BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

TRƯỜNG ĐẠI HỌC QUẢN LÝ VÀ CÔNG NGHỆ HẢI PHÒNG

ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

NGÀNH : ĐIỆN TỰ ĐỘNG CÔNG NGHIỆP

Sinh viên : Phạm Thế Đạt

Giảng viên hướng dẫn: ThS. Nguyễn Đoàn Phong

HẢI PHÒNG – 2021

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

TRƯỜNG ĐẠI HỌC QUẢN LÝ VÀ CÔNG NGHỆ HẢI PHÒNG

TỔNG QUÁT ĐỘNG CƠ ĐIỆN DÙNG TRONG CÔNG NGHIỆP, ĐI SÂU TÌM HIỂU CÔNG NGHỆ , XU HƯỚNG VÀ SỰ PHÁT TRIỂN CỦA MÁY ĐIỆN TỐC ĐỘ CAO

ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP ĐẠI HỌC HỆ CHÍNH QUY

NGÀNH : ĐIỆN TỰ ĐỘNG CÔNG NGHIỆP

Sinh viên : Phạm Thế Đạt

Giảng viên hướng dẫn : ThS. Nguyễn Đoàn Phong

HẢI PHÒNG – 2021

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

TRƯỜNG ĐẠI HỌC QUẢN LÍ VÀ CÔNG NGHỆ HẢI PHÒNG

NHIỆM VỤ ĐỀ TÀI TỐT NGHIỆP

Sinh viên : Phạm Thế Đạt - **MSV** : 1512102031

Lớp : DC2001- **Ngành:** Điện Tự Động Công Nghiệp

Tên đề tài: Tổng quát động cơ điện dùng trong công nghiệp, đi sâu tìm hiểu công nghệ , xu hướng và sự phát triển của máy điện tốc độ cao

NHIỆM VỤ ĐỀ TÀI

+ 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	:	Nguyễn Đoàn Phong
Học hàm, học vị	:	Thạc Sĩ
Cơ quan công tác	:	Trường Đại học Quản lý và Công nghệ 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	:	

Đã nhận nhiệm vụ Đ.T.T.N	Đã giao nhiệm vụ Đ.T.T.N
Sinh viên	Cán bộ hướng dẫn Đ.T.T.N
Phạm Thế Đạt	ThS. Nguyễn Đoàn Phong

Hải Phòng, ngày.....tháng.....năm 2021

TRƯỞNG KHOA

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM

Độc lập - Tự do - Hạnh phúc

PHIẾU NHẬN XÉT CỦA GIẢNG VIÊN HƯỚNG DẪN TỐT NGHIỆP

Họ và tên giảng viên: Nguyễn Đoàn Phong

Đơn vị công tác: Khoa Điện – Điện tử.

Họ và tên sinh viên: .Phạm Thế Đạt. Chuyên ngành: Điện tự động Công nghiệp

Nội dung hướng dẫn: Toàn bộ đồ án

.....

+ **Tinh thần thái độ của sinh viên trong quá trình làm đề tài tốt nghiệp**

.....

.....

- **Đánh giá chất lượng của đồ án/khóa luận (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 số liệu…)**

.....

.....

3. Ý kiến của giảng viên hướng dẫn tốt nghiệp

Được bảo vệ ☐ Không được bảo vệ ☐ Điểm hướng dẫn ☐

Hải Phòng, ngày tháng năm 2021

Giảng viên hướng dẫn

(Ký và ghi rõ họ tên)

ThS. Nguyễn Đoàn Phong

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM

Độc lập - Tự do - Hạnh phúc

PHIẾU NHẬN XÉT CỦA GIẢNG VIÊN CHẤM PHẢN BIỆN

Họ và tên giảng viên:
Đơn vị công tác:

Họ và tên sinh viên Phạm Thế Đạt
Chuyên ngành: Điện Tự động Công nghiệp
Đề tài tốt nghiệp: **Tổng quát động cơ điện dùng trong công nghiệp, đi sâu tìm hiểu công nghệ, xu hướng và sự phát triển của máy điện tốc độ cao.**

1. Phần nhận xét của giáo viên chấm phản biện

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

2. Những mặt còn hạn chế

.....
....

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

3. Ý kiến của giảng viên chấm phản biện

Được bảo vệ ☐ Không được bảo vệ ☐ Điểm hướng dẫn ☐

Hải Phòng, ngày ... tháng ... năm 2021

Giảng viên chấm phản biện

(Ký và ghi rõ họ tên)

LỜI NÓI ĐẦU

Hiện nay, đất nước ta đang trên con đường công nghiệp hóa hiện đại hóa nên tác dụng của các khu công nghiệp ngày càng tăng.

Vì vậy các động cơ điện được sử dụng trong công nghiệp giữ vai trò quan trọng đối với phát triển kinh tế và ổn định chính trị xã hội.

Động cơ điện là máy điện dùng để chuyển đổi năng lượng điện sang năng lượng cơ học. Hầu hết động cơ điện hiện có hoạt động theo hiệu ứng điện từ. Một số ít là Động cơ điện hoạt động dựa trên hiệu ứng áp điện, và thường là động cơ nhỏ hoặc siêu nhỏ.

Động cơ điện được dùng trong hầu hết mọi lĩnh vực, từ các động cơ nhỏ dùng trong lò vi song để chuyển động đĩa quay, hay trong các máy đọc đĩa đến các đồ nghề như máy khoan, hay các máy gia dụng như máy giặt, sự hoạt động của thang máy hay các hệ thống thông gió cũng dựa vào động cơ điện. Nhưng sự đi lên của cộng nghiệp hóa hiện đại hóa khiến cho những động cơ điện được sử dụng trong công nghiệp càng có tầm quan trọng với sự phát triển của nước nhà.

Tuy nhiên nhiều người vẫn chưa hiểu rõ động cơ điện là gì, cấu tạo và nguyên lý hoạt động của nó ra sao, tầm quan trọng của nó đối với ngành công nghiệm. Nên trong phạm vi đồ án lần này em sẽ nghiên cứu về động cơ điện dùng trong công nghiệp, đi sâu tìm hiểu công nghệ, xu hướng và sự phát triển của máy điện tốc độ cao. Do kiến thức và thời gian còn hạn chế nên không tránh khỏi những sai xót trong quá trình làm bài. Em mong nhận được sự nhận xét từ quý thầy cô.

Em xin chân thành cảm ơn!

CHƯƠNG 1
TỔNG QUÁT VỀ MÁY ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU

1.1. KHÁI NIỆM

Máy điện một chiều là loại máy điện biến cơ năng thành năng lượng điện một chiều (máy phát) hoặc biến điện năng dòng một chiều thành cơ năng (động cơ một chiều).

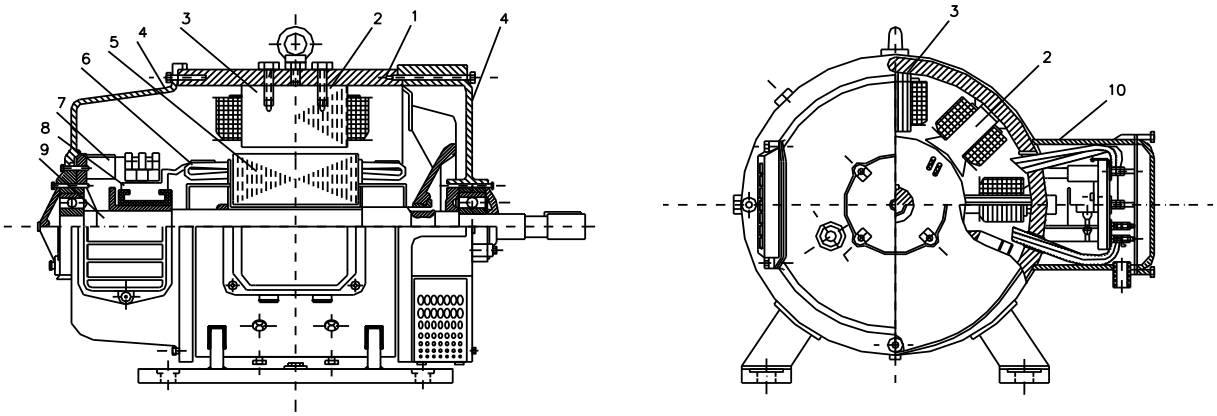
Ở máy điện một chiều từ trường là từ trường không đổi. Để tạo ra từ trường không đổi người ta dùng nam châm vĩnh cửu hoặc nam châm điện được cung cấp dòng điện một chiều.

Có hai loại máy điện 1 chiều: loại có cổ góp, loại không có cổ góp.

Công suất lớn nhất của máy điện một chiều vào khoảng 5-10 MW. Hiện tượng tia lửa ở cổ góp đã hạn chế tăng công suất của máy điện một chiều. Cấp điện áp của máy một chiều thường là 120V, 240V, 400V, 500V và lớn nhất là 1000V. Không thể tăng điện áp lên nữa vì điện áp giới hạn của các phiến góp là 35V.

1.2. CẤU TẠO CỦA MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

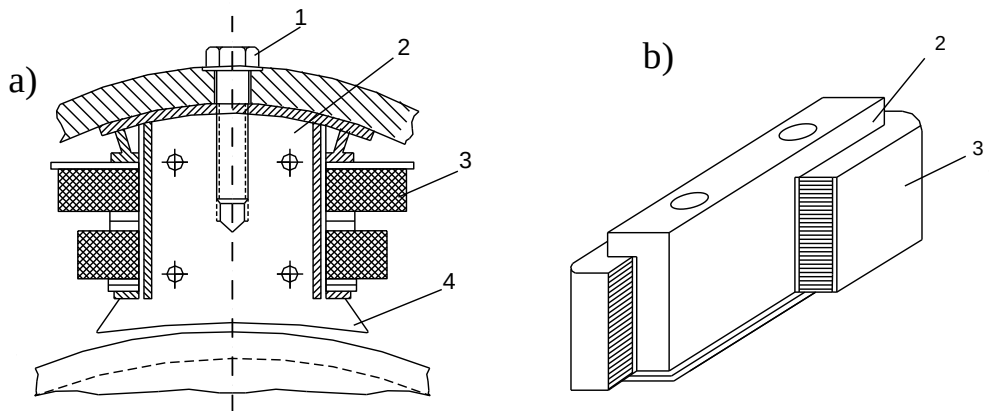
Trên hình 1.1 biểu diễn cấu tạo của máy điện một chiều. Ta sẽ nghiên cứu cụ thể các bộ phận chính.



Hình 1.1 Kích thước dọ, ngang máy điện một chiều.1-Thép, 2-cực chính với cuộn kích từ, 3-cực phụ với cuộn dây,4-Hộp ổ bi,5-Lõi thép, 6-cuộn phần ứng, 7-Thiết bị chổi,8-Cổ góp, 9-Trục, 10-Nắp hộp đấu dây

1.2.1. Cấu tạo của Stator

Giống như những máy điện quay khác nó cũng gồm phần đứng im (stator) và phần quay (rotor). Về chức năng máy điện một chiều cũng được chia thành phần cảm (kích từ) và phần ứng (phần biến đổi năng lượng). Khác với máy điện đồng bộ ở máy điện một chiều phần cảm bao giờ cũng ở phần tĩnh còn phần ứng là ở rotor.



Hình 1.2 Cấu tạo các cực của máy điện một chiều a)Cực chính, b)Cực phụ

Stator máy điện một chiều là phần cảm, nơi tạo ra từ thông chính của máy. Stator gồm các chi tiết sau: .

Cực chính

Trên *hình 1.2a* biểu diễn một cực chính gồm: Lõi cực 2 được làm bằng các lá thép điện kỹ thuật ghép lại, mặt cực 4 có nhiệm vụ làm cho từ thông dễ đi qua khe khí. Cuộn dây kích từ 3 đặt trên lõi cực cách điện với thân cực bằng một khuôn cuộn dây cách điện. Cuộn dây kích từ làm bằng dây đồng có tiết diện tròn, cuộn dây được tẩm sơn cách điện nhằm chống thấm nước và tăng độ dẫn nhiệt. Để tản nhiệt tốt cuộn dây được tách ra thành những lớp, đặt cách nhau một rãnh làm mất.

Cực phụ(hình 1.2.b)

Cực phụ nằm giữa các cực chính , thông thường số cực phụ bằng ½ số cực chính số cực chính. Lõi thép cực phụ (2) thường là bột thép ghép lại, ở những máy có tải thay đổi thì lõi thép cực phụ cũng được ghép bằng các lá thép. cuộn dây 3 đặt trên lõi thép 2. Khe khí ở cực phụ lớn hơn khe khí ở cực chính.

A. Thân máy

Thân máy làm bằng gang hoặc thép, cực chính và cực phụ được gắn vào thân máy. Tuỳ thuộc vào công suất của máy mà thân máy có chứa hộp ổ bi hoặc không. Máy có công suất lớn thì hộp ổ bi làm rời khỏi thân máy. Thân máy được gắn với chân máy. Ở vỏ máy có gắn bảng định mức với các thông số sau đây:

- Công suất định mức $P_{đm}$.
- Tốc độ định mức $n_{đm}$
- Điện áp định mức $U_{đm}$
- Dòng điện định mức $I_{đm}$
- Dòng kích từ định mức $I_{ktđm}$

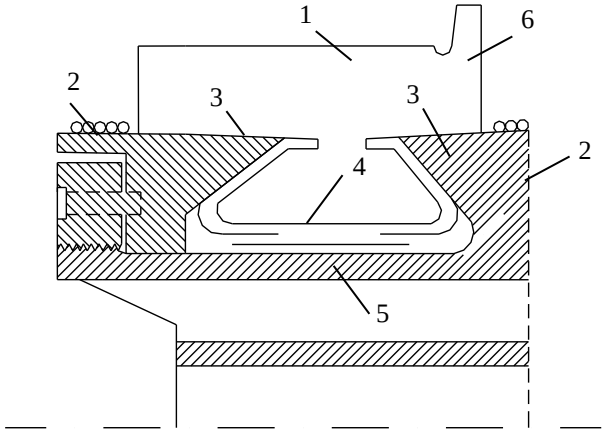
D.Rotor

Rotor của máy điện một chiều là phần ứng. Ngày nay người ta dùng chủ

yếu là loại rotor hình trống có răng được ghép lại bằng các lá thép điện kỹ thuật. Ở những máy công suất lớn người ta còn làm các rãnh làm mát theo bán kính (các lá thép được ghép lại từng tệp, các tệp cách nhau một rãnh làm mát).

E. Cổ góp

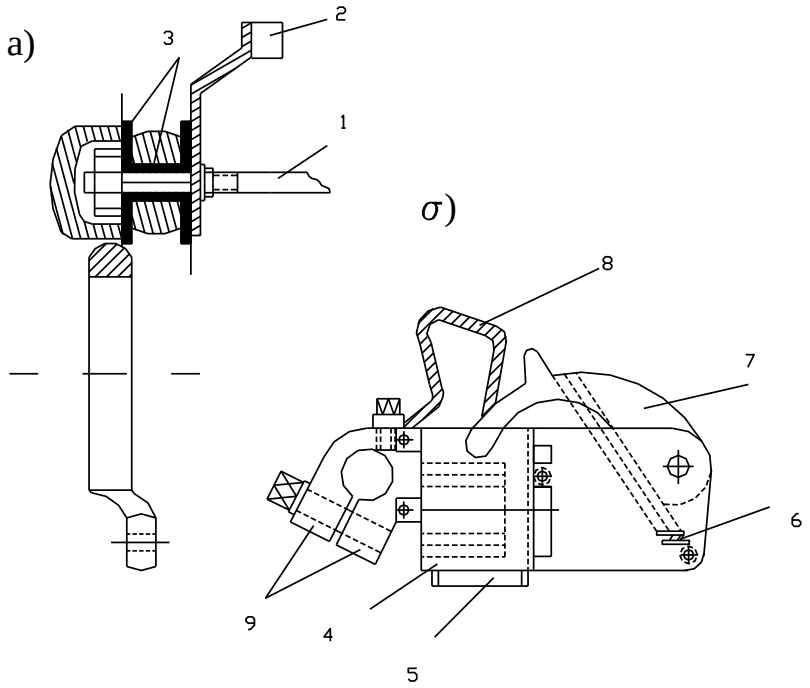
Cuộn dây rotor là cuộn dây khép kín, mỗi cạnh của nó được nối với phiến góp. Các phiến góp được ghép cách điện với nhau và với trục hình thành một cổ góp. Phiến góp được làm bằng đồng, vừa có độ dẫn điện tốt vừa có độ bền cơ học, chống mài mòn. *(hình 1.3).*



Hình 1.3.Kích thước ngang của cổ góp 1-Phiến góp,2-Ép vỏ ,3-cách điện, 4-phiến cách điện,5-ống cổ góp,6-chổi

G. Thiết bị chổi.

Để đưa dòng điện ra ngoài phải dùng thiết bị chổi gồm: chổi than được làm bằng than granit vừa đảm bảo độ dẫn điện tốt vừa có khả năng chống mài mòn, bộ giữ chổi được làm bằng kim loại gắn vào Stator, có lò so tạo áp lực chổi và các thiết bị phụ khác.



Hình 1.4 Thiết bị chổi.
a) Thanh giữ chổi, b)thiết bị giữ chổi.1.Ốc vít,2-Dây dẫn,3-Cách điện,4-Giữ chổi, 5-Chổi, 6-Lò so,7-Đòn gánh,8-Dây dẫn điện ra,9-Ốc giữ chổi.

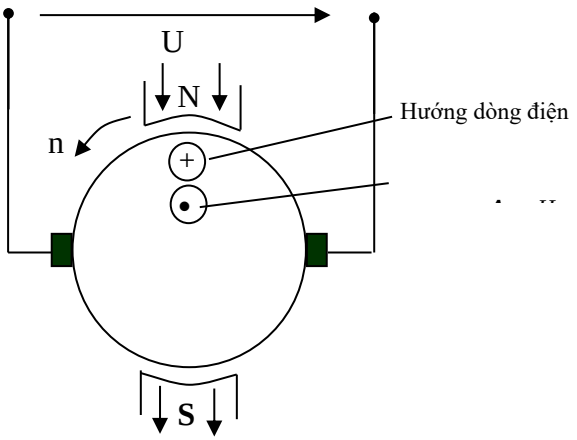
1.3. PHÂN LOẠI ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU

Động cơ điện một chiều được phân loại theo kích từ thành những loại sau:

- Kích từ độc lập
- Kích từ song song
- Kích từ nối tiếp
- Kích từ hỗn hợp

1.3.1. PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG SĐĐ CỦA ĐỘNG CƠ

Khi đưa một máy điện một chiều đã kích từ vào lưới điện *hình 1.5* thì trong cuộn phần ứng sẽ chạy 1 dòng điện, dòng điện này sẽ tác động với từ trường sinh ra lực, chiều của nó xác định bằng quy tắc bàn tay trái, và tạo ra mômen điện từ làm cho rotor quay với tốc độ n. Trong cuộn dây sẽ xuất hiện sđđ cảm ứng $E_{ư} = C_e\phi n$, ở chế độ quá độ (khi n và dòng $I_{ư}$ thay đổi) ta có phương trình sau:



Hình 1.5 Giải thích nguyên lý động cơ điện một chiều

$$U + (-e_{-}) + (-L_a \frac{di_{-}}{dt}) = i_{-} R_t \qquad (1.1)$$

Hoặc: $U = e_{-} + L_a \frac{di_{-}}{dt} = i_{-} R_t$ (1.2)

Ở chế độ ổn định (n = const, $I_{ư}$ = const) ta có:

$$U = E_{ư} + I_{ư} R_t \qquad (1.3)$$

Kết hợp với công thức (2.2) ta viết:

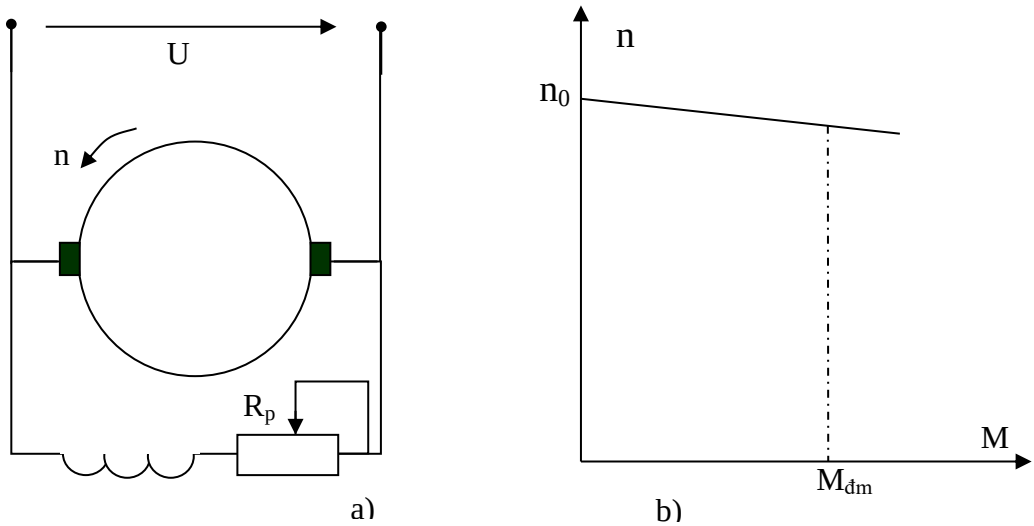
$$U = E_{ư} \pm I_{ư} Rt \qquad (1.4)$$

Trong dấu "-" cho máy phát, dấu "+" cho động cơ.

1.3.2. ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU

1.3.2.1. Đặc tính cơ của động cơ kích từ độc lập và song song .

Đặc tính cơ là mối quan hệ hàm giữa tốc độ và mômen điện từ n = f(M) khi I_{kt} = const.



Hình 1.6 Động cơ điện một chiều kích từ song song: a)Sơ đồ, b)Đặc tính cơ

Để tìm mối quan hệ này ta dựa vào *hình 1.6* và các phương trình (1.4),

(1.4), (1.5). Dòng kích từ được xác định bằng:

$$I_{kt} = \frac{U_{kt}}{R_{kt}}; \quad \text{và} \quad \phi = k_1 i_{kt}$$

Thay (11.40) vào (14.4) rồi rút n ra ta có:

$$n = \frac{U}{C_e\phi} - \frac{I_{\text{-}} R_t}{C_e\phi} \qquad (1.5)$$

Rút $I_{ư}$ từ (13.5) thay vào (14.5) ta được:

$$n = \frac{U}{C_e\phi} - \frac{MR_t}{C_e C_m \phi^2} \qquad (1.5a)$$

Do I_{kt} = const nên ϕ = const ta được phương trình:

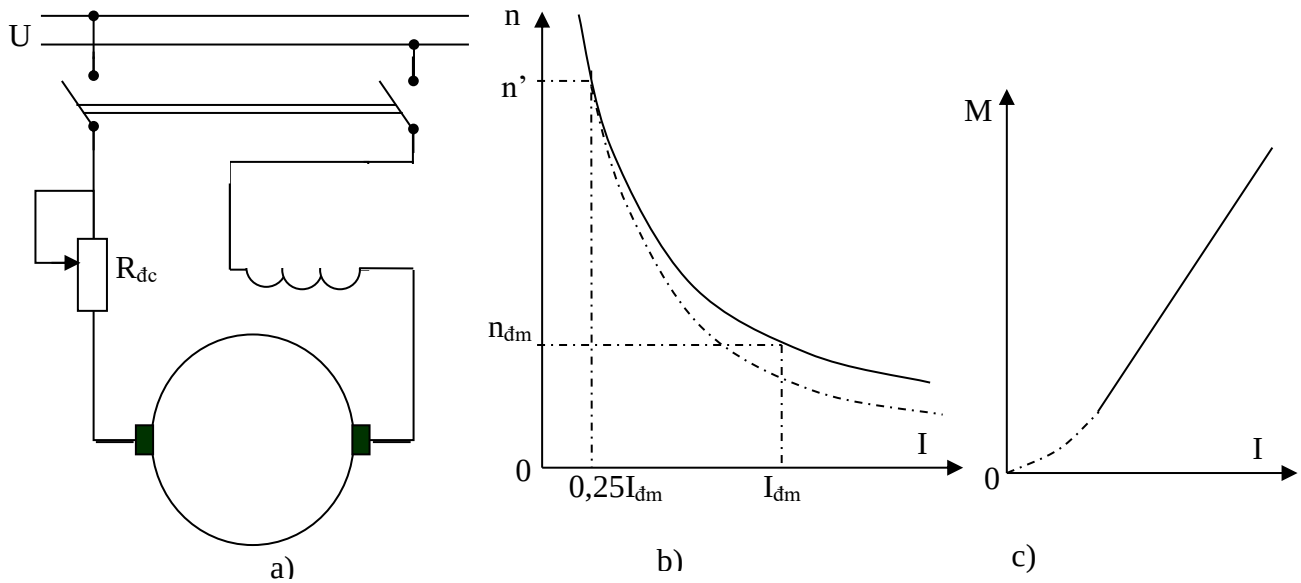
$$n = n_0 - BM. \qquad (1.6)$$

Trong đó: $n_0 = \frac{U}{C_e\phi}$ - gọi là tốc độ không tải, còn $B = \frac{R_t}{C_e C_m \phi^2}$

Về mặt toán học đây là 1 đường thẳng (*hình 1.6b),* song trong máy điện chi phối tính chất của máy còn do các hiện tượng vật lý. Thật vậy, khi tải tăng do phản ứng phần ứng làm cho từ thông chính của máy giảm đi đặc tính cơ hơi biến dạng. Nếu động cơ có điện trở điều chỉnh ở mạch phần ứng thì giá trị của hằng số như sau: $B = (R_t + R_{đc})/C_eC_m\phi^2$.

1.3.2. **Đặc tính cơ của động cơ kích từ nối tiếp.**

Đó là mối quan hệ n = f(M) với $U = U_{đm}$, $R_{đc}$ = const. Sơ đồ động cơ kích từ nói tiếp biểu diễn trên hình 1.7



Hình 1.7 Động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp: a)Sơ đồ, b)Đặc tính cơ

Từ công thức (2.13) ta có:

$$n = \frac{U - I_{-}(R_t + R_{dc})}{C_e\phi} = \frac{U}{C_e\phi} - \frac{M(R_t + R_{dk}}{C_e\phi} \qquad (1.7)$$

Trong máy kích từ nối tiếp $I_{kt} = I_ư$.

Ta xét 2 trường hợp:

a.Khi $0 < I_ư < I_{đm}$ – máy chưa bão hoà, trong trường hợp này ta có $\phi = KI_ư$.

Vậy $M = C_m K I_ư I_ư = C_m I_ư^2$ do đó:

$I_ư = C_m\sqrt{M}$

Thay vào biểu thức (3.7) ta có:

$$n = \frac{U - C_m\sqrt{M}(R_t + R_{dc})}{C_e K I_u} = \frac{U}{C_e K C_m\sqrt{M}} \frac{-C_m\sqrt{M}(R_t + R_{dc})}{C_e K C_m\sqrt{M}}$$

Hay: $n = \frac{U}{C_e K C_m\sqrt{M}} - \frac{R_t + R_{dc}}{C_e K} = \frac{A}{\sqrt{M}} - B$

Trong đó $A = \frac{U}{C_e K C'_m}$; $B = \frac{R_t + R_{dc}}{C_e K}$;

Như vậy trong phạm vi dòng tải nhỏ hơn hoặc bằng dòng định mức, đặc tính có dạng hypebol.

b.Khi $I_ư > I_{đm}$, máy bão hoà, đặc tính cơ không trùng với đường hypebol nữa (đường nét đứt ở hình 3.3b). Sự thay đổi tốc độ bình thường đối với động cơ nối tiếp xác định theo biểu thức:

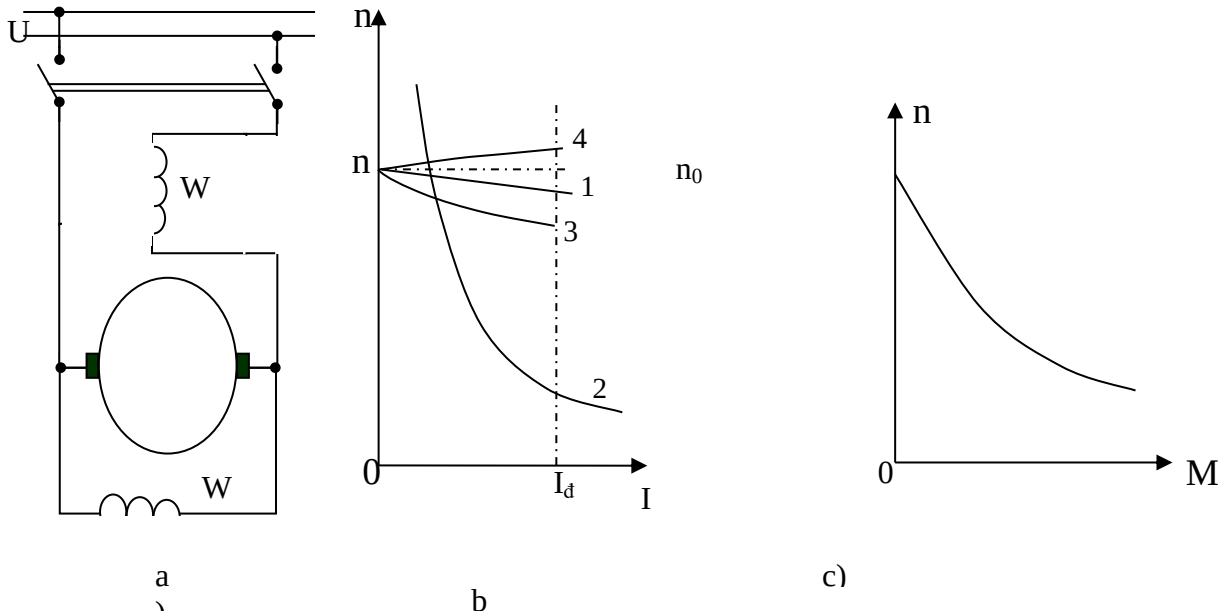
$$\Delta n_{đm} = \frac{n' - n_{dm}}{n_{dm}} 100\%$$

Trong đó n'-tốc độ quay của động cơ khi tải thay đổi từ định mức tới 25%

Qua phân tích trên đây ta thấy đặc tính cơ của động cơ kích từ nối tiếp không có tốc độ không tải. Khi tải giảm quá mức, tốc độ động cơ tăng đột ngột vì vậy không được để động cơ mắc nối tiếp làm việc không tải, trong thực tế không được cho động cơ nối tiếp chạy bằng dây cu-roa.

1.3.3. Đặc tính cơ của động cơ kích từ hỗn hợp

Hình 1.8 biểu diễn động cơ kích từ hỗn hợp và đặc tính cơ của nó.



Hình 1.8 Động cơ điện một chiều kích từ hỗn hợp: a)Sơ đồ, b,c) Đặc tính cơ

Động cơ gồm 2 cuộn kích từ: cuộn nối tiếp và cuộn song song. Đặc tính cơ của động cơ này giống như đặc tính cơ của động cơ kích từ nối tiếp hoặc song song phục thuộc vào cuộn kích từ nào giữ vai trò quyết định. Ở động cơ nối thuận, stđ của 2 cuộn dây cùng chiều nhưng giữ vai trò chủ yếu là cuộn song song. So sánh đặc tính cơ của động cơ kích từ hỗn hợp với nối tiếp ta thấy ở động cơ kích từ hỗn hợp có tốc độ không tải (kho không tải từ thông nối tiếp bằng không nhưng từ thông kích từ song song khác khác không nên có tốc độ không tải) khi dòng tải tăng lên, từ thông cuộn nối tiếp tác động, đặc tính cơ mang tính chất động cơ nối tiếp Trên hình 2.18b biểu diễn đặc tính n=f(I) của động cơ kích từ song song (đường 1), của động cơ kích từ nối tiếp (đường 2), của động cơ kích từ hỗn hợp nối thuận (đường 3) và đặc tính của động cơ kích từ nối tiếp nối ngược (đường 4) để chúng ta dễ so sánh. Còn hình 1.8c là đặc tính cơ của động cơ kích từ hỗn hợp.

1.4. KHỞI ĐỘNG ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU.

Khởi động động cơ là quá trình đưa động cơ từ trạng thái nghỉ (n=0) tới tốc độ làm việc. Chúng ta có các phương pháp khởi động sau:

a.Khởi động trực tiếp

Đây là phương pháp đóng động cơ trực tiếp vào lưới điện, không qua một thiết bị phụ nào. Dòng khởi động được xác định bằng công thức:

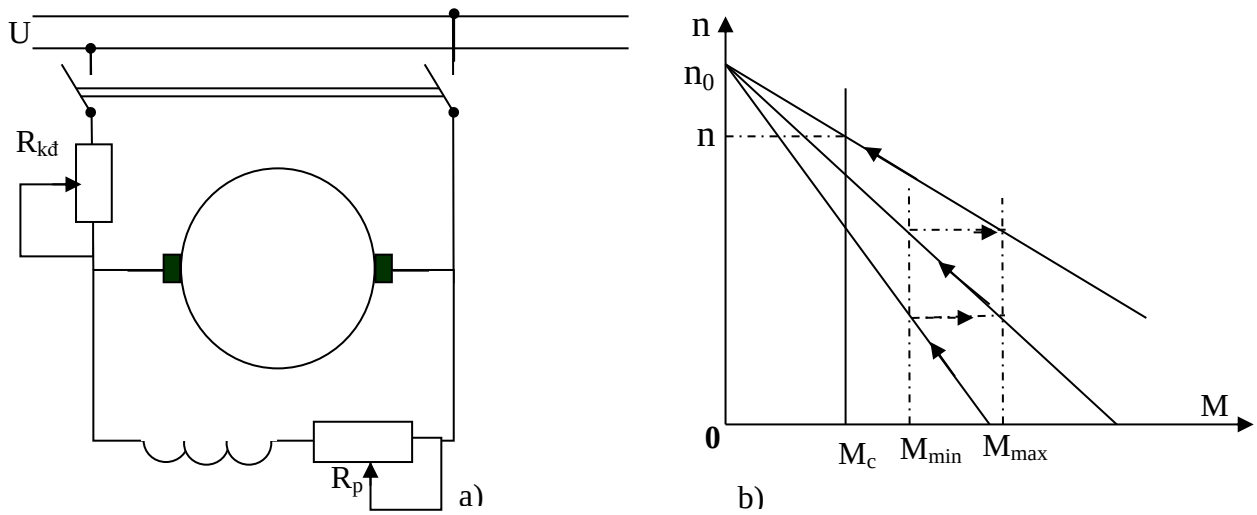
$$I_{kd} = \frac{U_{dm}}{R_t} \qquad (1.8)$$

Vì R_t nhỏ nên $I_{kđ}$ có giá trị rất lớn, đạt $(10 \div 30)I_{đm}$. Sự tăng dòng đột ngột làm xuất hiện tia lửa ở cổ góp, xuất hiện xung cơ học và làm sụt điện áp lưới. Phương pháp này hầu như không được sử dụng.

b.Khởi động dùng điện trở khởi động

Người ta đưa vào rotor một điện trở có khả năng điều chỉnh và gọi là điện trở khởi động (hình 1.9a). Dòng khởi động bây giờ có giá trị:

$$I_{kd} = \frac{U_{dm}}{(R_t + R_{kd})} \qquad (1.8a)$$



Hình 1.9 Động cơ điện một chiều kích từ song song: a)Sơ đồ, b)Đặc tính cơ

Điện trở khởi động phải được ngắt dần ra theo sự tăng của tốc độ. Nấc khởi động thứ nhất phải chọn sao cho dòng phần ứng không lớn quá và mômen khởi động không nhỏ quá. Việc lựa chọn số nấc điện trở được trình bày ở các sách về truyền động điện. Khi có cùng dòng phần ứng thì động cơ kích từ nối tiếp có mômen khởi động lớn hơn động cơ kích từ song song.

Lưu ý: Với các động cơ kích từ song song khi dùng điện trở khởi động phải nối sao cho cuộn kích từ trong mọi thời gian đều được cấp điện áp định mức, để đảm bảo ϕ lớn nhất. Nếu trong mạch kích từ có điện trở điều chỉnh thì khi khởi động, để điện trở này ngắn mạch. Trên *hình 1.9b* biểu diễn đặc tính cơ của động cơ 1 chiều khởi động dùng điện trở khởi động (Khi chuyển từ nấc điện trở này sang nấc điện trở khác tốc độ động cơ không đổi).

1.5. ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU

1.5.1. *Các phương pháp điều chỉnh tốc độ*

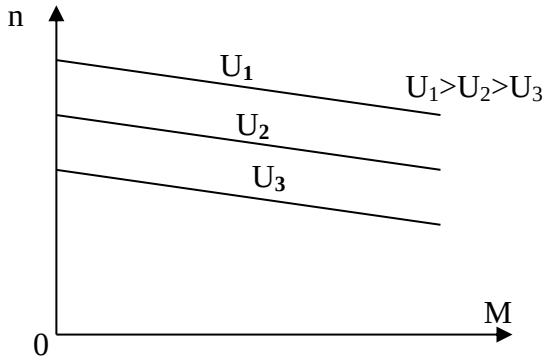
Từ biểu thức (3.5a) ta rút ra những phương pháp điều chỉnh tốc độ sau:

a. Thay đổi điện áp nguồn nạp.
b. Thay đổi điện trở mạch rotor.

c. Thay đổi từ thông.

1.5.2. Điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi điện áp nguồn nạp.

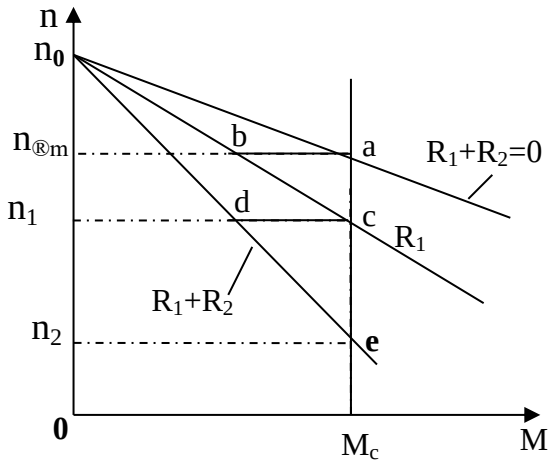
Từ (2.18a) ta thấy khi cho U = var thì $n_0 = \frac{U}{C_e\phi} = var$, nếu M_c =const thì tốc độ n = var. Ta điều chỉnh được tốc độ động cơ. Khi điện áp nguồn cung cấp thay đổi, các đặc tính cơ song song với nhau. Điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi điện áp nguồn cung cấp chỉ điều chỉnh được theo chiều giảm tốc độ (vì mỗi cuộn dây đã được thiết kế với $U_{đm}$, không thể tăng điện áp đặt lên cuộn dây). Song độ láng điều chỉnh lớn, còn phạm vi điều chỉnh hẹp.Ở *hình 1.10* ta biểu diễn đặc tính cơ của động cơ khi U = var.



Hình 1.10 Đặc tính cơ khi thay đổi điện áp nguồn cung cấp

1.11. *Điều chỉnh bằng thay đổi điện trở mạch rotor.*

Từ (2.7) ta ký hiệu $\Delta n = M(R_t + R_{đc})$ thì khi M = const mà thay đổi $R_{đc}$ thì thay đổi được Δn (độ giảm tốc độ), tức là thay đổi được tốc độ động cơ. Trên *hình 2.21* biểu diễn đặc tính cơ của phương pháp điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi điện trở rotor.



Hình 1.11 Điều chỉnh tốc độ động cơ một chiều bằng phương pháp thay đổi điện trở mạch rotor

Phương pháp điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi điện trở mạch phần ứng có những ưu khuyết điểm sau:

Ưu điểm:

Dễ thực hiện, vốn đầu tư ít, điều chỉnh tương đối láng

Tuy nhiên phạm vi điều chỉnh hẹp và phụ thuộc vào tải (tải càng lớn phạm vi điều chỉnh càng rộng), không thực hiện được ở vùng gần tốc độ không tải. Điều chỉnh có tổn hao lớn. Người ta đã chứng minh rằng để giảm 50% tốc độ định mức thì tổn hao trên điện trở điều chỉnh chiếm 50% công suất đưa vào. Điện trở điều chỉnh tốc độ có chế độ làm việc lâu dài nên không dùng điện trở khởi động (làm việc ở chế độ ngắn hạn) để làm điện trở điều chỉnh tốc độ.

1.5.3. Điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi từ thông.

Từ biểu thức:

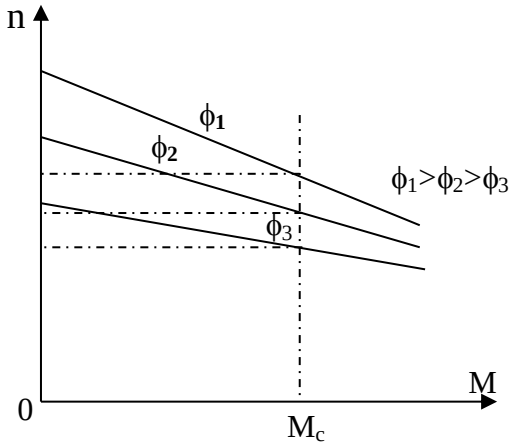
$$n = \frac{U - I_{-} R_t}{C_e \phi} \qquad (1.9)$$

Khi M, U = const, ϕ = var (thayđổi dòng kích từ) thì n tăng lên. Thậy vậy khi giảm từ thông ϕ dòng điện ở rotor tăng nhưng không làm cho tử số biểu thức (3.9) thay đổi nhiều vì độ giảm điện áp ở R_t chỉ chiếm vài % của điện áp U nên khi từ thông ϕ giảm thì tốc độ tăng. Song nếu ta cứ tiếp tục giảm dòng kích từ thì tới một lúc nào đó tốc độ không được tăng được nữa. Sở dĩ như vậy vì mômen điện từ của động cơ cũng giảm. Phương pháp này chỉ dùng trong phạm vi khi từ thông giảm tốc độ còn tăng. *Hình 1.12* biểu diễn đặc tính cơ khi ϕ = var.Phương pháp điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi từ thông có những ưu khuyết điểm sau:

Ưu điểm: Điều chỉnh tốc độ theo chiều tăng (từ tốc độ định mức), rất láng phạm vi điều chỉnh rộng, tổn hao điều chỉnh nhỏ, dễ thực hiện và kinh tế.

Nhược điểm: Không điều chỉnh được tốc độ ở dưới tốc độ định mức.

Do những ưu điểm trên phương pháp điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi từ thông thường được áp dụng hợp với những phương pháp khác nhằm tăng phạm vi điều chỉnh.

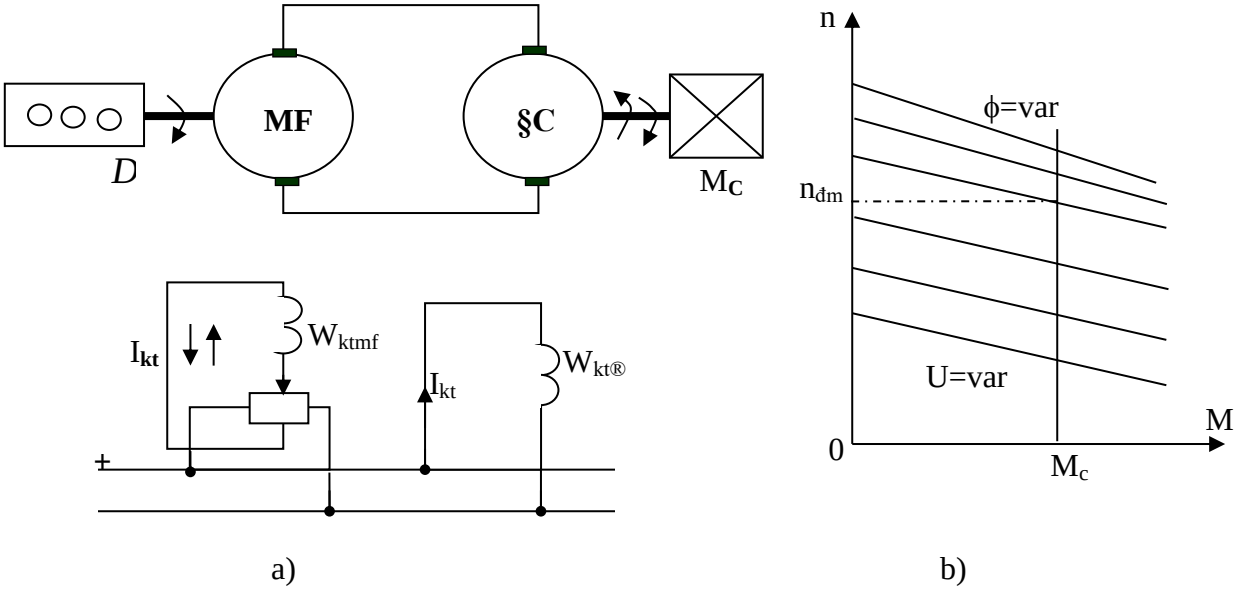


Hình 1.12 Đặc tính cơ của động cơ một chiều kích từ độc lập khi thay đổi từ thông

Lưu ý: Không được giảm dòng kích từ tới giá trị không, vì lúc này máy chỉ còn từ dư, tốc độ tăng quá lớn gây nghuy hiểm cho các cấu trúc cơ khí của động cơ. Thường người ta thiết kế bộ điện trở điều chỉnh để không khi nào mạch từ bị hở.

1.5.4 Hệ thống máy phát động cơ

Để tăng phạm vi điều chỉnh tốc độ, người ta dùng hệ thống máy phát động cơ điện một chiều (fình 2.23).



Hình 1.13 Hệ trống truyền động điện máy phát-động cơ a) Sơ đồ, b)Đặc tính cơ khi thay đổi tốc độ

Trong hệ thống này cả máy phát và động cơ đều là máy điện một chiều kích từ độc lập.

Để thay đổi tốc độ, trong hệ thống máy phát-động cơ có thể áp dụng phương pháp điều chỉnh điện áp nguồn nạp (thay đổi kích từ máy phát), thay đổi điện trở mạch rotor động cơ và thay đổi từ thông kích từ động cơ. Hệ thống cho ta phạm vi điều chỉnh tốc độ rộng, điều chỉnh được cả 2 chiều tăng và giảm, có độ điều chỉnh rất láng.

Tuy nhiên do sử dụng nhiều máy điện một chiều nên đầu tư cho hệ thống khá đắt tiền, do đó hệ thống truyền động điện máy phát động cơ chỉ sử dụng ở những nơi thật cần thiết theo chỉ tiêu chất lượng của hệ thống. Ngày nay máy phát điện một chiều được thay bằng bộ chỉnh lưu, xuất hiện hệ thống: van-động cơ. Hệ thống được cấp điện từ nguồn xoay chiều, có tính chất giốmg hệ máy phát động cơ nhưng rẻ và độ tin cậy cao hơn.

1.6. HÃM ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU

Hãm chúng ta nói ở đây là hàm bằng điện. Trong một hệ thống truyền động điện nếu chiều của mômen của động cơ lai trùng với chiều tốc độ quay ta có chế độ động cơ, còn nếu chiều của mômen và chiều tốc độ ngược nhau ta có chế độ hãm.

Có 3 chế độ hãm:

a. Hãm động năng,
b. Hãm dòng điện ngược,
c. Hãm trả năng lượng về nguồn.

1. Hãm động năng

Để thực hiện hãm động năng, phần ứng động cơ được ngắt khỏi lưới (tiếp điểm K mở ra, tiếp điểm K_2 đóng lại) và nối qua điện trở hãm *hình*

2.24a.. Điện áp bây giờ U = 0, do có động năng, động cơ vẫn quay theo hướng cũ, dòng phản ứng được xác định:

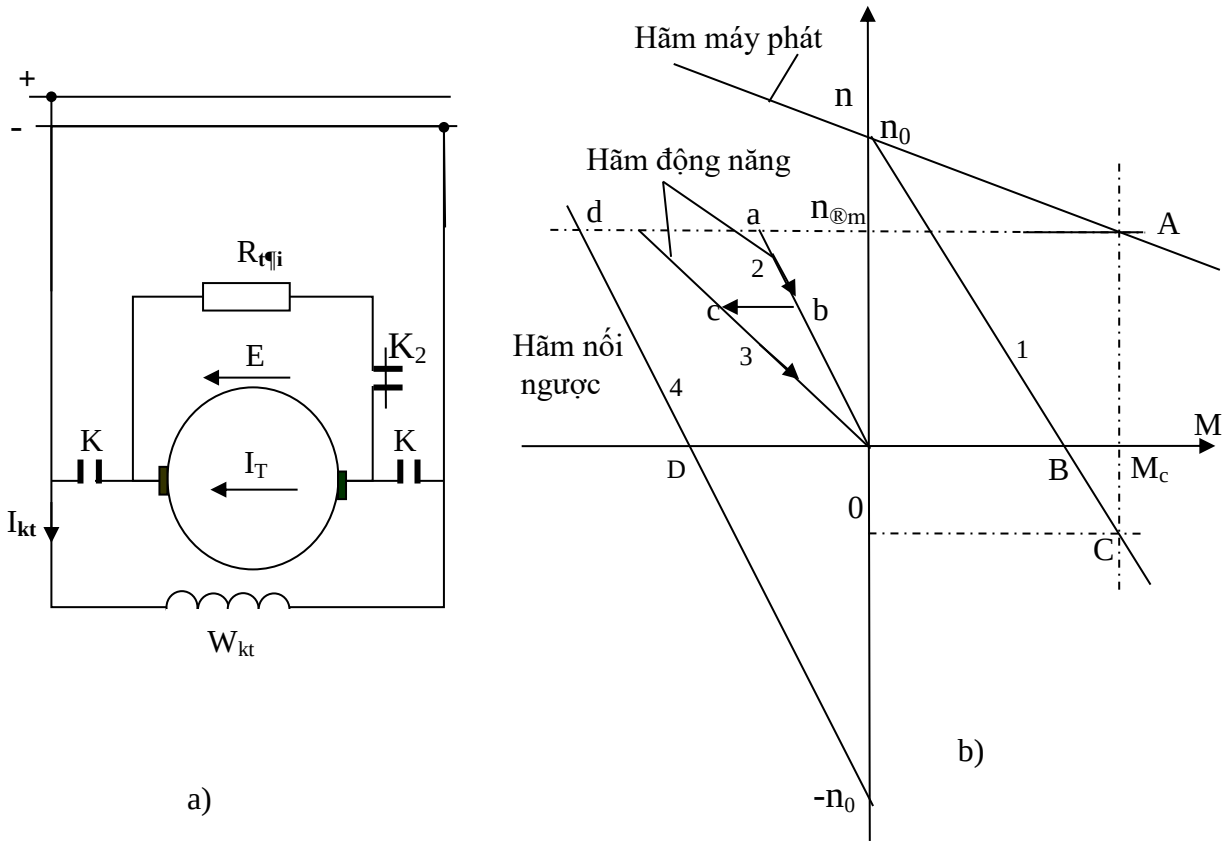
$$I_u = \frac{U - E_{\text{-}}}{R_t} = -\frac{E_{\text{-}}}{R_t}$$

Như vậy dòng điện đổi chiều, mômen tạo ra do động cơ cũng đổi chiều, còn tốc độ vẫn theo chiều cũ, động cơ làm việc ở chế độ hãm. Phương trình tốc độ có dạng:

$$n = \frac{M(R_t - R_{\text{h}})}{C_e C_m \phi^2}$$

Trên hình *2.24b* đường 2 và 3 biểu diễn hãm ở chế độ động năng.

Phương pháp hãm động năng thường được sử dụng để hãm động cơ tới dừng máy.



Hình 1.14 Hãm điện ở động cơ điện một chiều a)Sơ đồ hãm động năng, b) Đặc tính cơ của động cơ một chiều ở các chế độ hãm

2. *Hàm dòng điện ngược.*

Người ta thực hiện bằng 2 cách:

-Đưa điện trở hãm lớn vào mạch rotor khi trên trục động cơ có mômen thế năng.

Khi đưa điện trở lớn vào mạch rotor dòng phần ứng giảm, mômen cản trên trục động cơ không đổi (ví dụ hạ hàng) lúc này tốc độ giảm cho tới điểm B đạt tốc độ bằng không. Dưới tác dụng của trọng lượng (hàng hoá) động cơ quay ngược, dòng không đổi chiều, mômen không đổi chiều nhưng tốc độ đổi hướng nên động cơ làm việc ở chế độ hãm (đoạn BC đặc tính 1 trên hình 1.14b), tới điểm e tốc độ rơi hàng có giá trị không đổi.

-Đổi chiều điện áp nguồn cung cấp.

Còn phương pháp thứ hai thực hiện bằng đổi chiều điện áp nguồn cung cấp, dòng rotor bây giờ có dạng:

$$I_{-} = \frac{(-U - E_{-})}{R_t + R_{dc}} = -\frac{(U + E_{-})}{R_t + R_{dc}}$$

Trong biểu thức này R_{dc} là điện trở thêm vào để hạn chế dòng hãm. Vì dòng I_u đổi chiều, mômen động cơ đổi chiều nhưng tốc độ chưa đổi chiều, động cơ làm việc ở chế độ hãm nối ngược. Trên *hình 1.14b* biểu diễn đặc tính cơ khi hãm nối ngược (đường 4, đoạn df). Tới điểm D khi tốc độ động cơ n=0, muốn dừng máy phải ngắt động cơ ra khỏi lưới, nếu không động cơ bắt đầu quay theo hướng ngược và tăng tốc độ, động cơ làm việc ở chế độ động cơ với chiều quay ngược lại. Thực tế phương pháp hãm này xảy ra ở giai đoạn đầu khi đổi chiều tốc độ động cơ.

3. Hãm trả năng lượng về nguồn

Do một nguyên nhân nào đó (ví dụ trong điều chỉnh tốc độ bằng giảm từ thông ta chuyển từ tốc độ cao xuống tốc độ thấp) tốc độ rotor lớn hơn tốc độ không tải, lúc này $E_u > U$ nên: $I_a = \frac{U - E_{-}}{R_t} < 0$, dòng đổi hướng, mômen đổi hướng, tốc độ vẫn giữ nguyên chiều cũ, động cơ làm việc như máy phát, đưa năng lượng về nguồn. Ta gọi đó là chế độ hãm trả năng lượng về nguồn (*hình 1.14b)*.

Chế độ hãm này rất kinh tế nhưng không hãm tới dừng máy được, chỉ hãm được tới tốc độ không tải thôi.

1.7. Tổn hao và hiệu suất máy điện một chiều

Trong máy điện có hai loại tổn hao:

a. Tổn hao chính.

b. Tổn hao phụ

1. Tổn hao chính gồm: tổn hao cơ (tổn hao ở ổ bi, ma sát ở cổ góp, ma sát với không khí,...).

Tổn hao sắt từ (tổn hao do từ trễ, tổn hao ở răng do sóng bậc cao,...)

Tổn hao đồng trong cuộn rotor và Stator, trong cuộn phụ, cuộn khử, trong mạch kích từ.

Tổn hao ở điện trở tiếp xúc của chổi hay vành khuyên.

2. Tổn hao phụ: Xuất hiện trong lõi thép và trong đồng, nó gồm tổn hao dòng xoáy(dòng Fucco), tổn hao nối cân bằng, tổn hao do phân bố từ trường không đều, do mật độ ở dòng chổi không đều,...vv.

Hiệu suất của máy tính như sau:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1 - \sum \Delta p}$$

Trong đó $\sum \Delta p$ - tổng các loại tổn hao của máy.

P_1 - công suất vào, P_2 - công suất ra

KẾT LUẬN

Trong chương 2 đã trình bày về máy phát dòng điện một chiều với các nội dung phân loại máy phát điện một chiều, các đặc tính của máy phát điện một chiều, làm việc song song của các máy phát điện mọt chiều.

Trong chương cũng trình bày động cơ điện một chiều với các nội dung sau: đặc tính cơ của các loại động cơ điện mộ chiều, phương pháp khởi động, điều chỉnh tốc độ động cơ điện một chiều và các phương pháp hãm độg cơ điện một chiều.

CHƯƠNG 2
MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

2.1 MỞ ĐẦU

Loại máy điện quay có cấu tạo đơn giản là loại máy điện không đồng bộ (dị bộ). Máy điện dị bộ có loại 1 pha, 2 pha hoặc 3 pha, nhưng phần lớn máy điện dị bộ 3 pha có công suất từ một vài oát tới vài me ga oát, có điện áp từ 100V đến 6000V.

Căn cứ vào cách thực hiện rotor, 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 rotor, 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. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA MÁY ĐIỆN DỊ BỘ

Để xét nguyên lý làm việc của máy điện dị bộ, ta lấy mô hình máy điện 3 pha gồm 3 cuộn dây đặt cách nhau trên chu vi máy điện một góc 120^0 , rô to 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_1 thì trong máy điện sinh ra từ trường quay với tốc độ $60f_1/p$. Từ trường này cắt thanh dẫn của rotor và ststo, 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:

$E_1=4,44W_1\phi f_1k_{cd}$

$E_2=4,44W_2\phi f_1k_{cd}$

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 rotor) 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 $n=n_{tt}$ 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:

$$s\%=\frac{n_{tt}-n}{n_{tt}}100\% \qquad (2.1)$$

Vậy tốc độ quay của rotor có dạng:

$$n = n_{tt}(1-s) \qquad (2.2)$$

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:

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

(2.3)

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

$$n_{tt2} = \frac{60 f_2}{p} = \frac{60 s f_1}{p} = s n_{tt}$$

(2.4)

So với một điểm không chuyển động của Stator, 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 Stator, từ trường quay của rotor có cùng giá trị với tốc độ quay của từ trường Stator.

2.3. CÁC CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC CỦA MÁY ĐIỆN DỊ BỘ

Máy 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

Vẫn 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:

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

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:

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

4.Chế độ biến áp

Nếu máy điện dị bộ rotor dây quấn để hở cuộn dây rotor, thì khi cấp điện cho mạch Stator, 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:

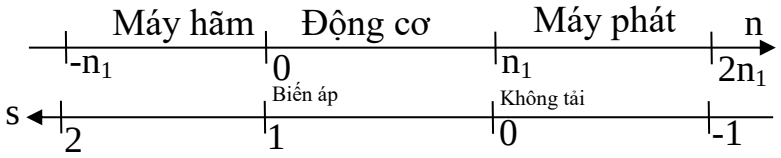
$$E_1 = 4{,}44 k_{cd1} \phi W_1 f_1 \qquad (2.5)$$

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

Trong đó k_{cd1} và k_{cd2} là 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 rotor, 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 rotor. Các loại chế độ làm việc của máy điện dị bộ biểu diễn trên hình 2.1



Hình 2.1 Các thể loại chế độ làm việc của máy

2.4. MÁY ĐIỆN DỊ BỘ LÀM VIỆC VỚI ROTOR HỞ

Máy điện không đồng bộ có rotor hở, chỉ có ở loại máy điện dị bộ rotor dây quấn. Vì máy điện nhiều pha có đặc điểm là các pha đối xứng, do đó chỉ cần nghiên cứu một pha cho máy điện nhiều pha. Để đơn giản cho nghiên cứu giả thiết rằng sự phân bố của từ trường ở khe hở không khí có dạng hình sin, có nghĩa là bỏ qua các sóng bậc cao. Trong trường hợp này, dòng điện và điện áp được xác định bằng giá trị hiệu dụng, còn giá trị stđ và từ thông là giá trị biên độ.

Khi rotor hở , dòng rotor bằng không, rotor không quay. Máy điện dị bộ hoàn toàn như một biến áp, trong đó phía sơ cấp là Stator còn phía thứ cấp là rotor.

Khi cung cấp cho 3 cuộn dây bằng 3 dòng điện của hệ thống 3 pha, thì sẽ có từ trường quay. Từ trường quay cắt các thanh dẫn Stator và rotor tạo ra sđđ cảm ứng e_1 và e_2 theo nguyên tắc của máy biến áp, giá trị hiệu dụng của chúng biểu diễn bằng biểu thức (2.5).

Như ở máy biến áp, ngoài từ thông chính còn có từ thông tản, liên quan với nó là $X_1(X_1=\omega L_{t1})$. Điện trở thuần cuộn dây Stator là R_1, vậy phương trình cân bằng sđđ ở chế độ này như sau:

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_{10} R_1 + j\dot{I}_{10} X_1 \quad (2.6)$$

Hay

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_{10} Z_1 \quad (2.6a)$$

Trong đó $Z_1 = R_1 + jX_1$ -là tổng trở mạch Stator.

Cần lưu ý rằng khe hở không khí của máy điện dị bộ lớn hơn của máy biến áp (vì ở máy biến áp khe hở chỉ là chỗ tiếp xúc của các lá thép) nên dòng không tải của máy biến áp nhỏ hơn dòng không tải của máy điện dị bộ rất nhiều, cụ thể dòng không tải của máy biến áp có giá trị I_0 = (0,3-0,1)$I_{đm}$, còn dòng không tải của máy điện dị bộ có giá trị I_0=(0,3-0,5)$I_{đm}$ (số to cho máy công suất nhỏ, số nhỏ cho máy công suất

lớn). Để giảm dòng không tải ở máy điện dị bộ ta giảm khe hở không khí tới mức có thể.

Do dòng I_2=0, công suất nhận vào bây giờ chuyển cả thành tổn hao ở phía sơ cấp nghĩa là:

$$P_{10}=\Delta P_{Cu1} + \Delta P_{Fe1} \quad (2.10)$$

Trong đó $\Delta P_{Cu1}=R_1 I_{10}^2$ là tổn hao đồng cuộn dây sơ cấp, ΔP_{Fe1} là tổn hao lõi thép phía Stator.

Hệ số biến áp của máy dị bộ tính như sau:

$$k_u = \frac{E_1}{E_2} = \frac{k_{cd1} 4{,}44 W_1 f_1 \phi}{k_{c2} 4{,}44 W_2 f_1 \phi} = \frac{k_{cd1} W_1}{k_{c2} W_2}$$

(2.11)

Đồ thị véc tơ của máy dị bộ ở chế độ này giống như máy biến áp.

2.5. ĐỘNG CƠ DỊ BỘ CÓ ROTOR QUAY.

2.5.1 Phương trình cân bằng sđđ

Khi cấp cho Stator máy điện dị bộ một điện áp U_1 (với máy dị bộ rotor dây quấn cuộn dây phải được nối tắt lại với nhau, hoặc nối qua các điện trở ngoài), thì trong rotor có dòng điện chạy ($I_2 \neq 0$), sẽ làm xuất hiện mô men quay và quay rotor với tốc độ $n < n_{tt}$.

Sđđ cảm ứng trong cuộn dây Stator và trong rotor biểu diễn bằng biểu thức sau:

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

$E_2=4{,}44 k_{cd2} \phi W_2 f_2$

Ký hiệu $E_{20}= 4{,}44 k_{cd2} \phi W_2 f_1$ đồng thời lưu ý $f_2=sf_1$ ta có:

$$E_{20}=sE_2 \quad (2.12)$$

Bây giờ trong máy điện có 2 từ trường quay: từ trường quay do Stator sinh ra và từ trường do rotor sinh ra. Hai từ trường này tác động lên nhau để tạo ra một từ trường tổng như trong máy biến áp.

Từ trường do dòng I_2 sinh ra cũng gồm từ thông chính và từ thông tản. Từ thông tản gây ra trở kháng $X_2=\omega L_{t2}$. Nếu gọi điện trở thuần của rotor là R_2 ta có phương trình cân bằng sđđ ở mạch rotor như sau:

$$\dot{E}_2 = \dot{I}_2 R_2 + j \dot{I}_2 X_2 \quad (2.13)$$

Hay

$$\dot{E}_2 = Z_2 \dot{I}_2 \quad (2.13a)$$

Trong đó $Z_2= R_2 + jX_2$ -là tổng trở mạch rotor.

Phương trình cân bằng phía sơ cấp vẫn là (4.6) và (4.6a). Vậy các phương trình (4.6) và (4.13) là phương trình cân bằng điện áp khi động cơ dị bộ có rotor quay. Cụ thể là những phương trình sau:

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_{10} R_1 + j\dot{I}_{10} X_1 \qquad (2.13)$$

$$\dot{E}_2 = \dot{I}_2 R_2 + j\dot{I}_2 X_2 \qquad (2.13a)$$

Từ (2.13a) ta có thể tính dòng I_2 theo biểu thức:

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}} \qquad (2.14)$$

2.5.2 Sơ đồ tương đương

Giống như ở máy biến áp, khi phân tích máy điện dị bộ người ta cũng dùng sơ đồ tương đương mà không dùng máy thực.

Khi động cơ dị bộ không quay, nó là một biến áp ngắn mạch phía thứ cấp, tần số ở Stator bằng tần số ở rotor. Khi rotor quay tần số phía sơ cấp và phía thứ cấp khác nhau. Để só thể sử dụng sơ đồ tương đương của máy biến áp, phải biến đổi để tần số của 2 phía bằng nhau. Muốn thế ta thực hiện mhư sau:

Ta có: $X_2 = \omega L_{t2} = 2\pi f_2 L_{t2} = 2\pi s f_1 L_{t2}$

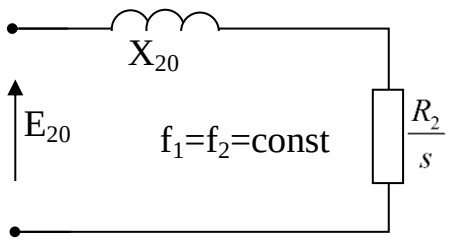
Đặt $X_{20} = 2\pi f_1 L_{t2}$

Vậy: $X_2 = sX_{20}$ (2.15)

Thay (2.12) và (2.15) vào (2.14) ta được:

$$I_2 = \frac{sE_{20}}{\sqrt{R_2^2 + (sX_{20})^2}} = \frac{E_{20}}{\sqrt{\left(\frac{R}{s}\right)_2^2 + (X_{20})^2}} \qquad (2.14a)$$

Do X_{20} và E_{20} có tần số là f_1 nên dòng Stator và dòng rotor có cùng tần số f_1. Theo (4.14a) mạch rotor có thể biểu diễn như hình 4.2.



Hình 4.2 Sơ đồ tương đương mạch rotor có tần số dòng điện bằng tần số dòng ở stator

Tuy mạch rotor đã có tần só bằng tần số Stator, nhưng chúng ta chưa thể nối mạch rotor với mạch Stator vì giá trị điện áp mạch rotor còn khác với mạch Stator. Để cho điện áp phía rotor bằng phía Stator giống như biến áp, ta thực hiện tính qui đổi theo nguyên tắc của biến áp. Cụ thể:

-Điện áp qui đổi:

$$E'_2 = E_1 = 4{,}44 k_{cd1} W_1 \phi f_1 = k_u E_2 = \frac{k_{cd1} W_1}{k_{c2} W_2} E_2 \qquad (2.16)$$

-Dòng điện qui đổi:

Giá trị dòng qui đổi được tính dựa trên nguyên tắc đảm bảo sự không đổi về công suất tác dụng, tức là:

$m_2I_2E_2\cos\varphi_2 = m_1I'_2E'_2\cos\varphi_2$

Từ đây ta có:

$$I_2^{'} = \frac{m_2 I_2 E_2}{m_1 E'_2} = \frac{m_2 k_{cd2} W_2}{m_1 k_{cd1} W_1} I_2 = k_i I_2$$

Trong đó $k_i = \frac{m_1 k_{cd1} W_1}{m_2 k_{cd2} W_2} = \frac{m_1}{m_2} k_u$ và gọi là hệ số truyền dòng điện

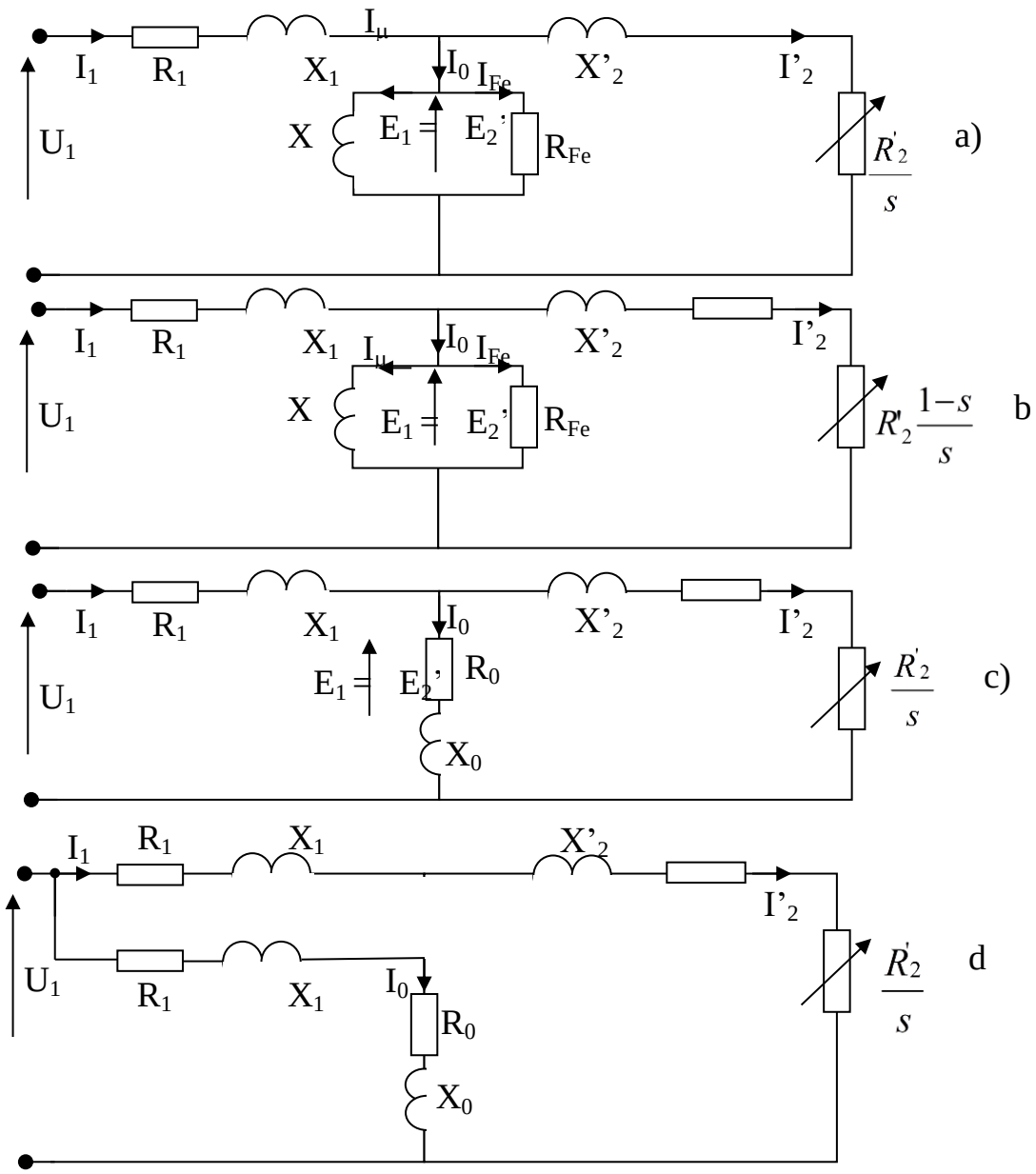
-Điện trở qui đổi:

Qui đổi điện trở dựa trên cơ sở bằng nhau về tổn hao, về công suất tác dụng, cụ thể:

$m_2I_2^2R_2 = m_1I'^2_2R'_2$ do đó:

$R_2' = \frac{m_1}{m_2}\frac{I_2^2}{I'^2_2}R_2 = \frac{m_1}{m_2}k_i^2R_2 = k_uk_iR_2$. Tương tự : $X_2 = k_uk_iX_2$

Ta có sơ đồ tương đương như sau:



Hình 4.3. Sơ đồ tương đương máy biến áp khi tải :a,b) Sơ đồ mắc song song, c) Sơ đồ mắc nối tiếp. d) Sơ đồ đơn giản

Hình 4.3a là sơ đồ song song. Vì $R'_2/s = R'_2 + R'_2(1-s)/s$ nên ta có thể chuyển sơ đồ hình 4.3a sang hình 4.3b. Sơ đồ hình 4.3c là sơ đồ hình chữ T, đó là sơ đồ được dùng nhiều hơn, còn sơ đồ song song được dùng nhiều ở máy biến áp. Do $Z_1 = R_1 + jX_1$ rất nhỏ nên có thể nhận $E_1 \approx U_1$ và được sơ đồ hình 4.3d, mặt khác để dòng kích từ không đổi đưa thêm Z_1 vào mạch dòng I_0. Điện trở $R'_2(1-s)/s$ gọi là điện trở giả định.

Từ sơ đồ tương đương ta có phương trình cân bằng của máy điện dị bộ ở chế độ rotor quay (có tải).

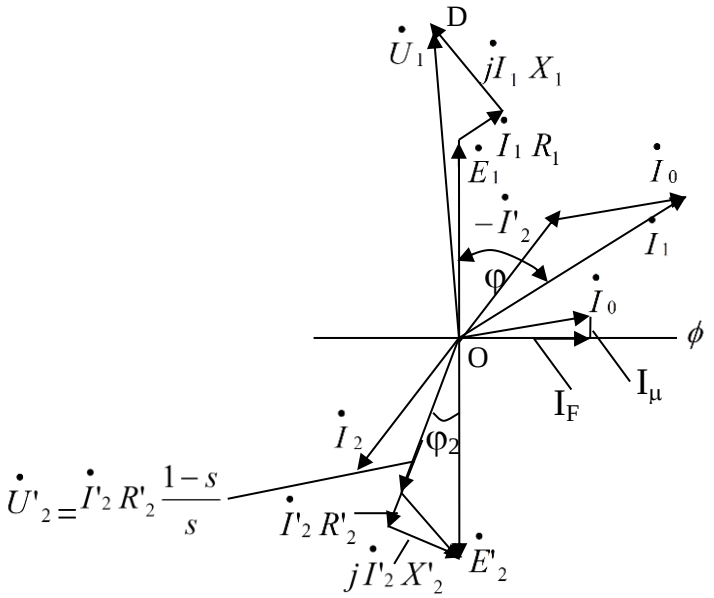
$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_{10} R_1 + j\dot{I}_{10} X_1$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I} - \dot{I}_2 \qquad (2.16a)$$

$$\dot{E}_2 = \dot{I}_2 R'_2 + j\dot{I}'_2 X'_{20} + \dot{I}' R'_2 \frac{1-s}{s}$$

Để thuận tiện cho đọc giả khi tham khảo các sách khác, từ đây trở đi thay $X_{20}'=X_2'$.

Đồ thị véc tơ của động cơ dị bộ khi rotor quay biểu diễn trên hình 4.4. Cách dựng giống như ở máy biến áp.



Hình 2.4. Đồ thị véc tơ máy biến áp

2.6. ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

2.6.1 Thống kê năng lượng của động cơ

Về nguyên lý, máy điện không đồng bộ có thể làm việc như máy phát điện hoặc động cơ không đồng bộ. Ở chế độ làm việc động cơ, năng lượng điện được cung cấp từ lưới điện và chuyển sang rotor bằng từ trường quay. Dòng năng lượng được biểu diễn như sau:

-Công suất nhận từ lưới điện:

$$P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos\varphi_1 \qquad (2.17)$$

Ở Stator, năng lượng bị mất một phần do tổn hao ở điện trở cuộn dây (ΔP_{Cu1}) và trong lõi thép (ΔP_{Fe1}). Vậy công suất điện từ chuyển từ Stator sang rotor như sau:

$$P_\psi = P_{đt} = P_1 - \Delta P_{Cu1} - \Delta P_{Fe1} = P_{co} + P_e \qquad (2.18)$$

Trong đó $\Delta P_{Cu1} = m_1 I_1^2 R_1$, $\Delta P_{Fe1} = m_1 I_{Fe}^2 R_{Fe}$. Tổn hao thép phụ thuộc vào tần số. Tổn hao lõi thép phía rotor bỏ qua, vì khi làm việc định mức tần số f_2 = (1 - 3)Hz.

Công suất điện từ chuyển sang rotor trong sơ đồ tương đương chỉnh là công suất sinh ra ở điện trở thuần R_2'/s.

$$P_{đt} = m_1 I_2'^{\,2} \frac{R_2'}{s} = m_1 I_2'^{\,2} R_2' + m_1 I_2'^{\,2} R_2' \frac{1-s}{s} \quad (2.19)$$

Thành phần thứ nhất là tổn hao đồng ở cuộn dây rotor:

$$\Delta P_{Cu2} = m_1 I_2'^{\,2} R_2' = m_2 I_2^2 R_2 \quad (2.20)$$

Phần công suất còn lại được chuyển sang công cơ học trên trục động cơ vậy:

$$P_{cơ} = m_1 I_2'^{\,2} R_2' \frac{1-s}{s} = m_1 I_2^2 R_2 \frac{1-s}{s} \quad (2.21)$$

Công suất cơ được chuyển sang công suất hữu ích P_2 và tổn hao cơ các loại ($\Delta P_{Cơ}$) như: ma sát ổ bi, quạt gió, ma sát rotor với không khí v.v. ngoài ra còn tổn hao phụ do sóng bậc cao, do mạch từ có răng (ΔP_p). Tổn hao phụ rất nhỏ ($\Delta P_p \approx 0.005 P_1$).

Vậy công suất hữu ích tính như sau:

$$P_2 = P_{cơ} - \Delta P_{Cơ} - \Delta P_p \quad (2.22)$$

Tổng tổn hao của động cơ có giá trị:

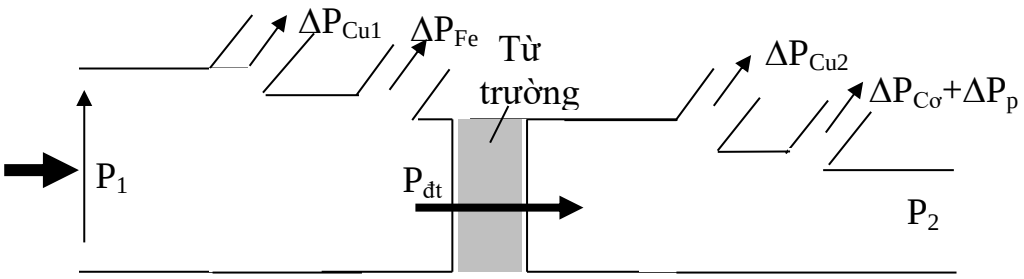
$$\Delta P = \Delta P_{Cu1} + \Delta P_{Fe1} + \Delta P_{Cu2} + \Delta P_{cơ} + \Delta P_p \quad (2.23)$$

Hiệu suất của động cơ:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1} = 1 - \frac{\Delta P}{P_1}$$

(2.24)

Sơ đồ năng lượng của máy điện dị bộ biểu diễn trên hình 9.7



Hình 4.5 Sơ đồ năng lượng của động

2.6.2 Mô men quay (mô men điện từ) của động cơ dị bộ.

Ở chế độ ổn định mô men điện từ do máy sinh ra cân bằng mô men cản của động cơ M_2 và mô men không tải M_0: $M = M_2 + M_0$. Mô men điện từ của động cơ có thể tính qua công suất điện từ $P_{đt}$ theo công thức:

$$M = \frac{P_{dt}}{\omega_1} \quad (2.25)$$

Ở đây $\omega_1 = \frac{2\pi n_1}{60} = \frac{\omega_1}{p} = \frac{2\pi f_1}{p}$ là tốc độ góc quay cơ của từ trường quay.

Thay công suất điện từ (4.19) vào (4.25) ta được mô men điện từ:

$$M=\frac{pm_1}{\omega_1}I_2'^2\frac{R_2'}{s}. \qquad (2.26)$$

Biểu thức mô men điện từ của máy điện không đồng bộ còn có thể nhận được ở dạng khác như sau:

Thay vào (2.26) giá trị của I_2' bằng biểu thức (2.14a) và lưu ý E'_2 có giá trị như (2.14b) còn $\cos\varphi_2$ tính từ đồ thị véc tơ (hình 2.3), bây giờ mô men có giá trị:

Ta nhận được:

$$M=\frac{pm_1}{\omega_{tt}}\frac{E_2's}{\sqrt{R_2'^2+X'^2_2}}I_2'\frac{R_2'}{s}=\frac{4{,}44k_{cd1}W_1\omega_1 f_1 m_1 p}{2\pi f_1}I'_2\phi\cos\varphi_2 \qquad (2.26a)$$

Hay: $M = kI'_2\phi\cos\varphi_2$ (2.26b)

$$\text{trong đó}: \cos\varphi_2=\frac{R_2'+R_2'\frac{1-s}{s}}{\sqrt{\left(R_2'+R_2'\frac{1-s}{s}\right)^2+X_2'}}=\frac{R_2'}{\sqrt{R_2'^2+X_2'^2s^2}}$$

có dạng của mô men máy điện dòng một chiều, trong đò $k=\frac{4{,}44k_{cd1}W_1\omega_1 m_1 p}{2\pi}$.

Chúng ta còn có cách khác để tính mô men điện từ của mấy điện không đồng bộ.

Trước hết tính dòng I_2'. Ta dùng sơ đồ tương đương gần đúng (hình 2.3c). Theo sơ đồ ta có:

$$I_2'=\frac{U_1}{\sqrt{\left(R_1+\frac{R_2'}{s}\right)^2+\left(X_1+X'_2\right)^2}} \qquad (2.27)$$

Thay vào (4.26) ta được:

$$M=\frac{pm_1}{\omega_{tt}}\frac{U_1^2}{\left(R_1+\frac{R_2'}{s}\right)^2+\left(X_1+X'_2\right)^2}\frac{R_2'}{s} \qquad (2.28)$$

Đây là biểu thức mô men điện từ của máy điện không đồng bộ, có giá trị đo bằng [Nm], muốn đo bằng [KGm] phải chia cho 9,81.

2.6.3.Đặc tính cơ của động cơ không đòng bộ ba pha.

Đặc tính cơ được định nghĩa là mối quan hệ hàm giữa tốc độ quay và mô men điện từ của động cơ n=f(M).

Để dựng được mối quan hệ này, trước hết ta xét công thức (2.27) là mối quan hệ

M=f(s) và được gọi là đặc tính tốc độ của động cơ. Từ biểu thức nhận thấy mối quan hệ giữa mô men và độ trượt là mối quan hệ phi tuyến. Để khảo sát chúng ta hãy tìm cực trị .

Để tính cực trị cần tính đạo hàm của mô men theo độ trượt rồi cho bằng không:

$$\frac{dM}{ds}=0 \qquad (2.29)$$

Từ (4.29) tìm được độ trượt tới hạn có giá trị sau:

$$s_{th}=\frac{R_2^{'}}{R_1+(X_1+X_2^{'})} \qquad (2.30)$$

Ở đây s_{th}-là độ trượt tới hạn, tức là giá trị độ trượt ở đó xuất hiện mô men cực đại và cực tiểu.

Thay s_{th} vào (4.28) nhận được:

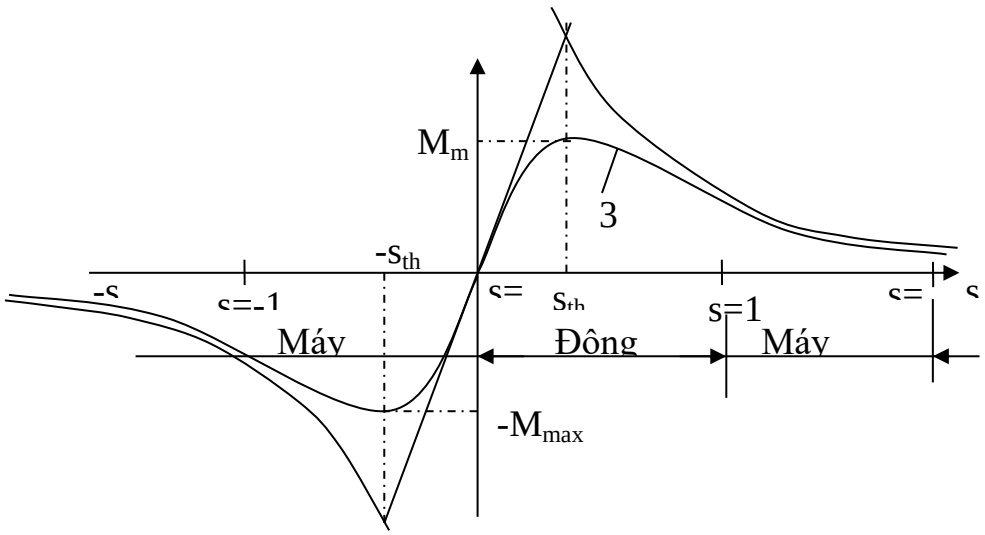
$$M_{\max}=\pm\frac{3pU_1^2}{2\omega_{tt}\left[R_1+\sqrt{R_1^{\,2}+\left(X_1+X'_2\right)^2}\right]} \qquad (2.31)$$

Dấu "+" cho chế độ động cơ, còn dấu trừ cho chế độ máy phát. Để dựng đặc tính M=f(s) nhận thấy, khi s nhỏ thì $R_1+\frac{R_2^{'}}{s}$ >> $X_1+X'_2$ do đó có thể bỏ qua $X_1+X'_2$ ta có mối quan hệ tuyến tính (hình 4.6), còn khi s lớn thì $R_1+\frac{R_2^{'}}{s}$ << $X_1+X'_2$, nhận $R_1+\frac{R_2^{'}}{s}$ = 0, ta được M=K/s, là một đường hypecbon (hình 2.7). Đường M=f(s) là đường 3 trên hình 4.6.

Giữa M và độ trượt còn có thể biểu diễn bởi biểu thức sau:

$$M=\frac{2M_{\max}}{\frac{s}{s_{th}}+\frac{s_{th}}{s}} \qquad (2.32a)$$

Đây là biểu thức Kloss. Khi tính tốc độ thường dùng công thức này .



Hình 2.6 đặc tính M=f(s) khi

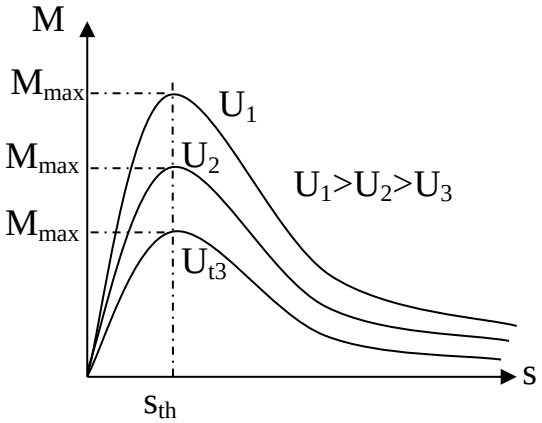
Hệ số quá tải là tỷ số giữa mô men cực đại đối với mô men định mức :

$$k_{qt} = \frac{M_{max}}{M_{đm}} \qquad (2.32)$$

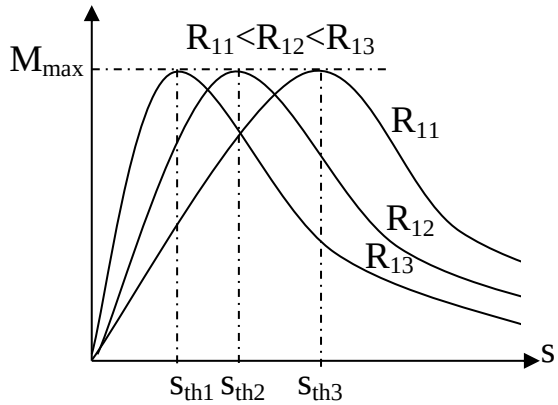
Bây gió xét ảnh hưởng của một số thông số của máy lên mô men động cơ:

-Ảnh hưởng của sự thay đổi điện áp mạng cấp U_1

Từ biểu thức (2.28) và (2.31) thấy khi điện áp U_1 giảm thì mô men cực đại và mô men giảm theo tỷ lệ bình phương, điều đó rất dễ làm cho động cơ dừng dưới điện.(hình 2.7)



Hìn 2.7 Ảnh hưởng của điện áp nguồn nạp



Hìgnh 2.8 Ảnh hưởng của điện trở rô

Khi thay đổi điện trở X ở mạch Stator, hậu quả như giảm điện áp nguồn vì điện áp đặt lên động cơ bằng điện áp nguồn trừ đi độ sụt áp trên điện trở X.

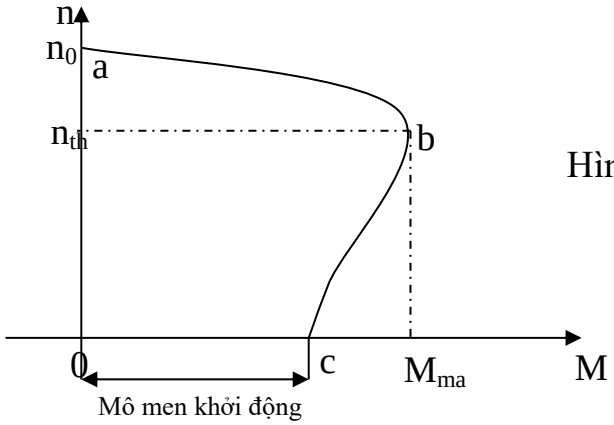
Trên hình 2.8 biểu diễn sự thay đổi của mô men khi thay đổi điện trở rotor động cơ. Khi thay đổi điện trở R'_2 sẽ làm thay đổi độ trượt tới hạn, nhưng không thay đổi mô men cực đại (2.31).

Đặc tính cơ:

Đặc tính cơ là mối quan hệ hàm giữa mô men và tốc độ M=f(n). Để có được đặc tính cơ ta dựa vào đặc tính M=f(s) và mối quan hệ:

$$n=n_{tt}(1-s) \qquad (2.33)$$

Cho s những giá trị khác nhau ta có giá trị của n, từ (4.28) tính M, lập bảng mối quan hệ n=f(M) rối dựng đồ thị mối quan hệ này hình 2.9



Hình 2.9 đặc tính cơ động

Từ h.2.9 thấy: đặc tính cơ chia làm 2 đoạn: đoạn a-b và đoạn b-c. Đoạn ab là đoạn làm việc ổn định, vì trên đoạn này mỗi khi chế độ ổn định cũ bị phá vỡ thì nó lại thiết lập chế độ ổn định mới. Trên đoạn b-c ta không có được tính chất đó. Có 2 chế độ đặc trưng:

-Khi M=0 thì có $n=n_0$ (n_0- là tốc độ không tải có giá trị bằng tốc độ từ trường quay). Chế độ này thực tế không có, để nghiên cứu phải gắn máy lai ngoài với động cơ rồi quay rotor với tốc độ bằng tốc độ quay của từ trường. Gọi chế độ này là chế độ không tải lý tưởng.

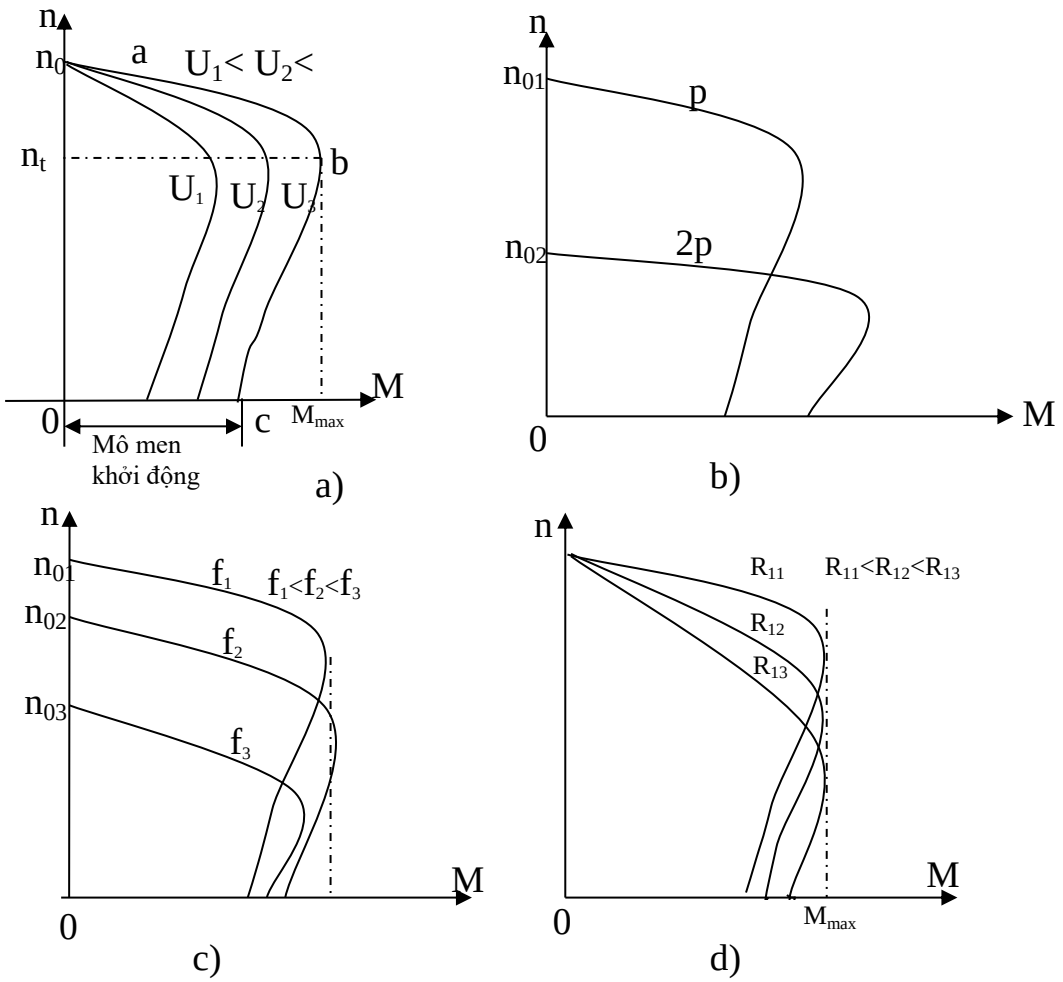
-Khi n=0. Đây là chế độ khi vừa đưa động cơ vào lưới cung cấp, động cơ chưa kịp quay, gọi là chế độ khởi động , ứng với chế độ khởi động có mô men khởi động.

Ngoài ra động cơ còn có tốc độ n=0 trong trường hợp động cơ không làm việc, không có điện áp cung cấp cho Stator. Lúc này không có gì xảy ra, ta không bàn tới.

2.6.4 Đặc tính cơ tự nhiên và đặc tính cơ nhân tạo

Đặc tính cơ tự nhiên: là đặc tính cơ được xây dựng khi các thông số của máy như điện áp, điện trở, tần số có giá trị định mức.

Đặc tính cơ nhân tạo là đặc tính cơ khi có một trong các thông số trên thay đổi, các thông số khác không đổi. Trên hình 4. 10 biểu diễn đặc tính cơ cho các trường hợp thay đổi điện áp, thay đổi số đôi cực, thay đổi tần số nguồn cung cấp và thay đổi điện trở rotor.



Hình 2. 10 Đặc tính cơ nhân tạo của động cơ dị bộ a) Khi U_1=var ; b) Khi p=var, c) Khi f=var, d) Khi R_2=var.

Nhận xét:

-Khi U_1=var thì mô men cực đại thay đổi,

-Khi thay đổi số đôi cực, tốc độ không tải thay đổi, mô men cực đại cũng thay đổi.

-Khi thay đổi tần số, tốc độ không tải thay đổi, ở phạm vi $f=f_{đm}$ nếu điều chỉnh tần số theo nguyên tắc U_1/f_1=const thì mô men cực đại không đổi, còn ở ngoài phạm vi trên mặc dầu điều chỉnh tần số theo nguyên tắc U_1/f_1=const vẫn làm cho mô men cực đại giảm.

-Khi thay đổi điện trở rotor thì mô men cực đại không thay đổi.

2.7 Khởi động động cơ không đồng bộ

2.7.1 Khởi động trực tiếp

Khởi động là quá trình đưa động cơ đang ở trạng thái nghỉ (đứng im) vào trạng thái làm việc quay với tốc độ định mức.

Khởi động trực tiếp, là đóng động cơ vào lưới không qua một thiết bị phụ nào.

Việc cấp một điện áp định mức cho Stator động cơ dị bộ rotor lồng sóc hoặc động cơ dị bộ ro to dây quấn nhưng cuộn dây rotor nối tắt, khi rotor chưa kịp quay, thực chất động cơ làm việc ở chế độ ngắn mạch. Dòng động cơ rất lớn, có thể gấp dòng định mức từ 4 đến 8 lần. Tuy dòng khởi động lớn như vậy nhưng mô men khởi động lại nhỏ do hệ số công suất $\cos\varphi_0$ rất nhỏ ($\cos\varphi_0$ = 0,1-0,2), mặt khác khi khởi động, từ thông cũng bị giảm do điện áp giảm làm cho mô men khởi động càng nhỏ.

Dòng khởi động lớn gây ra 2 hậu quả quan trọng:

-*Nhiệt độ máy tăng* vì tổn hao lớn, nhiệt lượng toả ra ở máy nhiều, đặc biệt ở các máy có công suất lớn hoặc máy thường xuyên phải khởi động.

Vì thế trong sổ tay kỹ thuật của máy điện bao giờ cũng cho số lần khởi động tối đa, và điều kiện khởi động.

-*Dòng khởi động lớn* làm cho sụt áp lưới điện lớn, gây trở ngại cho các phụ tải cùng làm việc với lưới điện.

Vì những lý do đó khởi động trực tiếp chỉ áp dụng cho các động cơ có công suất nhỏ, và khởi động nhẹ tức là khi mô men cản trên trục động cơ nhỏ. Khi khởi động nặng không dùng được phương pháp này.

2.7.2 Khởi động dùng phương pháp giảm dòng khởi động.

Dòng khởi động của động cơ xác định bằng biểu thức:

$$I_{kđ} = I_{ngm} = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X'_2)^2}} \qquad (2.34)$$

Từ biểu thức này thấy để giảm dòng khởi động ta có các phương pháp sau:

-Giảm điện áp nguồn cung cấp;

-Đưa thêm điện trở vào mạch rotor (đối với đọng cơ dị bộ rotor dây quấn);

-Khởi động bằng thay đổi tần số;

-Khởi động bằng phương pháp kiểm tra dòng khởi động, gọi là phương pháp khởi động mềm.

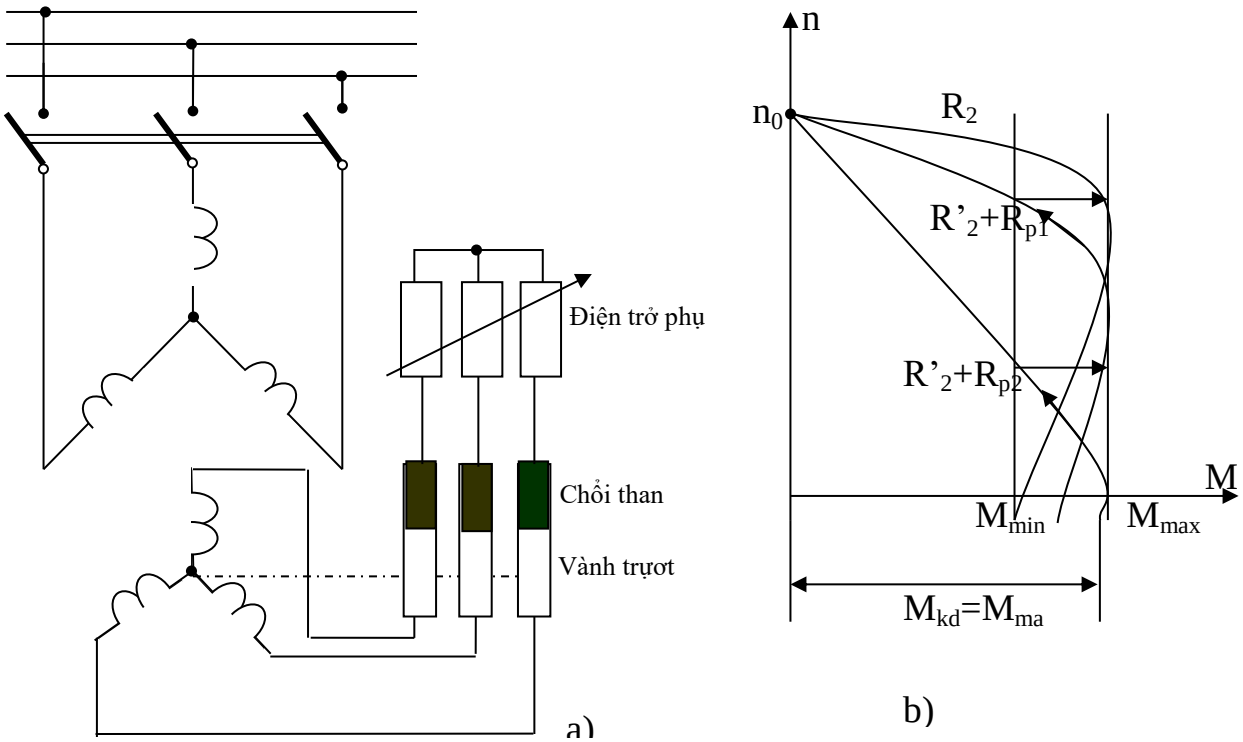
2.7.2.1. Khởi động động cơ dị bộ rotor dây quấn

Với động cơ dị bộ rotor dây quấn để giảm dòng khởi động ta đưa thêm điện trở phụ vào mạch rotor (H.4.11). Lúc này khởi dòng động cơ có dạng:

$$I_{kđ} = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R_2 + R_p)^2 + (X_1 + X'_2)^2}} \qquad (2.35)$$

Việc đưa thêm điện trở phụ R_p vào mạch rotor ta đựoc 2 kết quả: *giảm dòng khởi động* và *tăng mô men khởi động*.

Ở phương pháp này nếu chọn điện trở R_p thích hợp có thể đạt được mô men khởi động bằng giá trị mô men cực đại hình 2.11b.



Hình 2.11 Khởi động động cơ dị bộ rotor dây quấn a) Sơ đồ, b) đặc

Khi mới khởi động, toàn bộ điện trở khởi động được đưa vào rotor, cùng với tăng tốc độ rotor, ta cũng cắt dần điện trở khởi động ra khỏi rotor để khi tốc độ đạt giá trị định mức, thì điện trở khởi động cũng được cắt hết ra khỏi rotor, rotor bây giờ là rotor ngắn mạch.

2.7.2.2. Khởi động động cơ dị bộ rotor ngắn mạch

Với động cơ rotor ngắn mạch do không thể đưa điện trở vào mạch rotor như động cơ dị bộ rotor dây quấn để giảm dòng khởi động ta thực hiện các biện pháp sau:

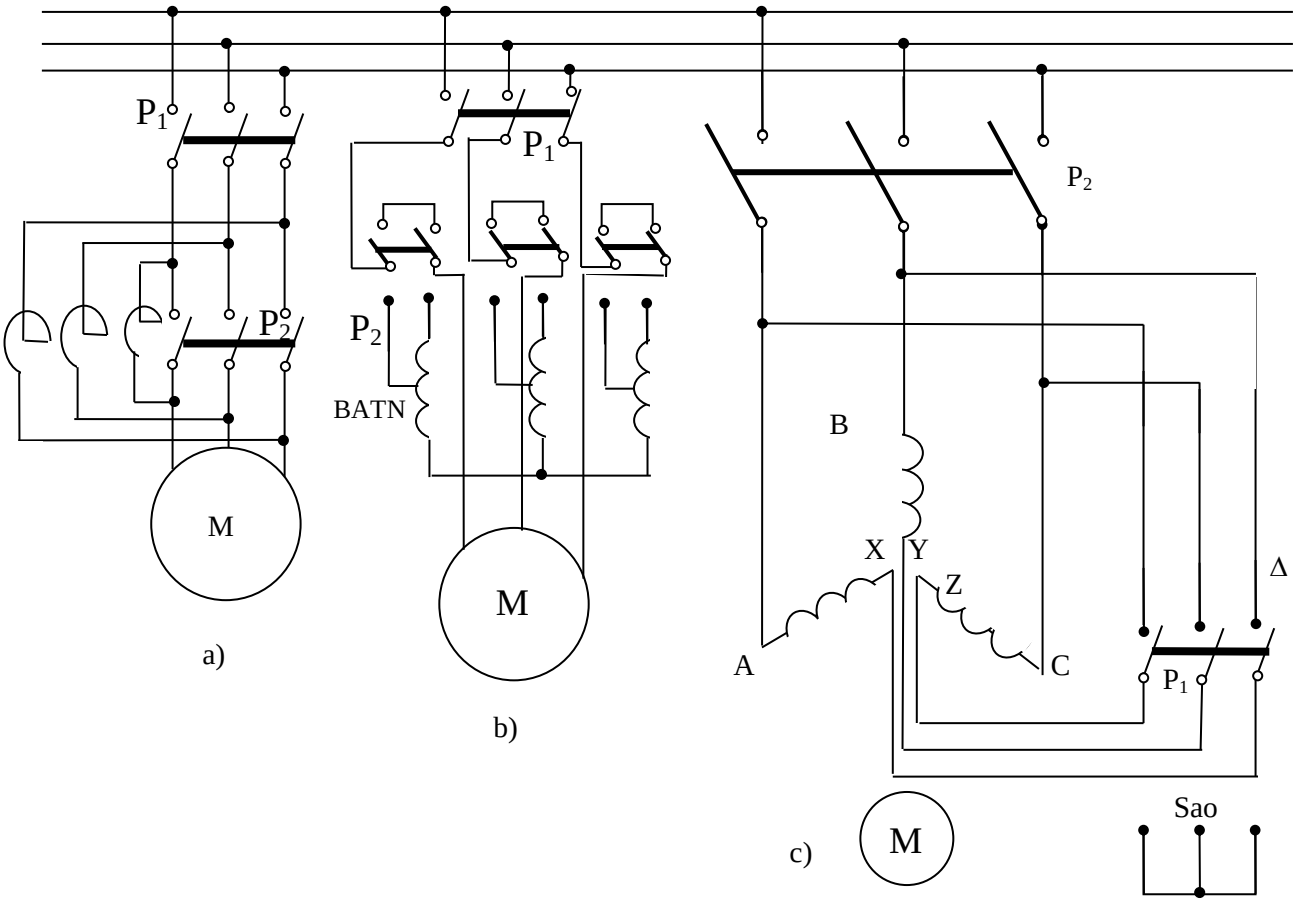
-G*iảm điện áp*

Dùng các phương pháp sau đây để giảm điện áp khởi động: *cuộn kháng, biến áp tự ngẫu và đổi nối sao-tam giác*. Sơ đồ các loại khởi động này biểu diễn trên hình 2.12

Đặc điểm chung của các phương pháp giảm điện áp là cùng với việc giảm dòng khởi động, mô men khởi động cũng giảm. Vì mô men động cơ tỷ lệ với bình phương điện áp nguồn cung cấp, nên khi giảm điện áp, mô men giảm theo tỷ lệ bình phương, ví dụ điện áp giảm $\sqrt{3}$ lần thì mô men giảm đi 3 lần.

Đổi nối sao tam giác chỉ thực hiện được với những động cơ khi làm việc bình thường cuộn dây stator nối tam giác. Do khi khởi động cuộn dây Stator nối sao, điện áp đặt lên Stator nhỏ hơn $\sqrt{3}$ lần, khi chuyển sang nối tam giác, dòng điện giảm $\sqrt{3}$ lần mô men giảm đi 3 lần.

Khi khởi động bằng biến áp, nếu hệ số biến áp là k_u thì điện áp trên trụ đấu dây của động cơ giảm đi k_u lần so với điện áp định mức, dòng khởi động giảm đi k_u, mô men khởi động sẽ giảm đi k_u^2 lần.Tất cả các phương pháp khởi động bằng giảm điện áp, chỉ thực hiện được ở những động cơ có khởi động nhẹ, còn động cơ khởi động nặng không áp dụng được, người ta khởi động bằng phương pháp 'nhớm'.



Hình 2.12 Các phương pháp giảm điện áp khi khởi động động cơ dị bộ a) Dùng cuộn kháng, b) Dùng biến áp tự ngẫu; c) Dùng đổi nối sao-tam giác.

-Khởi động bằng phương pháp tần số.

Do sự phát triển của công nghệ điện tử, ngày nay người ta đã chế tạo được các bộ biến tần có tính chất kỹ thuật cao và giá thành rẻ, do đó có thể áp dụng phương pháp khởi động bằng tần số. Thực chất của phương pháp này như sau: Động cơ được cấp điện từ bộ biến tần tĩnh, lúc đầu tần số và điện áp nguồn cung cấp có giá trị rất nhỏ, sau khi đóng động cơ vào nguồn cung cấp, ta tăng dần tần số và điện áp nguồn cung cấp cho động cơ, tốc độ động cơ tăng dần, khi tần số đạt giá trị định mức, thì tốc độ động cơ đạt giá trị định mức. Phương pháp khởi động này đảm bảo dòng khởi động không vượt quá giá trị dòng định mức.

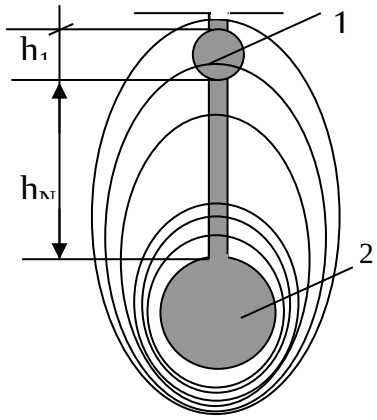
2.7.2.3 Khởi động động cơ có rãnh sâu và động cơ 2 rãnh.

Như chúng ta đã biết khởi động động cơ dị bộ bằng đưa điện trở vào mạch rotor là tốt nhất, nhưng với động cơ dị bộ rotor lồng sóc thì không làm điều đó được.

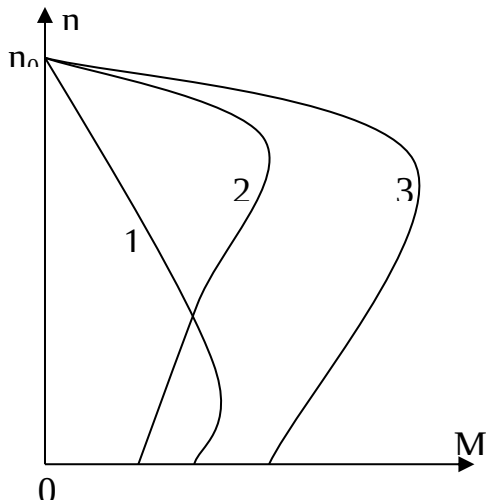
Tuy nhiên có thể tạo hiệu ứng như đưa điện trở phụ vào mạch rotor động cơ lồng sóc bằng động cơ có sấu tạo rotor đặc biệt : động cơ rãnh sâu và động cơ 2 rãnh.

a. Động cơ rotor lồng sóc 2 rãnh.

Để cải thiện khởi động đối với động cơ dị bộ lồng sóc, người ta chế tạo động cơ lồng sóc 2 rãnh: rãnh công tác làm bằng vật liệu bình thường, còn rãnh khởi động làm bằng đồng thau là kim loại có điện trở riêng lớn (Hình 2.13). Từ hình vẽ thấy rằng, độ dẫn từ của



Hình 2.13 Động cơ rotor lồng sóc 2 rãnh



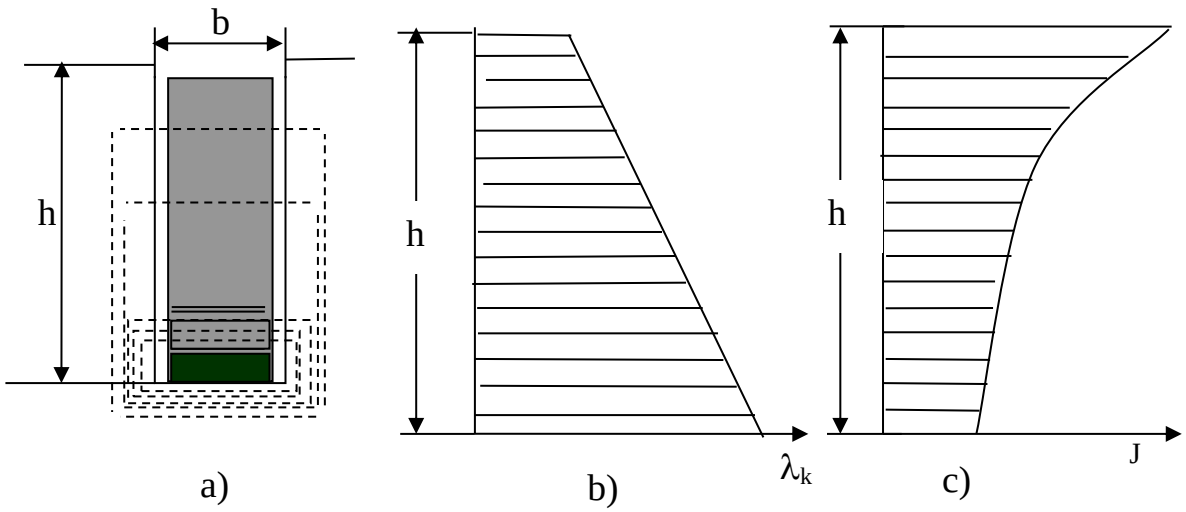
Hình 2.14 Đặc tính cơ của động cơ dị bộ 2 rãnh

từ thông tản rãnh dưới lớn hơn của rãnh ngoài (trên). Như vậy trở kháng của các rãnh này rất khác nhau: trở kháng của rãnh dưới lớn hơn trở kháng của rãnh trên rất nhiều. Khi mới bắt đầu khởi động (s=1) trở kháng của rãnh dưới lớn, nên dòng điện bị đẩy lên rãnh trên, dòng điện chạy trong nó nhỏ. Ở rãnh trên trở kháng nhỏ nhưng điện trở thuần lại lớn, kết quả làm cho dòng khởi động nhỏ - đó là hậu quả của việc đưa thêm điện trở vào rotor. Khi tốc độ rotor tăng lên, s giảm đi, trở kháng rãnh dưới giảm, dòng điện lại chạy từ rãnh trên xuống rãnh dưới. Khi tốc độ đạt giá trị định mức, thì dòng điện chạy chủ yếu ở thanh dưới, dòng ở thanh trên rất nhỏ.

Như vậy thanh trên chỉ hoạt động khi khởi động nên được gọi là thanh khởi động.
Để xác định đặc tính cơ của động cơ 2 rãnh, giả thiết rằng 2 rãnh hoạt động độc lập với nhau. Rãnh trên có điện trở lớn nên đặc tính cơ là đặc tính 1 (hình 2.14, còn rãnh dưới có đặc tính cơ như đường 2. Tổng của 2 đặc tính là của động cơ 2 rãnh (đường 3).

a. Động cơ rotor lồng sóc rãnh sâu[1].

Động cơ rãnh sâu có cấu trúc khác với động cơ rãnh thường. Chiều cao h của rãnh động cơ rãnh sâu thường gấp 15-20 lần chiều rộng của rãnh (hình 4.15). Rãnh có nhiều dạng khác nhau: Chữ nhật, hình thang hay tròn dưới, trên chữ nhật...



Hình 4.15 a)Rãnh của động cơ lồng sóc rãnh sâu; b) Sự phân bố độ dẫn từ theo chiều cao rãnh, c) Độ phân bố mật độ dòng điện theo chiều cao rãnh.

Để nghiên cứu tính chất của máy điện rãnh sâu ta chia rãnh ra từng lớp với chiều cao h_i. Do trong rãnh có nhôm, nên độ dẫn từ thông tản quyết định bởi độ dẫn từ trong rãnh.

Độ dẫn từ của lớp 1 biểu diễn bởi:

$$\lambda_1 = \frac{\mu h_1 l}{b} = ch_1$$

Lớp k tính như sau:

$$\lambda_k = \frac{\mu h_k l}{b} = ch_k$$

Trong đó l-độ dài lõi của rotor. Từ biểu thức này ta thấy rằng, độ dẫn từ thông tản lớn nhất ở lớp dưới cùng, còn nhỏ nhất ở lớp trên cùng. Trở kháng tản của mỗi lớp xác định như sau:

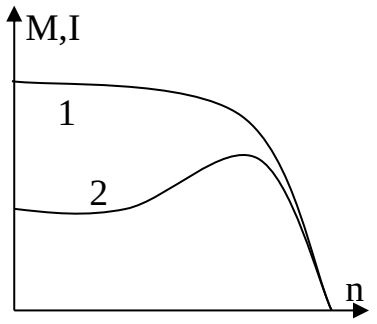
$$X_k=\omega_2 L_k = C\lambda_k f_2 \qquad (2.36)$$

Đến đây, có thể nói về sự phân bố mật độ dòng điện theo chiều cao của thanh dẫn. Giá trị dòng điện chạy trong mỗi lớp phụ thuộc vào điện áp và tổng trở của mỗi

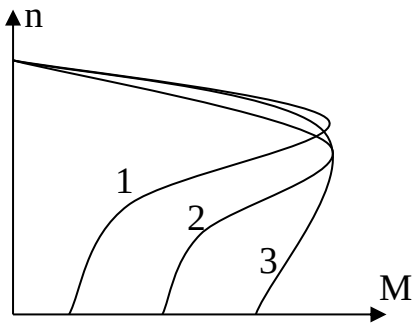
lớp. Do sđđ cảm ứng bởi từ thông chính trong các lớp như nhau do đó sự phân bố dòng điện các lớp phụ thuộc vào tổng trở của lớp. Khi động cơ mới đóng vào lưới, tần số $f_2=f_1$ nên X_k lớn hơn R_k rất nhiều, ngược lại khi rotor quay với tốc độ gần bằng tốc độ định mức thì tần số f_2 rất nhỏ nên $X_k<<R_k$. Do đó khi mới khởi động, dòng điện chạy trong các lớp dưới rất nhỏ, ngược lại khi rotor quay với tốc độ gần định mức thì dòng điện chạy ở lớp trên rất nhỏ. Sự phân bố độ dẫn từ và mật độ dòng điện biểu diễn trên hình 2.15b và 2.15c. Ta thấy có hiện tượng đẩy dòng lên lớp trên, do đó dòng khởi động nhỏ, giống như đưa điện trở ngoài vào mạch rotor (vì dòng điện bị đẩy lên lớp trên diện tích dẫn nhỏ, nên điện trở lớn). Như vậy khởi động với động cơ rãnh sâu mô men khởi động lớn ($M_{kđ}$ =1,2-1,6)$M_{đm}$.

Trên hình 2.16 biểu diễn đặch tính mô men và dòng điện của động cơ rãnh sâu, còn trên hình 2.17 biểu diễn đặc tính cơ của 3 loại động cơ : dây quấn, lồng sóc thường và lồng sóc rãnh sâu.

Do động cơ lồng sóc rãnh sâu có mô men khởi động lớn nên nó được dùng cho các hệ truyền động có khởi động nặng ví dụ: cần cẩu. So với động cơ dị bộ rotor dây quấn, thì động cơ lồng sóc rãnh sâu có cấu tạo nhẹ hơn, rẻ tiền hơn.



Hình 2.16 Đặc tính cơ và đặc tính dòng điện của động cơ rãnh sâu

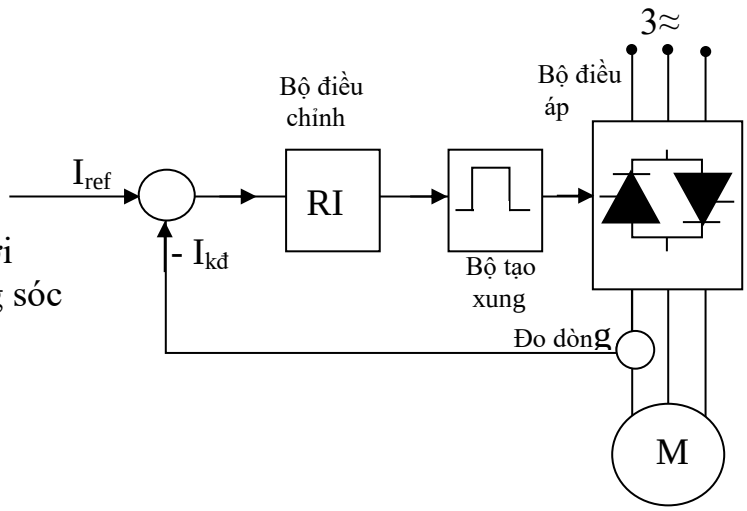


Hình 2.17, Đặc tính cơ của động cơ dị bộ 1) Động cơ dây quấn, 2) Động cơ lồng sóc thường, 3)Động

Khởi động mềm

Trong những năm gần đây để cải thiện khởi động động cơ dị bộ rotor lồng sóc , ngoài phương pháp khởi động tần số còn áp dụng phương pháp khởi động mềm.

Bản chất của phương pháp khởi động mềm là kiểm tra dòng khởi động khi thay đổi điện áp. Để thực hiện được điều này người ta tạo một mạch điều chỉnh kín như hình vẽ 4.18



H.2.18. Sơ đồ mạch khởi động động cơ dị bộ lồng sóc bằng khởi động mềm

Dòng khởi động I_{kd} được đo từ máy so sánh với dòng đặt I_{ref}, nếu I_{ref} -I_{kh}= $\Delta\varepsilon \neq 0$, tín hiệu này sẽ tác động lên bộ điều chỉnh RI. Tín hiệu ra của bộ điều chỉnh tác động lên bộ tạo xung mở các ti-ri-sto. Nếu $\Delta\varepsilon > 0$ điều khiển để tăng góc mở các ti risto tức là tăng điện áp đặt vào Stator động cơ, nếu $\Delta\varepsilon < 0$ tác động theo chiều giảm điện áp đặt vào rotor, kết quả là dòng khởi động luôn nhỏ hơn dòng đặt.

2.8. Điều chỉnh tốc độ động cơ không đồng bộ.

2.8.1. Mở đầu

Trong thực tế sản xuất và tiêu dùng, các khâu cơ khí sản xuất cần có tốc độ thay đổi. Song khi chế tạo, mỗi động cơ điện lại được sản xuất với một tốc độ định mức, vì vậy vấn đề điều chỉnh tốc độ các động cơ điện là rất cần thiết.

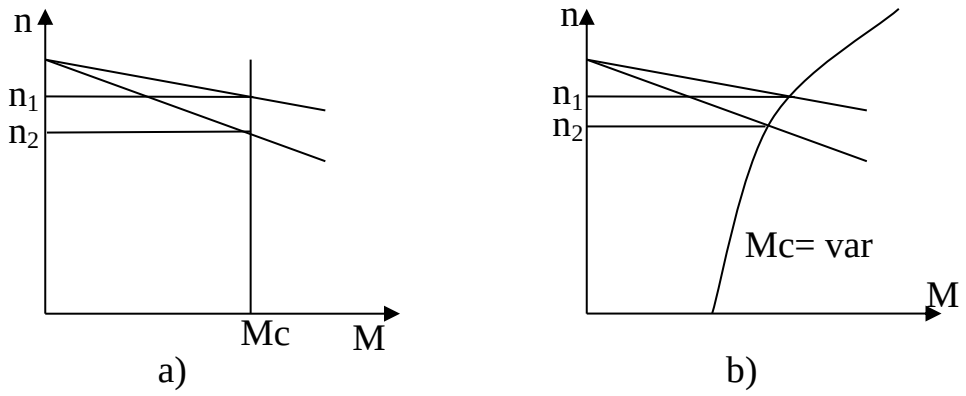
Khi mô men cản trên trục động cơ thay đổi, tốc độ động cơ thay đổi, nhưng sự thay đổi tốc độ như thế không gọi là điều chỉnh tốc độ.

Điều chỉnh tốc độ động cơ không đồng bộ là quá trình thay đổi tốc độ động cơ theo ý chủ quan của con người phục vụ các yêu cầu về công nghệ.

Phụ thuộc vào đặc tính cơ của cơ khí sản xuất mà quá trình thay đổi tốc độ xảy ra khi mô men cản không đổi (hình 4.19a) hoặc khi mô men cản thay đổi (hình 4.19b).

Khi điều chỉnh tốc độ động cơ cần thoả mãn những yêu cầu sau:

Phạm vi điều chỉnh, sự liên tục trong điều chỉnh và tính kinh tế trong điều chỉnh. Với các thiết bị vận chuyển, phải điều chỉnh tốc độ trong phạm vi rộng, còn thiết bị dệt hoặc giấy thì lại đòi hỏi tốc độ không đổi với độ chính xác cao.



Hình 2.19. Điều chỉnh tốc độ động cơ dị bộ a) Khi mô men cản không đổi, b)Khi mô men cản thay đổi

Để nghiên cứu các phương pháp điều chỉnh tốc độ động cơ không đồng bộ ta dựa vào các biểu thức sau:

$n = n_{tt}(1-s)$ (2.37)

$$n_{tt} = \frac{60f}{p} \quad (2.37a)$$

$$s = \frac{E_1}{E_2} \quad hay \quad s = \frac{f_1}{f_2} \quad (2.37b)$$

Mặt khác ta lại có: $E_2 = I_2\sqrt{R_2^2 + (X_{20}s)^2}$

Vậy $$s = \frac{R_2 I_2}{\sqrt{E_{20}^2 + (X_{20}I_2)^2}} \quad (2.37c)$$

Từ các công thức (4.37) rút ra các phương pháp điều chỉnh tốc độ sau đây:

1.Thay đổi tần số f_1;

2.Thay đổi số đôi cực p;

3.Thay đổi điện trở R_2 ở mạch rotor;

4.Thay đổi E_{20} hoặc U_1;

5.Thay đổi điện áp E_2;

6.Thay đổi tần số f_2.

Trong các phương pháp trên, người ta hay sử dụng phương pháp 1, 2 và 4, còn động cơ dị bộ rotor dây quấn người sử dụng phương pháp 3. Dưới đây trình bày ngắn gọn một số phương pháp thường dùng.

2.8.2 Thay đổi tần số nguồn điện cung cấp f_1.

Phương pháp này chỉ sử dụng được khi nguồn cung cấp có khả năng thay đổi tần số. Ngày nay, do sự phát triển của công nghệ điện tử các bộ biến tần tĩnh được chế

tạo từ các van bán dẫn công suất đã đảm nhiệm được nguồn cung cấp năng lượng điện có tần số thay đổi, do đó phương pháp điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi tần số đang được áp dụng rộng rãi và cạnh tranh với các hệ thống truyền động điện dòng một chiều.

Nếu bỏ qua tổn hao điện áp ở mạch Stator ta có:

$U_1=E_1=4{,}44f_1W_1k_{cd1}\phi$ (2.38)

Hay $U_1=kf_1\phi$ (238a)

Từ biểu thức này ta thấy nếu thay đổi f_1 mà giữ U_1=const thì từ thông sẽ thay đổi. Việc thay đổi từ thông làm giảm điều kiện công tác của máy điện, thay đổi hệ số $\cos\varphi_1$, thay đổi hiệu suất và tổn hao lõi thép, do đó yêu cầu khi thay đổi tần số phải giữ cho từ thông không đổi.

Mặt khác trong điều chỉnh tốc độ phải đảm bảo khả năng quá tải của động cơ không đổi trong toàn bộ phạm vi điều chỉnh, điều đó có nghĩa là phải giữ cho M_{max}=const. Muốn giữ cho M_{max}=const thì phải giữ cho từ thông không đổi. Muốn giữ cho từ thông không đổi thì khi thay đổi tần số ta phải thay đổi điện áp đảm bảo sự cân bằng của (4.38a).

Phương pháp điều chỉnh tần số nguồn cung cấp kết hợp với lý thuyết điều khiển hiện đại mà hiện nay hay dùng nhất là điều khiể véc tơ, đã biến hệ thống truyền động điện động cơ không đồng bộ có đặc tính của một hệ thống truyền động điện động cơ một chiều. Cụ thể là có thể điều chỉnh nhanh mô men khi giữ cho thành phần tạo từ thông của dòng Stator mà chỉ cần điều chỉnh thành phần tạo mô men của dòng Stator. Phần này vượt ra ngoài phạm vi của cuốn sách này, bạn đọc muốn tìm hiểu xin xem thêm [11].

Trong phạm vi cuốn sách này tác giả trình bày ngắn gọn việc điều chỉnh tần số đảm bảo giữ mô men cực đại không đổi.

Mô men cực đai của động cơ dị bộ có thể biểu diễn:

$$M_{max}= C\left(\frac{U_1}{f_1}\right)^2 \quad (2.39)$$

Nếu hệ số quá tải không đổi, thì tỷ số của mô men tới hạn ở 2 tốc độ khác nhau phải bằng tỷ số mô men cản ở 2 tốc độ đó tức là:

$$\frac{M'_{th}}{M''_{th}}=\frac{M'_c}{M''_c}=\frac{U'^2_1}{f'^2_1}=\frac{f''^2_1}{U''^2_1} \quad (2.40)$$

Từ đây ta có:

$$\frac{U'_1}{U''_1}=\frac{f'_1}{f''_1}=\sqrt{\frac{M'_c}{M''_c}} \quad (2.41)$$

trong đó M'_{th} và M_c' là mô men tới hạn và mô men cản ứng với tần số nguồn nạp f_1', điện áp U_1' còn M''_{th} và M_c'' là mô men tới hạn và mô men cản ứng với tần số nguồn nạp f_1'' và điện áp U_1''. Nếu điều chỉnh theo công suất không đổi P_2=const thì mô men của động cơ tỷ lệ nghịch với tốc độ do vậy:

$$\frac{M_c^{'}}{M_c^{''}} = \frac{f''_1}{f'_1} \qquad (2.42)$$

Do đó:

$$\frac{U'_1}{U''_1} = \sqrt{\frac{f_1^{'}}{f_1^{''}}} \qquad (2.43)$$

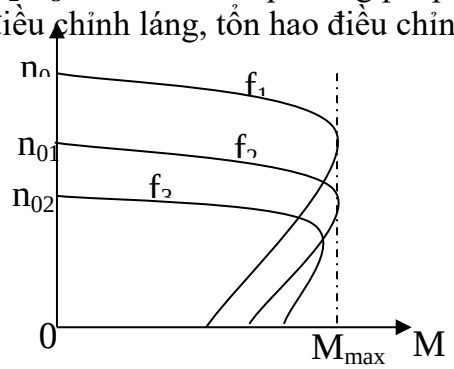
Trong thực tế ta thường gặp điều chỉnh với M_c=const do đó:

$$\frac{U_1}{f_1} = const \qquad (2.44)$$

Khi giữ cho ϕ =const thì cosφ=const, hiệu suất không đổi, I_0=const. Nếu mô men cản có dạng quạt gió thì :

$$\frac{U'_1}{U''_1} = \left(\frac{f_1^{'}}{f_1^{''}}\right)^2 \qquad (2.45)$$

Khi dẫn các biểu thức trên đây ta đã giả thiết bỏ qua độ sụt áp trên điện trở R. Điều đó chỉ đúng trong phạm vi tần số định mức, khi tần số nhỏ hơn tần số định mức, đặc biệt khi tần số thấp thì việc bỏ qua độ sụt áp này không chấp nhận được vì khi f nhỏ, X_s nhỏ không thể bỏ qua độ sụt áp trên điện trở thuần, do đó từ thông sẽ giảm và mô men cực đại giảm. Trên hình 2.20 biểu diễn đặc tính cơ khi điều chỉnh tần số với $f_1>f_2>f_3$. Ưu điểm của phương pháp điều chỉnh tần só là phạm vi điều chỉnh rộng, độ điều chỉnh láng, tổn hao điều chỉnh nhỏ.



Hình 4.20 đặc tính cơ khi điều chỉnh tần số

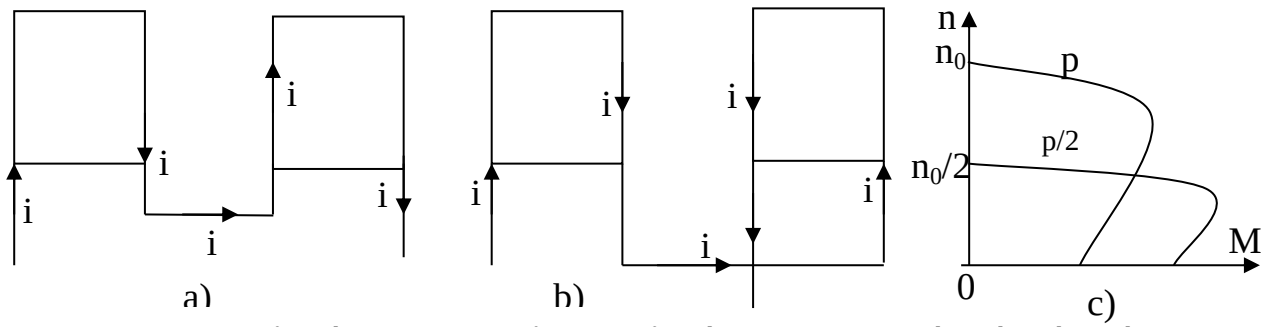
2.8.3 Thay đổi số đôi cực[2]

Nếu động cơ dị bộ có trang bị thiết bị đổi nối cuộn dây để thay đổi số đôi cực thì ta có thể điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi số đôi cực.

Để thay đổi số đôi cực ta có thể :

-Dùng đổi nối một cuộn dây. Giả sử lúc đầu cuộn dây được nối như hình 4.21a, khi đó số cặp cực là p, nếu bây giờ đổi nối như hình 4.21b ta đuợc số cặp cực p/2.

Đặc tính cơ khi thay đổi số đôi cực biểu diễn trên hình 2.21c



Hình 2.21 Cách đổi nối cuộn dây để thay đổi số đôi cực: a) Mắc nối tiếp, số đôi cực là p;

Để thay đổi cách nối cuộn dây có những phương pháp sau:

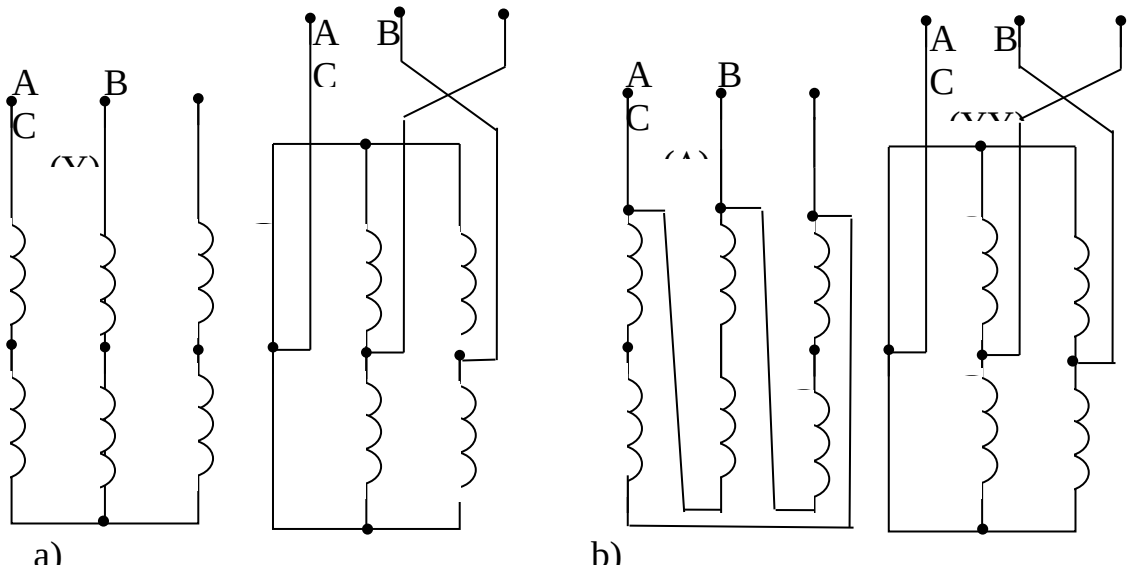
Đổi từ nối sao sang sao kép (hình 2.22a).

Với cách nối này ta có: khi hệ số cosφ không đổi thì công suất trên trục động cơ ở sơ đồ Y sẽ là:

$P_Y = \sqrt{3}\, U_d I_p \eta \cos\varphi_1$; Cho sơ đồ YY có: $P_{YY} = \sqrt{3}\, U_d\, 2 I_p \eta \cos\varphi_1$, do đó $P_Y/P_{YY} = 2$.

Ở đây I_p-dòng pha. Như vậy khi thay đổi tốc độ 2 lần thì công suất cũng thay đổi với tỷ lệ ấy. Cách đổi nối này gọi là cách đổi nối có M=const.

Người ta còn thực hiện đổi nối theo nguyên tắc Δ sang YY(sao kép) hình 2.22b.



Hình 2.22 Đổi nối cuộn dây a) Y→YY, b)

Ta có: $P_\Delta = \sqrt{3}\, U_d \sqrt{3}\, I_p \eta \cos\varphi_1$; $P_{YY} = \sqrt{3}\, U_d\, 2 I_p \eta \cos\varphi_1$; do đó $P_{YY}/P_\Delta = 2/\sqrt{3} = 1{,}15$, thực tế coi như không đổi. Đây là cách đổi nối có P=const.

-Dùng cuộn dây độc lập với những số cực khác nhau, đó là động cơ dị bộ nhiều tốc độ. Với động cơ loại này Stator có 2 hoặc 3 cuộn dây, mỗi cuộn dây có số đôi cực khác nhau. Nếu ta trang bị thiết bị đổi nối cuộn dây thì được 6 số cặp cực khác nhau ứng với 6 tốc độ.

Đặc điểm của phương pháp thay đổi tốc độ bằng thay đổi số đôi cực: rẻ tiền, dễ thực hiện. Tuy nhiên do p là một số nguyên nên thay đổi tốc độ có tính nhảy bậc và phạm vi thay đổi tốc độ không rộng.

2.8.4 Điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi điện áp nguồn cung cấp.

Thay đổi điện áp nguồn cung cấp làm thay đổi đặc tính cơ (hình 2.23). Vì mô men cực đại $M_{max}=cU_1^2$, nên khi giảm điện áp thì mô men cực đại cũng giảm mà không thay đổi độ trượt tới hạn (vì $s_{th} \approx R_2/X_2$). Nếu mô men cản không đổi thì khi giảm điện áp từ $U_{đm}$ tới $0,9U_{đm}$ tốc độ sẽ thay đổi, nhưng khi điện áp giảm tới $0,7U_{đm}$ thì mô men của động cơ nhỏ hơn mô men cản, động cơ sẽ bị dừng dưới điện.

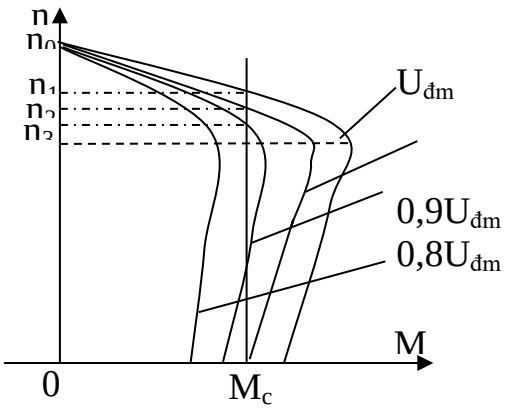
Đặc điểm của phương pháp điều chỉnh tốc độ bằng điều chỉnh điện áp nguồn cung cấp là phạm vi điều chỉnh hẹp, rất dễ bị dừng máy, chỉ điều chỉnh theo chiều giảm tốc độ. Mặt khác vì $P_{đt}= CE_{20}I_2\cos\varphi_2 = C_1U_1I_2\cos\varphi_1$=const nên khi giảm điện áp U_1, mà mô men cản không đổi sẽ làm tăng dòng trong mạch Stator và rotor làm tăng tổn hao trong các cuộn dây.

Để thay đổi điện áp ta có thể dùng bộ biến đổi điện áp không tiếp điểm bán dẫn, biến áp hoặc đưa thêm điện trở hoặc điện kháng vào mạch Stator. Đưa thêm điện trở thuần sẽ làm tăng tổn hao, nên người ta thường đưa điện kháng vào mạch Stator hơn.

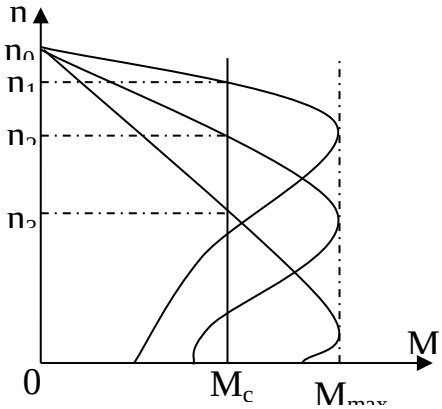
Để mở rộng phạm vi điều chỉnh và tăng độ cứng của đặc tính cơ, hệ thống điều chỉnh tốc độ bằng điện áp thường làm việc ở hệ thống kín.

2.8.5 Điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi điện trở mạch rotor.

Phương pháp điều chỉnh này chỉ áp dụng cho động cơ dị bộ rotor dây quấn. Đặc tính cơ của động cơ dị bộ rotor dây quấn khi thay đổi điện trở rotor biểu diễn ở hình 4.24. Khi tăng điện trở rotor, đặc tính cơ mềm đi, nếu mô men cản không đổi có thể thay đổi tốc độ động cơ theo chiều giảm. Nếu điện trở phụ thay đổi vô cấp thay đổi được tốc độ vô cấp , tuy nhiên thay đổi vô vấp tốc độ bằng phương pháp điện trở rất ít dùng mà thay đổi nhảy bậc nên các điện trở điều chỉnh được chế tạo làm việc ở chế độ lâu dài và có nhiều đầu ra.



Hình 2.23 Đặc tính cơ của động cơ dị bộ khi thay đổi điện áp nguồn



Hình 2.24 Đặc tính cơ của động cơ dị bộ dây quấn khi thay đổi điện

Giá trị điện trở phụ đưa vào rotor có thể tính bằng công thức:

$R_p = \left(\frac{s_2}{s_1} - 1\right) R_2$ trong đó s_1 và s_2 ứng với tốc độ n_1 và n_2.

Khi M_c=const thì phạm vi điều chỉnh tốc độ là n_1 –n_3 (hình 2.24), khi M_c tăng, phạm vi điều chỉnh tốc độ tăng. Khi mô men cản không đổi thì công suất nhận từ lưới điện không đổi trong toàn phạm vi điều chỉnh tốc độ. Công suất hữu ích $P_2=M\omega_2$ ở trên trục động cơ sẽ tăng khi độ trượt giảm, vì $\Delta P=P_{đt}-P_2=M(\omega_1-\omega_2)$ là tổn hao rotor nên khi độ trượt lớn tổn hao sẽ lớn.

Đặc điểm của phương pháp điều chỉnh điện trở rotor là điều chỉnh láng, dễ thực hiện, rẻ tiền nhưng không kinh tế do tổn hao ở điện trở điều chỉnh, phạm vi điều chỉnh phụ thuộc vào tải. Không thể điều chỉnh ở tốc độ gần tốc độ không tải.

2.8.6 Thay đổi điện áp ở mạch rotor

Trước khi bước vào nghiên cứu phương pháp điều chỉnh tốc độ bằng đưa thêm sđđ vào mạch rotor, ta thực hiện việc thống kê công suất ở máy điện không đồng bộ khi có đưa điện trở phụ vào mạch rotor.

Công suất nhận vào:

$P_1=m_1U_1I_1\cos\varphi_1$

Công suất điện từ hay còn gọi là công suất từ trường quay:

$P_{đt}=P_1-\Delta P_1 = P_1-(\Delta P_{Cu1} +\Delta P_{Fe1})$

Đây là công suất chuyển qua từ trường sang rotor.

Công suất điện từ được chia ra công suất điện và công suất cơ:

$P_{đt}=P_{cơ}+P_{điện}$

trong đó: $P_{điện} =\Delta P_{Cu2}+P_2$

Ở đây P_2 là tổn hao trên điện trở phụ đưa vào mạch rotor , còn ΔP_{Cu2} là tổn hao đồng cuộn dây rotor do đó:

$P_2=m_2I_2R_p$, còn $\Delta P_{Cu2}= m_2R_2.I_2^2$

Công suất cơ học $P_{cơ}$: là công suất ở điện trở : $(R'_2+R'_p)\frac{1-s}{s}$ do vây:

$$P_{cơ} =m_1(R'_2 +R'_p)I'^2_2 \frac{1-s}{s}.$$

Khi thay đổi tốc độ quay bằng thay đổi đện trở mạch rotor, là ta đã làm thay đổi P_2 truyền cho điện trở phụ để công suất cơ khí $P_{cơ}$ thay đổi vì:

$P_{đt}=P_{cơ}+P_2+\Delta P_{Cu2}$ =const trong đó ΔP_{Cu2} = const.

Bây giờ chúng ta nghiên cứu một phương pháp khác thay đổi công suất P_2 trong mạch rotor. Đó là phương pháp đưa thêm vào mạch rotor một đại lượng: ΔE_2 (hình 2.25) có cùng tần số rotor và cũng phải thay đổi theo tốc độ.

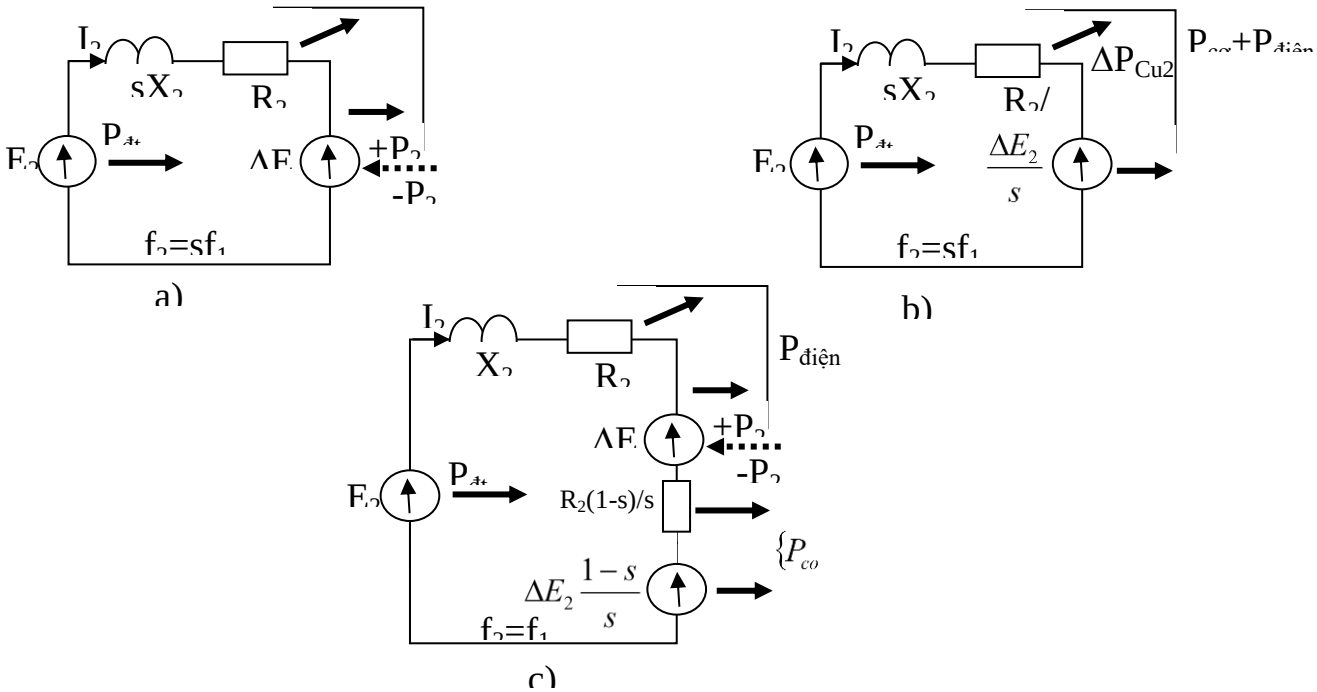
Giả thiết rằng điều chỉnh tốc độ theo nguyên tắc :M=const, $P_{đt}$=const.

Trong điều kiện đó, thống kê công suất như sau (hình 2.25) [1]:

$$P_{đt}= P_{cơ}+P_{điện}= P_{cơ}+P_2+\Delta P_{Cu2} =\text{const} \qquad (2.46)$$

Tổn hao điện ΔP_{Cu2} trong trường hợp này không đổi vì giá trị dòng điện I_2 không phụ thuộc vào độ trượt. Trong vùng ổn định của đặc tính cơ tồn tại một giá trị dòng điện I_2 và một giá trị hệ số $\cos\varphi_2$ thoả mãn quan hệ: $P_{đt}=m_2E_{20}I_2\cos\varphi_2 \approx cI_2\cos\varphi_2$ =const

Nếu tăng công suất phát P_2 (công suất phát mang dấu + trong biểu thức (2.46)) cho một tải nào đó ở mạch rotor sẽ làm giảm công suất cơ khí $P_{cơ}$, vậy khi mô men cản không đổi sẽ làm tốc độ thay đổi ($n=cP_{cơ}$), nếu mạch rotor được cấp vào một công suất tác dụng P_2 (có dấu âm trong biểu thức (2.46)) thì $P_{cơ}$ sẽ tăng, đồng nghĩa với tốc độ tăng. Nếu mạch rotor được cung cấp một công suất P_2 bằng tổn hao ΔP_{Cu2} lúc này $P_{điện}=sP_{đt}=0$ có nghĩa là s=0 vậy động cơ quay với tốc độ từ trường.



Hình 2.25. Sơ đồ tương đương mạch rotor động cơ dị bộ khi đưa thêm sđđ vào
a)mạch thực, b)c) mạch tương đương đưa về tần số f_1

Nếu bây giờ cấp cho mạch rotor một công suất $|P_2| > \Delta P_{cu2}$ thì động cơ quay với tốc độ lớn hơn tốc độ đồng bộ. Phương pháp thay đổi tốc độ này cho phép thay đổi tốc độ trong phạm vi rộng (trên và dưới tốc dộ đồng bộ). Thay đổi pha của ΔE_2 làm thay đổi hệ số công suất Stator và rotor, hệ số công suất có thể đạt giá trị $\cos\varphi=1$ thậm chí có thể nhận được hệ số công suất âm. Nếu ta đưa vào rotor công suất phản kháng thì động cơ không phải lấy công suất kháng từ lưới, lúc này dòng kích từ cần thiết để tạo từ trường động cơ nhận từ mạch rotor. Phương pháp điều chỉnh tốc độ trên đây gọi là phương pháp nối tầng.

Kết luận

Trong chương đã trình bày về động cơ không đồng bộ cụ thể nguyên lý hoạt động, các đặc tính cơ, các phương pháp khởi động và điều chỉnh tốc độ đọng cơ không đồng bộ. Đây là loại động cơ có cấu trúc chắc chắn, đơn giản làm việc ổn định không phải bảo dưỡng thường xuyên. Đây là loại động có được sử dụng rất nhiều trong công nghiệp , trong gia đình với giải công suất từ phần trăm oat tới me ga oat.

MÁY ĐIỆN TỐC ĐỘ CAO: CÔNG NGHỆ XU HƯỚNG VÀ PHÁT TRIỂN[78]

I. GIỚI THIỆU

Máy móc cơ khí quay đã được phát triển và sử dụng trong một thời gian dài, và giờ đây nó được coi là một công nghệ trưởng thành và đáng tin cậy cho một số ứng dụng kỹ thuật. Các ứng dụng này bao gồm bộ tăng áp, ống vận chuyển không khí, động cơ máy bay trực thăng, động cơ xe đua và máy bơm nhiên liệu có tốc độ hoạt động điển hình vượt quá 10000v/phút và r/min√kW vượt quá 1×10^5 [1]. Động lực hướng nghiên cứu tới và phát triển máy điện tốc độ cao đã tăng nhanh chóng trong vài thập niên gần đây, với sự gia tăng ứng dụng đáng kể trong những thập kỹ mới đây. Cũng có thể thấy trước rằng khu vực nghiên cứu này sẽ thống trị nghiên cứu truyền động điện, một phần do những cải tiến hiện tại trong công nghệ cho phép và một phần do tác động đáng kể đến sự phát triển của những chiếc máy này sẽ ứng dụng nhiều lĩnh vực. Điều này cũng được phản ánh bởi số lượng lớn các chương trình nghiên cứu được tài trợ trong nước và quốc tế trong lĩnh vực này. Bài viết này trước tiên sẽ tổng quan về một số khu vực ứng dụng máy móc điện tốc độ cao, và kết quả lợi ích hệ thống sẽ được nêu bật. Điểm chung nhận thức lợi thế của máy tốc độ cao là giảm trọng lượng hệ thống cho một cường độ biến đổi năng lượng nhất định. Điều này đặc biệt mong muốn trong các ứng dụng di động, nơi tiết kiệm bất kỳ trọng lượng dẫn đến kết quả trực tiếp trong việc giảm nhiên liệu và khí thải. Xu hướng điện khí hóa trong tương lai là tạo ra một lực kéo đáng kể để thúc đẩy các công nghệ tốc độ cao. Một lợi ích khác thường được nhận thấy trong việc áp dụng các máy tốc độ cao trong các ứng dụng nhất định đó là sự cải thiện độ tin cậy do kết quả của việc loại bỏ các thiết bị trung gian (truyền động trực tiếp). Các nghiên cứu và phát triển trong lĩnh vực này cũng được thúc đẩy bởi sự phát triển của các thiết bị chuyển mạch điện tử công suất, cấu trúc liên kết biến đổi và phương pháp điều khiển đang cho phép tần số hoạt động của máy thậm chí cao hơn. Điều này được kết hợp với sự phát triển vật liệu từ mềm và cứng, có khả

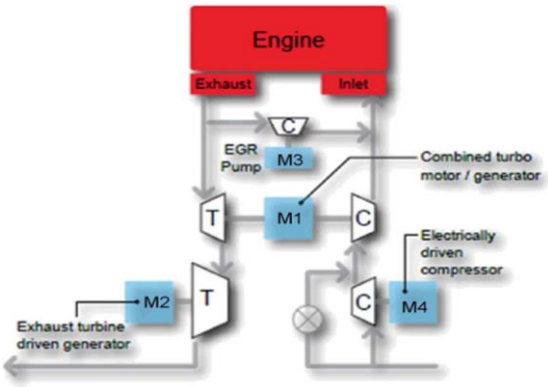
năng chịu được cường độ cao hơn của độ căng cơ khí trong khi thể hiện tổn thất ac thấp, cho phép vận tốc ngoại vi rotor cao hơn và mật độ công suất cao hơn. Sau khi xem xét các lĩnh vực ứng dụng cho máy móc điện tốc độ cao, bài viết này sẽ nêu bật những tiến bộ đáng kể gần đây trong công nghệ vật liệu liên quan đến máy tốc độ cao. Sau đó, những sơ đồ máy điện khác nhau từ các tài liệu tham khảo sẽ được xem xét và so sánh về khả năng tốc độ cao của chúng và đặc điểm hiệu năng.

3.2.TỔNG QUAN VỀ ỨNG DỤNG

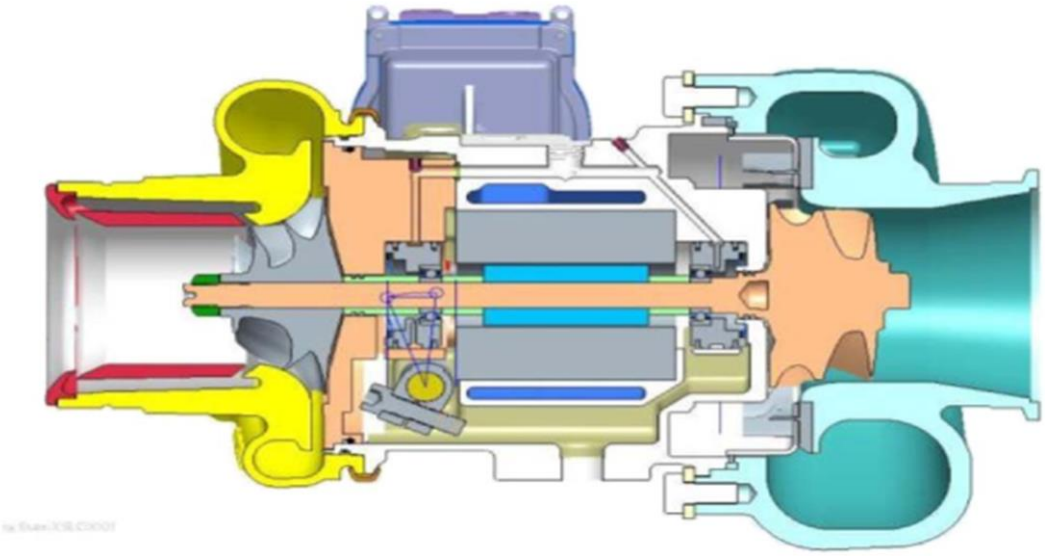
Trong một số ứng dụng, máy điện tốc độ cao trực tiếp thay thế các hệ thống cơ tốc độ cao hiện có, trong khi đó ở những ứng dụng khác, máy điện tốc độ cao bổ sung cho hệ thống cơ khí tốc độ cao hiện có. Phần này cung cấp tổng quan về truyền động bên cạnh những phát triển như vậy cho một phạm vi rộng của phổ ứng dụng. Danh sách này không đầy đủ nhưng chỉ ra ứng dụng kéo cho điện công nghệ máy móc tốc độ cao.

3.2.1.Máy điện tốc độ cao cho nhiều động cơ điện (Ô tô / Phát điện)

Khái niệm máy kéo hiệu suất cao tích hợp trong hệ thống truyền động lai để cải thiện hiệu suất nhiên liệu và giảm khí thải hiện đang phổ biến trong các phương tiện. Yêu cầu hiệu suất nhiên liệu và khí thải ngày càng nghiêm ngặt để tiếp tục điện khí hóa cho động cơ đang được sử dụng cho ô tô và các ứng dụng tạo ra năng lượng, chủ yếu thông qua việc sử dụng máy điện tốc độ cao. Các ứng dụng tiềm năng của máy điện tốc độ cao trong một động cơ điện có nhiều hơn



H.3.1 Máy điện tốc độ cao dùng cho nhiều máy



H.3.2 . Tăng áp trợ lực điện: tích hợp máy điện trong máy móc tốc độ cao hiện có

như trong Hình 3.1, tạo ra một họ bốn máy điện tốc độ cao có thể xung quanh một động cơ trong tương lai. Trong một ứng dụng như vậy, máy điện được đặt trên cùng trục với tuabin và bánh xe máy nén trong một bộ tăng áp (máy M1 trong hình 1). Chức năng của Máy có hai mặt. Khi khởi động và sang số, khi thiếu năng lượng trong dòng khí thải, máy được sử dụng làm động cơ để tăng tốc máy nén đến tốc độ cần thiết, do đó giảm độ trễ đường ống và cải thiện khả năng truyền động. Ở động cơ cao tải, khi có năng lượng dư thừa trong khí thải, thay vì mở một van cổng chất thải để ngăn chặn quá mức trục, máy điện được sử dụng như một máy phát điện. Sự tích hợp điển hình của máy điện trong một bộ tăng áp được hiển thị trong hình 2. Hiệu quả đường truyền có thể được cải thiện hơn nữa bằng cách cài đặt một tuabin điện bổ sung và máy tốc độ cao (máy M2 trong hình 1) ở hạ lưu của bộ tăng áp để giải nhiệt thải từ khí thải nén, thường được gọi là quá trình nén. Năng lượng phục hồi sau đó được sử dụng để cung cấp cho tải của xe điện, kể cả máy kéo nếu sử dụng trong một kiến trúc hệ thống truyền động lai. Hình 3. Máy điện tốc độ cao được sử dụng trong động cơ ORC (Cummins).

Ở động cơ đốt trong, khí thải tuần hoàn(EGR) được sử dụng để giảm lượng khí thải NOx bằng cách định tuyến một số khí thải trở lại vào luồng khí nạp. Trong động cơ, nơi áp suất khí thải lớn hơn áp suất khí nạp, một hiệu áp suất âm tồn

tại; do đó, dòng chảy EGR có thể nhận ra bằng cách kết nối một ống dẫn giữa ống xả và ống dẫn. Tuy nhiên, trong một động cơ điểm láy nước vào, chênh lệch áp suất không thuận lợi phải được khắc phục [2]. Một cách khắc phục hiệu quả vấn đề nói trên là bằng cách đặt một máy nén EGR ở thượng nguồn của Tua bin, được

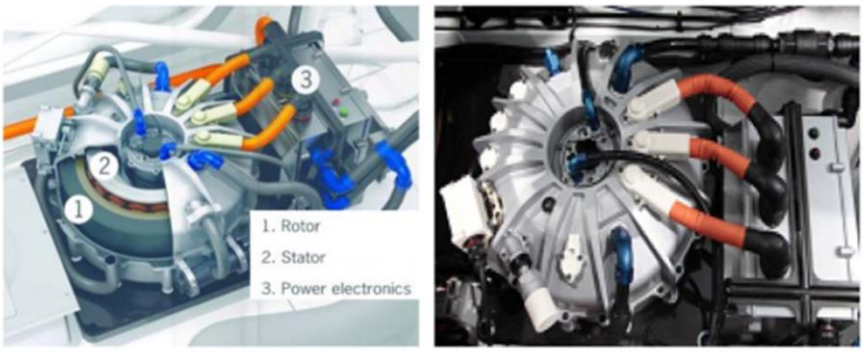
H.3.3 Máy điện tốc độ cao được sử dụng trong động

điều khiển bởi một động cơ tốc độ cao (máy M3 trong Hình 3.1). Điều này làm giảm đáng kể năng lượng bơm cần thiết so với các hệ thống EGR thông thường trong đó khí thải được rút ra ở hạ lưu của tuabin. Hiệu quả cải thiện nhiên liệu động cơ cao hơn có thể đạt được bằng cách thu hồi năng lượng nhiệt thải từ toàn bộ động cơ, thay vì chỉ từ dòng khí xả. Điều này được thực hiện thông qua một chu kỳ Rankine hữu cơ, nhờ đó nhiệt được thu hồi bằng cách lưu thông một chất lỏng làm việc sau đó được sử dụng để truyền độg tuabin tốc độ cao và một máy phát điện. Mức độ cải thiện hiệu quả nhiên liệu hơn 12% đã được chứng minh [3]. Hình 3.3 cho thấy một động cơ như vậy được phát triển bởi Cummins. Phạm vi của nút công suất-tốc độ cho máy điện được phát triển cho các ứng dụng động cơ rất rộng, dao động từ 2 kW / 220 000 r / phút cho một ứng dụng ô tô hành khách [41] lên tới 150 mã lực / 35 000 r / phút cho một động cơ sơ cấp phát điện.

3.2.2. Hệ thống bánh đà lưu trữ năng lượng

Hệ thống bánh đà lưu trữ năng lượng hoạt động bằng cách lưu trữ năng lượng cơ học trong một bánh đà quay .Năng lượng điện được lưu trữ bằng cách sử

dụng một động cơ quay bánh đà, do đó biến đổi năng lượng điện thành năng lượng cơ học. Để phục hồi năng lượng, chính động cơ này được sử dụng để làm chậm bánh đà, biến năng lượng cơ học trở lại điện năng. Thiết kế bánh đà truyền thống có đường kính lớn, quay chậm, và có mật độ công suất và năng lượng thấp. Bánh đà hiện đại được thiết kế để quay ở tốc độ cao hơn. Bánh đà như vậy đạt được mật độ năng lượng cao hơn pin NiMH thường sử dụng trong xe lai, mặc dù có mật độ năng lượng thấp hơn. Đối với các ứng dụng lưu trữ năng lượng đòi hỏi đầu ra công suất cao trong khoảng thời gian ngắn (ví dụ, thấp năng lượng), như là trường hợp cho trợ xe điện lai, hệ thống bánh đà tốc độ cao có một số lợi thế so với giải pháp công nghệ pin như nhỏ gọn hơn, hiệu suất cao hơn, tuổi thọ dài hơn và phạm vi nhiệt độ hoạt động rộng hơn [68]. Hình. 3.4 cho thấy một bánh đà được phát triển bởi Williams Hybrid Power, được sử dụng trong Porsche911 GT3R. Bánh đà này quay với tốc độ 40.000v/phút và được sử dụng để phát/ động cơ lên đến 120Kw cho động cơ trục trước .



H.3.4 Bánh đà chất composit tốc độ cao

3.2.2. Ứng dụng cho máy khoan tốc độ cao

Ngành công nghiệp máy móc cũng đã thúc đẩy sự phát triển của máy điện tốc độ cao . Con quay tốc độ cao chi phí thấp thông thường sử dụng truyền động đai, bị giới hạn ở tốc độ tối đa. Nhu cầu tốc độ quay tốc độ cao ngày càng tăng, điều khiển tốc độ, mức độ rung thấp và mật độ năng lượng (do thiếu không gian) đã dẫn đến việc sử dụng máy điện tốc độ cao cho các ứng dụng trục chính. Các giới hạn phạm vi công suất và tốc độ trong các ứng dụng trục chính trải

ra trong phạm vi rất rộng, từ 9000-180 000 v/min, tương ứng với công suấtsức mạnh mức xấp xỉ từ 24 xuống còn 1kW.

Như đã trình bày ở Bảng I, tốc độ quay tối đa đạt được trong các ứng dụng trong máy phay khác nhau phụ thuộc vào loại vật liệu được xử lý. Đối với các ứng dụng mài, máy-công cụ quay tốc độ rất cao so với các phạm vi điển hình báo cáo trong Bảng I, đạt tốc độ lên đến hàng trăm ngàn vòng mỗi phút trong các ứng dụng gia công siêu chính xác, ví dụ như phạm vi kích thước trung bình và tốc độ hàng me ga cho hệ thống truyền động[4]. Hình.3.5 chỉ ra một máy như vậy được phát triển bởi vòng bi không khí Westwind , với một tốc độ là 300.000v/ min sử dụng mạch in (PCB) cho máy khoan cọc.

TABLE I
TYPICAL MILLING APPLICATIONS SPEED

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

3.2.3. Máy bom phân tử turbin

Máy bom phân tử turbin là một ứng dụng khác, ở đó sử dụng động cơ có tốc đọ cao được coi là phù hợp.

H.3.5 Trục khoan PCB tốc độ cao 200-W 300 000-r / phút

Hiện tại tốc độ hợp lý lên tới 100.000v/phút ở mức công suất thấp (vài trăm oat) là mục tiêu tương lai cho ứng dụng này. Các bơm phân tử được sử dụng để

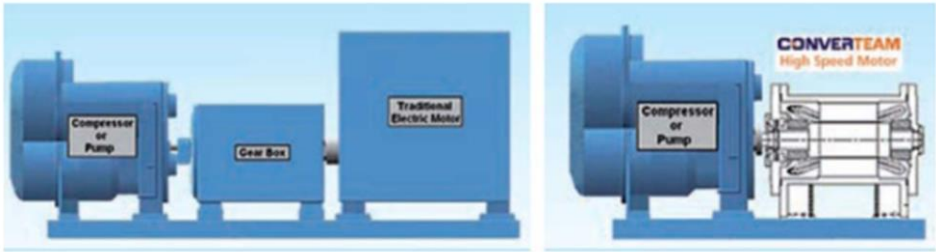
nhận và duy trì độ chân không cao. Những máy bơm làm việc trên nguyên tắc là các phân tử khí có thể được trao động lượng theo một hướng mong muốn bằng cách lặp đi lặp lại sự va chạm với một rắn bề mặt di chuyển. Trong một máy bơm phân tử turbin, rotor turbin quay rất nhanh hít các phân tử khí từ đầu vào của bơm về phía ống xả để tạo ra hoặc duy trì chân không. Mặt cắt ngang của một tuabin thông thường được điều khiển bởi động cơ tốc độ cao hiển thị trong Hình 3.6. Những máy bơm này được sử dụng để có được điều kiện chân không rất cao lên đến 10^{-10} mbar. Loại tải này đòi hỏi tính chất đặc trưng của động phải tiếp cận mọt cách thiết kế phức tạp, khác xa với các tiêu chí thiết kế cổ điển được sử dụng cho các động cơ tiêu chuẩn. Đặc biệt, rotor chạy trong chân không sâu, gặp các vấn đề về trao đổi nhiệt [69]. Trong thực tế, việc tản nhiệt chỉ có thể được thực hiện bằng bức xạ. Sự đóng góp quán tính của rotor trên tổng quán tính phải càng thấp càng tốt để đơn giản hóa quá trình cân bằng của các bộ phận quay. Các gợn mô-men có thể rất thấp để giảm các nguy cơ của cộng hưởng cơ khí trong sự xoay của hệ thống.

H.3.6. Mặt cắt ngang của bơm phân tử được điều khiển bởi tốc độ cao động cơ [76]

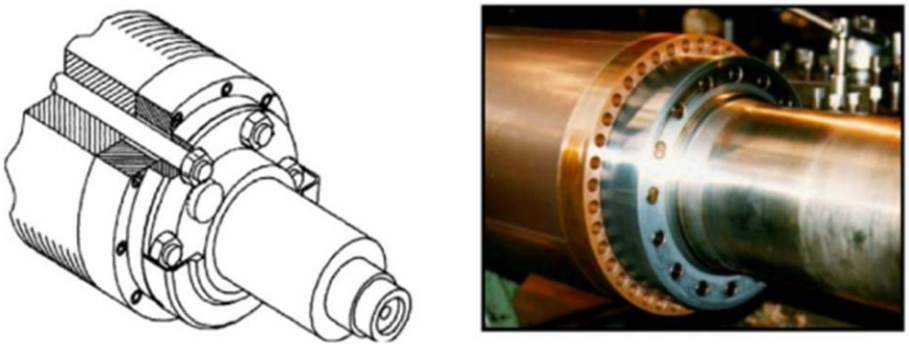
3.2.4. Ứng dụng máy nén khí

Máy nén khí cần thiết ở nhiều nơi trong các ngành công nghiệp hóa chất, dầu mỏ và khí đốt, chủ yếu để thu thập, truyền tải và xử lý khí ở hạ lưu. Động cơ khí và tua bin khí thường được sử dụng truyền động máy nén. Mặc dù các truyền động chạy bằng khí thuận tiện cho các công ty gas, nhưng chúng ngày càng khó cài đặt hơn do các hạn chế về môi trường. Ý tưởng sử dụng động cơ điện truyền động nén để giảm thiểu các vấn đề về môi trường,

điều chỉnh tốc độ và bảo trì không phải là mới nhưng sự tiến bộ trong lĩnh vực máy tốc độ cao đã khiến chúng trở nên hấp dẫn hơn. Các máy nén khí không cần dầu đã được sử dụng thành công trong nhiều năm, nhưng cho đến khi việc bôi trơn hệ thống bằng dầu vẫn cần thiết cho các động cơ truyền động hoặc với hộp số, lợi ích của hoạt động không dầu không thể không được khai thác triệt để. Truyền động tốc độ cao với vòng bi từ tính cho phép loại bỏ hộp số và toàn bộ hệ thống dầu bôi trơn, dẫn đến tăng độ an toàn, tăng hiệu quả, tăng tính khả dụng và giảm chi phí vận hành và bảo trì. Vì vậy, các truyền động điện tốc độ cao là truyền động máy nén thân thiện với môi trường nhất [5]. Thiets kế và rotor của máy cảm ứng 1000-20000v/phút (IM) được phát triển bởi Converteam (nay là GE Energy), và được sử dụng trong một ứng dụng như vậy được hiển thị trong Hình. 3.7 và 3. 8, tương ứng.



H.3.7 Máy nén thông thường(phải) và máy nén tích hợp(trái



H.3.8.IM tốc độ cao 10 MW 20.000v/phút được sử dụng trong một đơn vị máy nén tích hợp (GE Energy).

Trong nhiều ứng dụng công nghiệp, nhu cầu ngày càng tăng đối với khí nén chất lượng cao và không dầu . Trong ngành công nghiệp thực phẩm và đồ uống , cũng như trong ngành dược phẩm , bất kỳ ô nhiễm dầu nào cũng có

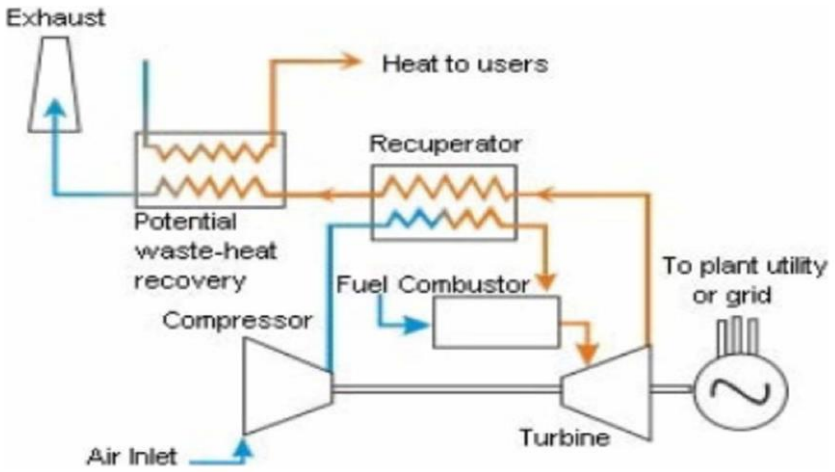
thể dẫn đến các sản phẩm không an toàn và nguy hiểm cho sức khỏe người tiêu dùng . Trong công nghiệp ô tô, không khí không dầu là điều cần thiết để đạt được một kết thúc chất lượng cao. Trong thiết bị điện tử công nghiệp, độ ẩm có thể ảnh hưởng đến quá trình nhạy cảm và gây oxi của dải micro, kết quả là sản phẩm thất bại. Trong tất cả các ngành công nghiệp nói trên, bất kỳ ô nhiễm dầu nào cũng có thể dẫn đến thu hồi sản phẩm đắt tiền và ngừng hoạt động nhà máy. Tốc độ máy điện cao hoạt động ở công suất định mức 100-500 kW và tốc độ khoảng 80-15.000 v/min, sử dụng vòng bi từ hoặc khí , đang được sử dụng trong các thế hệ mới nhất Class-0 "không dầu" truyền động trực tiếp máy nén khí công nghiệp, trong phạm vi trừ 4-9 bar .

Trong các nhà máy xử lý nước thải, phần lớn các yêu công suất trên 60%, được yêu cầu cho việc cung cấp không khí để cung cấp oxy cho xử lý sinh học các dòng chất thải và trộn vào chất rắn. Các máy thổi dịch chuyển dương truyền thống chạy trên các truyền động tần số thay đổi hoặc các thiết bị ly tâm hướng trục có trang bị các van đầu vào và đầu ra để sục khí. Thập kỷ qua đã chứng kiến một sự tăng trưởng nhanh chóng trong việc sử dụng máy thổi tuabin thúc đẩy bởi động cơ tốc độ cao, có độ tin cậy và độ bền cao hơn, giảm tiếng ồn, một giảm 25% về khối lượng và, quan trọng hơn, khẳng định tiết kiệm năng lượng khoảng 35% [70] đối với máy thổi thông thường .

3.2.6. Những turbin nhỏ

Tuabin nhỏ là tuabin đốt trong nhỏ có kích thước tương đối nhỏ so với một tủ lạnh, và với đầu ra thông thường khoảng 30-400 kW. Chúng thường được sử dụng cho các ứng dụng phát điện cố định tại các vị trí có giới hạn về không gian để sản xuất điện. Chúng là những cỗ máy nhiên liệu linh hoạt có thể chạy bằng khí tự nhiên, khí sinh học, propan, butan, diesel và dầu hỏa. Tuabin nhỏ có vài bộ phận di chuyển, hiệu suất cao, khí thải thấp, và có cơ hội sử dụng nhiệt thải. Chúng nhẹ và kích thước nhỏ gọn. Thu hồi nhiệt thải có thể được sử dụng trong các hệ thống nhiệt và điện (CHP) kết hợp để đạt được mức hiệu suất năng lượng lớn hơn 80% [6].

Hình 3.9 cho thấy cách bố trí điển hình của tuabin khí siêu nhỏ. Nó bao gồm một máy nén, buồng đốt, tuabin, máy phát điện, máy thu hồi (tùy chọn) và máy phát điện. Trong các hệ thống không được phục hồi, khí nén được làm nóng trộn với nhiên liệu và được đốt cháy trong điều kiện áp suất không đổi. Kết quả khí nóng được phép mở rộng thông qua một tuabin để thực hiện công việc. Các microturbines chu trình đơn giản có chi phí thấp hơn, độ tin cậy cao hơn và có sẵn nhiều nhiệt hơn cho các ứng dụng CHP so với các đơn vị thu hồi. Đơn vị thu hồi sử dụng một tấm trao đổi nhiệt kim loại thiết bị đó phục hồi một số nhiệt từ dòng khí xả, và chuyển nó vào dòng không khí đến. Không khí được làm nóng trước sau đó được sử dụng trong quá trình đốt cháy. Nếu không khí được làm nóng trước, cần ít nhiên liệu hơn để tăng nhiệt độ của nó đến mức cần thiết ở đầu vào tuabin. Các đơn vị thu hồi có hiệu suất và tỷ lệ nhiệt-điện cao hơn so với các đơn vị không được phục hồi và mang lại tiết kiệm nhiên liệu khoảng 30%-40% từ quá trình gia nhiệt trước [6].



H.3.9 .Bố trí điển hình một turbin khí nhỏ

Gần đây, có một sự quan tâm xem xét lại trong việc sử dụng tuabin nhỏ như phạm vi mở rộng trong sê-ri xe lai, cũng như tất cả các-xe điện, khi một đơn vị công suất có thể sạc pin của xe. Hình. 3.10 cho thấy một microturbine công suất 50kW 80.000 v / phút do Bladon phát triển. Người ta nói rằng một công nghệ như vậy có các kích thước, trọng lượng, và phụ tùng chỉ bằng 5% của của một động cơ piston tương đương [7].

H.3.10 Một siêu turbin khí 50 kW,

3.3. Vật liệu

Phyaanf này cho ta một cái nhìn tổng quan của vật liệu phù hợp cho máy điện tốc độ cao, bao gồm cả thép kỹ thuật, đồng hợp kim, và nam châm. Nó cũng mô tả những phát triển chính là chìa khóa đẩy các ranh giới hoạt động của máy điện tốc độ cao.

3.3.1. Thép kỹ thuật điện

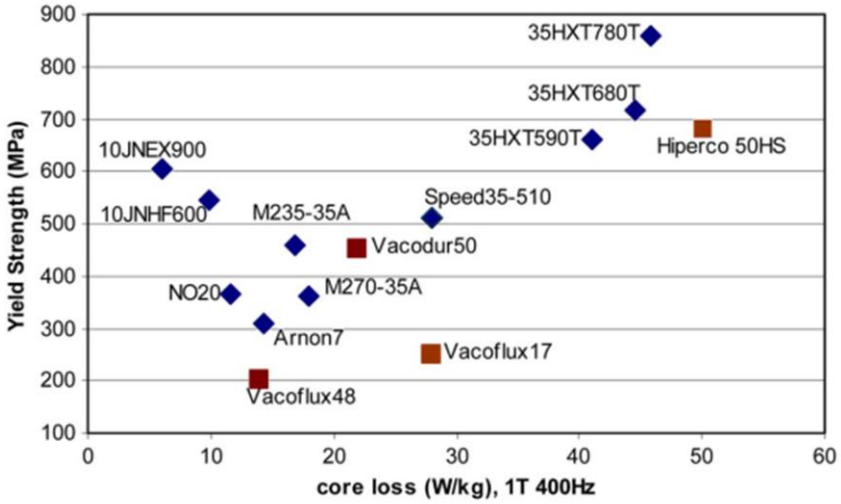
Đối với các lá thép Stator và rotor, các hợp kim sắt silicon (SiFe) và sắt coban khác nhau (CoFe) đã được xem xét. CoFe thỏa mãn độ bão hòa từ lớn nhất đạt trên 2T, vì thế cho phép đạt được mật độ năng lượng cao nhất. Giá trị thực tế của bão hòa từ cho CoFe phụ thuộc vào nhiệt độ ủ, thời gian ủ và không khí ủ; nói chung, các tính chất cơ khí của vật liệu ủ tốt hơn khi độ bão hòa từ thấp hơn. Tuy nhiên, ngay cả khi ủ để tính chất cơ học của vật liệu tốt nhất thì độ bão hpoaf từ của CoFe vẫn cao hơn SIFE (khoảng 20% cao hơn). Mặc dù CoFe đắt hơn đáng kể so với các lá thép SiFe, nó thường được xem xét cho các máy tốc độ cao vì khối lượng vật liệu trên mỗi kilowatt về bản chất là nhỏ và do đó không có ý nghĩa lớn ở cấp độ hệ thống .

Một thông số quan trọng khác khi chọn vật liệu cán cho máy tốc độ cao là lượng tổn thất lõi thép được tạo ra trong quá trình cán do tần số cơ bản và chuyển mạch rất cao . Với một tần số và mật độ từ thông đã cho, những tổn hao lõi chịu ảnh hưởng chủ yếu bởi độ dày cán và các phương pháp

ủ. Nói chung, các lá thép mỏng hơn, tổn hao lõi thấp hơn. Thép kỹ thuật điện mỏng đến 0,1 mm với tổn thất lõi rất thấp, được thiết kế riêng cho các ứng dụng tần số cao, có sẵn trên thị trường [8].

Hình.3. 11 so sánh sức bền cơ khí và đặc tính tổn hao lõi với 1T và 400 Hz của là thép SIFE (◆) và CoFe (□) thương mại có sẵn dưới tên thương mại của mình. Cần lưu ý rằng, đối với nhiều lớp thép (trừ những thị trường đặc biệt cho đặc tính cơ khói của chúng), các thuộc tính cơ khí có giá trị nhận biết bình thường có giá trị. M270-35A và M235-35A là các loại SiFe phổ biến 0,35 mm với độ bền điển hình tương ứng khoảng 350 và 450 MPa . Các loại này thường được sử dụng cho các động cơ chính sản xuất khối lượng hiệu suất cao hơn như máy kéo .

Các máy tần số cao thường sử dụng các lớp SiFe mỏng hơn 0,35 mm, như NO20 và Arnon7, là 0,2 và độ dày 0,17mm tương ứng.



H.3.11.So sánh tổn hao theo và độ bền cơ học cho những loại thép điện có tính chất khác nhau

Các tổn thất lõi của các lá thép mỏng đã nói ở trên là vượt trội, như trong Hình 3.11; tuy nhiên, đây phí của ứng suất đàn hồi giảm, thường là 300-380 MPa cho các hạng như vậy.

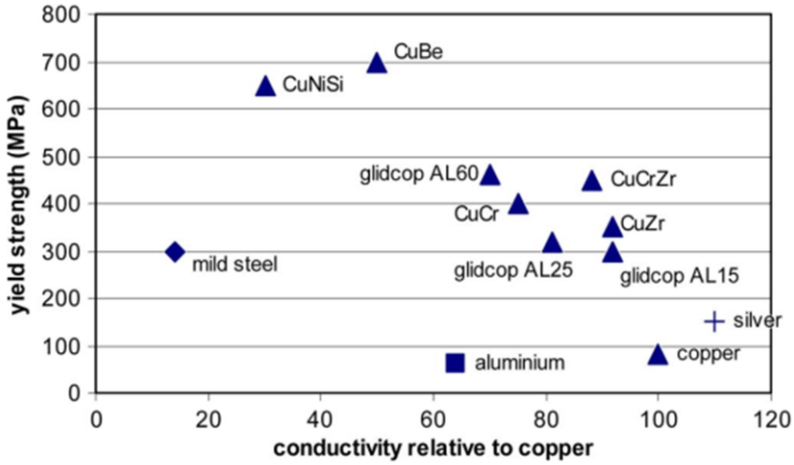
Yêu cầu ngày càng khắt khe đối với thép kỹ thuật điện đã thúc đẩy nghiên cứu của các công ty luyện kim vượt ra khỏi ranh giới truyền thống trong hai thập kỷ qua. Một trường hợp như vậy là lõi JNEX10, đó là một lớp SIFE

dày 0,1-mm và có tổn hao khoảng 50% ở tần số và cảm ứng định mức, đối với các lớp thép mỏng cao tần khác với bằng có 6,5% Hàm lượng Si [8]. Điều này cho phép người thiết kế đi xa hơn các tần số cơ bản trong Stator.

Các tấm thép silic thông thường có hàm lượng silicon từ 3,5% trở xuống vì rằng thép sẽ bị cứng. Tù lâu nó đã được biết đến là những từ đặc điểm của một silicon thép tấm cải thiện như các Si nội dung tăng, đạt đỉnh ở mức 6,5% [8]. Tuy nhiên, việc sản xuất các tấm thép mỏng có hàm lượng Si trên 3,5% là không thực tế vì thép có xu hướng cứng. Gần đây vấn đề sản xuất này đã được khắc phục thông qua việc áp dụng lắng đọng hơi hóa học. Có tỷ lệ silicon cao như vậy dẫn đến ứng suất cao; tuy nhiên, vật liệu này dễ gãy, điều này không mong muốn đối với các rotor tốc độ cao. Tính dẻo có thể được cải thiện bằng cách phun gradient của silic, trong đó hàm lượng silic cao được phun ở các cạnh của tấm cho giảm tổn thất tần số rất cao , và một hàm lượng silic thấp hơn được bơm tại trung tâm.

Nghiên cứu thép khác tập trung vào phát triển thép điện có cường độ rất cao mà không ảnh hưởng đến độ dẻo. Động lực của nghiên cứu này chủ yếu là động cơ nam châm vĩnh cửu (IPM) được sử dụng trong lực kéo lai. Các động cơ như vậy đòi hỏi cầu phải được giữ càng nhỏ càng tốt để hạn chế ngắn mạch từ thông nam châm (do đó làm giảm thể tích nam châm); tuy nhiên, điều này bị giới hạn bởi ứng suất của vật liệu cán. Ứng suất cao hơn 800 MPa có thể được thực hiện bằng một số kỹ thuật như trật khớp tăng cường [9], với chi phí làm tăng tổn hao sắt. Các lớp HXT [10], thể hiện trong hình. 3.11, có thể đạt được một ứng suất rất cao, có thể so sánh để có độ bền của thép carbon cao, vượt quá 800 MPa với độ dãn vượt quá 18%.

Hình 11 cũng so sánh tổn hao sắt đối với bốn loại hợp kim CoFe khác nhau. Như thể hiện trong hình này, hợp kim CoFe có đặc tính từ tối ưu Vacoflux48 có tổn thất thấp hơn đáng kể So với vật liệu M235-35A cùng độ dày.



H.3.12 Hợp kim cho rotor lồng sóc

Tuy nhiên, ứng suất của nó là chỉ khoảng 200 MPa (tức là một nửa của SIFE), do đó đối với trường hợp sử dụng ở rotor tốc độ cao là chưa đủ. Để CoFe có ứng suất tương tự (tức là Vacodur 50 với các tính chất cơ học tối ưu) như SiFe, tính chất điện từ của nó bị suy giảm và tổn hao có thể so sánh được với cả SiFe và CoFe. Một ván đề quan trọng cần lưu ý rằng các lớp CoFe nói trên là giòn trong tự nhiên, với Vacoflux48 có 2% độ dãn dài và Vacodur50 có 6% dộ dãn dài. Độ giãn dài được cải thiện lên 32% trong Vacoflux17, khi hàm lượng coban giảm 17%, mặc dù làm tăng đáng kể tổn hao lõi. Hợp kim CoFe có thể được tăng cường bằng cách hợp kim với vanadi, chẳng hạn như Hiperco 50 HS, có thể đạt được ứng suất trên 680 MPa với độ giãn dài 15%.

3.3.2.Hợp kim đồng

Đối với trường hợp IM, vật liệu thanh rotor và vòng ngắn mạch yêu cầu lựa chọn cẩn thận . Ứng suất cao là cần thiết ở nhiệt độ cao như các thanh phục vụ chức năng cơ học bên cạnh những chức năng điện từ. Các thanh cũng thêm vào độ cứng của cụm roto và do đó giúp tăng tốc độ tới hạn của máy. Hơn nữa, đối

với IM, giữ cho lồng rotor trong tình trạng khỏe mạnh là điều cơ bản để vận hành.

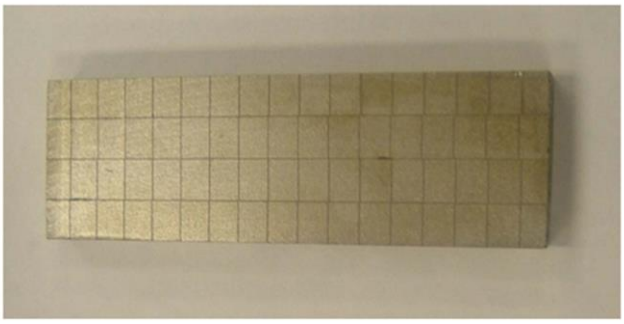
Đối với các ứng dụng nhiệt độ cao, tốc độ cao, đồng tinh khiết không thường được sử dụng do có ứng suất thấp, và nó bị mềm ở nhiệt độ cao. Một số

loại hợp kim đồng có độ bền cao khác nhau đã được sử dụng cho IM tốc độ cao, chẳng hạn như đồng zircon zirconium (CuZr), đồng bia beryllium (CuBe) [37] và oxit nhôm nhôm đồng ($CuAl_2O_3$) [23], [24], [34], [35]. Hình. 12 là sơ đồ của vaatk liệu khác nhau được xem xét cho các lồng rotor nhất là hai thông số quan trọng đối với một ứng dụng động cơ cảm ứng cao tốc (tức là độ dẫn điện và ứng suất).

Đồng có thể được tăng cường đáng kể bằng cách hợp kim nó với các yếu tố khác, nhưng hợp kim gây ra tổn hao độ dẫn đáng kể. Đồng cũng có thể được tăng cường bằng cách kết hợp các hạt mịn của pha thứ hai trong ma trận của nó, lúc này chỉ gây ra tổn thất tương đối nhỏ về độ dẫn. Pha thứ hai có thể được một kim loại hoặc hợp chất liên kim kết tủa từ một giải pháp chất rắn bởi gia công, hoặc nó có thể là hạt phi kim loại, chẳng hạn như oxit ổn định, thêm vào hoặc được hình thành trong ma trận đồng. Một vạt liệu như vậy được làm bằng các kỹ thuật oxy hóa , là Glidcop từ Höganäs Bắc Mỹ , vẫn giữ được sức mạnh ở nhiệt độ cao vượt quá 300 $^{\circ}$C.

3.3.3. Vật liệu làm nam châm

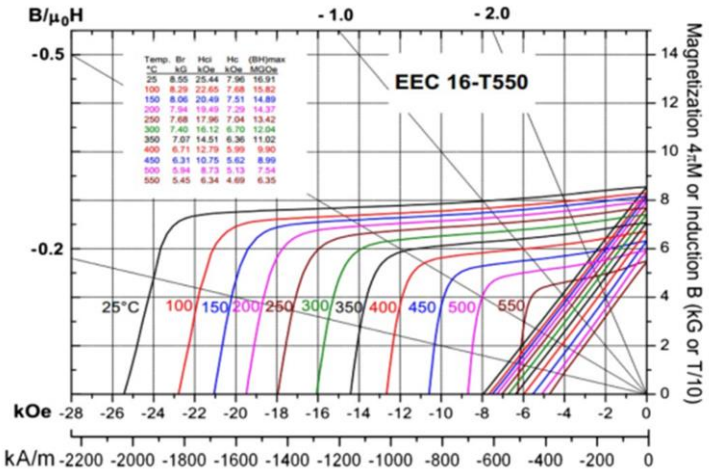
Những thách thức chính đối với nam châm ở tốc độ cao là các ứng suất cơ học đã được kiểm nghiệm và tổn hao bên trong do xung từ thông kết quả của các rãnh Stator, sóng hài không gian ở khe hở không khí và từ trường không đồng bộ do sóng hài theo thời gian ở dạng sóng cung cấp. Hướng trục, hướng tâm và chu vi thường được sử dụng để giảm tổn thất, như trong Hình 13.



H.3.13. Một miếng nam châm để giảm tổn hao

Ngoài ra, khi thiết kế cuộn dây máy và kích thước hình học để giảm thiểu tổn hao rotor và sau đó, nhiệt độ nam châm, là một sự đánh đổi thiết kế quan trọng [60].

Máy tốc độ cao thường sử dụng nam châm có mật độ năng lượng cao từ các họ NdFeB hoặc SmCo với một khả năng nhiệt độ làm việc cao. Các lớp NdFeB hợp kim với Dysprosium (Dy) có nghĩa là nam châm NdFeB có thể có nhiệt độ giới hạn làm việc lên tới 250 ° C, chẳng hạn như lớp N38EH. Đối với hoạt động trên nhiệt độ này, samarium Gian cobalt Sm_2Co_{17} vẫn là vật liệu phù hợp duy nhất. Mặc dù có từ dư và tạo năng lượng thấp hơn so với nam châm NdFeB, thường Sm_2Co_{17} lớp có thể hoạt động lên đến nhiệt độ của 350 ° C, với một số lớp đặc biệt có thẻ đẩy nhiệt độ giới hạnlên tới 550° C, nhưng phải trả giá độ từ dư thấp, như thể hiện trong hình 14.



H.3.14.Samarium-cobalt nhiệt độ

Độ dẫn điện Stator và thanh ngắn mạch rotor cũng đã được áp dụng để bảo vệ các nam châm khỏi từ trường không đồng bộ. PM rất yếu khi bị căng, mặc dù chúng có thể chịu được áp lực nén lớn. Để đảm bảo tính nguyên vẹn cơ khí của rotor tốc độ cao, nam châm được sử dụng dự ứng lực thường xuyên cho thanh ngắn mạch của rotor với vật liệu kim loại có độ bền cao như In-conel hoặc titan [61]. Sợi carbon cũng thường được sử dụng như một cơ chế duy trì do tính chất cơ học vượt trội của nó. Đây có thể là dây nhỏ quấn trực tiếp trên rotor, hoặc vành ngắn mạch đúc sẵn có thể được lắp ráp vào rotor.

3.4. Tổng quan các công trình công bố liên quan tới công nghệ máy điện tốc độ cao

Trong hai thập kỷ qua, một số tài liệu về công nghệ máy điện tốc độ cao đã được xuất bản. Re Richt và Pasquarella [71] trình bày một tập hợp các phép tính phân tích liên quan đến đường kính rotor quay với tốc độ cao dựa trên bốn nội dung: 1) ứng suất cơ học trong rotor; 2) tốc độ tới hạn ; 3) làm mát rotor và 4) công suất cụ thể trên mỗi thể tích rotor. Các công thức này sau đó được sử dụng để xác định thiết kế một cửa sổ hoặc hoặc' giải quyết một không gian" cho các máy điện tốc độ cao. Các tác giả cũng trình bày một biểu đồ công suất- tốc độ, bao gồm các đường giới hạn cho IM và đồng bộ, cũng như các khu vực giới hạn cho một số cấu trúc biến tần liên kết. Biểu đồ này được sử dụng để suy ra xu hướng tùy thuộc vào công suất và phạm vi tốc độ cần thiết. Tại thời điểm viết bài, các tác giả đã kết luận rằng với *tốc độ thấp hơn* (*9000v/ phút)* và *công suất cao hơn* (*≥30 MW),* máy đồng bộ được cung cấp từ các bộ biến tần nguồn dòng điên là giải pháp thuận lợi, trong khi đối với *tốc độ cao hơn* (*100 000 v/phút)* và *công suất thấp hơn* (*≤2MW)* , IM được cung cấp từ các đầu vào nguồn điện áp là giải pháp được ưa chuộng . Máy PM được mô tả là phù hợp cho các ứng dụng năng lượng thấp và tốc độ cao .

Canders [72] trình bày việc sử dụng các máy PM (SPM) gắn trên bề mặt với dải sợi carbon, như một sự thay thế thiết kế rất hứa hẹn cho các ứng dụng công suất cao hơn và tốc độ cao. Một sự lựa chọn phù hợp của tấm dòng điện phần ứng được coi là quan trọng trong việc cung cấp tang của mật độ lực (ở kNm / m^2) giới hạn trên các rotor như một hàm của tốc độ. Khi giữ thiết kế chạy ở tốc độ dưới giới hạn, thực hiện tính chiều dài của rtoo to, và đồ thị giới hạn công suất như một hàm của tốc độ cho máy PM được cung cáp.

Binder và Schneider [73] thảo luận về các khía cạnh liên quan đến thiết kế máy điện tốc độ cao. Các tác giả mô tả làm thế nào hệ số sử dụng điện từ thấp hơn so với máy tốc độ thấp và thông qua đánh giá tài liệu cho các máy PM, cảm ứng và máy đơn cựn được chế tạo, theo kinh nghiệm, một đường hồi quy tuyến

tính liên quan đến giới hạn công suất đối với tốc độ thiết kế. Các loại ổ trục được sử dụng cho các máy tốc độ cao cũng được nghiên cứu phát triển.

Sau đây là một nỗ lực để mô tả các máy tốc độ cao trong tài liệu đã được xây dựng và thử nghiệm, bao gồm IM, máy PM, máy từ trở (RSM) và máy đồng bộ đơn cực. Một so sánh giữa các công nghệ cho thấy miền vận hành mà mỗi công nghệ đã được sử dụng tại các miền đó.

3.4.1. Máy điện cảm ứng tốc độ cao

IM, do cấu trúc chắc chắn của chúng, thường được sử dụng cho các ứng dụng tốc độ cao. Bảng II, được phát triển và mở rộng từ những kết quả trình bày trong [19], danh sach các động cơ IM trình bày trong tài liệu được xếp hạng theo bậc của phạm vi tốc độ 'vc' (ở m/s). Từ này bảng, nó được lưu ý rằng, đối với các

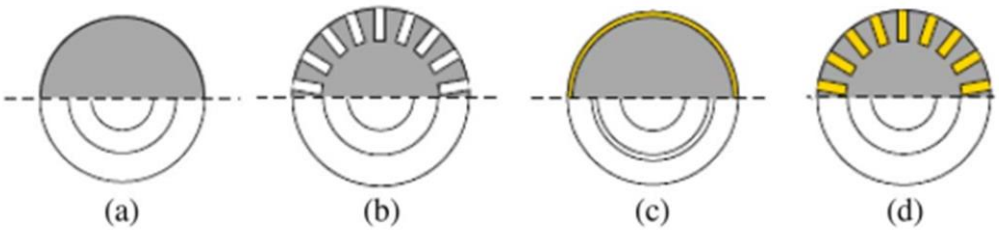
tốc độ ngoại vi cao nhất, cấu trúc liên kết rotor rắn thường được ưa thích do độ bền cơ học của cấu trúc như vậy. Rotor rắn mịn , như trong Hình 3.15 (a), là cấu trúc liên kết rotor rắn đơn giản và mạnh mẽ nhất; tuy nhiên, một thiết kế như vậy thiếu một đường dẫn có độ dẫn cao cho các dòng rotor cảm ứng và do đó là một thiết kế tương đối kém hiệu quả [11], [12]. Các thành phần dòng điều hòa tập trung trên bề mặt của các rotor là nguyên nhân tổn hao đáng kể trong rotor đã hạn chế mật độ tổng công suất của máy. Ngoài ra, dòng xoáy đã đẩy từ trường cảm ứng ra khỏi rotor.

Rotor rắn xẻ dọc trục, như trong Hình 3. 15 (b), là một cải tiến so với cấu trúc liên kết rotor rắn trơn tru bằng cách xẻ dọc bề mặt rotor [13], [14]. Rạch có tác dụng dẫn hướng thành phần từ thông cơ bản vào rotor đồng thời thể hiện đường trở kháng cao hơn đối với dòng điện xoáy trên bề mặt rotor. Tuy nhiên, rãnh cũng làm tăng tổn thất ma sát không khí, mà ở tốc độ cao được coi thể thậm chí là lớn hơn sự tổn hao do dòng xoáy, cũng như làm giảm độ bền cơ học của rotor.

Bảng II

Máy IM tốc độ cao trong tài liệu tham khảo và trong công nghiệp gần hay theo mức tốc độ

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



H.3.15. Sơ đồ rotor cứng tốc độ cao (a) Rotor cứng mềm, (b) rotor chia rãnh cứng (c) ro to được che phủ (d) Ro to lồng sóc

Các nghiên cứu chi tiết về rãnh dọc trục của động cơ cảm ứng rotor rắn được trình bày bởi Aho [15] và Hupastaen [16]. Trong những nghiên cứu này, số rãnh của rotor và họ hình học được nghiên cứu với mục đích đạt được một thiết kế tổng thể tối ưu hóa. Cần lưu ý rằng ránh sâu cung cấp khả năng tạo mô-men tốt với trả giá làm giảm độ bền cơ học.

Aho khuyến cáo một khe sâu khoảng 40% -50% các ro to bán kính để đạt được một thỏa hiệp giữa sự vững chăc của rotor và giảm tổn thất dòng điện xoáy. Tuy nhien, cần lưu ý rằng số lẻ của các rãnh của rotor sẽ giảm thiểu gợn mô-men và nhưng lại gây tổn thất ro to do có sự không cân bằng từ.

Một cải tiến hơn nữa của rotor đạt được bằng phủ rotor rắn một lớp đồng , do đó đưa cảm ứng bất đẳng hướng điện từ [17], [18], như trong hình 3. 15 (c). Lớp phủ đồng hoạt động như một số lượng vô hạn của các thanh rotor và như vòng ngắn mạch. Thiết kế như vậy là mạnh mẽ về mặt cơ học và đạt được mức hiệu quả cao hơn so với cấu trúc liên kết rotor rắn đơn giản. Hình.3. 16 cho ta một động cơ IM rotor rắn bọc đồng 300-kW 60.000v / min sử dụng cho một máy nén không khí [30]. Cấu trúc này được sử dụng cho máy có tốc độ ngoại vi cao nhất cho ở Bảng II; tuy nhiên, bằng cách có một lớp phủ, khe hở không khí từ Stator đến sắt rotor cao hơn nhiều so với IM khi các thanh đồng nằm trong các rãnh, do đó dẫn đến hệ số công suất kém .

Lahteenmaki và Soitu [19], [20] nghiên cứu việc sử dụng rotor rắn lông sóc, như thể hiện trong hình. 3.15 (d). Các ý tưởng đằng sau cấu trúc này là kết hợp độ bền về cơ khí của một rotor rắn và hiệu suất điện từ của một rotor lồng sóc . Những khó khăn trong sản xuất một cấu trúc liên kết như vậy đã được báo cáo, cụ thể là việc khoan các khe bằng thép rắn; do đó, các thiết kế có khe rotor mở. Lahteenmaki so sánh rotor rắn lồng vào một rotor rắn đồng bọc hiện tại cho một động cơ 60kW 60.000v/ min và thông tin cho rằng rotor lồng sóc tăng mật độ công suất và và hiệu suất so với rotor được bao phủ nhưng trả giá về sự giảm độ chắc chắn về cơ khí.

Lahteenmaki cũng so sánh một rotor lồng sóc nhiều lớp với một rotor rắn được bọc đồng [19] cho một máy 30.600v / phút 65kW và báo

cáo mức hiệu suất cao hơn và hệ số sử dụng cao hơn cho cấu trúc liên kết rotor nhiều lớp . Rotor nhiều lớp cung cấp thêm 39% năng lượng khi có cùng mức tăng nhiệt độ cuộn dây Stator .

Lateb *et al.* [5] cũng so sánh các loại cấu trúc rotor rắn khác nhau với cấu trúc liên kết rotor nhiều lớp và được báo cáo rằng cấu trúc liên kết rotor nhiều lớp có mức hiệu suất cao hơn 2% - 3% so với các cấu trúc rotor rắn khác nhau, cũng như hệ số công suất cao hơn . Kết quả tương tự đã được báo cáo bởi Ikeda *et al.* [21], người đã so sánh bằng thực nghiệm một cấu trúc liên kết rotor lồng sóc rắn với cấu trúc liên kết rotor nhiều lớp cho máy 12.000 v/ phút 200 kW .

H.3.16.Một máy IM 300kW, 60.000v/minroo to cứng

Trong tài liệu thường được khuyên cáo rằng nên sử dụng rotor nhiều lớp nếu có thể về mặt cơ học do hiệu suất cao hơn đáng kể. Sau đây là tổng quan về những gì đã được công bố liên quan đến thiết kế IMs rô-to tốc độ cao theo thứ tự thời gian.

Bài viết của Boglietti *et al.* [22] là một trong những bài báo đầu tiên thảo luận về sự phức tạp liên quan đến việc thiết kế IMs rotor nhiều lớp tốc độ cao. Trong [22], một cái nhìn tổng quan được đưa ra về các điều kiện thiết kế điện, nhiệt và thiết kế cơ học, lưu ý đến mật độ dòng rô-to thông thường (so với IM tiêu chuẩn) được sử dụng trong các máy tốc độ cao, đề cập đến 20A/ mm^2 như một con số điển hình cho mật độ dòng rô-to . Boglietti *et al.* cũng thảo luận về các vấn đề của tổn hao sắt cao do các tần số cơ bản cao trong các máy tốc độ cao. Điều này thường hạn chế các nhà thiết kế để chọn một mật độ từ thông tương đối thấp trong răng Stator (1-

1,1T, so với 1,5-1,8T cho 50-Hz IM), cũng như trong các gông Stator (1,1-1,2T, so với 1,5 L1,7T cho IM 50 Hz). Tất cả các vấn đề nói trên có xu hướng gây ra các vấn đề về nhiệt do kích thước tổng thể của máy nhỏ, dẫn đến các hệ thống làm mát cưỡng bức là một yêu cầu. Các vấn đề thiết kế cơ học được thảo luận trong [22] liên quan chủ yếu đến việc lựa chọn ổ trục , bôi trơn và cân bằng, lưu ý đến loại cân bằng rất cao cần thiết cho các máy tốc độ cao .

Soong *et al.* [23] đưa ra cách xử lý toàn diện cho thiết kế IM tốc độ cao, mô tả các vấn đề về thiết kế và sản xuất bằng một nghiên cứu thiết kế trường hợp của động cơ 50.000v/ phút 21kW cho ứng dụng máy nén. Những cân nhắc đã bàn đến được thực hiện khi chọn rãnh rotor và vật liệu vòng ngắn mạch, lưu ý đặc biệt là nhu cầu về một loại vật liệu có ứng suất, có độ bền cao cho dây dẫn rotor, cũng như mô tả sự cân bằng giữa cách cán nhiệt khác nhau trong việc tìm kiếm một sự thỏa hiệp giữa các tính chất điện từ và cơ học. Soong *et al.* sử dụng các lớp SiFe cho cả rotor và Stator, và các vật liệu được xử lý nhiệt riêng sau khi đục lỗ để đạt được các đặc tính mong muốn cho rotor và Stator (nghĩa là ứng suất cao hơn cho các rotor và tổn thất sắt thấp hơn cho các lớp của Stator). Vấn đề ứng suất trong vật liệu cán rotor được nhấn mạnh là một vấn đề quan trọng , lưu ý cách các thanh rotor thay đổi ứng suất tối đa trong cán đối với ddooonjg cơ quay. Vấn đề này cũng được thảo luận bởi Kim *et al.* [24], người mô tả thiết kế của IM 11.000 - 56000v / phút cho máy nén ly tâm, lưu ý việc sử dụng rãnh tròn để giảm thiểu ứng suất trong các lớp rotor .

Centner và Schafer [25], [26] thảo luận về loại thép được sử dụng cho các lớp rotor như là một tham số tối ưu hóa và cố gắng nghiên cứu sự phù hợp và so sánh bằng cách sử dụng các lớp SiFe và CoFe cho IM tốc độ cao. Họ đã so sánh 0,2-mm “Vacoflux 50,” là CoFe hợp kim từ Vacuumschmelze GmbH,

H.3.17 Rô ro nhiều lớp với thanh hình tròn

cho M270-35A, là vật liệu tấm SiFe 0,35 mm tiêu chuẩn thấp. Họ đã chế tạo hai máy cho cùng một hộp, tức là một máy được làm từ CoFe và máy kia từ các lớp SiFe, lưu ý rằng, do độ bão hòa cao hơn, tải từ tính của máy cao hơn có thể có trong thiết kế CoFe, dẫn đến hiệu suất cao hơn so với máy SiFe (91% so với 89% ở 400 Hz).

Tất cả các máy tốc độ cao nêu trên sử dụng các lớp của rotor-dạng tròn. Gerada *và cộng sự.* [34], [35] mô tả một phương pháp thiết kế làm tăng mật độ công suất bằng cách sử dụng thanh hình giọt thay vì các thanh rotor tròn thông thường được sử dụng, cùng với thiết kế riêng cho tải điện và tải từ và chia tỷ lệ. Các thanh hình giọt cho phép mật độ dòng trong lồng rotor được điều chỉnh theo nhiệt độ rotor tối đa mong muốn. Tuy nhiên, hình dạng thanh như vậy cũng làm tăng các ứng suất trong các lớp; do đó, việc sử dụng một môi trường thiết kế đa miền kết hợp là rất cần thiết. Các thủ tục được sử dụng để tăng mật độ công suất của một động cơ 10 kW 80.000v / min IM, thể hiện trong hình.3. 17, cho một ứng dụng turbo tăng áp.

Các IM rotor nhiều lớp được báo cáo trong tất cả các tài liệu đã nói ở trên có được lắp ráp các lá thép nhiều lớp thông thường , nghĩa là một trục rắn với các lớp rỗng được lắp vào nó. Trong [23], được báo cáo rằng, đối với thiết kế IM truyền thống với, tỷ lệ rotor ID / rotorOD để tăng độ cứng và để cho phép tăng tye lệ như vậy trục dẫn từ được sử dụng. Trong một bằng sáng chế thú vị tiếp cận [27], [28], một lõi hoàn toàn bằng lá thép được sử dụng, với vòng ngắn mạch được cố định bởi thanh giằng. Cấu trúc liên kết này bao gồm hai đầu trục thép và các lớp sâu đầy đủ được giữ với nhau bằng một

số thanh thép buộc. Lồng sóc gồm đồng thanh ngắn mạch phân bố ở ngoại vi của lõi và liên kết để hai vòng hợp kim đồng đặt ở cả hai đầu của các ngăn xếp. Ngăn xếp và các vòng được thắt chặt bởi các thanh giằng, cũng được phân phối ở ngoại vi của lõi và vặn vào đầu trục . Cấp bằng sáng chế công nghệ này đang được sử dụng bởi CONVERTEAM SAS (nay là GE Energy) [5]. Động cơ này về mặt thương mại được gọi là MGV (Moteur grande vitesse), trong các phạm vi 3-30 MW và tốc độ từ 6000 để 18.000v/min cho máy nén dầu/khí công nghiệp. Phân tích cơ học /động học rotor cấu trúc liên kết này đã được xử lý nghiêm ngặt trong [29]. Cấu trúc liên kết như vậy cho phép đạt được tốc độ ngoại vi rất cao một động cơ IM rotor nhiều lớp, với tốc độ 250 m / s được báo cáo [5].

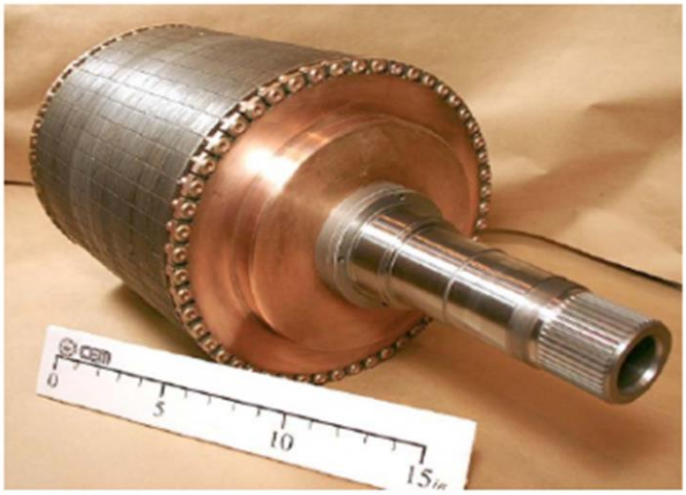
Tốc độ ngoại vi cao nhất đối với IM rotor nhiều lớp được duy trì bằng cách sử dụng các tính năng thiết kế vòng ngắn mạch tiên tiến và bằng cách sử dụng thép tấm cường độ cao, có từ tính cho rotor (không phải là thép điện). Trong [36] và [37], phân tích

được trình bày về các tính năng thiết kế vòng ngắn mạch tiên tiến cho máy công suất 2 MW 15.000v/ phút, được hiển thị trong Hình 3.18, bao gồm một mặt cắt ngang không hình dạng, giảm ứng suất cắt và tích hợp một liên kết, giúp giảm bớt cường độ căng giới hạn, cho phép hoạt động với một tốc độ và nhiệt độ rộng trong phạm vi thiết kế. Đối với các lớp rotor, thép hợp kim AISI 4130 loại máy bay cường độ cao được đề cập [37]. Điều này cho phép tăng tốc độ ngoại vi của rotor lên tới 290 m / s. Tương tự, trong [38], hợp kim có độ từ tính cao, AerMet 100 được sử dụng cho các lớp rotor cho máy 45.500 92v / phút với tốc độ ngoại vi 240 m / s.

3.4.2. Máy PM tốc độ cao

PM máy cũng phổ biến ứng dụng chủ yếu cho tốc độ cao vì mức hiệu suất của chúng cao, không giống như động cơ IM tổn hao rotor có thể được giảm bằng cách rạch; do đó, các nhiệt độ rotor có thể được hạn chế để giảm giá trị cho phân tán xung quanh. Bảng III liệt kê một số máy PM của các tốc độ cao tìm thấy trong tài liệu tham khảo, một lần nữa theo trật tự của tốc độ ngoại

vi . Noguchi *et al.* [41] đã thiết kế một máy PM 2-kW 220.000v/min cho một turbin tăng áp đơn. Các rotor được bằng các nam châm vòng đặt song song được trang bị trên một trục thấm và giữ lại bởi một băng sợi carbon. Một trong tính năng thú vị của rotor này là sự thay bất thường sáu khe-hai cực quấn tập trung. Bố trí cuộn dây này cho ta hệ số quấn dây cơ bản 0,5 việc tạo các sóng hài mô men điều đó đã được phân tích. Điều đó đã chỉ ra rằng tổn hao đồng tằn do hệ số cuộn dây thấp. Nó được thể hiện rằng các tăng trong đồng thiệt hại do để các thấp quanh co yếu tố xa outweighs sự giảm trong rotor thua lỗ dẫn đến từ sự thông thường được sử dụng hơn ba khe-hai cực phân đoạn kết hợp khe cực. Sự kết hợp cực này cũng được sử dụng bởi Shigematsu *et al.* [44], người đã nghiên cứu các kỹ thuật để giảm tổn thất rotor . Tuy nhiên việc lựa chọn tổ hợp rãnh-cực tuwfkeets



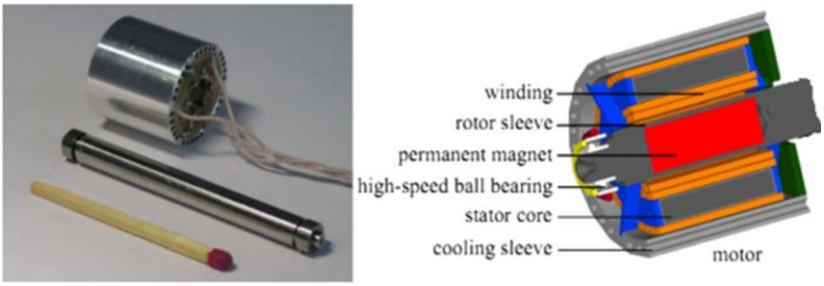
H.3.18. Rotor máy điện 2MW, 15.000v/p ghép bằng các là thép

quả là hiệu suất cảm ứng từ tăngđiều đó cho phép máy làm yếu kích từ. Noguchi *et al.* cũng mô tả các thiết kế của một động cơ PM 1,5-kW 150.000v / min cho một ô tô bơm tăng áp [42], [43], trong đó sử dụng một rotor xây dựng giống như vậy và kết hợp cực-rãnh, nhưng được giữ chặt bằng sợi thủy tinh.

Wang *và cộng sự.* [45] mô tả các rotor thiết kế có các tính năng của một động cơ PM 22kW 120.000v/min với mục đích cải thiện thiết kế rotor để điều

khiển cảm biến. Trong bài báo này, hai cấu hình rotor được trình bày: một sử dụng rotor là các vòng nam châm rỗng song song và động cơ các khác sư dụng rotor hai đoạn song song nhiễm từ trên mỗi cực. Cả cụm từ tính lắp ráp vừa vặn trên trục và được giữ lại bằng ống bọc titan. Nó được chỉ ra rằng, bằng cách phân đoạn các nam châm từ hóa song song, cả hai từ trường cơ bản và bậc 3 ở khe hở không khí đều cải thiện, do đó làm cho động cơ tốt hơn để điều khiển không cảm biến.

Zwyssig *et al.* [46], [47] đã chế tạo và thử nghiệm một có tốc độ cao nhất . Trong [46], việc thiết kế, phân tích và thử nghiệm máy phát PM 100W 500 .000v/phút cho tuabin khí cỡ trung bình được mô tả. Các rotor bao gồm của một nam châm rắn hình trụ song song được giữ trong vòng một phần rỗng của một hai phần trục titan. Các vấn đề cơ học và động học từ tính được xem xét thiết lập được mô tả. Các chi tiết của công trình này được trình bày trong hình. 3.19.



H.3.19 một máy PM 100W, 50.000v/p

Máy này được nhân rộng lên đến một 1-kW 500.000v/min một nút công suất [47], do đó đã tăng được tốc độ ngoại vi của rotor. Cả hai máy sử dụng Stator không xẻ rãnh, với các mục đích của việc giảm thiểu tổn hao rotor và tránh được sự sử dụng Stator có răng rất mỏng (tức là yếu cơ khí) răng Stator. Các tác giả tương tự cũng phát triển một máy PM có công suất 100W và tốc độ1.000000v/ phút [4].

Zhao *và cộng sự.* [48], [49] trình bày thiết kế động cơ PM 2kW 200.000 v/phút cho bộ làm lạnh chu trình Brayton đảo ngược. Tương tự như

[47], một Stator không đục rãnh được sử dụng, và một nam châm rắn đặt bên trong một rỗng trục. Samarium hay coban được sử dụng do tính ổn định của nó ở nhiệt độ đông lạnh. Một nam châm hình elip được sử dụng trong nguyên mẫu này , mặc dù không có lý do nào được đưa ra cho việc này.

Bảng III
Máy PM tốc đọ cao trong tài liệu tham khảo và trong công nghiệp xếp hạn theo mức tốc độ

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

**high strength laminations used*
†company data

Takahashi *và cộng sự.* [50] thảo luận và cân nhắc thiết kế cho động cơ 5 kW 150.000v /phút cho một ứng dụng máy móc công cụ. Các tính năng thiết kế quan trọng được nghiên cứu, đặc biệt lưu ý những lợi ích của việc sử dụng một khe hở không khí vật lý lớn cho máy tốc độ cao, để giảm gợn sóng khe hở và giảm tổn hao do dòng xoáy và ống lot.. Đối với cùng một thiết kế điện từ một số lượng các ống lót dày và vật liệu được nghiên cứu thực nghiệm khẳng

định tính không hiệu quả của việc sử dụng một khe hở không khí tương đối lớn và những lợi ích của việc sử dụng lớp phip dẫn điện thấp đảm bảo giữ tổn hao ro to ở mức thấp. Những lợi ích của việc sử dụng vật liệu dẫn điện thấp để giữ nam châm cũng được xác minh bởi Cho *et al.* [51], người đã thực hiện so sánh với những tổn hao của một máy điện có công suất 50 kW và tốc độ 70. 000v/ min cho tủ bin nén khí có sử dụng một ống lót Inconel718, một thiết kế sử dụng một ống lot sợi carbon, lưu ý giảm gấp sáu lần tổn hao trong rotor.

Binder *và cộng sự.* [52] cung cấp công thức phân tích để thiết kế hệ thống lưu giữ sợi carbon cho các máy tốc độ cao, minh họa bằng nghiên cứu trường hợp động cơ 40kW, 40.000v/phút . Trong cùng bài viết này, sử dụng cùng một nút điện / tốc độ, những hạn chế tốc độ của việc sử dụng máy IPM cho đạt được nam châm được nghiên cứu, và nó được báo cáo rằng, bằng cách sử dụng thép lớp cường SIFE truyền thống, các tối ngoại vi tối được giới hạn đến khoảng 80 m /S. Tốc độ ngoại vi Cao hơn cho IPM máy có thể chỉ đạt được bằng thép silic có độ bền cao, như mô tả của Honda *et al.* [62] người đạt được tốc độ ngoại vi vượt quá 230 m / s cho một IPM.

Tài liệu tham khảo khác đã tập trung vào phương pháp thiets kế đa môi trường và tối ưu hóa máy tốc độ cao, chẳng hạn như công việc được thực hiện bởi Pfitser và Perriard [53], người thiết kế và tối ưu hóa một 2-kW 200.000v/ min và các công việc trình bày bởi Bianchi *et al.* [54] - [56], người đã nghiên cứu các tùy chọn thiết kế sử dụng các vật liệu khác nhau cho động cơ 1kW 25. 000v/p cho ứng dụng máy móc công cụ. Cần lưu ý rằng, đối với tất cả các máy nêu trên, một máy SPM với ống lót cường độ cao (sợi titan / inconel / carbon / sợi thủy tinh) hầu như chỉ được sử dụng.

3.4.3. Máy SR tốc độ cao

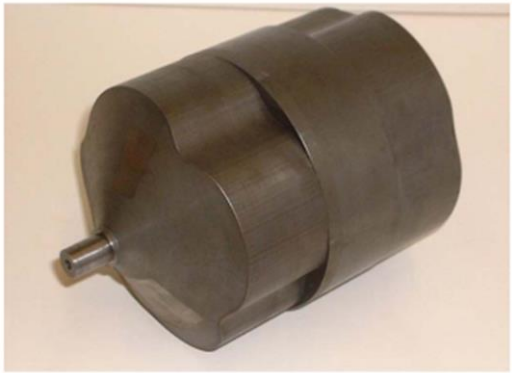
Mặc dù ít phổ biến hơn cho các ứng dụng tốc độ cao so với máy IM và máy PM, một số máy SR đã được phát triển cho một số ứng dụng thích hợp. Khu vực ứng dụng phổ biến hơn dành cho các thị trường sản xuất hàng loạt chi phí thấp (lên đến 1 kW) như máy hút bụi và máy thổi khí [65] -

[67]. Các máy này thường được chế tạo rất đơn giản với cấu hình hai cực bốn khe thường được sử dụng.

Một ứng dụng khác cho máy SR tốc độ cao dành cho động cơ máy bay chạy điện [63], [64]. Ở đây, máy SR thường được sử dụng làm hệ thống khởi động/máy phát (S/ G) để khởi động và khai thác điện thứ cấp. Khả năng không gây ồn , cấu trúc đơn giản và khả năng hoạt động trong môi trường khắc nghiệt (nhiệt độ môi trường khoảng 400° C) khiến SR trở thành lựa chọn phù hợp cho ứng dụng này. Sử dụng các máy này, hầu như độc quyền, các lớp phủ coban vanadi sắt có độ bền cao như Hiperco 50 HS. Bảng IV liệt kê một số máy SR tốc độ cao được tìm thấy trong tài liệu. Trong sự vắng mặt của các kích thước chi tiết của roto máy được xếp loại theo of r/min√kW kW.

Bảng IV
Máy SRM tốc đọ cao theo tài liệu tham khảo và trong công nghiệp xếp hạng theo RPM √kW

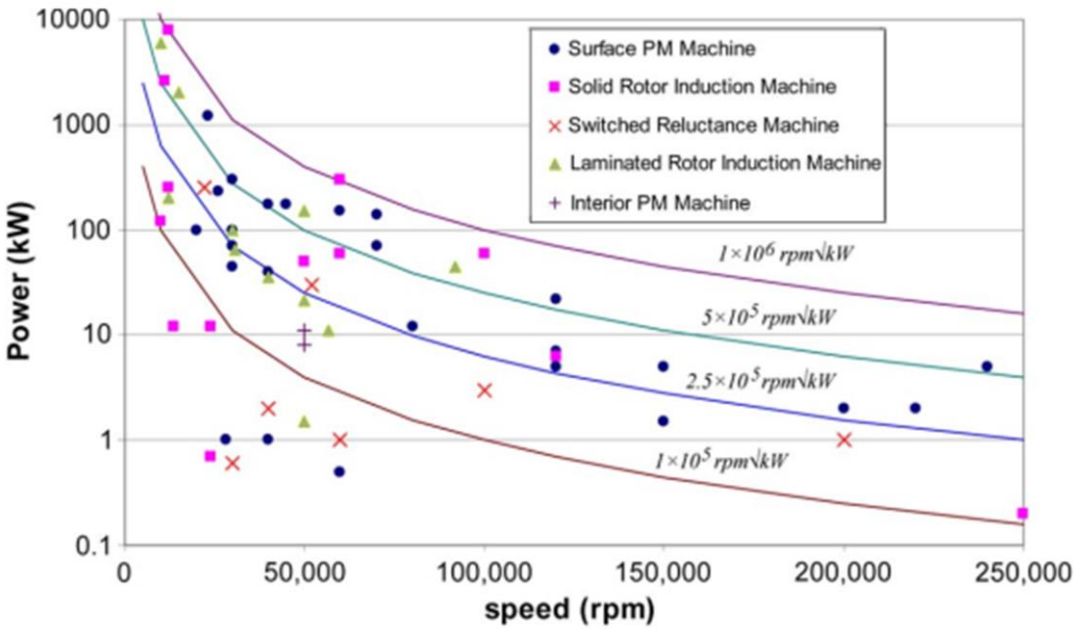
rpm	kW	rpm√kW	Ref.
22200	250	3.51E+05	[63]
52000	30	2.85E+05	[64]
60000	1	6.00E+04	[65]



H.3.20 Máy động bộ 30kW 100.000v/p đơn

Các máy đ máy động bộ có cuộn dây kích từ phổ biến; tuy nhiên, trong trường hợp của các máy đơn cực, cuộn dây kích từ (hoặc nam châm) được đặt ở Stator chứ không phải rotor. Cấu trúc liên kết như vậy dẫn đến một cấu trúc rotor chắc chắn đơn giản có thể được xây dựng từ một mảnh thép cường độ cao duy nhất và phù hợp cho hoạt động tốc độ cao. Máy đơn cực đã được nghiên cứu chủ yếu cho các hệ thống lưu trữ

năng lượng bánh đà tốc độ cao [68], [75] trong đó điều quan trọng là có tổn hao mô men quay zero thấp và tổn thất rotor thấp do máy hoạt động trong chân không. Tsao [68] đã thiết kế và thử nghiệm máy công suất 140. 000v/phút, công suất 140 kW, được thể hiện trong hình 3.20, cho một bánh đà tích hợp. Một rotor rắn có độ bền cao được sử dụng cho cả rotor điện từ và bộ tích trữ năng lượng. Trong động cơ, bốn cực được cắt thành hai phần trên và dưới của rotor, với các cực dưới xoay 45^0 so với các cực trên. Cuộn dây kích từ bao quanh phần trung tâm hình trụ của rotor. Máy thử nghiệm đạt được một hiệu suất trung bình 83% tại công suất trung bình của 9,4kW, trên phạm vi tốc đô 30.000-60.000v/p



H.3.21. Nút tốc độ và r/min

Bảng V
Tổng quan giới hạn của máy điện tốc độ cao

Machine Technology	rpm√kW	m/s
solid rotor IM	$1x10^6$	400
surface PM with sleeve (no rotor laminations)	$8x10^5$	300
laminated rotor IM with high strength SiFe	$6x10^5$	280
SR with high strength VCoFe laminations	$3.5x10^5$	210
laminated rotor IM with normal SiFe	$2.5x10^5$	185
IPM with high strength SiFe laminations	$1.5x10^5$	230

Maas [74] cũng đã phát triển một máy đơn cực đồng bộ cho hệ thống bánh đà 10.KW 50.000v/phút [75].

3.5. Máy phát tốc độ cao chuẩn

Với các máy được liệt kê trong khảo sát tài liệu , cũng như các máy khác từ một khảo sát công nghiệp riêng biệt cho ở Hình 3.21. Trong con số này, các nút công suất tốc độ được vẽ cho tất cả các máy xây dựng và thử nghiệm của các tác giả đã biết.

Trên cùng một đường đặc tính, các dòng v/min √ kW được đặt chồng lên nhau, khái niệm về v/min √ kW, như đã giới thiệu và mô tả trong [1], Là một cấu trúc xứng đáng cho máy móc quay tốc độ cao. Nó cung cấp một số hướng dẫn đáng tin cậy của người dùng để đánh giá từ sự kết hợp giữa tốc độ và công suất, mức độ nghiêm trọng của các vấn đề động học như tốc độ tới hạn , giá trị cao của ổ đỡ *dN* , tốc độ ngoại vi, ứng suất và độ nhạy để cân bằng tốt [1].

Nói chung, các vấn đề động năng là không đáng kể đối với máy móc thiết bị hoạt động dưới $1x10^5$ v/ min √kW và vừa cho máy quay hoạt động giữa $1x10^5$ r / min √ kW và $1x10^6$ r / phút √kW . những vấn đề toán học trên đây khó nhận được sự chính xác hoàn toàn[1].

Các quan sát sau đây được ghi nhận cho máy điện quay tốc độ cao và được tóm tắt trong Bảng V.

1) Các v/ min cao nhất √kW, chỉ cần vượt quá $1x10^6$, đạt được chỉ thông
qua công nghệ IM ro to rắn. Công nghệ này cũng đạt được tốc độ ngoại vi cao nhất được báo cáo, khoảng 400 m / s.

2) Máy đồng bộ mặ phẳng với một cường độ cao duy trì cơ chế (thường là Inconel, titan hoặc sợi carbon) hiện bị giới hạn ở khoảng $8x10^5$ r / phút √kW và tốc độ ngoại vi 300 m / s.

3) Rotor bằng các lá thép ép sử dụng các lá thép điện kỹ thuật thông thường đạt được r/min√kW khoảng $2x10^5$ r/min√kW và tốc độ ngoại vi 185 m / s.

4) IMs nhiều lớp sử dụng thép tấm cường độ cao cho các lớp, chẳng hạn như AerMet 100 hoặc AISI 4130 có thể đạt được khoảng $2,5 x10^5$ r/min√kW. Điều này có thể cũng đạt được bằng cách sử dụng các loại thép điện cường độ cao mới được giới thiệu với ứng suất vượt quá 800 MPa, chẳng hạn như 35HXT780T. Tốc độ ngoại vi điển hình là theo thứ tự 280 m / s.

5) Máy SR có từ hóa bão hòa cao và các lớp ghép VCoFe ứng suất cao đạt được r/min√kW khoảng $3,5x10^5$ và tốc độ ngoại vi trên 200 m / s.

6) Phát triển của thép độ bền cao là tạo một khả năng cho máy PM để để sử dụng cho tốc độ cao thể đạt được với hơn $1,5x10^5$ r / phút r/min√kW và 230 m / s có [62].

3.6.Kết luận

Việc lựa chọn và thiết kế của cấu hình máy điện cho các ứng dụng tốc độ cao thường là một vấn đề phức tạp mà phải được quyết định bằng cách xem xét chặt chẽ các ngành khoa học có liên quan, cụ thể là điện từ, cơ khí, nhiệt điện, điện tử và điện tử công suất. Nội dung chương này đã trình bày những ứng dụng chính để thúc đẩy sự phát triển của các công nghệ, trình bày những ứng dụng của máy có tốc độ cao vào trong các lĩnh vực công nghiệp và đời sống dựa trên các tài liệu tham khảo phong phú cũng như những kết quả của các nhà thiết kế kinh nghiệm đã xác định các thông số có thể đạt được r/min√kW và tốc độ cho các cấu trúc liên kết.

Những khả năng thương mại gần đây của các thép có độ bền cơ học cao sẽ tạo khả năng cho các máy IM dùng các lá thép ép sẽ được dùng nhiều trong các máy điện có tốc độ cao.

PHẦN KẾT LUẬN

Trong thời gian làm đồ án em đã tìm hiểu được hoạt động của máy điện đặc biệt là máy điện tốc độ cao. Qua đây em nhận thấy rằng một lĩnh vực mới của máy điện là máy điện tốc độ cao đã phát triển và được ứng dụng trong nhiều kĩnh vực và đã có những két quả đáng quan tâm.

Do kiến thức hạn chế nên việc tìm hiểu của em còn chưa sâu, em sẽ cố gắng hơn sau này.

Em xin được cám ơn thày giáo hướng dẫn ThS Nguyễn Đoàn Phong đã giúp em rất nhiều để hoàn thành đồ án này.

Em xin cám ơn các thày thuộc bộ môn Tự động Công nghiệp của trường Đại học Quản lý và Công nghệ đã giúp em trong quá trình học tập.

Em xin cảm ơn tất cả các cán bộ, nhân viên nhà trường đã giúp đỡ em trong quá trình em học tập ở trường. Những thiếu sót của em mong được các thày cô, các cán bộ công nhân viên của nhà trường thứ lỗi.

Em xin chân thành cảm ơn.

Hải phòng tháng 07-2021

Sinh viên Phạm Thế Đạt

Tái liệu tham khảo

[1] RD van phayen và JD van phayen, mô-men xoắn dịch chuyển pha để phát triển và giám sát tuabin khí, rèn trong *Proc. Nội bộ Tua bin khí Aeroengine Congr. Hội chợ triển lãm.* , Tháng 6 năm 1991, trang 1 trận10.

[2] JS Shao, LK Hwang, P. R. Miller và SJ Charlton, hệ thống kiểm soát và phân phối EGR, sử dụng máy nén toàn quyền chuyên dụng , Bằng sáng chế Hoa Kỳ 6 216 460, ngày 17 tháng 4 năm 2001.

[3] C. Nelson, Phục hồi năng lượng xả, tháng 6 năm 2010 [Trực tuyến]. Có sẵn: http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/merit_Vview_2010 / high-eff_engine_tech / ace041_nelson_2010_o.pdf

[4] C. Zwyssig, J. W. Kolar và SD Round, hệ thống ổ đĩa Meg Megeedeed: Đẩy xa hơn 1 triệu r / phút, xông *IEEE / ASME Trans. Cơ điện tử* , tập. 14, không. 5, trang 564 Vang574, tháng 10 năm 2009.

[5] R. Lateb, J. enon, và L. Durantay, "cao tốc độ, cao sức mạnh điện duction trong- động cơ công nghệ cho tích hợp máy nén khí," trong *Proc. ICEMS* , tháng 11 năm 2009, trang *1438 141414* .

[6] L. Goldstein, B. Hedman, D. knowles, S. I. Freedman, R. Woods, và T. Schweizer, Công nghệ tài nguyên năng lượng phân tán đốt cháy khí đốt, xông hơi. Phòng thí nghiệm năng lượng tái tạo., Golden, CO, USA, Tech. Dân biểu NREL / TP-620-34783, tháng 11/2003.

[7] Bladon Jets Tua bin khí. [Trực tuyến]. Có sẵn: http: //www.bladonjets. com / công nghệ / khí-tua-bin

[8] K. Senda, M. Namikawa, và Y. Hayakawa, Thép Điện cho Vật liệu lõi Xe ô tô được quảng cáo cho Động cơ, Máy phát điện và Lò phản ứng tần số cao , Res JFE Steel Res. Phòng, Tokyo, Nhật Bản, Tech. Dân biểu ngày 4 tháng 11 năm 2004.

[9] I. Tanaka và H. Yashiki, Từ tính và cơ tính của thép điện không định hướng cường độ cao mới được phát triển , xông *IEEE Trans. Magn.* , tập 46, không 2, trang 290 Từ293, tháng 2 năm 2010.

[10] M. Yabumoto, T. Wakisaka, N. Suzuki, C. Kaido, và T. Kubota, Tấm thép điện của hãng cho động cơ kéo của xe hybrid / xe điện , dây thép Nippon Res. Phòng thí nghiệm, Tokyo, Nhật Bản, Công nghệ. Dân biểu 87, tháng 7 năm 2003.

[11] JR Bumby, E. Spooner và M. Jagiela, phân tích mạch tương đương của các máy cảm ứng rotor rắn có liên quan đến các ứng dụng máy gia tốc tăng áp, *Proc Proc. Điện tử IEE. Ứng dụng điện* . , tập 153, không 3, trang 31 313939, tháng 1 năm 2006.

[12] J. R. Bumby, E. Spooner và M. Jagiela, máy cảm ứng rotor rắn dùng để sử dụng trong các động cơ tăng áp được hỗ trợ bằng điện , xông trong *Proc. Nội bộ Conf. PEMD* , tháng 4 năm 2006, tập. 1, trang 341 Phản345.

[13] J. Pyrhonen, J. Nerg, P. Kurronen và U. Lauber, Hồi công nghệ động cơ cảm ứng rắn tốc độ cao, công suất cao, rotor rắn để nén khí, *xông IEEE Trans. Điện tử.* , tập 57, không 1, trang 272 trục280, tháng 1 năm 2010.

[14] J. Pyrhonen và J. Hupastaen, trộm Một động cơ cảm ứng rotor rắn tốc độ trung bình mới cho máy phay tốc độ cao, ở *Proc. TỐC ĐỘ* , 1996, trang B5-1, B5-8.

[15] T. Aho, Thiết kế điện từ của động cơ rotor bằng thép đặc cho môi trường hoạt động bắt buộc , tiến sĩ Ph.D. Luận án, Lappeenranta Univ. Technol., Lappeenranta, Phần Lan, 2007.

[16] J. Hupastaen, máy cảm ứng rotor rắn tốc độ cao, tốc độ cao, tính toán và thiết kế điện từ, Ph.D. Luận án, Lappeenranta Univ. Technol., Lappeenranta, Phần Lan, 2004.

[17] J. Saari và A. Arkkio, Giảm tổn thất trong động cơ không đồng bộ tốc độ cao , rèn trong *Proc. ICEM* , tháng 9 năm 1994, tập. 3, trang 704 70708708.

[18] N. D. Sharma, R. Anbarasu, J. Nataraj, A. Y. Dangore, và B. Bhattacharjee, điều tra thí nghiệm trên động cơ cảm ứng rotor rắn và composite tốc độ cao, đá ở *Proc. Nội bộ Conf. Power Electron., Truyền*

năng lượng Syst. Tăng trưởng Ấn Độ , tháng 1 năm 1996, tập. 2, trang 913 Từ919.

[19] J. Lahteenmaki, Thiết kế và cung cấp điện áp của máy cảm ứng tốc độ cao, Ph.D. Luận án, Helsinki Univ. Technol., Espoo, Phần Lan, 2002.

[20] J. Lahteenmaki và V. Soitu, "So sánh của rắn thép rotor với một lớp phủ đồng hoặc với một cái lồng đồng cho một 60kW 60 000 máy nén RPM," trong *Proc. ICEM* , tháng 8 năm 2000, tập. 2, trang 623 từ626.

[21] M. Ikeda, S. Sakabe và K. Higashi, nghiên cứu thử nghiệm về động cơ cảm ứng tốc độ cao thay đổi cấu trúc lõi rotor, *xông IEEE Trans. Trao đổi năng lượng* . , tập 5, không 1, trang 98 cạn103, tháng 3 năm 1990.

[22] A. Boglietti, P. Ferraris, M. Lazzari, và F. Profumo, "Về các thiết kế của động cơ cảm ứng tần số rất cao cho các ứng dụng trục chính" trong *Conf. Rec. IAS Annu. Cuộc họp* , tháng 10 năm 1992, tập. 1, trang 25 trận32.

[23] W. L. Soong, G. B. Kliman, R. N. Johnson, R. A. White, và JE Miller, động cơ cảm ứng tốc độ cao Novel cho máy nén khí trung bình thương mại, *IEEE IEEE Trans. Ứng dụng Ind.* , tập 36, không 3, trang 706 trận713, tháng 5 năm 2000.

[24] Y. K. Kim, MC Choi, KH Suh, Y. C. Ji và DS Wang, phát triển động cơ cảm ứng tốc độ cao cho máy nén ly tâm nhỏ , *xông* trong *Proc. ICEMS* , tháng 8 năm 2001, tập. 2, trang 891 cường894.

[25] M. Centner và U. Schafer, "Tối ưu hóa thiết kế của động cơ cảm ứng tốc độ cao trong sự tôn trọng của các điện thép lớp", *IEEE Trans. Ind. Electron.* , tập 57, không 1, trang 288 Vang295, tháng 1 năm 2010.

[26] M. Centner, Tết Entwurf und Erprobung Schnelldrehender Asyn sync-maschinen unter Besonderer Berücksichtigung der Magnetisch Akunchen Materialien, Lau Ph.D. Luận án, Công nghệ Berlin . Đại học, Berlin, Đức, 2009.

[27] K. Velloso Coleues , J. F. Pradurat, N. Barras và E. Thibaut, Thiết kế của động cơ cảm ứng tốc độ cao và biến tần liên kết cho máy ly tâm truyền động trực tiếp, ở *Proc. ICEM* , tháng 9 năm 2008, trang 1 bóng5.

[28] P. Bawin, R. Botte và JM Edebouw, Động cơ điện với công suất cao và tốc độ quay, Bằng sáng chế Hoa Kỳ 5 512 792, ngày 30 tháng 4 năm 1996.

[29] G. Mogenier, R. Dufour, G. Ferraris Besso, L. Durantay và N. Barras, Nhận dạng các đặc tính của ngăn xếp cán: Ứng dụng cho động cơ cảm ứng tốc độ cao , *IEEE IEEE Trans. Ind. Electron.* , tập 57, không 1, trang 281 Vang287, tháng 1 năm 2010.

[30] J. F. Gieras và J. Saari, tính toán hiệu suất cho một động cơ cảm ứng rotor rắn tốc độ cao, tốc độ cao của *IEEE IEEE. Điện tử.* , tập 59, không 6, trang 2689 Điện2700, tháng 6 năm 2012.

[31] B. M. Wood, C. L. Olsen, G. D. Hartzo, J. C. Rama và F. R. Szenasi, Phiên bản động cơ của động cơ cảm ứng 3500-HP 11000-r / phút và ổ đĩa tốc độ có thể điều chỉnh cho dịch vụ nhà máy lọc dầu, *IEEE IEEE Trans. Ind. Appl.* , tập 33, không 3, trang 815 trận825, tháng 5 năm 1997.

[32] F. Viggiano và G. Schweitzer, hỗ trợ từ tính Active Active và thiết kế các cánh quạt tốc độ cao cho các ổ điện mạnh mẽ, đá ở *Proc. Nội bộ Triệu chứng Magn. Vòng bi* , tháng 7 năm 1992, tập. 1, trang 549 mộc558.

[33] R. Siegwart, R. Larsonneur và A. Traxler, Thiết kế và hiệu suất của trục chính tốc độ cao trong AMB's, điều khiển kỹ thuật số tại *Proc. Nội bộ Triệu chứng Magn. Vòng bi* , tháng 8 năm 1990, tập. 1, trang 197

[34] D. Gerada, A. Mebarki, NL Brown, KJ Bradley và C. Gerada, tạm biệt các khía cạnh của máy cảm ứng nhiều lớp mật độ năng lượng cao tốc độ cao , *IEEE Trans. Điện tử.* , tập 58, không 9, trang 4039 214040, tháng 9 năm 2011.

[35] D. Gerada, A. Mebarki, NL Brown, H. Zhang và C. Gerada, Thiết kế, mô hình hóa và thử nghiệm một ổ đĩa cảm ứng tốc độ cao, *xông* trong *Proc. ECCE* , tháng 9 năm 2012, trang 4649 cường4655.

[36] M. Caprio, V. Lelos, J. Herbst, và J. Upshaw, "Nâng cao cảm ứng động cơ endring tính năng thiết kế cho các ứng dụng tốc độ cao,"
trong *Proc. IEMDC* , tháng 5 năm 2005, tập. 1, trang 993 số998.

[37] M. Caprio, V. Lelos, J. Herbst, S. Manifold, và H. Jordon, Máy cảm ứng cường
ộ cao , rotor, vòng cuối lồng rotor và khớp thanh , vòng cuối rotor , và các phương pháp liên quan, Hoa Kỳ Bằng sáng chế 7 504 756, ngày 17 tháng 3 năm 2009.

[38] M. Mekhiche, JL Kirtley, M. Tolikas, E. Ognibene, J. Kiley, E. Holmansky, và F. Nimblett, "cao tốc độ động cơ ổ đĩa phát triển cho công nghiệp ứng dụng," trong *Proc. IEMDC* , tháng 5 năm 1999, tập. 1, tr 244 244248.

[39] M. Larsson, M. Johansson, L. Naslund và J. Hylander, Thiết kế và đánh giá máy cảm ứng tốc độ cao , xông trong *Proc. IEMDC* , tháng 6 năm 2003, tập. 1, trang 77 Lời82.

[40] R. Anbarasu, R. K. Gupta, N. D. Sharma, G. Gauthaman, A. K. Wankhed e, P. H. Chavda, J. Nataraj và B. Bhattacharjee, Thiết kế và điều tra thử nghiệm động cơ cảm ứng lồng sóc tốc độ cao, *xông ở Proc. Nội bộ Conf. Power Electron., Truyền năng lượng Syst. Tăng trưởng Ấn Độ* , tháng 1 năm 1996, tập. 2, trang 920 Vang926.

[41] T. Noguchi, Y. Takata, Y. Yamashita, Y. Komatsu, và S. Ibaraki, Hồi 220000 r / phút 2kW PM ổ đĩa cho turocharger, *trộm IEEJ Trans. Ind. Appl.* , tập 125, không. 9, trang 854 Từ861, tháng 9 năm 2005.

[42] T. Noguchi và M. Kono, Phát triển 150000r / phút Động cơ nam châm vĩnh cửu 1,5kW cho siêu tăng áp ô tô, xông
vào *Proc. IEEE Conf. PEDS* , tháng 11 năm 2007, trang 183.

[43] T. Noguchi và T. Wada, "1.5kW, 150000r / phút siêu tốc độ cao AM động cơ nuôi dưỡng bởi nguồn điện 12V cho supercharger ô tô,"
trong *Proc. EPE* , tháng 9 năm 2009, trang 1 vang9.

[44] K. Shigematsu, J. Oyama, T. Higuchi, T. Abe và Y. Ueno, Cảnh Nghiên cứu về dòng điện xoáy trong phân tích khớp nối rotor và mạch cho động cơ tốc độ cao và siêu tốc, siêu tốc ở *Proc. IPEMC* , tháng 8 năm 2004, trang 275 Từ279.

[45] K. Wang, MJ Jin, JX Shen và H. Hao, hung Nghiên cứu về cấu trúc cánh quạt với sự lắp ráp nam châm khác nhau trong DC Motors không chổi than tốc độ cao, cảm biến *IET Proc. Trúng tuyển. Ứng dụng điện* . , tập 4, không. 4, tr. 241 Vang248, tháng 9 năm 2010.

[46] C. Zwyssig, J. W. Kolar, W. Thaler và M. Vohrer, Thiết kế của một máy phát nam châm vĩnh cửu 100W, 500000 vòng / phút cho các tuabin khí mesoscale, ở tại *Conf. Rec. IAS Annu. Cuộc họp* , tháng 9 năm 2005, trang 253 Lời260.

[47] C. Zwyssig, M. Duerr, D. Hassler và J. W. Kolar, Cảnh Một tốc độ cực cao, 500000 vòng / phút, hệ thống truyền động điện 1 kW, *Hồi ở Proc. PCC* , tháng 4 năm 2007, trang 1577 cường1583.

[48] L. Zhao, C. Hàm, L. Zheng, T. Wu, K. Sundaram, J. Kapat, và L. Chow, "Một đánh giá cao hiệu quả 200,000RPM vĩnh viễn nam châm động cơ hệ thống", *IEEE Trans. Magn.* , tập 43, không. 6, trang 2528 Từ2530, tháng 6 năm 2007.

[49] L. Trịnh, T. X. Wu, D. Acharya, K. B. Sundaram, J. Vaidya, L. Zhao, L. Zhou, CH Ham, N. Arakere, J. Kapat và L. Chow, Thiết kế của một động cơ nam châm vĩnh cửu siêu tốc độ cao siêu tốc , xông *IEEE Trans. Magn.* , tập 41, không 10, trang 3823 Từ3825, tháng 10 năm 2005.

[50] I. Takahashi, T. Koganezawa, G. Su, và K. Ohyama, "Một siêu cao tốc độ hệ thống lái xe cơ giới bằng một biến tần nguồn bán hiện tại," *IEEE Trans. Ind. Appl.* , tập 30, không. 3, trang 683 bóng690, tháng 5 / tháng 6. 1994.

[51] H. W. Cho, S. M. Jang, và S. K. Choi, Một cách tiếp cận thiết kế để giảm tổn thất rotor trong máy nam châm vĩnh cửu tốc độ cao cho máy

nén turbo, *xông IEEE Trans. Magn.* , tập 42, không. 10, trang 3521 trận3523, tháng 10 năm 2006.

[52] A. Binder, T. Schneider, và M. Klohr, cố định các nam châm chôn và gắn trên bề mặt trong các máy đồng bộ nam châm vĩnh cửu tốc độ cao , *IEEE IEEE Trans. Ind. Appl.* , tập 42, không. 4, trang 1031 trận1037, ngày 7 tháng 7. 2006.

[53] P. D. Puitser và Y. Perriard, Triệu Động cơ chiều không khe tốc độ rất cao : Phương pháp mô hình hóa, tối ưu hóa, thiết kế và đo mô-men xoắn, Thiết bị *IEEE Trans. Điện tử.* , tập 57, không 1, trang 296 Góc303, tháng 1 năm 2010.

[54] N. Bianchi, S. Bolognani, và F. Luise, "Tiềm năng và giới hạn của cao tốc PM động cơ", *IEEE Trans. Ind. Appl.* , tập 40, không 6, trang 1570 Từ1578, tháng 11 năm 2004.

[55] N. Bianchi, S. Bolognani và F. Luise, Phân tích và thiết kế một động cơ không chổi than PM cho các hoạt động tốc độ cao, *xông IEEE Trans. Năng lượng Con- vers.* , tập 20, không. 3, trang 629 Điện637, tháng 9 năm 2005.

[56] N. Bianchi, S. Bolognani, và F. Luise, "cao tốc độ ổ đĩa sử dụng một PM động cơ slotless," *IEEE Trans. Điện tử công suất* . , tập 21, không 4, trang 1083 Mạnh1090, tháng 7 năm 2006.

[57] G. Munteanu, A. Binder, T. Schneider, và B. Funieru, "No-load kiểm tra của một 40kW tốc độ cao bearingless động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu," trong *Proc. Nội bộ TỐC ĐỘ* , tháng 6 năm 2010, trang *1460 Lỗi1465* .

[58] T. Schneider, J. Petersen và A. Binder, tầm ảnh hưởng của các tổ hợp cặp cực đối với hiệu suất động cơ nam châm vĩnh cửu không mang tốc độ cao, ở *Proc. PEMD* , tháng 4 năm 2008, trang 707 Lỗi711.

[59] JD Ede, ZQ Zhu và D. Howe, cộng hưởng rotor của máy không chổi than nam châm vĩnh cửu tốc độ cao, *xông IEEE Trans. Ind. Appl.* , tập 38, không 6, trang 1542 Vang1548, tháng 11/2002.

[60] D. Gerada, A. Mebarki, N. L. Brown và C. Gerada, Thiết kế tối ưu của một PMSM vết thương tập trung tốc độ cao, xông vào *Proc. ICEMS* , Tokyo, Nhật Bản, tháng 11 năm 2009, trang 1 trận6.

[61] T. Wang, F. Wang, H. Bai, và J. Xing, Tối ưu hóa thiết kế cấu trúc cánh quạt cho các máy nam châm vĩnh cửu tốc độ cao, đá trong *Proc. IEEE ICEMS* , tháng 10 năm 2007, trang *1438 Mạnh1442* .

[62] Y. Honda, S. Yokote, T. Higaki, và Y. Takeda, "Sử dụng các Halbach mảng nam châm để phát triển một động cơ trục chính siêu cao tốc độ cho máy công cụ," trong *Conf. Rec. IAS Annu. Cuộc họp* , tháng 10 năm 1997, tập. 1, trang 56 đỉnh60.

[63] E. Richter và C. Ferreira, Đánh giá hiệu suất của một máy phát khởi động miễn cưỡng chuyển đổi 250 kW , *Hồi ở Conf. Rec. IAS Annu. Cuộc họp* , tháng 10 năm 1997, tập. 1, trang 434 mỏ440.

[64] CA Ferreira, SR Jones, W. S. Heglund, và W. D. Jones, Thiết kế dự kiến của hệ thống S / G miễn cưỡng chuyển đổi 30 kW cho một ứng dụng tuabin khí, *xông IEEE Trans. Ind. Appl.* , tập 31, không 3, trang 553 bóng561, tháng 5 năm 1995.

[65] HJ Brauer và R. W. deDoncker, mô hình nhiệt của một SRM tốc độ cao cho máy hút bụi, hồi ở *Proc. EPE* , tháng 9 năm 2011, trang 1 trận10.

[66] J. Kim và R. Krishnan, "hiệu quả cao đơn xung ổ điều khiển SRM cho cao tốc độ ứng dụng," trong *Conf. Rec. IEEE IAS Annu. Cuộc họp* , tháng 10 năm 2008, tập. 1, trang 1 vang8.

[67] D. H. Lee, T. H. Phạm và J. W. Ahn, Đặc tính thiết kế và vận hành của SRM tốc độ cao bốn cực hai cực để giảm gợn mô-men xoắn, *IEEE IEEE Trans. Điện tử.* , tập 60, không 9, trang 3637 bóng3643, tháng 9 năm 2013.

[68] P. I. Tsao, "Một tích hợp bánh đà năng lượng lưu trữ hệ thống với một homopo- lar cuộn cảm động cơ / máy phát điện và ổ tần số cao", tiến sĩ luận án, Univ. California, Berkeley, CA, Hoa Kỳ, 2003.

[69] A. Boglietti, RI Bojoi, A. Cavagnino, P. Guglielmi và A. Miotto, Phân tích và mô hình hóa các hiệu ứng vỏ khe rotor trong động cơ dẫn tốc độ cao , *IEEE IEEE Trans. Ind. Appl.* , tập 48, không 4, trang 1279 Từ1287, tháng 7 năm 2012.

[70] K. Y. Bell và S. Abel, Tối ưu hóa nâng cấp quy trình sục khí WWTP để đạt hiệu quả năng lượng, *Technol Thực hành Nước* . , tập 6, không 2, trang 1 trận10, tháng 7 năm 2011.

[71] K. Re Richt và G. Pasquarella, Máy điện tốc độ cao, tiêu chuẩn, xu hướng và vấn đề, *Hồi ở Proc. Công nghệ Stockholm / KTH Stockholm . Conf.* , Stockholm, Thụy Điển, tháng 6 năm 1995, trang 41 bóng49.

[72] W. Canders, "máy tốc độ cao trên từ vòng bi thiết kế con- khái và giới hạn sức mạnh," trong *Proc. ICEM* , tháng 9 năm 1998, trang 20 bóng25.

[73] A. Binder và T. Schneider, Ổ đĩa AC biến tần tốc độ cao , ăn ở *Proc. Nội bộ ACEMP* , tháng 9 năm 2007, trang 9 *trận16* .

[74] C. Maas, Hồi Elektrischer Antrieb für supraleitend-Magnetisch gelagerte Schwungrad-Energiespe Rich, Hồi Ph.D. Luận án, Univ. Stuttgart, Stuttgart, Đức, 1996.

[75] R. Koch, R. Wagner, M. Sander và H. J. Gutt, Phát triển và thử nghiệm hệ thống lưu trữ năng lượng bánh đà 300Wh / 10kW, tại *Proc. Táo. Siêu cond.* , Tháng 9 năm 1999, trang 1055 trận1058.

[76] Máy bay phản lực Bladon, Bơm phân tử Turbo, tháng 5 năm 2012. [Trực tuyến]. Có sẵn: http://www.bladonjets.com/appluggest/turbo-molecular-pumps/

[77] Tập đoàn năng lượng điện tử, tháng 6 năm 2013. [Trực tuyến]. Có sẵn: http://www.electronenergy.com/products/demagnetization-curves/ SmCo217-16-T550C.pdf

[78] David Gerada, Abdeslam Mebarki, Neil L. Brown, Chris Gerada, *Member, IEEE*,Andrea Cavagnino, *Senior Member, IEEE*, and Aldo Boglietti, *Fellow, IEEE* . High-Speed Electrical Machines: Technologies, Trends, and

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