and 10 MW direct drive wind turbines,” *Wind Energy*, vol. 15, no. 1, pp. 19–43, Jan. 2012.
- [58] J. N. Stander, G. Venter, and M. J. Kamper, “Review of direct drive radial flux wind turbine generator mechanical design,” *Wind Energy*, vol. 15, no. 3, pp. 459–472, Apr. 2012.
- [59] A. S. McDonald, M. A. Mueller, and H. Polinder, “Structural mass in direct-drive permanent magnet electrical generators,” *IET Renew. Power Generation*, vol. 2, no. 1, pp. 3–15, Mar. 2008.
- [60] M. J. Kamper, J. H. J. Potgieter, J. A. Stegman, and P. Boucher, “Comparison of air-cored and iron-cored non-overlap winding radial flux permanent magnet direct drive wind generators,” in *Proc. ECCE*, Sep. 2011, pp. 1620–1627.
- [61] (2013, Apr. 30) [Online]. Available: <http://www.swayturbine.com/>
- [62] (2013, Apr. 30) [Online]. Available: <http://www.boulderwindpower.com/>
- [63] (2013, Apr. 30) [Online]. Available: <http://www.goliath.ee/>
- [64] E. Spooner, P. Gordon, J. R. Bumby, and C. D. French, “Lightweight ironless-stator PM generators for direct-drive wind turbines,” *IEE Proc. Electr. Power Appl.*, vol. 152, no. 1, pp. 17–26, Jan. 2005.

- [65] D. Bang, H. Polinder, J. A. Ferreira, and S.-S. Hong, "Structural mass minimization of large direct-drive wind generators using a buoyant rotor structure," in *Proc. IEEE ECCE*, Sep. 2010, pp.3561–3568.
- [66] R. A. McMahon, P. C. Roberts, X. Wang, and P. J. Tavner, "Performance of BDFM as generator and motor," *IEE Proc. Electr. Power Appl.*, vol. 153, no. 2, pp. 289–299, Mar. 2006.
- [67] T.Long,S.Shao,E.Abdi,P.Malliband,M.E.Mathekga, R. A. McMahon, and P. J. Tavner, "Symmetrical low voltage ride- through of a 250 kW brushless DFIG," in *Proc. 6th IET Int. Conf. PEMD*, Mar. 2012, pp. 1–6.
- [68] C. S. Brune, R. Spee, and A. K. Wallace, "Experimental evaluation of a variable speed, doubly-fed wind-power generation system," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 30, no. 3, pp. 648–655, May/Jun.1994.
- [69] E. Abdi, X. Wang, S. S. Shao, R. McMahon, and P. Tavner, "Performance characterisation of brushless doubly-fed generator," in *Proc. IEEE IAS Annu. Meeting*, Oct. 2008, pp.1–6.
- [70] R. Carlson, H. Voltolini, F. Runcos, P. Kuo-Peng, and N. J. Batistela, "Performance analysis with power factor compensation of a 75 kw brushless doubly fed induction generator prototype," in *Proc. IEEE IEMDC*, May 2007, pp.1502–1507.
- [71] (2012, Nov. 21). *Industrialization of a 3 MW Medium-Speed Brushless DFIG Drivetrain for Wind Turbine Applications* [Online]. Available: <http://www.bdfg.com>
- [72] P.C.Robert,R.A.McMahon,P.J.Tavner,J.M.Maciejowski,and T. J. Flack, "Equivalent circuit for the brushless doubly fed machine (BDFM) including parameter estimation and experimental verification," *IEE Proc. Electr. Power Appl.*, vol. 152, no. 4, pp. 933–942, Jul.2005.
- [73] J. Rens, K. Atallah, S. D. Calverley, and D. Howe, "A novel magnetic harmonic gear," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 46, no. 1, pp. 206–212,

Jan./Feb.2010.

- [74] P. O. Rasmussen, T. O. Andersen, F. T. Jorgensen, and O. Nielsen, "Development of a high-performance magnetic gear," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 41, no. 3, pp. 764–770, May/Jun.2005.
- [75] K. Atallah, J. Rens, S. Mezani, and D. Howe, "A novel 'pseudo' direct- drive brushless permanent magnet machine," *IEEE Trans. Mag.*, vol. 44, no. 11, pp. 4349–4352, Nov.2008.
- [76] L. Jian, K. T. Chau, and J. Z. Jiang, "A magnetic-gearred outer-rotor permanent-magnet brushless machine for wind power generation," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 45, no. 3, pp. 954–962, May./Jun.2009.
- [77] C. Lewis and J. Muller, "A direct drive wind turbine HTS generator," in *Proc. IEEE Power Eng. Soc. General Meeting*, Jun. 2007, pp.1–8.
- [78] R. Fair, "Superconductivity for large scale wind turbines," GE Global Res., Niskayuna, NY, USA, Tech. Rep. DE-EE0005143,2012.
- [79] G. Snitchler, B. Gamble, C. King, and P. Winn, "10 MW class superconductor wind turbine generators," *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 21, no.3,pp.1089–1092,Jun.2011.
- [80] A. B. Abrahamsen, B. B. Jensen, E. Seiler, N.Mijatovic, V. M. Rodriguez-Zermeno, N. H. Andersen, and J. Østergård, "Feasibility study of 5 MW superconducting wind turbine generator," *Phys. C, Supercond.*, vol. 471, nos. 21–22, pp. 1464–1469, Nov. 2011.
- [81] B. B. Jensen, N. Mijatovic, and A. B. Abrahamsen, "Development of superconducting wind turbine generators," *J. Renew. Sustain. Energy*, vol. 5, no. 2, pp. 023137-1–023137-12, Apr.2013.
- [82] R. Qu, Y. Liu, and J. Wang, "Review of superconducting generator topologiesfordirect-drivewindturbines,"*IEEETrans.Appl.Supercond.*, vol.23,no.3,Jun.2013,articlenr5201108.
- [83] O. Keysan, "Application of high-temperature superconducting machines todirect drive renewableenergysystems,"in*ElectricalDrivesforDirect Drive*

- Renewable Energy Systems*, M. Mueller and H. Polinder, Eds. Oxford, U.K.: Woodhead, 2013, pp.219–252.
- [84] S. S. Kalsi, *Applications of High Temperature Superconductors to Electric Power Equipment*. Piscataway, NJ, USA: IEEE Press,2011.
- [85] D. Kostopoulos, H. Polinder, and A. van den Brink, “High temperature superconducting generators for direct drive wind turbines: A review,” in *Proc. Eur. Wind Energy Assoc. Conf.*, 2012,pp. 1–10.
- [86] F. Blaabjerg, M. Liserre, and K. Ma, “Power electronics converters for wind turbine systems,” *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 48, no. 2, pp. 708–719, Mar./Apr.2012.
- [87] Z. Chen, “An overview of power electronic converter technology for renewableenergysystems,”in*ElectricalDrivesforDirectDriveRenew- able Energy Systems*, M. Mueller and H. Polinder, Eds. Oxford, U.K.: Woodhead, 2013, pp.80–105.
- [88] Z. Chen, “Power electronic converter systems for direct drive renewable energy applications,” in *Electrical Drives for Direct Drive Renewable Energy Systems*, M. Mueller and H. Polinder, Eds. Oxford, U.K.: Woodhead, 2013, pp.106–138.
- [89] A. Isidori, F.M. Rossi, and F. Blaabjerg, “Thermal loading and reliability of 10 MW multilevel wind power converter at different wind roughness classes,” in *Proc. IEEE ECCE*, Nov. 2012, pp.2172–2179.
- [90] C. H. Ng, M. A. Parker, L. Ran, P. J. Tavner, J. R. Bumby, and E. Spooner, “A multilevel modular converter for a large, light weight wind turbine generator,” *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 23, no. 3, pp. 1062–1074, May2008.
- [91] F. Deng and Z. Chen, “A new structure based on cascaded multilevel converter for variable speed wind turbine,” in *Proc. 36th Annu. Conf. IEEE IECON*, Nov. 2010, pp.3167–3172.
- [92] S. S. Gjerde and T. M. Undeland, “Fault tolerance of a 10 MW, 100 kV

- transformerless offshore wind turbine concept with a modular converter system,” in *Proc. EPE/PEMC*, Sep. 2012, pp.LS7c.3-1–LS7c.3-8.
- [93] N. R. Brown, T. M. Jahns, and R. D. Lorenz, “Power converter design for an integrated modular motor drive,” in *Proc. IEEE 42nd IEEE IAS Annu. Meeting Conf. Rec.*, Sep. 2007, pp.1322–1328.
- [94] J. J. Wolmarans, M. B. Gerber, H. Polinder, S. W. H. de Haan, and J. A. Ferreira, “A50 kW integrated fault tolerant permanent magnet machine and motor drive,” in *Proc. IEEE PESC*, Jun. 2008, pp.345–351.
- [95] M. Szykiel, “Overview of power converter designs feasible for high voltage transformer-less wind turbine,” in *Proc. IEEE ISIE*, Jun. 2011, pp.1420–1425.
- [96] P. K. Olsen, S. Gjerde, R. M. Nilssen, J. Hoelto, and S. Hvidsten, “A transformerless generator-converter concept making feasible a 100 kV light weight offshore wind turbine: Part I—The generator,” in *Proc. IEEE ECCE*, Sep. 2012, pp. 247–252.
- [97] S. Kouro, J. Rodriguez, B. Wu, S. Bernet, and M. Perez, “Powering the future of industry: High-power adjustable speed drive topologies,” *IEEE Ind. Appl. Mag.*, vol. 18, no. 4, pp. 26–39, Jul./Aug.2012.
- [98] J. A. Ferreira, “The multilevel modular DC converter,” *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 28, no. 10, pp. 4460–4465, Oct. 2013.
- [99] Trends in Wind Turbine Generator Systems
- [100] <https://tailieu.vn/doc/khoa-luan-tot-nghiep-tim-hieu-nang-luong-gio-va-khai-thac-nang-luong-gio-tai-viet-nam-1761988.html>