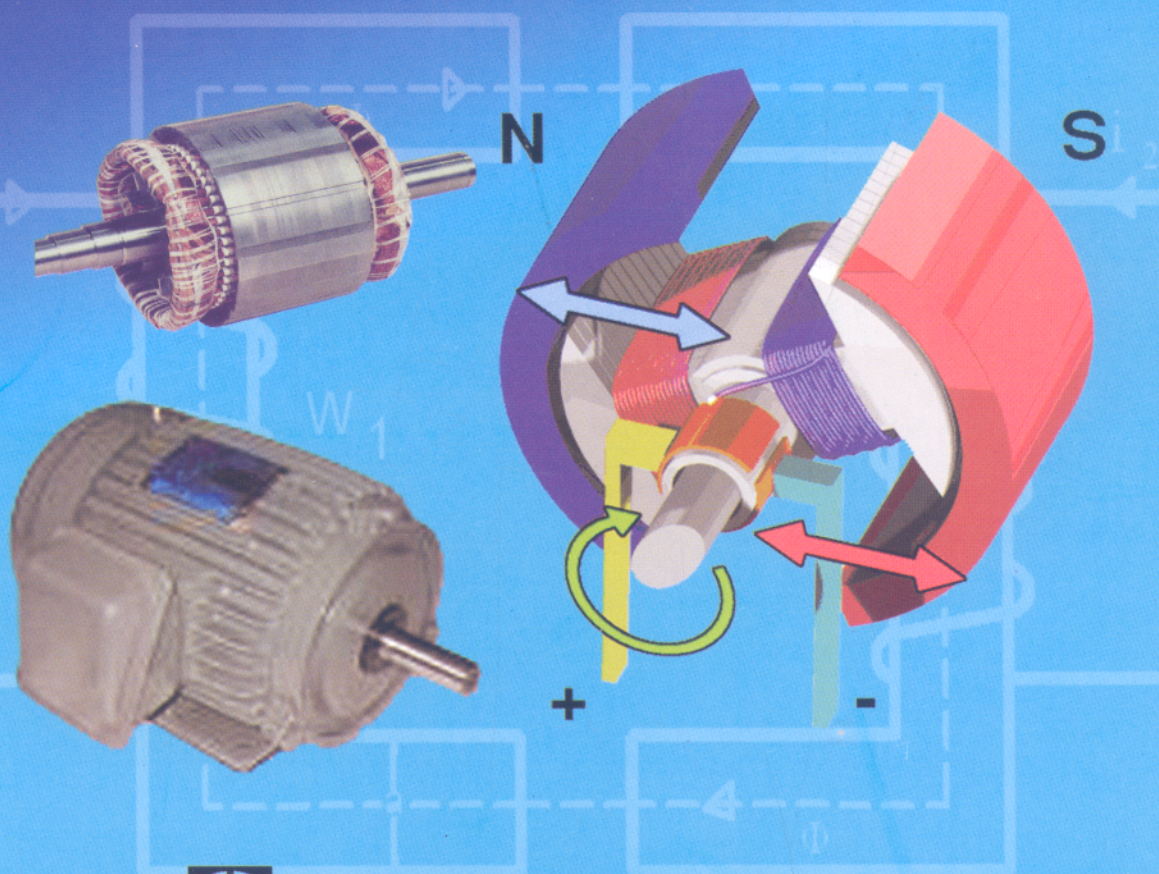


BÙI ĐỨC HÙNG (Chủ biên)
TRIỆU VIỆT LINH

MÁY ĐIỆN

TẬP HAI

DÙNG CHO SINH VIÊN CÁC TRƯỜNG ĐẠI HỌC VÀ CAO ĐẲNG



NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

BÙI ĐỨC HÙNG (Chủ biên)

TRIỆU VIỆT LINH

MÁY ĐIỆN

TẬP HAI

Dùng cho sinh viên các trường Đại học và Cao đẳng

(Tái bản lần thứ nhất)

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

Bản quyền thuộc HEVOBCO – Nhà xuất bản Giáo dục

04-2008/CXB/214-1999/GD

Mã số: 7B667y8-DAI



Lời nói đầu

Xã hội càng phát triển thì nhu cầu sử dụng điện ngày càng lớn. Máy điện là những thiết bị điện được sử dụng nhiều nhất trong tất cả các lĩnh vực của nền kinh tế, vì vậy việc tìm hiểu, nghiên cứu để có những kiến thức cơ bản trong việc thiết kế, sử dụng, vận hành, khai thác máy điện là vấn đề được nhiều người, nhiều ngành quan tâm, đặc biệt là các kỹ sư, kỹ thuật viên ngành điện.

Cuốn *Máy điện* được biên soạn dựa trên cơ sở tham khảo các tài liệu, giáo trình đang sử dụng để học tập, nghiên cứu tại nhiều trường đại học ở Mỹ, Nga và các giáo trình đang sử dụng giảng dạy cho sinh viên các trường đại học trong nước, kết hợp với kinh nghiệm của các tác giả trong nhiều năm công tác và giảng dạy môn Máy điện.

Trong quá trình biên soạn, tác giả đã cố gắng cập nhật những kiến thức mới có liên quan đến môn học, đồng thời gắn những nội dung lý thuyết với các vấn đề thường gặp trong thực tế sản xuất, bổ sung nhiều ví dụ minh họa để người đọc nắm chắc hơn về *Máy điện*.

Nội dung cuốn sách được phân thành hai tập :

Tập 1 : Bắt đầu từ chương 1 đến chương 6 bao gồm các vấn đề sau :

Chương 1. Những khái niệm cơ bản

Chương 2. Mạch điện một pha và ba pha

Chương 3. Mạch từ

Chương 4. Máy biến áp

Chương 5. Nguyên lý biến đổi năng lượng cơ điện

Chương 6. Dây quấn máy điện quay

Tập 2: Từ chương 7 đến chương 11 bao gồm các vấn đề sau :

Chương 7. Máy điện không đồng bộ

Chương 8. Máy điện đồng bộ

Chương 9. Máy điện một chiều

Chương 10. Động cơ một pha và động cơ đặc biệt

Chương 11. Tiết kiệm điện năng trong vận hành thiết bị điện

Cuốn sách được biên soạn làm tài liệu học tập cho đối tượng là sinh viên trong các trường đại học, cao đẳng ngành Điện và cũng là tài liệu tham khảo bổ ích cho các kỹ sư, kỹ thuật viên đang công tác trong ngành Điện.

Trong quá trình biên soạn cuốn sách, mặc dù đã có nhiều cố gắng, nhưng chắc chắn không tránh khỏi khiếm khuyết. Rất mong nhận được những ý kiến đóng góp của bạn đọc để lần tái bản sau được hoàn chỉnh hơn.

Mọi ý kiến đóng góp xin được gửi về : *Công ty Cổ phần Sách Đại học - Dạy nghề (HEVOBCO), 25 Hàn Thuyên, Hà Nội.*

TÁC GIẢ

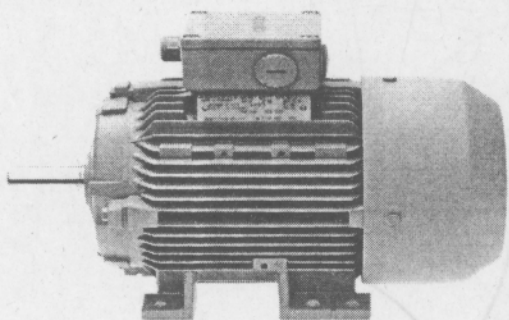
7.1. GIỚI THIỆU

Máy điện không đồng bộ (KĐB) còn có tên khác là máy điện *dị bộ* hoặc máy điện *cảm ứng*. Máy điện KĐB chủ yếu được sử dụng làm động cơ điện. Động cơ KĐB có cấu tạo đơn giản, làm việc tin cậy, ít phải chăm sóc bảo dưỡng và giá thành thấp hơn nhiều so với các loại động cơ khác có cùng công suất nên chúng được sử dụng rất phổ biến trong công nghiệp cũng như trong đời sống sinh hoạt. Các nhà máy chế tạo máy điện quay ở Việt Nam hiện nay chủ yếu là sản xuất động cơ KĐB với sản lượng hàng năm khoảng trên một trăm nghìn sản phẩm.

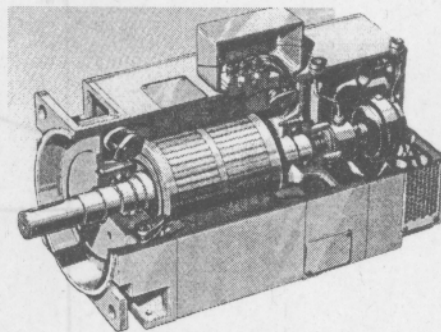
Trong công nghiệp thường sử dụng loại động cơ KĐB 3 pha, còn trong sinh hoạt thường sử dụng loại động cơ 1 pha. Loại động cơ 1 pha có hiệu suất và hệ số $\cos\varphi$ thấp nên chế tạo với công suất nhỏ dưới 7kW. Loại động cơ 3 pha được chế tạo với nhiều dãy công suất, từ vài chục oát đến vài nghìn kilôoát với cấp điện áp đến 6kV.

Loại máy có công suất nhỏ thường dùng điện 1 pha và chúng được sử dụng rộng rãi trong sinh hoạt gia dụng như động cơ trong tủ lạnh, máy giặt, máy sấy, máy xay sinh tố v.v... Với những loại có công suất lớn luôn được thiết kế sử dụng ở lưới điện 3 pha để đạt được mômen là hằng số và giúp cân bằng lưới điện. Trong công nghiệp, để kéo các máy sản xuất có công suất lớn người ta thường sử dụng chủ yếu là động cơ KĐB ba pha.

Hình 7.1a, trình bày một kiểu động cơ không đồng bộ 3 pha loại nhỏ, còn hình 7.1b là loại có công suất trung bình. Hình 7.2 trình bày một động cơ hợp bộ gồm quạt làm mát và động cơ không đồng bộ 3 pha. Hình 7.3 trình bày một động cơ hợp bộ gồm quạt làm mát và động cơ không đồng bộ 3 pha có vỏ phòng nổ, loại này được dùng trong môi trường nguy hiểm như trong các hầm mỏ hoặc những nơi có các chất hoá học dễ gây cháy nổ.



a)

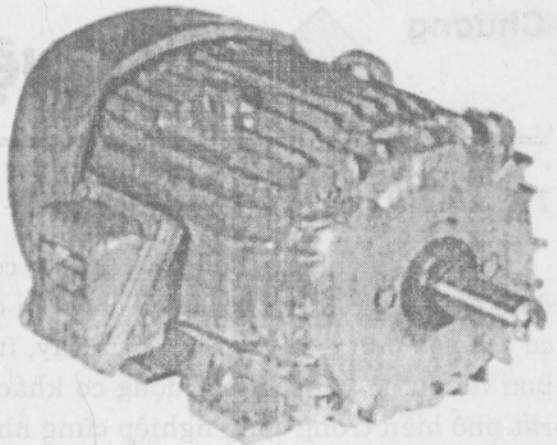
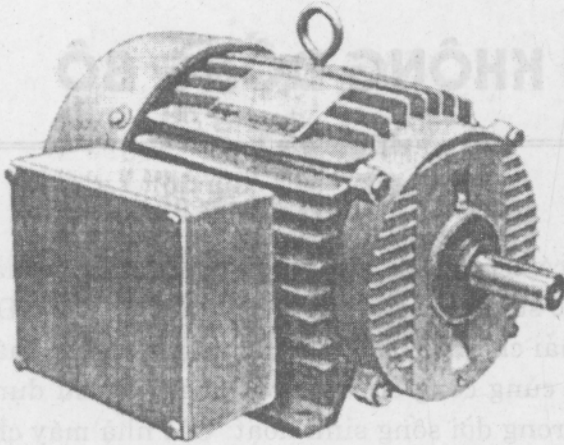


b)

Hình 7.1. Động cơ không đồng bộ 3 pha.

a) Động cơ không đồng bộ 3 pha công suất nhỏ

b) Hình cắt của động cơ không đồng bộ 3 pha công suất trung bình

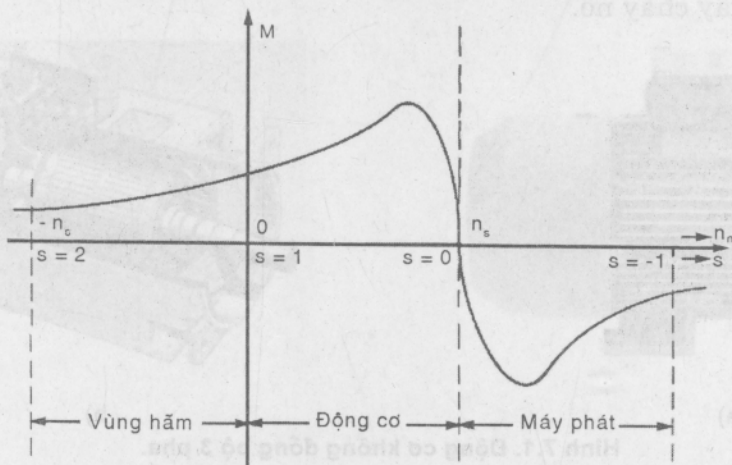


Hình 7.2. Tổng thể động cơ điện 3 pha kiểu kín làm mát bằng quạt gió.

Hình 7.3. Động cơ không đồng bộ kiểu phòng nổ sử dụng trong môi trường nguy hiểm.

Trong các kiểu động cơ không đồng bộ, phần lớn có cuộn dây stato được nối với nguồn điện, còn cuộn dây rôto được nối ngắn mạch hoặc có thể được nối qua điện trở ngoài.

Như vậy, động cơ không đồng bộ là một động cơ kích từ đơn. Trong động cơ, dòng điện xoay chiều chạy trong cuộn dây stato tạo ra từ trường quay, từ trường quay này cảm ứng lên rôto một sức điện động theo định luật cảm ứng điện từ, do rôto nối ngắn mạch mà trong cuộn dây có dòng điện. Dòng điện này lại tạo ra từ trường xung quanh cuộn dây và là nguyên nhân tạo ra từ trường chính làm rôto quay. Do vậy, sự hoạt động của máy điện không đồng bộ dựa trên từ trường quay khép vòng trên rôto, tốc độ quay của rôto phải luôn chậm hơn tốc độ quay của từ trường. Do không phải cung cấp dòng điện cho rôto, nên máy điện không đồng bộ có cấu tạo đơn giản và hoạt động chắc chắn. Thực tế, tên của loại máy này xuất phát từ hiện tượng cảm ứng của dòng điện rôto nên còn gọi là máy điện cảm ứng và do tốc độ quay của rôto luôn sai khác với tốc độ quay của từ trường nên mới gọi là máy điện không đồng bộ. Máy điện không đồng bộ có thể vận hành ở 3 chế độ là: động cơ, máy phát và chế độ hãm như đã chỉ trên hình 7.4.



Hình 7.4. Đặc tính cơ của máy điện không đồng bộ ở các chế độ động cơ, máy phát và hãm.

Trong chế độ động cơ, tốc độ quay của rôto nhỏ hơn tốc độ đồng bộ song ở chế độ máy phát thì tốc độ của nó lớn hơn tốc độ đồng bộ và động cơ cần lấy thêm công suất phản kháng từ lưới, do đó máy cần được nối với lưới điện. Khi đầy tải, tốc độ của động cơ không đồng bộ 3 pha nhỏ hơn tốc độ đồng bộ khoảng 7%, thậm chí khi đầy tải, tốc độ của động cơ chỉ nhỏ hơn 1% thì cũng là bình thường.

Trong chế độ hãm, động cơ không đồng bộ 3 pha đang chạy với tốc độ ổn định có thể dừng nhanh bằng cách chuyển đổi hai trong 3 pha nguồn điện nối với stato rồi ngắt động cơ ra khỏi lưới. Người ta còn gọi kiểu hãm này là hãm ngược. Trong giai đoạn chuyển tiếp, hướng chuyển động của từ trường đột nhiên bị đảo lộn, động cơ sẽ dừng do ảnh hưởng của mômen cản và ngay lập tức phải ngắt ra khỏi lưới điện trước khi nó có thể khởi động lại theo chiều ngược lại. Quá trình này cũng được gọi là sự vận hành theo kiểu đẩy kéo.

Vì động cơ không đồng bộ không cần kích từ, nó cần công suất phản kháng lấy từ nguồn cấp nên có hệ số công suất nhỏ hơn 1 (thường trên 0,85). Tuy nhiên khi chạy với tải nhẹ, hệ số công suất có thể nhỏ hơn. Để giới hạn công suất nguồn, điện kháng từ hoá phải có trị số lớn, và như vậy khe hở không khí của động cơ này phải nhỏ hơn so với động cơ đồng bộ có cùng kích cỡ và tốc độ. Điều này sẽ chưa chắc đúng với các động cơ công suất nhỏ. Thêm nữa, dòng điện khởi động của động cơ không đồng bộ thường bằng 5 – 7 lần dòng định mức của máy và tốc độ của động cơ không đồng bộ là không dễ điều khiển.

Cho dù các loại máy điện không đồng bộ rôto dây quấn và kể cả rôto lồng sóc có thể sử dụng như máy phát điện, song các đặc tính của nó trong sử dụng vận hành, đặc biệt là so sánh với máy phát đồng bộ không được tốt. Tuy nhiên, máy phát không đồng bộ thường được sử dụng làm máy phát thủy điện, phong điện hoặc máy phát công suất nhỏ làm việc độc lập với lưới. Máy điện không đồng bộ rôto dây quấn còn có thể sử dụng như một máy biến đổi tần số bởi tần số dòng điện rôto luôn phụ thuộc vào hệ số trượt hay tốc độ quay của rôto.

7.2. CẤU TẠO CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

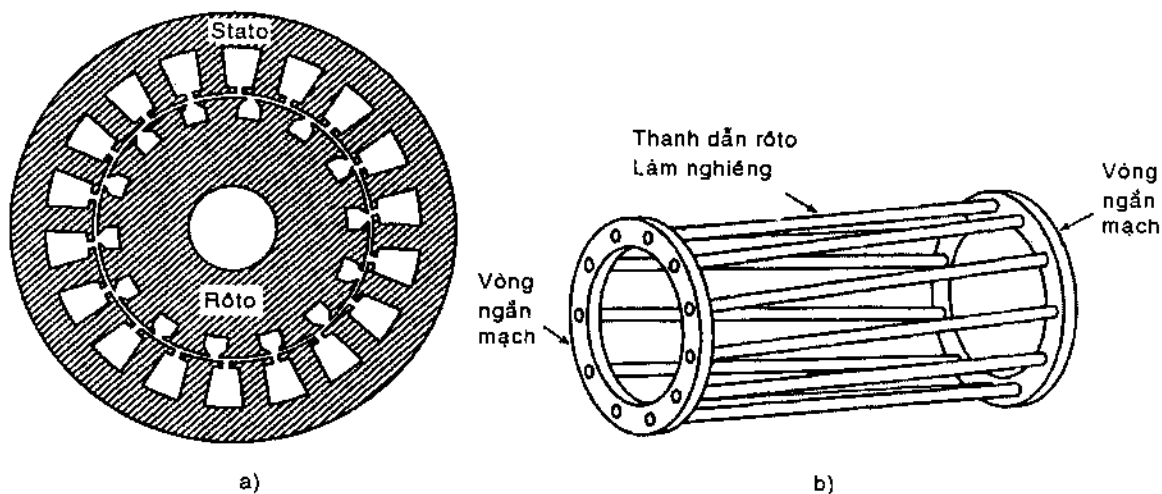
Nhìn chung, stato của máy điện không đồng bộ 3 pha giống của máy đồng bộ. Tuy nhiên, rôto thì lại khác. Thực tế, động cơ không đồng bộ 3 pha được chia làm 2 loại theo cấu tạo của rôto là rôto dây quấn và rôto lồng sóc.

Hình 7.5a vẽ mặt cắt của mạch từ của động cơ không đồng bộ rôto dây quấn. Lõi thép stato và rôto được làm từ nhiều lá thép kỹ thuật điện mỏng (thường là 0,5mm) ép chặt với nhau, giữa các lá thép có phủ chất cách điện và trên các lá thép có xẻ rãnh để đặt các cuộn dây. Động cơ rôto dây quấn có 3 pha đối xứng giống cuộn dây stato và được quấn với số cực bằng số cực của stato. Các dây quấn pha của rôto nối chung điểm đầu với nhau, đầu còn lại nối với một vành trượt gắn trên trục rôto như hình 7.6. Mạch ngoài sử dụng các biến trở bằng nhau nối với dây quấn dùng để điều khiển tốc độ hoặc khởi động thông qua việc nối với các vành trượt bằng các

chổi than. Tất cả các cuộn dây rôto đều nối hình sao, điểm trung tính ngoài được nối với đất. Hình 7.7 minh họa động cơ không đồng bộ 3 pha rôto dây quấn điện trở nối ngoài, có 3 cuộn dây rôto nối sao và nối với biến trở bên ngoài thông qua hệ thống vành trượt và tiếp xúc bằng chổi than. Động cơ không đồng bộ 3 pha rôto dây quấn còn được gọi là động cơ vành trượt cũng vì lý do này.

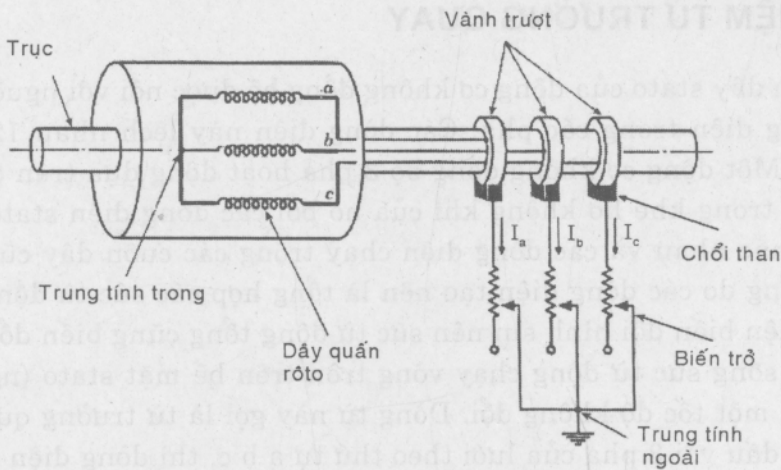
Lưu ý rằng, cuộn dây rôto không cần phải giống hệt cuộn dây stato. Tuy nhiên, cả 2 phải có cùng số cực. Số rãnh của rôto và stato không nên giống nhau, sự phối hợp không hợp lý giữa số rãnh rôto và stato có thể là nguyên nhân gây rung hoặc ồn cho máy và đôi khi chính sự phối hợp này làm cho động cơ không khởi động được do mômen mở máy nhỏ.

Rôto lồng sóc được sử dụng rộng rãi nhất. Hình 7.5b minh họa hình lồng sóc của rôto lồng sóc. Thay vì có các cuộn dây đặt trong các rãnh thì trên rôto lồng sóc có các thanh dẫn bằng đồng hoặc nhôm, hay còn gọi là thanh dẫn rôto. Thanh dẫn rôto được đầu ngắn mạch bởi 2 vòng ngắn mạch có cùng chất liệu. Các thanh dẫn được đặt song song hoặc gần song song với trục và nằm ở trong rãnh của lõi thép. Thanh dẫn không cách điện với lõi thép, do đó dòng điện rôto chảy theo đường có điện trở nhỏ nhất qua các thanh dẫn rôto. Trong các động cơ công suất lớn, thanh dẫn rôto có thể làm từ đồng hoặc hợp kim đồng đặt trong các rãnh và hàn với vòng ngắn mạch cũng được làm bằng đồng hoặc hợp kim đồng cùng chất liệu với thanh dẫn. Trong các động cơ nhỏ, rôto thường có các thanh dẫn đúc bằng nhôm và lõi thép sau khi được xếp trên một trục gá thì được đặt vào khuôn và rót nhôm nóng chảy vào, nhôm sẽ điền đầy các rãnh để tạo nên các thanh dẫn như hình 7.8. Khi chế tạo khuôn đúc, người ta cũng tính đến việc đúc liền vòng ngắn mạch, quạt khuấy gió và các vấu cân bằng động cùng một lúc để thuận lợi và tiết kiệm kim loại.

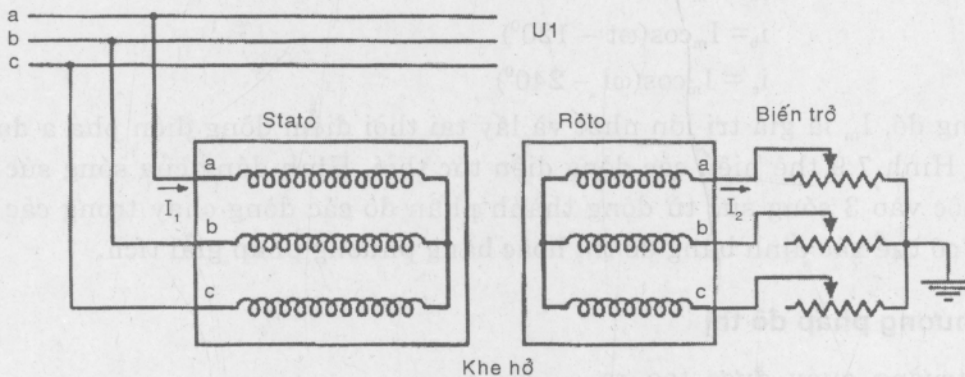


Hình 7.5

- a) Mặt cắt ngang mạch từ của động cơ không đồng bộ rôto dây quấn;
b) Dây quấn lồng sóc của động cơ không đồng bộ.



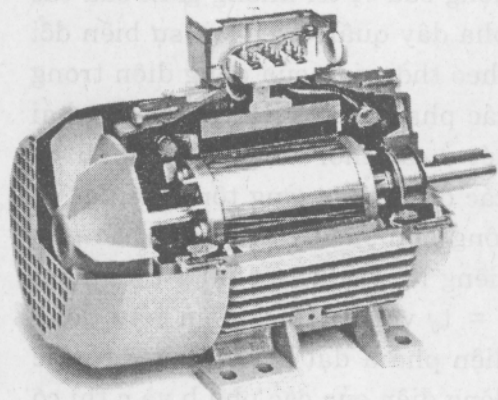
Hình 7.6. Sơ đồ nguyên lý động cơ không đồng bộ 3 pha rôto dây quấn với vành trượt



Hình 7.7. Sơ đồ nguyên lý động cơ không đồng bộ 3 pha rôto dây quấn điện trở nối ngoài.

Thanh dẫn rôto lồng sóc thường không song song với trục rôto, chúng thường được làm nghiêng như ở hình 7.5b và nhìn trên hình 7.8, nó tạo ra mômen không đổi và cũng làm giảm tiếng ồn do từ trường bậc cao, và giảm rung khi động cơ vận hành.

Động cơ không đồng bộ là nguồn động lực cơ bản kéo máy sản xuất, do vậy để chúng đạt được hiệu suất cao là hết sức cần thiết. Muốn vậy, rôto của động cơ phải có tốc độ gần tốc độ đồng bộ. Tốc độ đồng bộ là một hàm của tần số, điện áp stato và số cực của động cơ. Do đó, có thể biến đổi tốc độ quay ω dựa trên việc thay đổi tần số nguồn điện. Gần đây, nhờ phát triển công nghệ bán dẫn mà có thể ứng dụng việc thay đổi tần số nguồn cấp đối với động cơ không đồng bộ, do đó làm tăng thêm nhiều ứng dụng của loại động cơ này.



Hình 7.8. Hình cắt của động cơ không đồng bộ 3 pha rôto lồng sóc.

7.3. KHÁI NIỆM TỪ TRƯỜNG QUAY

Khi 3 cuộn dây stato của động cơ không đồng bộ được nối với nguồn áp 3 pha thì xuất hiện dòng điện trong các pha. Các dòng điện này lệch nhau 120° điện, giống như hình 7.9. Một động cơ không đồng bộ 3 pha hoạt động dựa trên từ trường quay được thiết lập trong khe hở không khí của nó bởi các dòng điện stato. Vì vị trí của cuộn dây là khác nhau và các dòng điện chạy trong các cuộn dây cũng khác nhau, sức từ động tổng do các dòng điện tạo nên là tổng hợp các sức từ động của các pha. Do các dòng điện biến đổi hình sin nên sức từ động tổng cũng biến đổi hình sin. Kết quả là có một sóng sức từ động chạy vòng tròn trên bề mặt stato (nghĩa là khe hở không khí) với một tốc độ không đổi. Dòng từ này gọi là từ trường quay. Nếu 3 pha đối xứng được đấu với 3 pha của lưới theo thứ tự a b c, thì dòng điện chạy trong các pha của động cơ có thể biểu diễn như sau:

$$i_a = I_m \cos \omega t \quad (7.1)$$

$$i_b = I_m \cos(\omega t - 120^\circ) \quad (7.2)$$

$$i_c = I_m \cos(\omega t - 240^\circ) \quad (7.3)$$

Trong đó, I_m là giá trị lớn nhất và lấy tại thời điểm dòng điện pha a đạt giá trị cực đại. Hình 7.9 thể hiện các dòng điện tức thời. Hình dáng của sóng sức từ động phụ thuộc vào 3 sóng sức từ động thành phần do các dòng chạy trong các pha tạo nên. Nó có thể xác định bằng đồ thị hoặc bằng phương pháp giải tích.

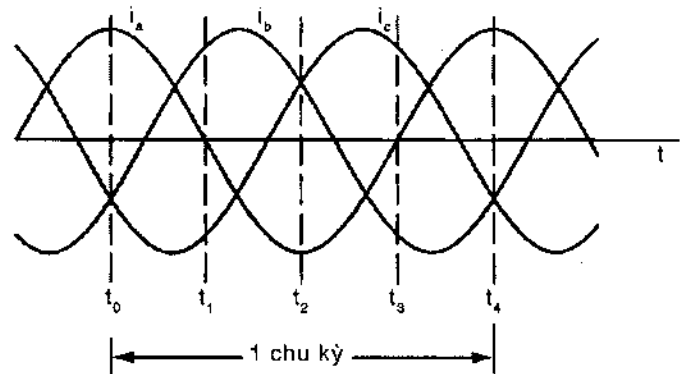
7.3.1. Phương pháp đồ thị

Từ trường quay được tạo ra bởi sức từ động tổng do sự tác động của vị trí không gian của các pha dây quấn cùng với sự biến đổi theo thời gian của dòng điện trong các pha. Đối với từng pha ta phải xét ở các thời điểm khác nhau và xác định từ trường tổng trên cơ sở tổng hợp sức từ động của các pha riêng lẻ. Ví dụ, xét tại 1 thời điểm $t = t_0$ và tại thời điểm này dòng điện pha a đạt giá trị cực đại, các dòng điện của các pha b và c thì có thể tính như sau:

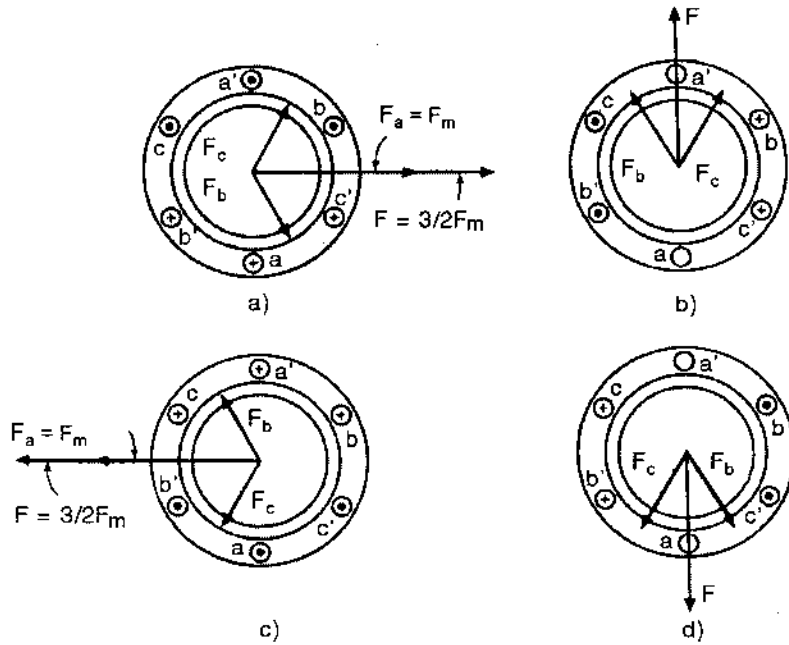
$$i_a = I_m \quad (7.4)$$

$$i_b = -\frac{I_m}{2} \quad (7.5)$$

$$i_c = -\frac{I_m}{2} \quad (7.6)$$



Hình 7.9. Dòng điện 3 pha đối xứng trong các cuộn dây 3 pha.



Hình 7.10. Từ trường quay trong 4 khoảng thời gian khác nhau của hình 7.9.

a) $t = t_0 = t_4$; b) $t = t_1$; c) $t = t_2$; d) $t = t_3$.

Xét các pha trên hình 7.10a, để thuận tiện và đơn giản ta thay bằng cuộn dây đơn. Ví dụ, cuộn a, a' đại diện cho toàn bộ dây quấn pha a (thường chiếm hết 60 độ điện), với vectơ sức từ động F_a của nó nằm ngang. Theo quy tắc bàn tay phải sẽ xác định hướng của nó. Tương tự, với vectơ F_b của cuộn dây pha b thì lệch 120° điện so với pha a và tương tự F_c của pha c lệch 120° điện so với pha b. Rõ ràng, đầu và cuối ký tự dùng để biểu thị đầu và cuối của các pha là khác nhau. Chiều của dòng điện trong các cuộn dây được quy ước bằng các điểm và các hình dấu cộng như trên hình 7.10. Dòng điện trong dây quấn pha a đạt lớn nhất tại $t = t_0$, và được biểu thị bằng 1 vectơ $F_a = F_m$, là vectơ của pha a như trên hình 7.10a. Các sóng sức từ động của pha b và c được biểu diễn bằng các vectơ F_b và F_c , có độ lớn của từng vectơ là $\frac{F_m}{2}$ và có hướng ngược với hướng chuẩn của chúng. Tổng của 3 vectơ là 1 vectơ có giá trị $F = \frac{3}{2} F_m$ nằm cùng hướng với vectơ của pha a, giống hình 7.10.

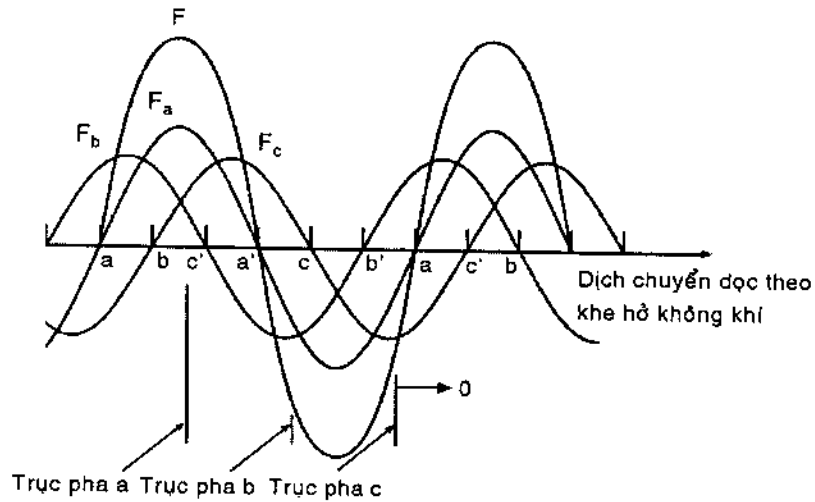
Hình 7.11 thể hiện các sóng sức từ động thành phần và tổng của chúng tại thời điểm $t = t_0$. Bây giờ coi như sau khoảng thời gian t_1 , giống hình 7.10b dòng điện và từ trường trên các dây quấn pha có thể biểu diễn như sau:

Hình vẽ thể hiện hướng của dòng điện, các sức từ động thành phần và sức từ động tổng tại thời điểm $t = t_1$ với lưu ý rằng từ trường tổng bây giờ đã quay cùng chiều kim đồng hồ một góc 90° trong không gian.

$$i_a = 0 \quad \text{và} \quad F_a = 0 \quad (7.7)$$

$$i_b = \frac{\sqrt{3}}{2} I_m \quad \text{và} \quad F_b = \frac{\sqrt{3}}{2} F_m \quad (7.8)$$

$$i_c = -\frac{\sqrt{3}}{2} I_m \quad \text{và} \quad F_c = -\frac{\sqrt{3}}{2} F_m \quad (7.9)$$

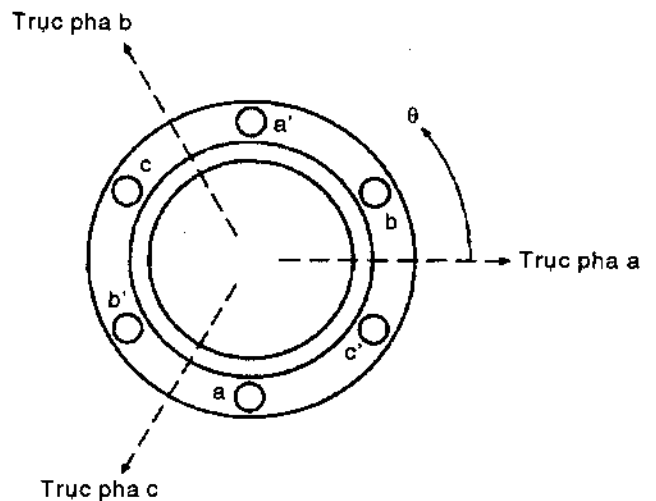


Hình 7.11. Các thành phần sóng sức từ động dọc theo khe hở tại thời điểm $t = t_0$ theo hình 7.10a.

Tương tự, ở hình 7.10c và 7.10d thể hiện hướng dòng điện, các sức từ động thành phần và sức từ động tổng tại các thời điểm $t = t_2$ và $t = t_3$. Nó cho thấy rằng khi thời gian trôi qua, từ trường tổng giữ nguyên hình dáng và giá trị, nhưng dịch chuyển quanh khe hở không khí. Trong một chu kỳ biến đổi của dòng điện, từ trường tổng trở lại dạng giống hình 7.10a. Do đó, sóng từ trường tổng ứng với toàn bộ 1 chu kỳ của dòng điện thì đi qua 2 cực của máy. Vì vậy, máy có p cực, từ trường tổng quay với tốc độ là $2/p$ vòng.

7.3.2. Phương pháp giải tích

Giả sử rằng máy có 2 cực, 3 pha dây quấn trên stato. Sức từ động tức thời tại bất kỳ thời điểm nào cũng là tổng hợp của các thành phần sức từ động của các pha. Mỗi cuộn dây pha tạo ra một phần mà nó thay đổi theo thời gian cùng với một trục không gian cố định. Hình 7.12 thể hiện sự bố trí 3 cuộn dây stato một cách đơn giản của một máy 2 cực. Sóng sức từ động tổng tại bất kỳ điểm nào trên khe hở không khí đều có thể xác định bởi góc θ . Cần chú ý rằng gốc của trục pha, giống như hình 7.12. Sức từ động tổng theo góc θ có thể biểu diễn như sau:



Hình 7.12. Sắp xếp dây quấn stato 3 pha của máy 2 cực đơn giản.

$$F(\theta) = F_a(\theta) + F_b(\theta) + F_c(\theta) \quad (7.10)$$

Về bên phải của phương trình trên là tổng của các sức từ động xoay chiều tức thời của các pha. Mỗi cuộn dây pha tạo ra một sức từ động hình sin phân bố dọc theo trục của dây quấn pha đó và có giá trị tỷ lệ với dòng điện tức thời chạy trong dây quấn. Ví dụ, thành phần sức từ động pha a theo góc θ có thể biểu diễn như sau:

$$F_a(\theta) = F_m \cos \theta \quad (7.11)$$

Ở đây F_m là biên độ hay giá trị cực đại của sức từ động pha a, do đó phương trình 7.11 có thể viết lại như sau:

$$F_a(\theta) = w \cdot i_a \cdot \cos \theta \quad (7.12)$$

Với

w : số vòng dây của cuộn dây pha a.

i_a : giá trị tức thời của dòng điện chạy trong pha a.

Với các pha giống như hình 7.12 cách nhau là 120° điện, sức từ động của pha b và c có thể biểu diễn như sau:

$$F_b = F_m \cos(\theta - 120^\circ) \quad (7.13)$$

$$F_c = F_m \cos(\theta - 240^\circ) \quad (7.14)$$

Hoặc

$$F_b = w \cdot i_b \cos(\theta - 120^\circ) \quad (7.15)$$

$$F_c = w \cdot i_c \cos(\theta - 240^\circ) \quad (7.16)$$

Vì vậy, sức từ động tổng tại θ là:

$$F(\theta) = F_m \cos \theta + F_m \cos(\theta - 120^\circ) + F_m \cos(\theta - 240^\circ) \quad (7.17)$$

Hoặc có thể viết là:

$$F(\theta) = w \cdot i_a \cos \theta + w \cdot i_b \cos(\theta - 120^\circ) + w \cdot i_c \cos(\theta - 240^\circ) \quad (7.18)$$

Tuy nhiên, các dòng điện tức thời i_a , i_b , i_c là các hàm của thời gian và có thể biểu diễn như sau:

$$i_a = I_m \cos \omega t \quad (7.19)$$

$$i_b = I_m \cos(\omega t - 120^\circ) \quad (7.20)$$

$$i_c = I_m \cos(\omega t - 240^\circ) \quad (7.21)$$

Ở đây I_m là giá trị cực đại của dòng điện và gốc thời gian thì được lấy tại thời điểm khi dòng điện pha a đạt giá trị cực đại dương. Giá trị ω là tần số góc của dòng điện stato và được xác định là:

$$\omega = 2\pi f \text{ rad/s} \quad (7.22)$$

Với f là tần số của dòng điện stato đo bằng Hz. Do đó, phương trình 7.18 có thể biểu diễn:

$$F(\theta, t) = w \cdot I_m \cos \omega t \cos \theta + w \cdot I_m \cos(\omega t - 120^\circ) \cos(\theta - 240^\circ) + w \cdot I_m \cos(\omega t - 120^\circ) \cos(\theta - 240^\circ) \quad (7.23)$$

Bằng cách sử dụng công thức:

$$\cos x \cos y = \frac{1}{2} \cos(x + y) + \frac{1}{2} \cos(x - y) \quad (7.24)$$

Bằng cách này vế phải của phương trình 7.23 có thể viết lại thành tổng của 2 dạng hàm cosin, một hàm là hiệu và một hàm là tổng của 2 góc. Từ trường tổng của 3 pha có thể biểu diễn như sau:

$$\begin{aligned} F(\theta, t) = & \frac{1}{2} w I_m \cos(\omega t - \theta) + \frac{1}{2} w I_m \cos(\omega t + \theta) + \\ & \frac{1}{2} w I_m \cos(\omega t - \theta) + \frac{1}{2} w I_m \cos(\omega t + \theta - 240^\circ) + \\ & \frac{1}{2} w I_m \cos(\omega t - \theta) + \frac{1}{2} w I_m \cos(\omega t + \theta + 240^\circ) \end{aligned} \quad (7.25)$$

Tuy nhiên, biểu thức này chỉ biểu diễn sức từ động tại một vị trí, thế nhưng tại các vị trí thứ 2, 4, 6 thì chúng có cùng biên độ và lệch nhau 120° , nên giá trị tổng của chúng bằng 0. Do đó, phương trình 7.25 đơn giản là:

$$F(\theta, t) = \frac{3}{2} w I_m \cos(\omega t - \theta) \quad (7.26)$$

$$\text{Hoặc:} \quad F(\theta, t) = \frac{3}{2} F_m \cos(\omega t - \theta) \quad (7.27)$$

Tổng hợp lại thì từ trường tổng quay ngược chiều kim đồng hồ với vận tốc góc ω rad/s trong khe hở không khí. Tốc độ này thường được ký hiệu là ω_s và bằng tốc độ đồng bộ ($\omega_s = \omega$). Giả định rằng tại thời điểm t_1 , từ trường tổng phân bố hình sin xung quanh khe hở không khí với điểm cực đại nằm tại vị trí $\theta = \omega t_1$. Nếu sau khoảng thời gian t_2 , điểm cực đại của sóng nằm ở $\theta = \omega t_2$, thì từ trường tổng đã di chuyển bằng $\omega(t_2 - t_1)$ quanh khe hở không khí. Vì thế, dòng điện nhiều pha là nguyên nhân sinh ra từ trường quay trong khe hở không khí giống như có một nam châm vĩnh cửu quay trong stato của máy.

7.4. SỨC ĐIỆN ĐỘNG CẢM ỨNG

Giả thiết rằng trong rôto dây quấn thì các cuộn dây được nối hình sao 人 và để hở mạch. Vì dây quấn hở mạch nên không có mômen hình thành và rôto không quay. Đó được xem như là trạng thái ngừng hoạt động của động cơ không đồng bộ 3 pha. Nối 3 pha dây quấn stato vào mạch điện 3 pha có tần số f_1 sẽ tạo ra từ trường quay, từ trường này cắt cả dây quấn rôto và stato với tần số f_1 . Vì vậy, giá trị sức điện động (Sđđ) cảm ứng trên các dây pha rôto có thể biểu diễn như sau:

$$E_2 = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f_1 w_2 k_{dq2} \quad (7.28)$$

$$\text{Hoặc} \quad E_2 = 4,44 f_1 w_2 k_{dq2} \quad (7.29)$$

Trong đó, chỉ số 1 và 2 là chỉ stato và rôto. Khi rôto dừng hoạt động, tần số f_1 của stato được dùng trong các phương trình 7.28 và 7.29. Tại đây, sự biến đổi của f là sự biến đổi qua lại trên các cực của cả dây quấn stato và rôto. Đơn giản là giá trị của Sđđ cảm ứng stato trên từng pha dây quấn có thể biểu diễn như sau:

$$E_1 = 4,44f_1 w_1 \Phi k_{dq1} \quad (7.30)$$

Do đó có thể thấy rằng:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1 k_{dq1}}{w_2 k_{dq2}} \quad (7.31)$$

Trong đó, k_{dq1} và k_{dq2} là hệ số dây quấn của stato và rôto. Vì chúng giống nhau nên hệ số biến đổi có thể tìm như sau:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} = k \quad (7.32)$$

Nhận thấy rằng có sự tương tự nhau giữa máy điện không đồng bộ ở trạng thái tĩnh với một máy biến áp mà các cuộn dây stato và rôto thì coi như là cuộn dây sơ cấp và thứ cấp của máy biến áp.

7.5. ĐỊNH NGHĨA HỆ SỐ TRƯỢT RÔTO

Trong trường hợp cuộn dây stato được nối với nguồn điện 3 pha và mạch điện rôto nối ngắn mạch, điện áp cảm ứng trên dây quấn rôto tạo ra dòng điện 3 pha trên rôto. Dòng điện này cũng tạo ra một từ trường quay trong khe hở không khí. Từ trường cảm ứng này cũng quay với tốc độ đồng bộ. Hay nói cách khác, từ trường stato và từ trường rôto thì cố định so với nhau. Kết quả là rôto tạo ra một mômen theo nguyên tắc cùng chiều với từ trường. Do đó, theo luật Lenz, rôto bắt đầu quay theo từ trường quay của stato. Ở đây, từ trường stato có thể coi như đã kéo từ trường rôto. Mômen được duy trì dài hơn so với từ trường quay và dòng điện cảm ứng trên rôto. Cũng vậy, Sđđ cảm ứng trong cuộn dây rôto phụ thuộc vào tốc độ tương đối giữa rôto với từ trường quay. Ở trạng thái làm việc ổn định, trục quay với tốc độ n_m nhỏ hơn tốc độ đồng bộ n_s là tốc độ từ trường quay của stato trong khe hở không khí. Tốc độ đồng bộ được xác định thông qua tần số f_1 của nguồn, tính bằng Hz và số đôi cực của dây quấn stato, p . Cho nên:

$$n_s = \frac{120f_1}{p} \text{ (v/ph)} \quad (7.33)$$

Tất nhiên, tại $n_m = n_s$ sẽ không tạo ra điện áp và dòng điện cảm ứng trong dây quấn rôto và do đó không có mômen. Vì vậy, tốc độ của trục rôto không bao giờ bằng với tốc độ đồng bộ, nhưng có tốc độ thấp hơn một ít.

Hệ số trượt (cũng gọi là hệ số trượt rôto) được định nghĩa như là sự khác nhau giữa tốc độ đồng bộ và tốc độ rôto và cho biết độ nhỏ hơn của tốc độ rôto so với tốc độ đồng bộ. Do đó:

$$n_{shp} = n_s - n_m \quad (7.34)$$

Với

n_{shp} là tốc độ trượt của động cơ trên rôto;

n_s là tốc độ đồng bộ;

n_m là tốc độ rôto.

Do đó, độ trượt biểu diễn bằng giá trị trên một thành phần hoặc bằng % trên một thành phần là:

$$s = \frac{n_s - n_m}{n_s} \quad (7.35)$$

Và bằng % là: $s\% = \frac{n_s - n_m}{n_s} \cdot 100 \quad (7.36)$

Đôi khi, s có thể biểu diễn bằng tốc độ góc (rad/s) như:

$$s = \frac{\omega_s - \omega_m}{\omega_s} \cdot 100 \quad (7.37)$$

Dựa vào phương trình 7.35 và hình 7.4 ta rút ra được những nhận xét như sau:

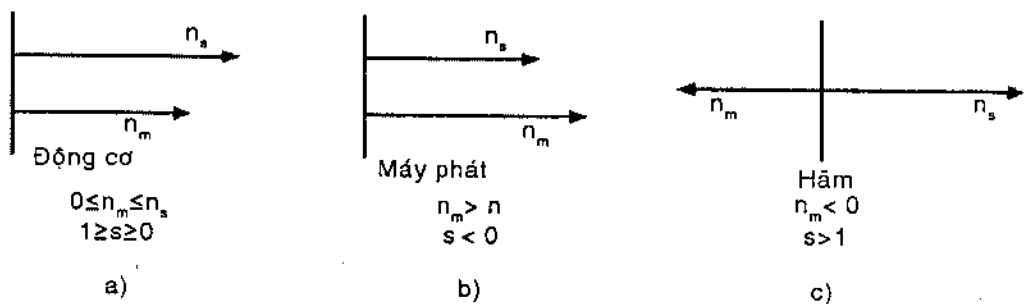
1. Nếu $s = 0$, có nghĩa $n_m = n_s$, thì rôto quay với tốc độ đồng bộ. (Trong thực tế, chỉ có thể chính xác nếu có dòng điện trực tiếp được đưa vào dây quấn rôto).

2. Nếu $s = 1$, xác định rằng $n_m = 0$, như thế, rôto đứng yên. Nói cách khác, rôto không quay.

3. Nếu $1 > s > 0$, nói lên rằng rôto chạy với tốc độ nào đó giữa đứng yên và tốc độ đồng bộ. Nói cách khác, động cơ chạy với tốc độ không đồng bộ như nó có thể, giống như biểu diễn trên hình 7.13a.

4. Nếu $s < 0$, thì máy hoạt động như một máy phát với tốc độ trục lớn hơn tốc độ đồng bộ, giống như hình 7.13b. Trạng thái làm việc này gọi là chế độ máy phát.

5. Nếu $s > 1$, nó thể hiện rằng rôto quay ngược chiều quay của từ trường quay stato, giống như hình 7.13c. Trong trường hợp này, máy nhận công suất điện từ lưới và cũng nhận công suất cơ từ ngoài vào từ trục máy. Tất cả công suất nhận từ hai hướng đều sinh ra tổn hao đồng trên dây quấn rôto. Rôto tạo ra một mômen hãm giữ động cơ dừng lại. Trạng thái làm việc này của động cơ gọi là trạng thái hãm.



Hình 7.13. Các chế độ làm việc của máy điện không đồng bộ.

a) Chế độ động cơ; b) Chế độ máy phát; c) Chế độ hãm.

Như vậy, tốc độ của rôto có thể biểu diễn qua 2 tham số đó là hệ số trượt và tốc độ đồng bộ.

$$n_m = (1 - s)n_s \text{ (vòng)} \quad (7.38)$$

và $\omega_m = (1 - s)\omega_s \text{ (rad/s)} \quad (7.39)$

7.6. ẢNH HƯỞNG CỦA HỆ SỐ TRƯỢT TỚI TẦN SỐ VÀ ĐỘ LỚN CỦA ĐIỆN ÁP CẢM ỨNG TRÊN RÔTÔ

Nếu rô-tô của động cơ KĐB quay, tần số của điện áp cảm ứng (cũng như tần số của dòng điện cảm ứng) trong mạch điện rô-tô khác với tần số của mạch điện stato. Khi hoạt động, tần số của điện áp cảm ứng (và dòng điện) trong rô-tô là biểu hiện trực tiếp của hệ số trượt (tức là quan hệ giữa tốc độ của từ trường quay và rô-tô). Do đó:

$$f_2 = \frac{pn_{shp}}{120} \quad (7.40)$$

Trong đó, f_2 là tần số của điện áp và dòng điện trong cuộn dây rô-tô. Dùng phương trình 7.35, phương trình 7.40 có thể biểu diễn như sau:

$$f_2 = \frac{p(n_s - n_m)}{120} \quad (7.41)$$

Từ các phương trình 7.33 và phương trình 7.40, ta có:

$$f_2 = sf_1 \quad (7.42a)$$

Hoặc $f_r = s.f_1 \quad (7.42b)$

Như vậy là, tần số rô-tô f_2 hoặc f_r có thể xác định đơn giản bằng cách nhân tần số stato f_1 với hệ số trượt s . Theo đó, f_2 hay f_r cũng được gọi là tần số trượt. Cho nên, điện áp cảm ứng trong mạch điện rô-tô tại mỗi hệ số trượt s có thể tìm từ phương trình 7.29 đơn giản bằng cách thay f_1 và f_2 như sau:

$$E_r = 4,44.f_2 w_2 . \Phi . k_{dq2} \quad (7.43a)$$

Hoặc: $E_r = 4,44.s f_1 w_2 \Phi . k_{dq2} \quad (7.43b)$

Hoặc: $E_r = s E_2 \quad (7.43c)$

Trong đó, E_2 là Sđđ cảm ứng trên rô-tô trong trạng thái tĩnh, tức là tại tần số f_1 của stato, k_{dq2} là hệ số dây quấn rô-tô.

Dòng điện cảm ứng trong 3 pha dây quấn rô-tô cũng tạo ra một từ trường quay. Tốc độ của từ trường quay rô-tô tỷ lệ với tốc độ quay của rô-tô và có thể tìm như sau:

$$n_2 = \frac{120f_2}{p} \quad (7.44a)$$

$$n_2 = \frac{120sf_1}{p} \quad (7.44b)$$

$$n_2 = sn_s \quad (7.44c)$$

$$n_2 = sn_r \quad (7.44d)$$

Trong đó, n_r là tốc độ từ trường quay của rô-tô, n_s là tốc độ quay của từ trường

stato. Tuy nhiên, khi rôto tự nó quay với tốc độ là n_m thì từ trường quay do rôto tạo ra trong khe hở không khí có tốc độ phụ thuộc vào:

$$n_m + n_2 = (1-s)n_s + s.n_s = n_s \quad (7.45)$$

Điều đó chứng minh rằng cả 2 từ trường stato và rôto quay trong khe hở không khí với cùng tốc độ đồng bộ n_s . Nói cách khác, từ trường stato và rôto thì đứng yên so với nhau, tạo ra một mômen ổn định và duy trì sự quay.

Ví dụ 7.1

Một động cơ không đồng bộ 3 pha 60Hz, 25 mã lực (hp), nối sao 人, hoạt động với tốc độ 1800 vòng/phút khi không tải và 1650 vòng/phút lúc đầy tải. Xác định các đại lượng sau:

- Số cực động cơ.
- Hệ số trượt trên từng thành phần và % khi đầy tải.
- Tần số trượt của động cơ.
- Tốc độ từ trường quay của rôto so với rôto.
- Tốc độ từ trường quay của rôto so với stato.
- Tốc độ từ trường quay của rôto so từ trường stato.
- Mômen đầu ra của động cơ khi đầy tải.

Lời giải

- a) Từ phương trình 7.33:

$$n_s = \frac{120f_1}{p}$$

$$\Rightarrow p = \frac{120f_1}{n_s} = \frac{120.60}{1800} = 4$$

- b) Từ $n_m = n_s(1-s)$

$$\text{nên} \quad s = \frac{n_s - n_m}{n_s} = \frac{1800 - 1650}{1800} = 0,08333$$

$$\text{hoặc} \quad 8,33\%$$

- c) Tần số trượt là:

$$f_2 = s.f_1 = 0,0833.60 = 5\text{Hz}$$

- d) Tốc độ của từ trường của rôto:

$$n_2 = \frac{120f_2}{p} = \frac{120.5}{4} = 150\text{vòng/phút}$$

$$\text{hay: } n_2 = s.n_s = 0,0833.1800 = 150\text{vòng/phút}$$

$$\text{e) Ta có: } n_m + n_2 = 1650 + 150 = 1800$$

$$\text{hay } n_m + n_2 = n_s = 1800\text{ vòng/phút}$$

$$\text{f) Có: } n_m + n_2 - n_s = 1800 - 1800 = 0$$

$$g) M_{ra} = M_{trục} = \frac{P_{ra}}{\omega_m} = \frac{(25hp) \cdot (746W/hp)}{1650.2\pi} = 108Nm$$

7.7. MẠCH ĐIỆN TƯƠNG ĐƯƠNG CỦA ĐỘNG CƠ KĐB

Giả định rằng, động cơ không đồng bộ 3 pha rôto dây quấn đấu hình sao Δ , giống như hình 7.7. Nếu dòng điện chạy trong cả dây quấn stato và rôto, nó sẽ tạo ra từ trường quay trong khe hở không khí. Khi các từ trường quay với cùng tốc độ trong khe hở không khí, chúng sẽ tạo ra tốc độ đồng bộ trong khe hở. Do từ trường trong khe hở không khí nên sẽ có Sdd cảm ứng trong dây quấn stato với tần số f_1 của nguồn và trong dây quấn rôto với tần số trượt f_2 . Tương tự với cơ sở lý thuyết của máy biến áp nhiều pha đối xứng, chỉ cần khảo sát một pha.

7.7.1. Mô hình mạch điện stato

Hình 7.14a thể hiện mạch điện tương đương của stato. Điện áp đặt vào stato khác với sdd cảm ứng trên dây quấn stato bởi vì có điện áp rơi trên trở kháng stato. Do đó:

$$U_1 = E_1 + I_1(R_1 + jX_1) \quad (7.46)$$

Trong đó:

U_1 : điện áp pha đặt vào stato.

E_1 : sdd cảm ứng trên dây quấn stato.

I_1 : dòng điện stato.

R_1 : điện trở pha dây quấn stato.

X_1 : điện kháng pha stato.

Một điều dễ dàng nhận thấy là mạch điện tương đương của dây quấn stato giống như mạch điện tương đương của dây quấn máy biến áp (MBA). Giống như trong sơ đồ MBA, dòng stato I_1 có thể chia thành 2 thành phần, đó là phần tải I_2 và phần từ hoá I_m . Ở đây, dòng điện tải tạo ra một từ trường chống lại từ trường của dòng điện rôto. Phần từ hoá I_m là phần dòng mà stato cần để từ hoá lõi thép. Trong một nhánh của sơ đồ, R_e và X_m lần lượt là phần điện trở tổn hao trong lõi sắt stato và điện kháng từ hoá của lõi sắt giống như trên MBA. Tuy nhiên, độ lớn của các thành phần là khác nhau đáng kể. Ví dụ, I_m trong động cơ không đồng bộ thì lớn hơn MBA do có khe hở không khí lớn, dòng điện trong động cơ không đồng bộ có thể cao hơn tới 30 ~ 50% so với 1 ~ 5% trong MBA. Do có khe hở không khí, độ lớn của điện kháng X_m nhỏ hơn so với trong MBA. Nhưng điện kháng tản X_1 thì lớn hơn trong MBA. Mặt khác, mối liên hệ giữa cuộn dây rôto và stato là được phân bố trên toàn chu vi của khe hở không khí còn trong MBA lại thông qua mạch từ.

7.7.2. Mô hình mạch điện rôto

Hình 7.14b thể hiện mạch điện thật của rôto động cơ KĐB hoạt động với tải tại hệ số trượt s . Dòng điện pha rôto có thể biểu diễn như sau:

$$I_2 = \frac{sE_2}{R_2 + jsX_2} \quad (7.47)$$

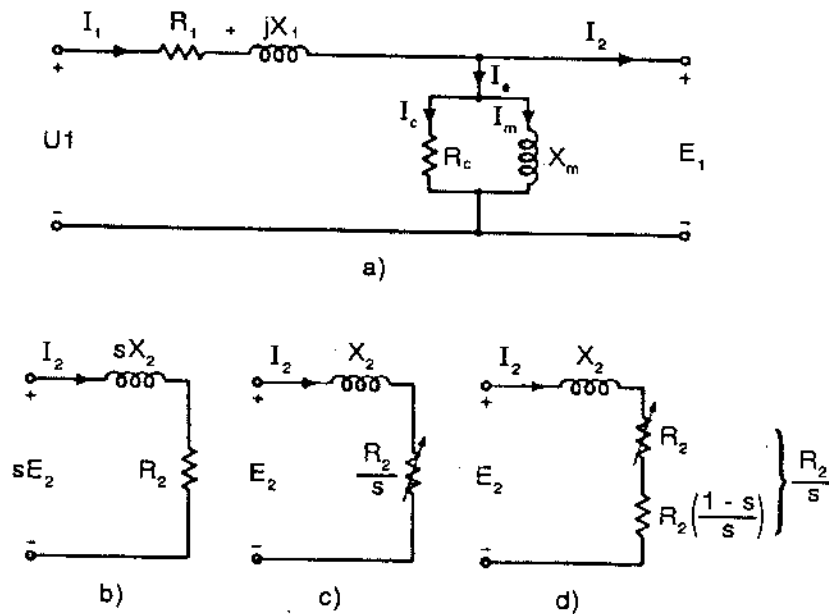
Trong đó: E_2 – sđđ pha rôto lúc đứng yên.
 R_2 – điện trở pha rôto.
 X_2 – điện kháng pha rôto.

Điều này minh họa rằng I_2 là dòng điện phụ thuộc hệ số trượt và được tạo ra bởi sE_2 trong mạch điện rôto với trở kháng của một pha là $R_2 + jsX_2$. Do đó, tổng tổn hao đồng rôto có thể biểu diễn:

$$P_{2,Cu} = 3.I_2^2.R_2 \quad (7.48)$$

Toàn bộ năng lượng thực phân bố trên mạch điện rôto. Phương trình 7.47 có thể viết lại bằng cách chia cả tử và mẫu cho hệ số trượt s sẽ được:

$$I_2 = \frac{E_2}{R_2/s + jX_2} \quad (7.49)$$



Hình 7.14. Mạch điện tương đương một pha của động cơ không đồng bộ.

a) Mạch điện tương đương stato; b) Mạch điện thực của rôto;
c) Mạch điện tương đương của rôto; c) Mạch điện tương đương biến đổi của rôto.

Những phương trình này tạo ra mạch điện thay thế rôto giống hình 7.14c. Tất nhiên, độ lớn và góc pha của I_2 không thay đổi bởi cách tính này, nhưng cũng có sự khác nhau giữa phương trình và mạch điện mà chúng thể hiện. Dòng I_2 trong phương trình 7.47 là tại tần số trượt f_2 , còn I_2 trong phương trình 7.49 thì ứng với tần số f_1 . Trong phương trình 7.47 thì điện kháng tản rôto sX_2 thay đổi theo tốc độ, nhưng điện trở R_2 thì không thay đổi. Trong phương trình 7.49 thì điện trở R_2/s thay đổi theo tốc độ, nhưng điện kháng X_2 lại không đổi. Tổng tổn hao đồng trong rôto ứng với mạch điện thay thế giống như hình 7.14c là:

$$P = 3I_2^2 \frac{R_2}{s} = \frac{P_{2,Cu}}{s} \quad (7.50)$$

Khi máy điện KĐB chạy ở s nhỏ, tổn hao trong dây quấn rôto về cơ bản tăng lên. Mạch điện thay thế ở hình 7.14c lấy ở tần số stato, hay nói cách khác mạch thay thế của rôto được quy đổi về stato. Vì vậy, công suất xác định bởi phương trình 7.50 là công suất điện từ quy đổi qua khe hở không khí (tức là P_g) từ stato sang rôto và nó bao gồm công suất cơ và công suất tổn hao trên dây quấn rôto. Có thể biểu diễn theo công suất tổn hao như sau:

$$P = P_g = 3I_2^2 \frac{R_2}{s} = 3I_2^2 \left[R_2 + \frac{R_2}{s}(1-s) \right] \quad (7.51)$$

Với mạch điện tương đương như trên hình 7.14d, điện trở phụ thuộc tốc độ $R_2(1-s)/s$ biểu diễn công suất cơ được tạo ra bởi máy điện không đồng bộ đưa ra tải cơ qua trục. Do đó, tổng năng lượng cơ có thể tìm từ:

$$P_d = P_{co} = 3I_2^2 \frac{R_2}{s}(1-s) \quad (7.52a)$$

$$P_d = P_{co} = (1-s)P_g \quad (7.52b)$$

$$P_d = P_{co} = \frac{1-s}{s} P_{2,Cu} \quad (7.52c)$$

Ở đây: $P_{2,Cu} = 3I_2^2 R_2 = sP_g \quad (7.53)$

Một phần nhỏ năng lượng cơ cũng bị mất do quạt gió và ma sát. Năng lượng cơ cuối cùng được xác định bằng năng lượng ra ở đầu trục.

7.7.3. Mạch điện thay thế đầy đủ

Nếu mạch điện thay thế của stato giống hình 7.14a và rôto hình 7.14c và mạch điện thay thế của rôto biến đổi giống hình 7.14d là tại cùng tần số f_1 thì cũng có thể nối chúng vào nhau. Tuy nhiên nếu số vòng của các cuộn dây stato và rôto là khác nhau thì E_1 và E_2 có thể khác nhau, (hình 7.15a). Vì điều này, hệ số dây quấn ($k = w_1/w_2$) cần được thêm vào.

Hình 7.15c thể hiện mạch điện tương đương biến đổi của máy điện không đồng bộ. Nhận thấy rằng hình dáng mạch điện thay thế này giống hệt mạch điện tương đương của máy biến áp 2 dây quấn. Cũng cần lưu ý các ký hiệu của mạch rôto đã được quy đổi sang stato. Cho nên:

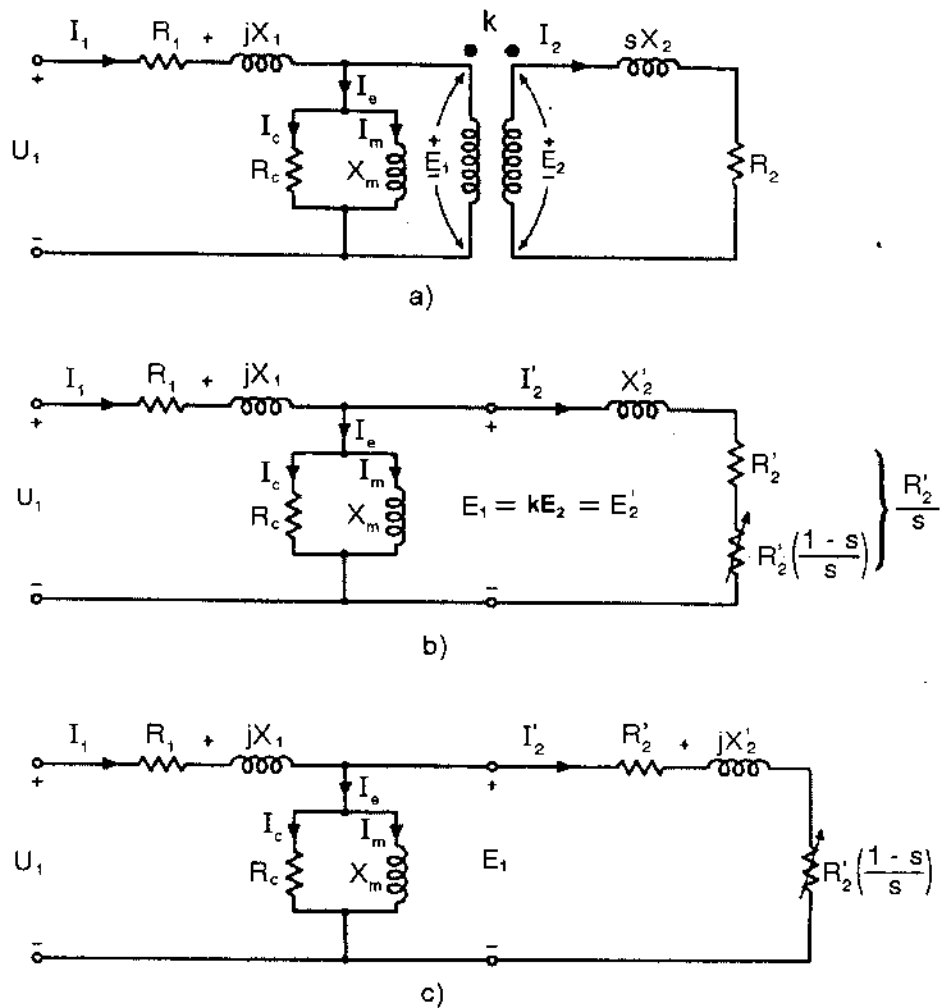
$$I_2' = \frac{I_2}{k} \quad (7.54)$$

$$E_1 = kE_2 = E_2' \quad (7.55)$$

$$R_2' = k^2 R_2 \quad (7.56)$$

$$X_2' = k^2 X_2 \quad (7.57)$$

$$R_2' \left(\frac{1-s}{s} \right) = k^2 R_2 \left(\frac{1-s}{s} \right) \quad (7.58)$$



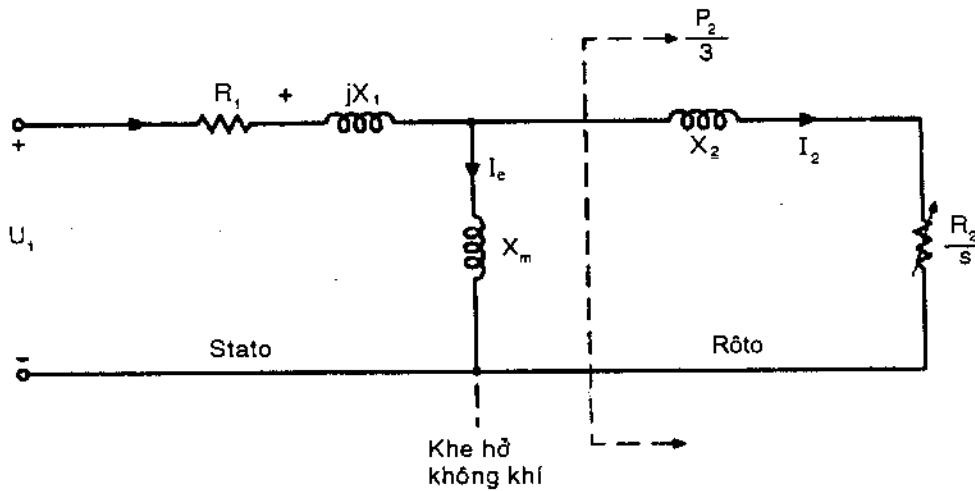
Hình 7.15. Mạch điện tương đương của động cơ không đồng bộ.

- a) Sơ đồ máy biến áp của động cơ không đồng bộ; b) Mạch điện tương đương chính xác;
c) Mạch điện tương đương biến đổi.

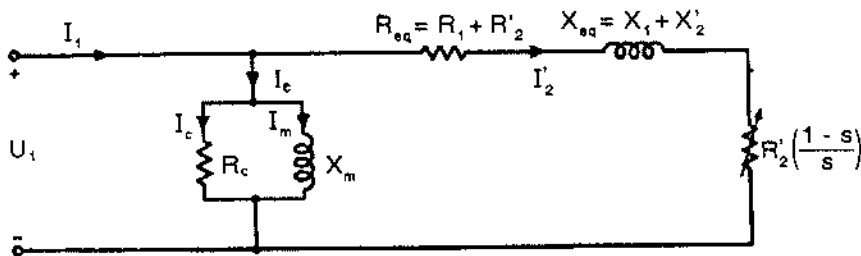
Do có khe hở không khí nên máy điện không đồng bộ có trở kháng nhỏ và do đó dòng từ hoá I_e cao (khoảng 30 ~ 50% I_{dm}). Điện kháng tản X_1 cũng cao. Mạch điện thay thế của máy điện không đồng bộ có thể đơn giản hoá bằng cách bỏ qua điện trở R_c gây tổn hao trong lõi sắt và tổn hao do ma sát và quạt gió mà sai số là không đáng kể. Hình 7.16 thể hiện mạch điện thay thế bỏ qua điện trở sắt từ. Nếu coi tổn thất trong lõi thép là hằng số thì có thể sử dụng sơ đồ này. Lưu ý rằng, việc quy đổi các giá trị từ rôto sang stato không giống như quy đổi từ thứ cấp sang sơ cấp của máy biến áp theo cách thông thường. Từ đây ta nên hiểu ngầm là chúng quy đổi về stato.

7.7.4. Mạch điện thay thế gần đúng

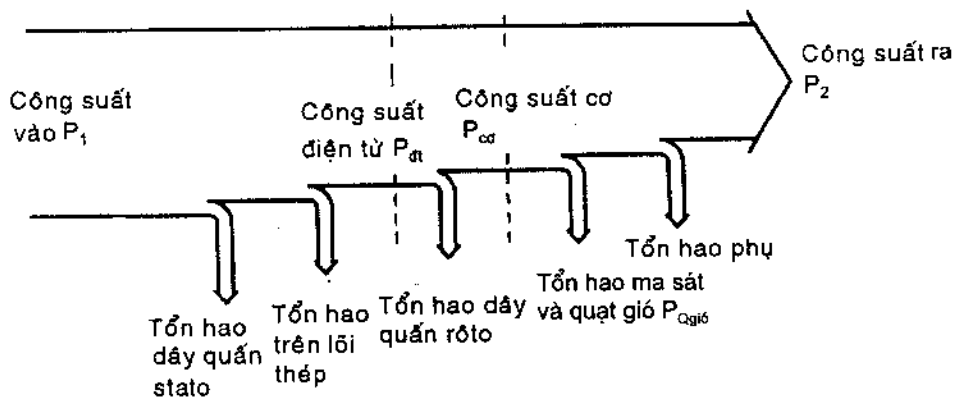
Việc tính toán có thể đơn giản với sai số rất nhỏ bằng cách bỏ nhánh song song R_c trong nhánh từ hoá (có nghĩa là nhánh R_c và X_m) để thể hiện máy giống như hình 7.17. Ở đây, giả thiết là $U_1 = E_1 = E_2$. Đơn giản là ta bỏ qua điện trở R_c .



Hình 7.16. Sơ đồ thay thế bỏ qua điện trở sắt từ.



Hình 7.17. Mạch điện tương đương đơn giản.



Hình 7.18. Giản đồ năng lượng trong động cơ không đồng bộ.

7.8. CÔNG THỨC TÍNH TOÁN

Hình 7.18 thể hiện biểu đồ dòng năng lượng của động cơ không đồng bộ. Theo sơ đồ thay thế trong hình 7.15c. Năng lượng đầu vào là năng lượng điện được đưa vào stato của động cơ, cho nên:

$$P_{\text{vào}} = P_1 = \sqrt{3}U_1 I_1 \cos \varphi \quad (7.59)$$

Tổn hao đồng stato là:

$$P_{1,Cu} = 3 I_1^2 R_1 \quad (7.60)$$

Tổn hao của lõi thép có thể tìm từ:

$$P_{Fe} = 3 E_1^2 G_c \quad (7.61a)$$

$$\text{Hoặc} \quad P_{Fe} = 3 E_1^2 / R_c \quad (7.61b)$$

Do đó, công suất truyền qua khe hở không khí có thể xác định như sau:

$$P_g = P_{vào} - P_{1,Cu} - P_{Fe} \quad (7.62a)$$

$$\text{Hoặc} \quad P_g = 3 I_2^2 \frac{R_2}{s} \quad (7.62b)$$

Tổn hao đồng trên rôto:

$$P_{2,Cu} = 3 I_2^2 R_2 \quad (7.63a)$$

$$\text{Hoặc} \quad P_{2,Cu} = s P_g \quad (7.63b)$$

Công suất cơ có thể tìm bằng cách:

$$P_d = P_{cd} = P_g - P_{2,Cu} \quad (7.64a)$$

$$\text{Hoặc} \quad P_d = P_{cd} = P_g (1 - s) \quad (7.64b)$$

$$\text{Hoặc} \quad P_d = P_{cd} = \frac{1-s}{s} P_{2,Cu} \quad (7.64c)$$

Nếu biết các tổn thất ma sát, quạt gió và các tổn thất phụ, thì năng lượng ra trên trục có thể tìm như sau:

$$P_2 = P_{trục} = P_{cd} - P_{Q,gió} - P_{phụ} \quad (7.65)$$

Nếu giả thiết tổn thất trên lõi thép là hằng số, chúng ta có thể gộp với tổn thất do ma sát, quạt tản nhiệt và tổn hao phụ. Tổng này gọi là tổn hao quay, do vậy tổn hao quay được đưa ra như sau:

$$P_{quay} = P_{Fe} + P_{Q,gió} + P_{phụ} \quad (7.66)$$

Do đó, năng lượng ra tương đương có thể tìm:

$$P_2 = P_d - P_{quay} \quad (7.67a)$$

$$\text{Hoặc} \quad P_2 = P_d - (P_{Fe} + P_{Q,gió} + P_{phụ}) \quad (7.67b)$$

Mạch điện thay thế giống hình 7.16.

Mômen được xác định như việc tạo ra mômen cơ bằng cách chuyển đổi năng lượng điện trường. Nó có thể tìm bằng cách chia công suất cho tốc độ quay ω_m của trục. Do đó, mômen tạo ra có thể biểu diễn như sau:

$$M_d = \frac{P_d}{\omega_m} \quad (7.68a)$$

$$M_d = \frac{P_g (1-s)}{\omega_s (1-s)} \quad (7.68b)$$

$$M_d = \frac{P_g}{\omega_s} \quad (7.68c)$$

$$M_d = \frac{3 I_2^2 R_2}{s \omega_s} \quad (7.68d)$$

Mômen ra (hoặc mômen trục) là:

$$M_2 = \frac{P_2}{\omega_m} \quad (7.69)$$

Hiệu suất của động cơ không đồng bộ có thể xác định như sau:

$$\eta = \frac{P_{ra}}{P_{vào}} = \frac{P_1}{P_2} \quad (7.70a)$$

Hoặc:
$$\eta = \frac{P_{ra}}{P_{vào} + P_{tổn thất}} \quad (7.70b)$$

trong đó $P_{tổn thất}$ là tổng tổn hao đã bị mất.

Vi dụ 7.2

Một động cơ KĐB 3 pha 480V, 50hp có dòng 70A tại $\cos\phi = 0,8$ (hệ số công suất).

$P_{1,Cu} = 4257,5 \text{ W}$; $P_{2,Cu} = 1000\text{W}$; $P_{Fe} = 3000\text{W}$, $Q_{Qgió} = 800\text{W}$; $P_{phu} = 200 \text{ W}$. Xác định:

- Công suất truyền qua khe hở P_g .
- Công suất cơ $P_{cơ}$.
- Công suất ra P_{ra} .
- Hiệu suất của máy η .

Lời giải:

a) Từ (7.59) ta có: $P_{vào} = P_1 = \sqrt{3} UI \cos\phi = \sqrt{3} .480.70.0,8 = 46557,5\text{W}$

Do đó, công suất điện từ truyền qua khe hở không khí là:

$$P_g = P_1 - P_{1,Cu} - P_{Fe} = 46557,5 - 4257,5 - 3000 = 39300\text{W}$$

b) Công suất cơ được tạo ra:

$$P_{cơ} = P = P_g - P_{2,Cu} = 39300 - 1000 = 38300\text{W}$$

c) P_2 có thể tìm: $P_2 = P_{cơ} - P_{Q,gió} - P_{phu} = 37300\text{W}$

Hoặc trong đơn vị mã lực:

$$P_{ra} = 37300\text{W}(1\text{hp}/746\text{W}) = 50\text{hp}$$

d) Hiệu suất của động cơ:

$$\eta = \frac{37300}{46557,53} .100 = 80,1\%$$

Vi dụ 7.3

Một động cơ không đồng bộ 3 pha 2 cực 50hp, 480V, 60Hz, nối sao Δ , có các thông số trên mỗi pha được quy đổi sang stato:

$$R_1 = 0,322\Omega$$

$$R_2 = 0,196\Omega$$

$$X_1 = 0,657\Omega$$

$$X_2 = 0,510\Omega$$

$$X_m = 12,5\Omega$$

Tổng tổn hao quay 1850W và giả định rằng nó là hằng số. Tổn hao sắt được đưa vào trong tổn hao quay. Với hệ số trượt rôto là 3% tại điện áp và tần số định mức. Xác định:

- Tốc độ của động cơ tính theo vg/ph.
- Dòng điện stato.
- Hệ số $\cos\varphi$.
- Công suất truyền qua khe hở và công suất ra đầu trục.
- Mômen điện từ và mômen đầu trục.
- η .

Lời giải:

- a) Tốc độ đồng bộ là:

$$n_s = \frac{120f_1}{p} = \frac{120 \cdot 60}{2} = 3600(\text{vg/ph})$$

$$\omega_s = 3600 \frac{2\pi}{60} = 376,99(\text{rad/s})$$

Tốc độ đầu trục rôto là:

$$n_m = (1-s)n_s = (1-0,03)3600 = 3492 \text{ vg/ph}$$

hoặc là: $\omega_m = (1-s)\omega_s = (1-0,03)376,99 = 365,68 \text{ rad/s}$

b) Từ giả thiết $P_{Fe} = \text{const}$, mạch điện thay thế cho động cơ giống hình 7.16. Để xác định dòng điện stato, trở kháng tương đương trong mạch điện thay thế phải được xác định. Do đó, trở kháng rôto được xác định như sau:

$$Z_2 = R_2/s + jX_2 = 0,196/s + j0,510 = 6,55 \angle 4,46^\circ \Omega$$

Tổng trở rôto này được nối song song với nhánh mạch từ, tổng trở tương đương đó là:

$$Z_{td} = \frac{1}{jX_m + \frac{1}{Z_2}} = \frac{1}{\frac{1}{j12,5} + \frac{1}{6,55 \angle 4,46^\circ}} = 5,63 \angle 31,13^\circ \Omega$$

Do vậy, tổng trở là:

$$\begin{aligned} Z_t &= (R_1 + jX_1) + Z_{td} \\ &= (0,322 + j0,675) + 5,63 \angle 31,13^\circ = 6,265 \angle 34,89^\circ \Omega \end{aligned}$$

Do vậy dòng điện stato là:

$$I_1 = U_1/Z_t = \frac{\frac{480}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ}{6,265 \angle 34,89^\circ} = 44,24 \angle -34,89^\circ (\text{A})$$

c) Hệ số công suất $\cos\varphi$:

$$\cos\varphi = \cos 34,89^\circ = 0,82$$

d) Công suất đưa vào động cơ là:

$$P_{\text{vào}} = P_1 = \sqrt{3} U_1 I_1 \cos\varphi = \sqrt{3} 480.44,24.0,82 = 30159,97\text{W}$$

Tổn hao đồng trong dây quấn stato là:

$$P_{1,\text{Cu}} = 3 I_1^2 R_1 = 3(44,24)^2 0,322 = 1890,63\text{W}$$

Công suất điện từ trên khe hở không khí là:

$$P_g = P_{\text{vào}} - P_{1,\text{Cu}} = 30159,97 - 1890,63 = 28269,34\text{W}$$

Do vậy, năng lượng tạo ra là:

$$P_d = (1 - s)P_g = (1 - 0,03)28269,34 = 27421,26\text{W}$$

Nên:

$$P_2 = P_d - P_{\text{quay}} = 25530,63\text{W}$$

e) Mômen điện từ:

$$M = \frac{P_g}{\omega_s} = \frac{28269,34}{376,99} = 74,98(\text{Nm})$$

Mômen ra:

$$M_2 = \frac{P_2}{\omega_m} = \frac{25530,63}{365,68} = 69,81(\text{Nm})$$

f) Hiệu suất:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 = \frac{25577,82}{30159,97} 100 = 84,79\%$$

7.9. MẠCH ĐIỆN THAY THẾ KHI KHỞI ĐỘNG

Khi khởi động, rôto đứng yên và do đó hệ số trượt của động cơ là 1. Mạch điện thay thế giống như trên hình 7.16, chỉ thay các giá trị của hệ số trượt s bằng giá trị 1. Tất cả mômen và công suất có thể tìm được như trên, trừ các giá trị đầu ra. Khi đứng yên, nó không có tổn thất quạt gió và ma sát. Hơn nữa, từ $\omega_m = 0$ thì mômen đầu ra không xác định. Tương tự, nếu phương trình 7.68a được sử dụng, mômen điện từ cũng không xác định. Tuy nhiên, có thể xác định mômen điện từ từ phương trình 7.68c và 7.68d với $s = 1$. Do đó, mômen khởi động có thể xác định như sau:

$$M_{\text{kd}} = \frac{P_g}{\omega_m} \quad (7.71)$$

$$\text{Hoặc:} \quad M_{\text{kd}} = \frac{3I_2^2 R_2}{\omega_s} \quad (7.72)$$

Ví dụ 7.4

Lấy động cơ cho trong ví dụ 7.3 và giả định rằng rôto đứng yên. Xác định các đại lượng sau:

- Tốc độ khi khởi động.
- Dòng điện stato khi khởi động.
- Hệ số công suất khi khởi động.

- d) Công suất điện từ và công suất ra khi khởi động.
e) Mômen điện từ và mômen đầu ra khi khởi động.

Lời giải:

- a) Tốc độ đồng bộ là:

$$n_s = 3600 \text{ vòng/phút}$$

$$\omega_s = 376,99 \text{ rad/s}$$

Tuy nhiên, tốc độ trên đầu trục rôto là:

$$n_m = (1 - s)n_s = (1 - 1) 3600 = 0$$

$$\omega_m = (1 - s)\omega_s = (1 - 1) 376,99 = 0$$

- b) Tổng trở rôto là:

$$Z_2 = R_2/s + j X_2 = 0,196/1 + j0,51 = 0,5464 \angle 68,98^\circ (\Omega)$$

Cũng có:
$$Z_{td} = \frac{1}{\frac{1}{jX_m} + \frac{1}{Z_2}} = 0,558 \angle 83,75^\circ (\Omega)$$

Do đó, tổng trở là:

$$Z_t = (R_1 + jX_1) + Z_{td} = 1,29 \angle 72,71^\circ (\Omega)$$

Do vậy, dòng điện stato là:

$$I_1 = \frac{U_1}{Z_{td}} = \frac{\frac{480}{\sqrt{3}} \angle 0}{1,29 \angle 72,71^\circ} = 214,83 \angle -72,71^\circ (\text{A})$$

Lưu ý rằng dòng khởi động là dòng gấp 5 lần dòng tải trong ví dụ 7.3. Như vậy dòng điện khởi động có thể làm chảy cầu chì.

- c) Hệ số công suất của động cơ khi khởi động:

$$\cos \varphi_{kd} = \cos 72,71^\circ = 0,3$$

- d) Công suất đầu vào:

$$P_{vào} = P_1 = \sqrt{3} U_1 I_1 \cos \varphi = 53083,27 \text{ W}$$

Tổn hao đồng trên stato là:

$$P_{1,Cu} = 3I_1^2 R_1 = 3(214,83)^2 0,322 = 44582,76 \text{ W}$$

Công suất điện từ tại khe hở không khí là:

$$P_g = P_{vào} - P_{1,Cu} = 53083,27 - 44582,76 = 8500,5 \text{ W}$$

Do đó, công suất truyền qua rôto là:

$$P_d = (1 - s)P_g = (1 - 1)8500,5 = 0$$

Nên, công suất ra là:

$$P_2 = P_d - P_{quay} = 0$$

- e) Mômen khởi động là:

$$M_{kd} = \frac{P_g}{\omega_s} = \frac{8500,5}{376,99} = 22,55 (\text{N.m})$$

Ví dụ 7.5

Một động cơ không đồng bộ 3 pha hai cực, tần số 60Hz cung cấp một công suất 25hp lúc có tải tại tốc độ 3420 vòng/phút. Nếu tổn hao cơ bằng không, xác định:

- Hệ số trượt s .
- Mômen điện từ.
- Tốc độ đầu trục của động cơ nếu mômen là tăng gấp đôi.
- Công suất đầu ra của động cơ nếu mômen là tăng gấp đôi.

Lời giải:

a) Vì
$$n_s = 120f_1/p = 120 \cdot 60/2$$

$$n_s = 3600 \text{ (vòng/ phút)}$$

nên hệ số trượt là:
$$s = \frac{n_s - n_m}{n_s} \cdot 100 = \frac{3600 - 3420}{3600} \cdot 100 = 5\%$$

b) Vì tổn hao cơ bằng không:

$$M_d = M_{\text{tải}} = M_{ra}$$

và:
$$P_d = P_{\text{tải}} = P_{ra}$$

do đó mômen điện từ là:

$$M_d = \frac{P_d}{\omega_m} = \frac{25.746}{3420 \cdot 2\pi \cdot 1/60} = 52,07 \text{ N.m}$$

c) Mômen điện từ tỷ lệ với hệ số trượt. Nếu mômen tăng gấp đôi thì hệ số trượt cũng tăng gấp đôi, hệ số trượt mới là:

$$s = 2 \cdot 0,05 = 0,1$$

Do đó tốc độ đầu trục là:

$$n_m = (1 - s)n_s = (1 - 0,1)3600 = 3240 \text{ vòng/phút}$$

d) Vì $P_d = M_d \omega_m$

Công suất động cơ cung cấp cho tải:

$$P_d = (2 \cdot 52,07) \cdot 3240 \cdot 2\pi \cdot 1/60 = 35333,9 \text{ W}$$

Hay tính theo sức ngựa (hp) là:

$$P_d = \frac{T_d n_m}{5252} = 47,4 \text{ hp}$$

7.10. DÙNG MẠCH ĐIỆN THAY THẾ THÉVENIN ĐỂ XÁC ĐỊNH CÔNG SUẤT VÀ MÔMEN

Theo định lý Thévenin, hệ thống các trở kháng và các nguồn điện có thể biểu diễn tương đương với một nguồn áp và một trở kháng tương đương giống như mạng 2 cửa. Nguồn điện áp tương đương là điện áp hở mạch của mạng 2 cửa. Trở

kháng tương đương là trở kháng tìm bằng cách nối ngắn mạch các nguồn áp. Do đó, để tìm dòng I_2 trên hình 7.19a, định lý Thévenin có thể áp dụng cho mạch điện tương đương của động cơ không đồng bộ. Điện áp Thévenin có thể tìm bằng cách tách riêng mạch điện stato rồi mạch điện rôto, giống như trên hình. Do vậy, điện áp là:

$$U_{th} = U_1 \frac{jX_m}{R_1 + jX_1 + jX_m} \quad (7.73)$$

Giá trị của điện áp Thévenin là:

$$U_{th} = U_1 \frac{X_m}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_m)^2}} \quad (7.74)$$

Tuy nhiên, vì $R_1^2 \ll (X_1 + X_m)^2$ nên điện áp xấp xỉ bằng:

$$U_{th} \cong U_1 \frac{X_m}{(X_1 + X_m)} \quad (7.75)$$

Để tìm tổng trở Thévenin thì phải nối ngắn mạch điện áp U_1 , giống hình 7.19b. Do đó tổng trở Thévenin bằng:

$$Z_{th} = R_{th} + jX_{th} = \frac{jX_m(R_1 + jX_1)}{R_1 + j(X_1 + X_m)} \quad (7.76)$$

Vì $X_1 \ll X_m$ và $R_1^2 \ll (X_1 + X_m)^2$ nên điện trở và điện kháng Thévenin bằng:

$$R_{th} = R_1 \sqrt{\frac{X_m}{X_1 + X_m}} \quad (7.77)$$

$$\text{và} \quad X_{th} \cong X_1 \quad (7.78)$$

Hình 7.19c thể hiện mạch điện tương đương tổng quát của động cơ KĐB. Ở đây, dòng rôto có thể tìm từ công thức:

$$I_2 = \frac{U_{th}}{Z_{th} + Z_2} \quad (7.79a)$$

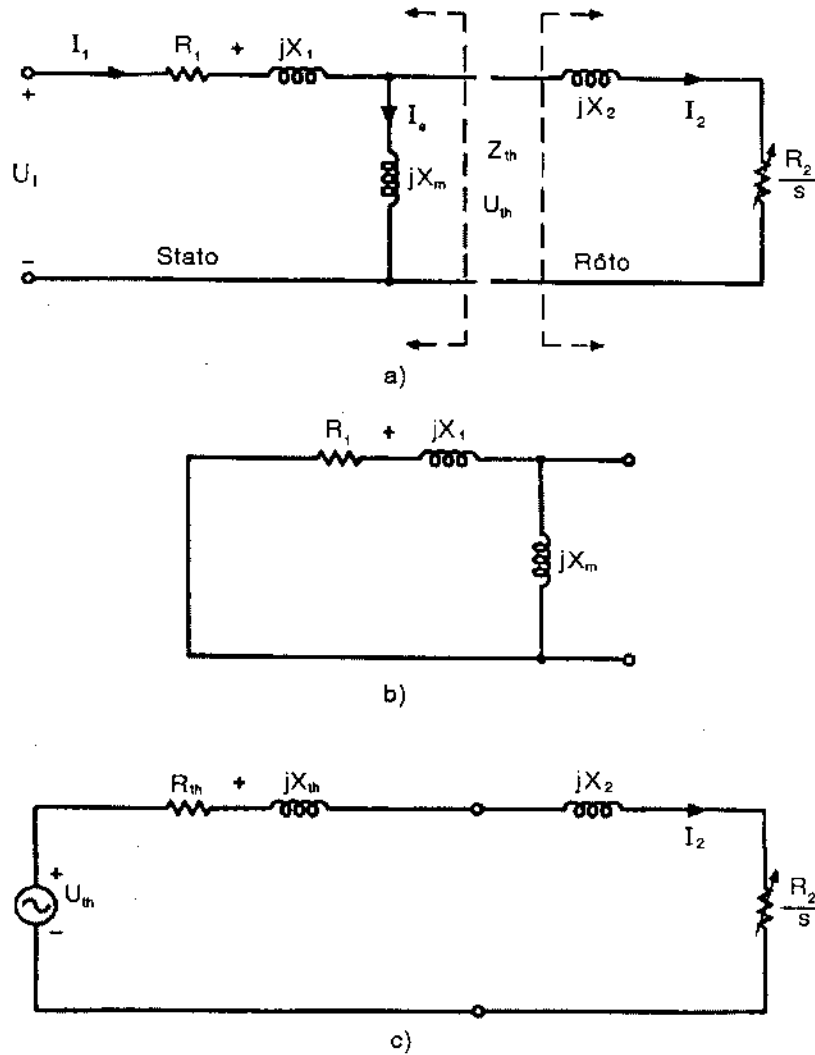
$$\text{hoặc} \quad I_2 = \frac{U_{th}}{R_{th} + R_2/s + j(X_{th} + X_2)} \quad (7.79b)$$

Giá trị của dòng điện rôto là:

$$I_2 = \frac{U_{th}}{\sqrt{(R_{th} + R_2/s)^2 + (X_{th} + X_2)^2}} \quad (7.80)$$

Do đó, công suất ở khe hở không khí:

$$P_g = 3I_2^2 \frac{R_2}{s} \quad (7.81a)$$



Hình 7.19.

- a) Ứng dụng định lý Thévenin cho mô hình động cơ không đồng bộ;
 b) Mạch điện stato sử dụng để xác định điện kháng tương đương Thévenin;
 c) Mạch điện tương đương đơn giản áp dụng lý thuyết Thévenin.

hoặc:

$$P_f = \frac{3U_{th}^2 \frac{R_2}{s}}{\omega_s \left[(R_{th} + R_2/s)^2 + (X_{th} + X_2)^2 \right]} \quad (7.81b)$$

Do đó, mômen điện từ là:

$$M_d = \frac{P_f}{\omega_s} = \frac{3I_2^2 \frac{R_2}{s}}{\omega_s} \quad (7.82a)$$

hoặc:

$$M_d = \frac{3U_{th}^2 \frac{R_2}{s}}{\omega_s \left[(R_{th} + R_2/s)^2 + (X_{th} + X_2)^2 \right]} \quad (7.82b)$$

Từ đó, tính được mômen khởi động là:

$$M_{kd} = \frac{3U_{th}^2 R_2}{\omega_s [(R_{th} + R_2)^2 + (X_{th} + X_2)^2]} \quad (7.83)$$

7.11. ĐẶC TÍNH LÀM VIỆC CỦA ĐỘNG CƠ KĐB

Đặc tính làm việc của động cơ không đồng bộ bao gồm mômen mở máy, mômen cực đại, công suất cực đại, dòng điện, hệ số công suất và hiệu suất. Mômen cực đại có thể xác định bằng cách sử dụng mạch điện thay thế Thévenin, từ:

$$M_g = \frac{P_g}{\omega_s} \quad (7.84)$$

Mômen điện từ sẽ cực đại khi công suất điện từ là cực đại. Công suất điện từ có thể tìm từ phương trình 7.81b. Cần tìm giá trị của đại lượng biến thiên R_2/s để cho P_g lớn nhất. Đạo hàm vế phải phương trình 7.81b với biến số R_2/s rồi cho bằng 0 ta có:

$$\frac{3U_{th}^2 [R_{th}^2 - (R_2/s)^2 + (X_{th} + X_2)^2]}{[R_{th}^2 + (R_2/s)^2 + (X_{th} + X_2)^2]^2} = 0 \quad (7.85)$$

Bằng cách cho tử số của phương trình trên bằng 0:

$$R_{th}^2 - (R_2/s)^2 + (X_{th} + X_2)^2 = 0 \quad (7.86)$$

$$\text{Ta có:} \quad R_2/s = [R_{th}^2 + (X_{th} + X_2)^2]^{1/2} \quad (7.87)$$

Như vậy, công suất cực đại truyền qua khe hở rotor trên điện trở R_2/s khi điện trở này bằng trở kháng đầu vào của nguồn cung cấp. Hệ số trượt cực đại có thể xác định theo công thức:

$$s_{max} = \frac{R_2}{\sqrt{R_{th}^2 + (X_{th} + X_2)^2}} \quad (7.88)$$

Hệ số trượt tại mômen cực đại tương ứng với một điện trở rôto và có thể làm tăng bằng cách dùng một điện trở rôto lớn hơn. Do vậy, mômen max có thể tìm bằng cách thay phương trình 7.88 vào phương trình 7.82 như sau:

$$M_{max} = \frac{3U_{th}^2}{2\omega_s (R_{th} + \sqrt{R_{th}^2 + (X_{th} + X_2)^2})} \quad (7.89)$$

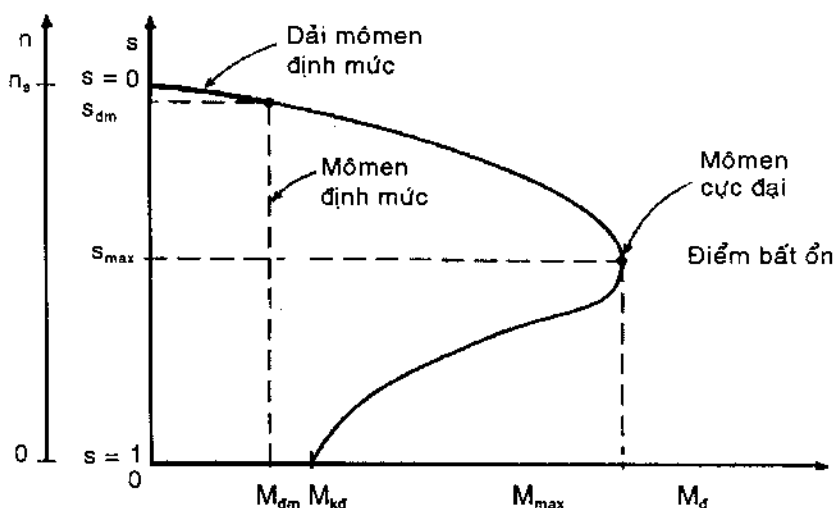
Mômen cực đại tỷ lệ với bình phương điện áp của nguồn cấp và tỷ lệ nghịch với điện trở, điện kháng stato và điện kháng rôto.

Hình 7.20 thể hiện đồ thị mômen – tốc độ hoặc mômen – hệ số trượt của động cơ không đồng bộ. Mômen khi đầy tải thì nhỏ hơn mômen lúc khởi động. Nếu giá trị của nguồn áp giảm đi một nửa, cả M_{kd} và M_{max} sẽ còn 1/4. Hình 7.21 thể hiện quan hệ giữa mômen và $\omega(s)$ của động cơ không đồng bộ khi điện áp bằng định mức U và khi điện áp bằng một nửa định mức $1/2U$.

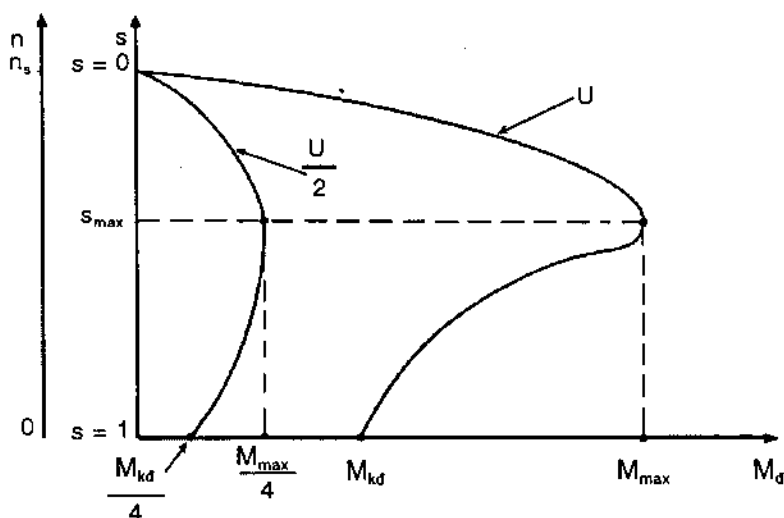
Theo phương trình 7.89, mômen cực đại của động cơ không đồng bộ không phụ

thuộc điện trở dây quấn rôto. Lưu ý rằng giá trị điện trở rôto R_2 xác định tốc độ mà tại đó $M_{\max}$ sẽ hình thành, giống như điều kiện của phương trình 7.88. Nói cách khác khi tăng điện trở rôto bằng cách đưa thêm điện trở phụ vào sẽ làm tăng hệ số trượt mà tại đó mômen đạt giá trị lớn nhất, nhưng giá trị của mômen cực đại thì không thay đổi. Hình 7.22 thể hiện kết quả của việc tăng điện trở rôto trong đồ thị mômen – tốc độ (đặc tính cơ) của động cơ không đồng bộ rôto dây quấn. Lưu ý rằng, khi điện trở rôto tăng, các đường cong dốc xuống. Tuy nhiên, mômen khởi động và mômen max có giá trị bằng nhau tại một giá trị nào đó của điện trở rôto. Như thể hiện trên hình 7.16, tổng trở vào của động cơ không đồng bộ là:

$$Z_1 = R_1 + jX_1 + \frac{jX_m(R_2/s + jX_2)}{R_2/s + j(X_m + X_2)} \quad (7.90a)$$



Hình 7.20. Đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ.



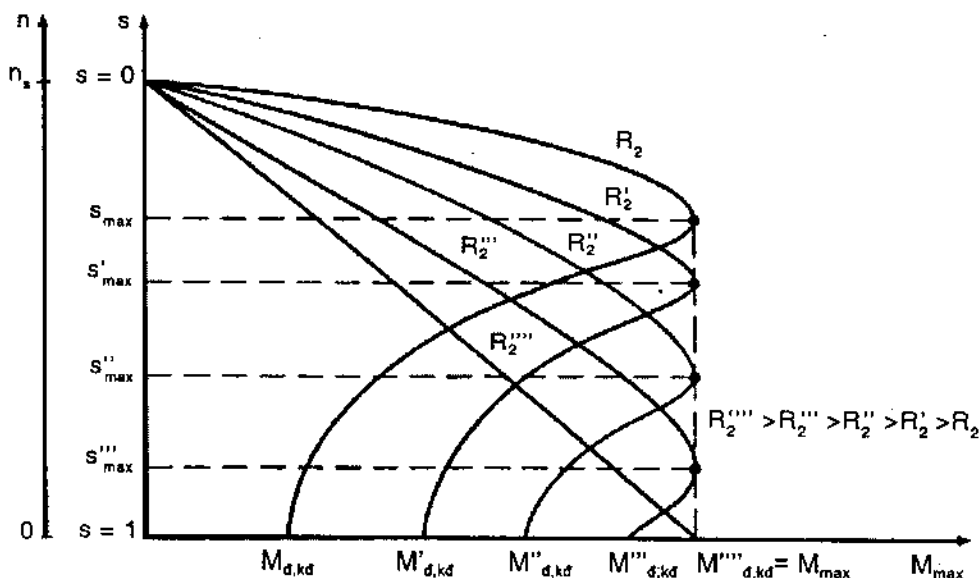
Hình 7.21. Đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ với điện áp U và $U/2$.

Hoặc:

$$Z_1 = |Z_1| \angle \theta_1 \quad (7.90b)$$

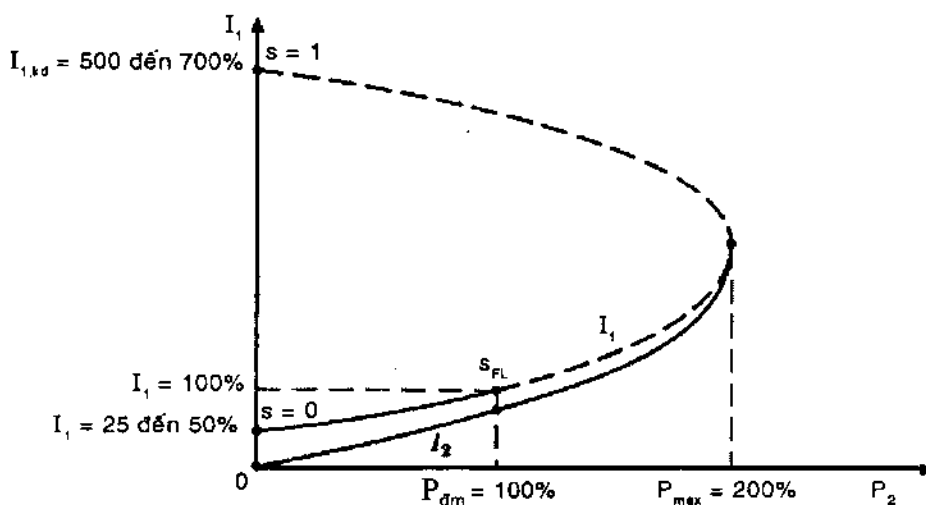
Do đó, dòng stato là:

$$I_1 = \frac{U_1}{Z_1} = I_0 + I_2 \quad (7.91)$$



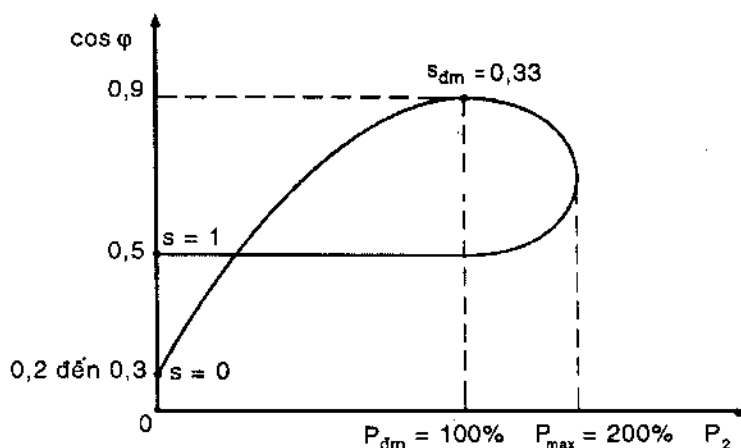
Hình 7.22. Kết quả của việc tăng điện trở rôto với đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ.

Tại tốc độ đồng bộ (tức là tại $s = 0$), điện trở $R_2/s \rightarrow \infty$, do đó $I_2 \rightarrow 0$. Do vậy, dòng stato I_1 trở nên gần bằng dòng từ hoá I_0 . Với s lớn thì $R_2/s + jX_2$ nhỏ và do đó I_2 và I_1 lớn. Ví dụ, hình 7.23, dòng khởi động (tức là tại $s=1$) là $(500 \sim 700\%)I_{dm}$. Tại tốc độ không tải, dòng stato là $(25 \sim 50\%)I_{dm}$.



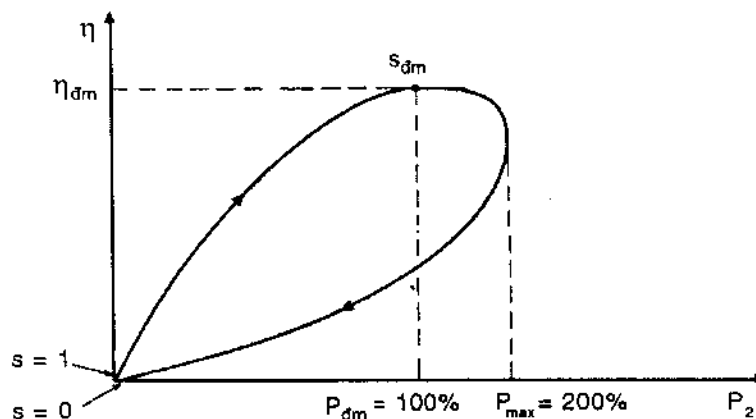
Hình 7.23. Dòng điện stato và rôto theo công suất ra và hệ số trượt.

Hệ số công suất của động cơ không đồng bộ là $\cos \varphi_1$. Trong đó, φ_1 là góc pha của dòng stato I_1 . Góc pha φ_1 thì giống như giá trị góc đầu vào của mạch điện thay thế hình 7.16 và được đưa ra bởi phương trình 7.90b. Hình 7.24 thể hiện hệ số công suất phụ thuộc vào công suất đầu ra và hệ số trượt. Chú ý rằng hình vẽ trên chỉ mang tính chất minh họa.



Hình 7.24. Hệ số công suất $\cos \varphi$ theo công suất ra P_2 .

Hình 7.25 trình bày hiệu suất của động cơ không đồng bộ là một hàm của công suất đầu ra và hệ số trượt. Khi đủ tải, hiệu suất của một động cơ không đồng bộ cỡ lớn có thể lớn hơn 95%. Khi công suất của động cơ không đồng bộ lớn hơn công suất định mức thì η giảm không nhiều.



Hình 7.25. Đặc tính hiệu suất của động cơ không đồng bộ thông dụng với công suất ra P_2 và hệ số trượt s .

Ví dụ 7.6

Cho động cơ không đồng bộ giống như trong ví dụ 7.3 là rôto dây quấn. Xác định các thông số sau:

- Hệ số trượt khi mômen cực đại.
- Tốc độ lúc mômen cực đại.

- c) Mômen cực đại.
- d) Mômen khởi động.
- e) Tốc độ lúc mômen cực đại nếu điện trở rôto tăng lên gấp đôi.
- f) Mômen cực đại nếu điện trở rôto tăng gấp đôi.
- g) Mômen lúc khởi động nếu điện trở rôto tăng gấp đôi.

Lời giải:

Điện áp của động cơ theo thuyết Thévenin là:

$$U_{th} = U_1 \frac{X_m}{[R_1^2 + (X_1 + X_2)^2]^{1/2}} = \frac{(480/\sqrt{3})12,5}{[0,322^2 + (0,657 + 0,51)^2]^{1/2}} = 262,85V$$

Điện trở Thévenin là:

$$R_{th} = R_1 \left(\frac{X_m}{X_1 + X_2} \right)^2 = 0,322 \left(\frac{12,5}{0,657 + 0,51} \right)^2 = 0,29\Omega$$

Điện kháng thevenin là:

$$X_{th} \cong X_1 = 0,657\Omega$$

a) Hệ số trượt lúc mômen đạt cực đại là:

$$s_{max} = \frac{R_2}{[R_{th}^2 + (X_{th} + X_2)^2]^{1/2}} = \frac{0,196}{[0,29^2 + (0,657 + 0,51)^2]^{1/2}} = 0,1607$$

b) Tốc độ lúc mômen đạt cực đại là:

$$n_m = (1 - s_{max})n_s = (1 - 0,1607)3600 = 3021,6 \text{ vòng/phút}$$

c) Mômen cực đại là:

$$M_{max} = \frac{3U_{th}^2}{2\omega_s(R_{th} + \sqrt{R_{th}^2 + (X_{th} + X_2)^2})} = 182Nm$$

Mômen khởi động là:

$$M_{kd} = \frac{3U_{th}^2 R_2}{\omega_s [(R_{th} + R_2)^2 + (X_{th} + X_2)^2]} = 107,3Nm$$

e) Khi điện trở rôto là tăng gấp đôi, hệ số trượt lúc mômen đạt cực đại xuất hiện là cũng tăng gấp đôi. Do đó:

$$s_{max} = 2(0,1607) = 0,3214$$

và tốc độ lúc mômen đạt cực đại là:

$$n_m = (1 - s)n_s = (1 - 0,3214)3600 = 2443 \text{ (vòng /phút)}$$

f) Mômen cực đại vẫn là $M_{max} = 182N.m$

g) Nếu điện trở rôto là tăng gấp đôi thì mômen khởi động là:

$$M_{kd} = \frac{3(262,85)^2 0,196}{377 [(0,29 + 0,196)^2 + (0,657 - 0,51)^2]} = 134,4Nm$$

7.12. ĐIỀU CHỈNH ĐẶC TÍNH ĐỘNG CƠ BẰNG CÁCH THIẾT KẾ LỒNG SÓC

Về nguyên tắc, tăng điện trở rôto sẽ giảm ω với cùng một mômen trên trục máy, tăng mômen khởi động và làm cho hiệu suất của động cơ giảm xuống. Đồng thời, khi tăng điện trở rôto nó cũng làm dòng điện khởi động giảm xuống và tăng hệ số công suất máy. Nếu tăng hệ số công suất nhiều hơn so với độ giảm dòng điện thì sẽ có một mômen khởi động tốt hơn.

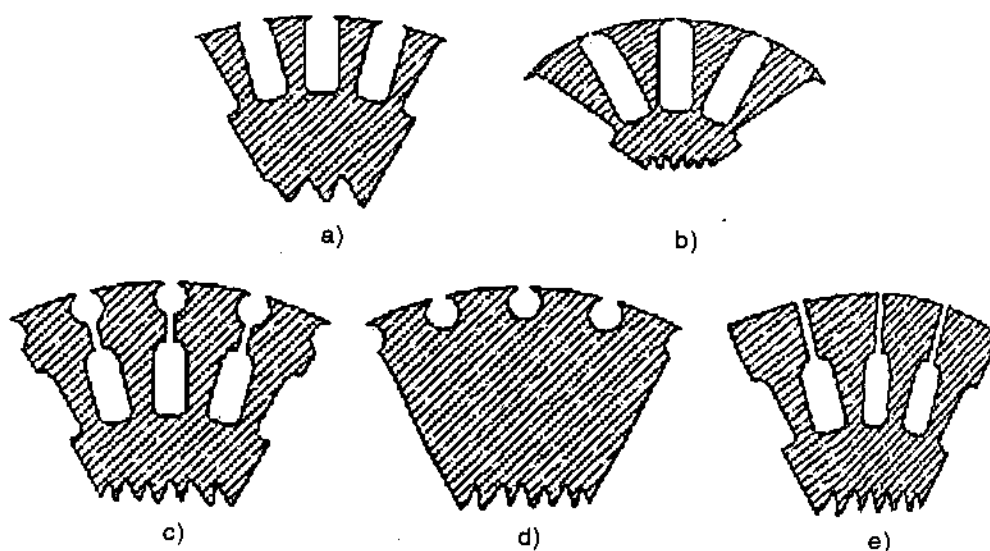
Nói chung, trong việc thiết kế một rôto lồng sóc, giá trị điện trở rôto được xác định sao cho làm thoả mãn những thông số đối lập nhau là điều chỉnh tốc độ và mômen khởi động tốt. Thông thường, điện trở của rôto lồng sóc nhỏ hơn điện trở stato, nhỏ hơn của rôto dây quấn với cùng một cỡ máy. Có thể tăng điện trở rôto lồng sóc của động cơ bằng cách giảm tiết diện của các thanh dẫn và vòng ngắn mạch. Điện trở của dây quấn stato nên là nhỏ nhất để giảm được tổn hao đồng stato và điện áp rơi trên nó nhỏ. Cũng như vậy, việc tăng điện trở của stato thì cũng sẽ làm cho mômen cực đại giảm xuống.

Trở kháng bị ảnh hưởng bởi sự thay đổi khe hở không khí, số lượng răng rãnh và khe hở miệng rãnh. Khi khe hở không khí tăng sẽ làm điện kháng giảm và đó cũng là nguyên nhân tăng dòng từ hoá và giảm hệ số công suất. Kích thước của rãnh cũng ảnh hưởng tương tự. Việc tăng trở kháng sẽ làm cho đặc tính mômen dốc. Do đó, động cơ không đồng bộ thường được thiết kế với khe hở không khí nhỏ nhất có thể để làm giảm dòng điện từ hoá I_m . Tần số rôto biến thiên theo tốc độ và tại lúc khởi động hoặc khi hở mạch thì tần số bằng tần số của stato. Khi tốc độ động cơ tăng, tần số rôto giảm tới 1 đến 3Hz khi đây tải cho các loại động cơ có $f_{\text{stato}} = 50\text{Hz}$. Bằng cách dùng hình dạng và cách sắp xếp thích hợp đối với thanh dẫn rôto, đó là cách thiết kế rôto lồng sóc sao cho điện trở ở tần số 50Hz hoặc 60Hz lớn hơn vài lần điện trở ở tần số 1 ~ 3Hz. Kết quả này là ứng dụng hiệu ứng mật ngoài của dòng điện trên thanh dẫn rôto. Sự thay đổi điện trở của thanh dẫn rôto được gọi là *hiệu ứng mật ngoài*.

Có nhiều hình dạng rãnh của lồng sóc động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc (hình 7.26). Rãnh kiểu hình 7.26a là loại có khe hở khá lớn và gần bề mặt của rôto, chúng có điện trở nhỏ vì kích thước thanh dẫn lớn và cũng có điện kháng tản X_d nhỏ vì các thanh dẫn đặt gần stato. Loại động cơ này gọi là động cơ nhóm A. Chúng có hệ số trượt nhỏ khi đầy tải, hiệu suất cao và mômen lớn đồng thời điện trở rôto thấp. Tuy nhiên, vì R_2 nhỏ nên mômen khởi động thấp và dòng khởi động lớn, loại động cơ này thường được sử dụng trong điều kiện tốc độ không đổi như kéo máy bơm, quạt, máy tiện, quạt gió và một số thiết bị khác.

Hình 7.26b thể hiện là loại rôto rãnh sâu thiết kế cho nhóm động cơ B. Thanh dẫn rôto được đưa vào trong răng tạo ra R_{kd} lớn và M_{kd} lớn. Xét hiệu ứng bề mặt, dòng điện có khuynh hướng tập trung trên bề mặt thanh dẫn khi tần số của dòng điện rôto lớn. Dưới điều kiện bình thường với hệ số trượt nhỏ (khi tần số của dòng điện rôto là nhỏ), hiệu ứng mật ngoài là không có tác dụng đáng kể và dòng điện có khuynh hướng phân bố đều trên toàn bộ tiết diện thanh dẫn. Do đó, điện trở rôto sẽ

giảm đến một giá trị nhỏ là nguyên nhân làm hiệu suất η tăng. Loại động cơ này được sử dụng rộng rãi hơn động cơ nhóm A. Đối với những nơi cần dòng khởi động nhỏ, người ta thường dùng động cơ loại này để thay thế cho loại động cơ nhóm A. Hình 7.26c biểu diễn bản thiết kế rãnh rôto loại C, đó là loại động cơ hai lồng sóc. Việc sắp xếp hai lồng sóc được sử dụng để làm tăng mômen khởi động và tăng hiệu suất động cơ. Các lồng sóc được phân làm 2 lớp thanh dẫn nối ngắn mạch với nhau. Với lồng sóc ở trong, gồm các thanh dẫn có điện trở nhỏ được đặt sâu trong rãnh rôto. Tuy nhiên với lồng sóc ngoài có điện trở thanh dẫn cao và gần với bề mặt ngoài của stato. Lúc khởi động, tần số của dòng điện rôto cao và dòng điện có khuynh hướng chạy ra phía ngoài tức là chạy trên lồng sóc nhỏ. Do kích thước thanh dẫn của lồng sóc này nhỏ nên trở kháng của các thanh dẫn rôto lồng sóc trở nên lớn hơn và làm hạn chế dòng điện khởi động và làm mômen khởi động tăng cao. Ở trạng thái hoạt động bình thường của động cơ, tần số dòng rôto thấp nên trở kháng thấp, dòng điện lại phân bố đều trên cả hai lồng sóc và làm tăng hiệu suất của động cơ. Do vậy trong suốt thời gian chạy bình thường, hiệu ứng mặt ngoài là không đáng kể, dòng điện phân bố vào các lồng sóc là nhỏ hơn. Nhìn chung, việc thiết kế như trên là để cho điện trở rôto cao khi khởi động và thấp khi hoạt động bình thường. Những loại động cơ loại này có giá thành cao hơn nhiều so với các loại còn lại và chúng chỉ được sử dụng trong những môi trường làm việc cần có mômen khởi động cao và dòng điện khởi động phải hạn chế thấp nhất.



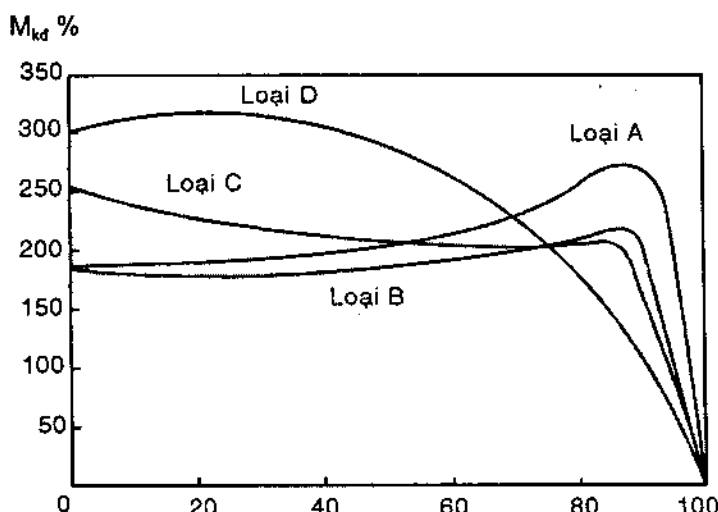
Hình 7.26. Một số dạng rãnh của rôto lồng sóc

a) Loại A; b) Loại B; c) Loại C; d) Loại D; e) Loại F.

Hình 7.26d là thiết kế rãnh rôto cho động cơ loại D. Động cơ loại D có mômen khởi động lớn, dòng điện khởi động nhỏ và hệ số trượt lớn. Thanh dẫn rôto làm bằng vật liệu có điện trở suất lớn như đồng thau. Mômen cực đại đạt khi hệ số trượt khoảng 0,5 hoặc lớn hơn. Do điện trở rôto lớn, tốc độ trượt lớn (từ 7 ~17% hoặc lớn

hơn). Như vậy hiệu suất của loại động cơ này sẽ thấp khi làm việc ổn định. Tổn hao trên rôto cao và động cơ loại này thường có kích thước lớn do đó sẽ đắt hơn các loại khác với cùng một công suất. Loại động cơ này thường được dùng với các phụ tải nặng, yêu cầu gia tốc nhanh hay chịu va đập lớn như trong máy dùi áp lực hay máy cắt.

Ngoài 4 loại rãnh trên còn sử dụng 2 loại E và F. Chúng được thiết kế cho loại động cơ có đặc tính khởi động mềm với dòng điện và mômen khởi động nhỏ, nhưng sử dụng lâu dài. Hình 7.26e sử dụng cho động cơ loại F. Nó được sử dụng cho các loại tải rất dễ chạy giống như quạt gió công nghiệp. Hình 7.27 thể hiện đồ thị đặc tính cơ của 4 loại : A, B, C, D.



Hình 7.27. Đặc tính cơ của một số loại động cơ không đồng bộ với kết cấu rãnh rôto khác nhau.

7.13. KHỞI ĐỘNG ĐỘNG CƠ KĐB

Với động cơ không đồng bộ rôto dây quấn, có thể để dây quấn rôto hở mạch, hoặc nối với điện trở lớn ở bên ngoài thông qua vành trượt. Khi tốc độ đầy đủ, chổi than sẽ ngắt sao cho điện trở ngoài ở mỗi pha bằng 0. Tuy nhiên, động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc có thể khởi động theo một số phương pháp khác nhau. Nhìn chung, cách cơ bản để khởi động có thể phân thành các loại là khởi động trực tiếp, giảm điện áp khởi động, hạn chế dòng khởi động bằng cách nối thêm đôi điện trở hoặc điện kháng. Phương pháp khác khi khởi động bao gồm phương pháp đổi nối dây quấn và khởi động theo nhiều cấp. Trong các phương pháp này, động cơ không đồng bộ được nối không đối xứng trong suốt quá trình khởi động.

7.13.1. Phương pháp khởi động trực tiếp

Nhìn chung, hầu hết động cơ không đồng bộ có kết cấu đủ chắc chắn để có thể khởi động trực tiếp mà không làm ảnh hưởng tới dây quấn ngay cả dòng khởi động gấp 5 ~ 7 lần dòng điện định mức. Tuy nhiên, phương pháp khởi động trực tiếp đối với động cơ lớn không được tốt do hai lý do: 1) nguồn không đủ công suất; 2) I_{kd} lớn có thể làm cho sụt điện áp lưới, kết quả làm hạ điện áp trên động cơ. Do mômen tỷ lệ với bình phương điện áp nên mômen khởi động sẽ trở nên nhỏ khi điện áp giảm làm cho động cơ không thể kéo tải được.

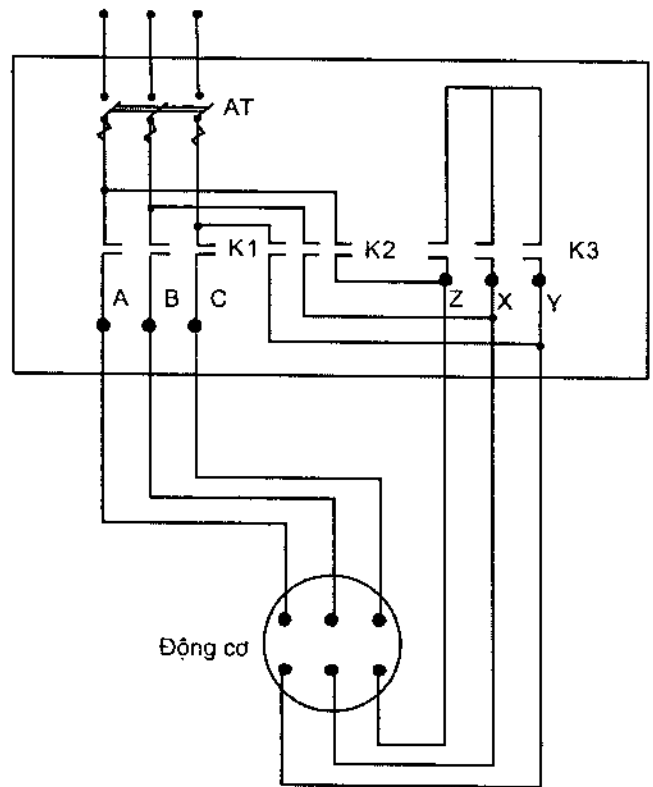
Để tính toán dòng khởi động tất cả các động cơ lồng sóc hiện nay, người ta tra catalogue của nhà sản xuất.

7.13.2. Giảm điện áp khởi động

Tại thời điểm khởi động, giảm điện áp nối vào stato và tăng chậm khi động cơ đạt 25% tốc độ định mức. Phương pháp giảm điện áp có thể áp dụng là đổi nối Δ/Δ , dùng biến áp tự ngẫu hay điều khiển pha dùng điện tử công suất.

7.13.2.1. Đổi nối Δ/Δ

Khi khởi động, hai đầu của các cuộn dây pha stato phải được đưa ra ngoài và phải có các công tắc chuyển đổi $\Delta - \Delta$, ví dụ như các bộ contactor. Tại lúc khởi động cuộn dây stato đấu kiểu Δ . Khi động cơ chạy với tốc độ gần định mức, công tắc hoạt động làm dây quấn stato được nối theo kiểu Δ , động cơ sẽ chạy ở tốc độ định mức. Chú ý rằng phương pháp khởi động này chỉ áp dụng được cho các loại động cơ khi làm việc bình thường cuộn dây được nối tam giác, động cơ phải được thiết kế làm việc theo kiểu Δ và chỉ nối Δ lúc khởi động. Do sự khác nhau của 2 cách nối là kiểu nối Δ thì gấp $\sqrt{3}$ lần kiểu nối Δ về điện áp, dòng điện giảm còn $1/3$ so với nối Δ . Nên khi nối Δ , dòng khởi động bằng $1/\sqrt{3}$ lần và mômen giảm 3 lần. Bộ đổi nối $\Delta - \Delta$ là một thiết bị khởi động bằng biến áp tự ngẫu với tỷ số $1/\sqrt{3}$.

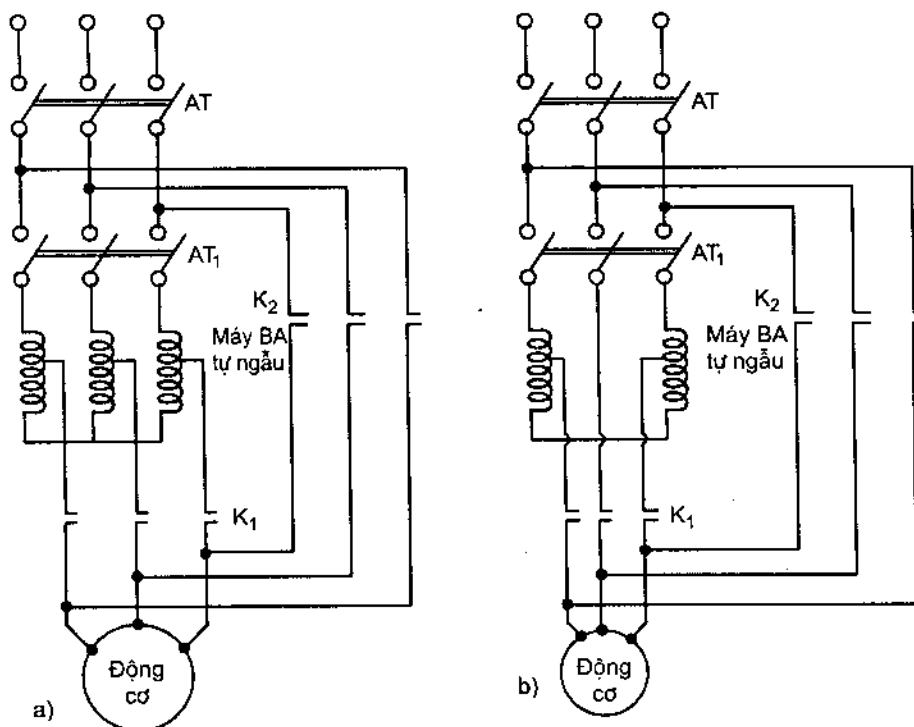


Hình 7.28. Sơ đồ nguyên lý khởi động động cơ không đồng bộ bằng đổi nối sao tam giác
Khi khởi động K_1 và K_3 đóng K_2 mở;
khi làm việc K_1 và K_2 đóng K_3 mở

7.13.2.2. Khởi động bằng biến áp tự ngẫu

Ở đây cần thiết đặt thông số của máy biến áp để giới hạn dòng điện khởi động đến giá trị đã đặt. Do đó, một MBA tự ngẫu có thể giảm áp đưa vào động cơ với tỷ số x lần điện áp định mức, sẽ giảm dòng khởi động và mômen khởi động của động cơ xuống x^2 lần định mức. Trong đó, giá trị x gọi là tỷ số bù. Khi động cơ đạt 80% tốc độ định mức, việc đấu nối thay đổi, ngắt MBA tự ngẫu và được nối với nguồn điện lưới. Phần lớn MBA tự ngẫu được thiết kế tạo ra 3 mức điện áp chuẩn là 80%, 65% hoặc 50% điện áp lưới. Người ta thiết kế các bộ chuyển mạch hoặc các thiết bị đóng ngắt hoạt động theo yêu cầu là có thể sử dụng phương pháp này. Hình 7.29 thể hiện một bộ khởi động dùng biến áp tự ngẫu.

Khi khởi động AT, AT₁, K_1 đóng, K_2 mở. Khi làm việc AT, K_2 đóng, AT₁ và K_1 mở.

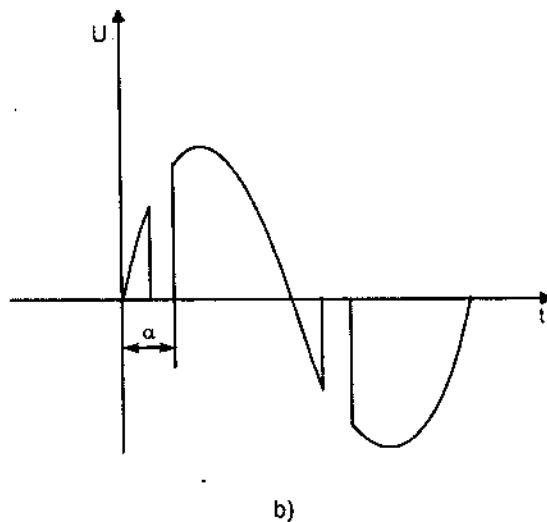
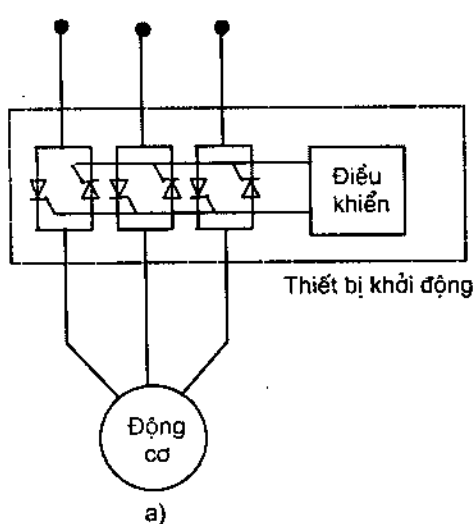


Hình 7.29. Bộ khởi động dùng biến áp tự ngẫu

a) Khởi động động cơ KĐB bằng MBA tự ngẫu kiểu 1; b) Khởi động động cơ KĐB bằng MBA tự ngẫu kiểu 2 (nối hình V).

7.13.2.3. Phương pháp khởi động điều khiển điện tử công suất

Một bộ điều khiển điện áp bằng điện tử công suất được trình bày trên hình 7.30a. Ưu điểm của phương pháp này là tạo ra quá trình khởi động trơn và điều khiển được tốc độ của động cơ KĐB trong khi chạy. Khi góc mở α thay đổi, giá trị điện áp trung bình đặt lên động cơ sẽ thay đổi tương ứng. Vì vậy quá trình khởi động diễn ra mềm mại nên người ta còn gọi là bộ khởi động mềm hay softstarter.



Hình 7.30. Sơ đồ nguyên lý khởi động bằng thiết bị bán dẫn

a) Sơ đồ nguyên lý; b) Dạng điện áp pha.

7.13.3. Khởi động bằng các điện trở, điện kháng

Phương pháp này được dùng nếu mômen khởi động của thiết bị không cần lớn. Trong phương pháp này, các điện trở hoặc điện kháng, được đưa vào 3 dây stato để hạn chế dòng điện khởi động. Các điện trở hoặc điện kháng được loại ra khi động cơ đạt đến tốc độ nào đó. Do có tổn hao công suất trong khi khởi động trên các điện trở, nên phương pháp này ít được sử dụng. Phần lớn người ta sử dụng điện kháng mắc vào mạch stato. Điện kháng cũng được thiết kế với cấp điện áp đặt vào động cơ tương ứng là 50%, 65% và 80% điện áp danh định.

Ví dụ 7.7

Một động cơ không đồng bộ 3 pha, trên nhãn có ghi 75kW; 380V; $\eta = 0,9$;

$\cos\varphi = 0,85$. Tra catalogue có $\frac{I_{kd}}{I_{dm}} = 6$. Xác

định dòng điện khởi động.

Lời giải:

Dòng điện định mức của động cơ:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}U\eta\cos\varphi} = \frac{75 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,9 \cdot 0,85} = 149A$$

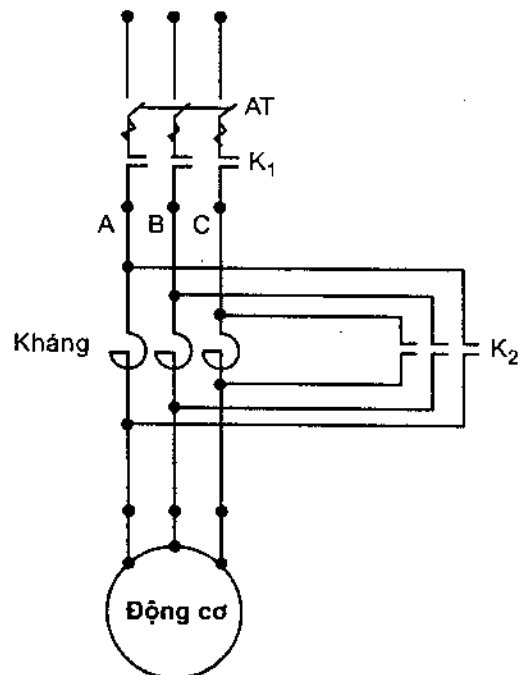
Dòng điện khởi động của động cơ là:

$$I_{kd} = I \cdot 6 = 894A$$

Ví dụ 7.8

Một động cơ KĐB 3 pha; 4 cực; 100hp; 440V; 60Hz; nối Δ . Có các thông số cố định trên mỗi pha của stato là: $R_1 = 0,085\Omega$; $X_1 = 0,196\Omega$; $R_2 = 0,067\Omega$; $X_2 = 0,161\Omega$ và $X_m = 6,65\Omega$. Động cơ dây quấn có hệ số dây quấn là 2. Để tạo ra mômen cực đại khi khởi động thì rôto dây quấn nối thêm điện trở ngoài. Điện trở và điện kháng thevenin của động cơ là $0,0802\Omega$ và $0,191\Omega$. Xác định giá trị của điện trở ngoài của rôto với các điều kiện sau:

- Nếu dây quấn stato nối hình sao Δ .
- Nếu dây quấn rôto nối hình Δ .
- Nếu dây quấn stato nối hình tam giác Δ .
- Nếu dây quấn rôto nối hình tam giác Δ .



Hình 7.31. Sơ đồ khởi động bằng điện kháng mắc vào mạch stato.

Lời giải:

a) Điều chỉnh điện trở ngoài để tạo ra mômen đạt cực đại $M_{kd} = M_{max}$, vì M_{max} chỉ có khi $s_{max} = 1$, từ phương trình (7.88):

$$\frac{R_{2\Sigma}}{s_{max}} = [R_{th}^2 + (X_{th} + X^2)^{1/2}]$$

$$\frac{R_{2\Sigma}}{1,0} = [0,0802^2 + (0,191 + 0,161)^2]^{1/2} = 0,361\Omega$$

Do đó $R_{2\Sigma} = 0,361\Omega$. Vì giá trị này là tổng trở của điện trở trong mạch rôto, điện trở ngoài mắc thêm vào cuộn dây stato nối hình λ là:

$$R_{2,ext} = R_{2\Sigma} - R_2 = 0,361 - 0,067 = 0,294\Omega \text{ mỗi pha.}$$

b) Giá trị điện trở ngoài mắc thêm vào rôto nếu rôto nối hình λ là:

$$R_{2,ex} = R_{2,ext}/4 = 0,294/4 = 0,0735\Omega \text{ mỗi pha.}$$

c) Giá trị điện trở ngoài khi cuộn dây nối hình Δ là:

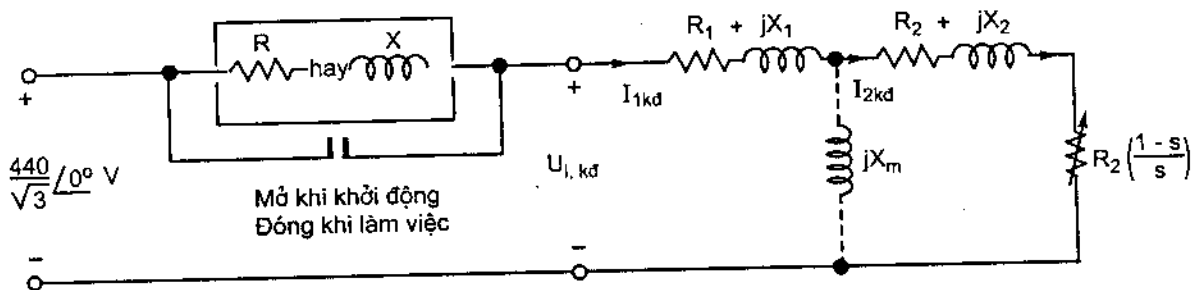
$$R'_{2,ex} = 3(0,294) = 0,882\Omega$$

d) Giá trị của điện trở ngoài khi rôto nối hình Δ là:

$$R_{2,ex} = 3(0,0735) = 0,2205\Omega$$

Hay: $R_{2,ext} = \frac{R'_{2,ex}}{a^2} = 0,882/4$

$$R_{2,ext} = 0,2205\Omega$$



Hình 7.32. Dùng điện trở hoặc điện kháng khởi động trong ví dụ 7.8

Ví dụ 7.9

Một động cơ không đồng bộ đã cho trong ví dụ 7.8 và coi dây quấn rôto nối ngắn mạch hay nối giống như rôto lồng sóc. Kiểm tra điện áp khởi động của động cơ. Bỏ qua jX_m với lý do đơn giản là hệ số trượt lớn (coi $s_{kd} = 1$) lúc khởi động. Xác định các thông số sau:

- Dòng điện stato lúc khởi động.
- Dòng điện rôto lúc khởi động.
- Công suất khe hở không khí lúc khởi động.
- Công suất cơ khi khởi động.
- Mômen điện từ lúc khởi động.

Lời giải:

a) Dòng điện stato khi khởi động là:

$$I_{1,kd} = \frac{U_1}{\left(R_1 + \frac{R_2}{s}\right) + j(X_1 + X_2)}$$

$$= \frac{254 \angle 0^\circ}{(0,085 + 0,67/1) + j(0,196 + 0,161)} = 665 \angle -66,9^\circ \text{ A}$$

b) Vì: $I_{2,kd} \cong I_{1,kd} = 665 \angle -66,9^\circ \text{ A}$

c) Công suất khe hở không khí là:

$$P_{g,kd} = 3I_{2,kd}^2 \frac{R_2}{s} = 3(665)^2 \cdot 0,067 \cong 86 \text{ kW}$$

d) Công cơ lúc khởi động là:

$$P_{d,kd} = 3I_{2,kd}^2 R_2 \left(\frac{1-s}{s}\right) = 3(665)^2 \cdot 0,067 \left(\frac{1-1}{1}\right) = 0$$

e) Mômen điện từ khi khởi động là:

$$M_{d,kd} = \frac{P_g}{\omega_s} = \frac{86139}{94,24} = 914 \text{ Nm}$$

Với:
$$\omega_s = \frac{2\pi}{60} \left(\frac{120f_1}{p}\right) = \frac{2\pi \cdot 14}{60} \left(\frac{120 \cdot 60}{8}\right) = 94,24 \text{ rad/s}$$

Vì $P_{d,kd} = 0$ và $\omega_m = 0$ nên mômen tính theo phương trình (7.68a) không thể sử dụng để tính mômen điện từ lúc khởi động được.

Ví dụ 7.10

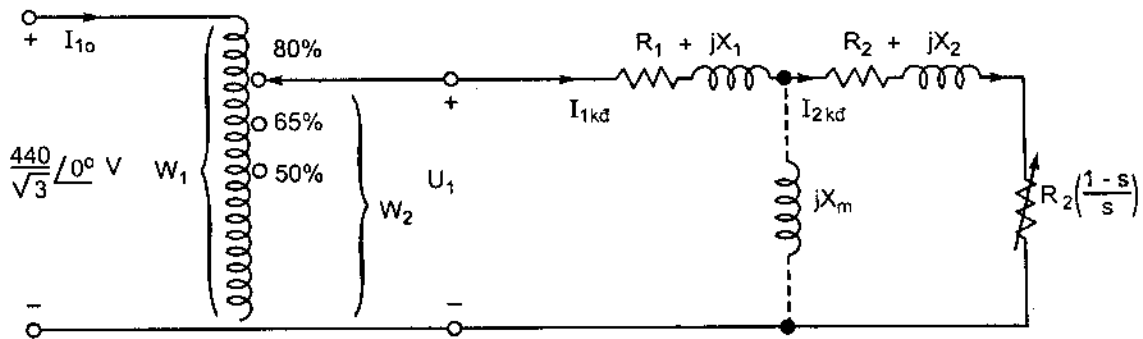
Giả sử điều chỉnh điện áp khởi động động cơ lồng sóc hay động cơ rôto dây quấn tương đương cho trong ví dụ 7.9, bỏ qua nhánh có chứa X_m . Ứng dụng lý thuyết điều chỉnh điện áp, tìm và lập bảng thống kê dòng điện stato khi khởi động $I_{1,kd}$, dòng điện đi vào máy điều chỉnh điện áp I_L và mômen điện từ lúc khởi động. Xác định các giá trị trên là hàm của các vị trí của máy điều chỉnh điện áp, với 50, 65, và 80 phần trăm điện áp nguồn.

Lời giải:

Hình 7.33 thể hiện ứng dụng máy biến áp tự ngẫu để điều chỉnh điện áp khi khởi động. Kết quả cho trong bảng 7.1 là các kết quả cơ bản có trong ví dụ 7.9. Chú ý rằng kỹ thuật này thường ứng dụng ở trong các tải ly tâm như bơm nước hay quạt gió. Tuy nhiên, nó sẽ sai khi ứng dụng khởi động các tải nặng mà mômen cơ không đổi hay còn gọi là mômen hằng.

BẢNG 7.1. KẾT QUẢ CỦA VÍ DỤ 7.10

$U_1(\%)$	w_2/w_1	$(w_1/w_2)^2$	$I_{1,kd} = 655(N_2/N_1)$	$I_L = 655(w_1/w_2)^2$	$M_{d,kd} = 914(w_1/w_2)^2$
100	1	1	655	655	914
80	0,8	0,64	524	419	585
65	0,65	0,4225	426	277	386
50	0,5	0,5	0,25	164	229



Hình 7.33. Sử dụng máy biến áp tự ngẫu khởi động động cơ KĐB

Ví dụ 7.11

Giả sử động cơ không đồng bộ cho trong ví dụ 7.10 và thay máy biến áp tự ngẫu để giảm điện áp khởi động bằng điện trở khởi động chính hay điện trở thêm vào khi khởi động như trong hình 7.32. Điện trở thực và điện trở thêm vào là loại trừ lẫn nhau, do đó các tham số R và X như vẽ trong khung không thể xuất hiện đồng thời. Cho mômen khởi động lúc giảm điện áp còn 25% mômen khởi động lúc điện áp định mức. Xác định các thông số sau:

- Mômen khởi động lúc giảm điện áp.
- Điện áp lúc khởi động.
- Dòng điện lúc khởi động.
- Tổng trở lúc khởi động.
- Giá trị điện trở R.
- Giá trị điện kháng X.

Lời giải:

a) Trong ví dụ 7.10, mômen khởi động lúc điện áp chưa thay đổi là 914N.m. Do đó mômen khởi động mới khi điện áp giảm là:

$$M_{kd} = 914/4 = 228,5 \text{ N.m}$$

b) Nếu điện áp của nguồn cấp là giảm một nửa, mômen khởi động giảm 1/4. Do đó điện áp lúc này là:

$$U_{1,kd} = 0,5 \left(\frac{440}{\sqrt{3}} \right) = 127 \text{ V}$$

c) Do đó dòng điện khởi động là:

$$I_{1,kd} = 0,5(655) = 327,5 \text{ A}$$

d) Như vậy tổng trở lúc khởi động là:

$$Z_t = \frac{U_{1,kd}}{I_{1,kd}} = \frac{127}{327,5} = 0,387 \Omega$$

e) Vì bỏ qua jX_m cho nên tổng trở lúc khởi động có thể được viết như sau khi đưa thêm điện trở R vào:

$$Z_t = (R_1 + R_2 + R) + j(X_1 + X_2)$$

Vì độ lớn của tổng trở đầu vào là $0,387\Omega$, giá trị của R sẽ được xác định.

đ) Vì tổng trở khi có thêm điện kháng X có thể viết:

$$Z_t = (R_1 + R_2) + j(X_1 + X_2 + X)$$

Độ lớn của tổng trở là $0,387\Omega$, giá trị của X có trong biểu thức trên có thể tìm được. Biểu thức này thường sử dụng để giảm mômen gia tốc M_a , hay mômen điện từ M_e . Tuy nhiên nó không nên dùng để giảm dòng điện stato I_1 .

7.14. ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ

Một động cơ KĐB về cơ bản là có tốc độ không đổi khi nó được nối với một nguồn áp không đổi và tần số nguồn cấp không đổi. Phần lớn các thiết bị công nghiệp chạy ở tốc độ không đổi, tuy nhiên trong nhiều ứng dụng phải thay đổi tốc độ như thang máy, máy vận chuyển, máy kéo... người ta thường sử dụng động cơ một chiều trong các hệ thống cần tốc độ thay đổi. Tuy nhiên, động cơ một chiều đắt, khó bảo dưỡng, có chổi than và không thể dùng được trong môi trường dễ cháy nổ. Tốc độ đồng bộ trong động cơ KĐB có thể thay đổi bằng cách thay đổi số đôi cực hoặc tần số nguồn điện. Hệ số trượt có thể thay đổi bằng cách thay đổi điện áp, thay đổi điện trở rôto, hoặc đưa điện áp với tần số thích hợp vào mạch rôto.

7.14.1. Phương pháp thay đổi số đôi cực

Trong phương pháp này, cần thiết kể dây quấn stato của động cơ sao cho có thể đơn giản thay đổi số đôi cực theo tỷ số 2/1. Trong cách này, 2 tốc độ đồng bộ có thể tạo ra. Phương pháp này không dùng cho động cơ KĐB rôto dây quấn, vì dây quấn rôto luôn phải có số đôi cực bằng số đôi cực của dây quấn stato. Tuy nhiên, một rôto lồng sóc có số cặp cực phụ thuộc vào từ trường trong khe hở không khí. Với hai cuộn dây stato độc lập, có thể sắp xếp để tạo ra sự thay đổi số cực, có thể với 4 tốc độ đồng bộ với rôto lồng sóc. Ví dụ 600, 1200, 1800 và 3600 vòng/phút, ở tần số 60Hz hay 500, 1000, 1500, 3000 vg/ph ở tần số 50Hz. Thêm vào đó, các pha động cơ có thể nối Δ hoặc Δ , kết quả là có 8 sự thay đổi.

7.14.2. Phương pháp biến đổi tần số

Tốc độ đồng bộ của động cơ KĐB có thể điều khiển bằng cách thay đổi tần số. Sự thay đổi tốc độ có thể tiếp tục hoặc dừng tương ứng với sự thay đổi của tần số là tiếp tục hay dừng. Theo quy luật từ thông không đổi, điện áp cũng phải thay đổi cùng tần số. Do đó, mômen cực đại thì gần như không đổi. Quy luật này được gọi là quy luật tỷ số điện áp và tần số không đổi: $\frac{U}{f} = \text{const}$. Động cơ rôto dây quấn có thể dùng với phương pháp biến đổi tần số để điều chỉnh tốc độ.

7.14.3. Phương pháp thay đổi điện áp

Mômen động cơ KĐB tạo ra tỷ lệ với bình phương điện áp. Do đó tốc độ của động cơ

có thể điều chỉnh trên một dải giới hạn bằng việc thay đổi điện áp. Nếu điện áp thay đổi từ U_1 đến U_2 , tốc độ cũng thay đổi giữa n_1 tới n_2 cho ra tải. Phương pháp này được sử dụng cho động cơ KDB rôto lồng sóc loại nhỏ, cho các tải quạt gió và bơm ly tâm.

7.14.4. Phương pháp biến đổi điện trở phụ của rôto

Phương pháp này chỉ dùng cho động cơ rôto dây quấn. Các biến trở được nối với rôto thông qua các vành trượt. Đặc tính cơ $M - \omega$ của động cơ KDB rôto dây quấn có thể điều khiển. Với sự thay đổi lớn về mômen cho phép hạ thấp dòng điện khởi động trong khi vẫn tạo ra M_{kd} lớn. Tóm lại, M_{max} và M_{kd} có thể làm cho chúng bằng nhau. Bằng cách thay đổi điện trở mạch điện rôto, thì tốc độ có thể cũng tiếp tục thay đổi hoàn toàn. Nhược điểm của phương pháp này là làm giảm hiệu suất khi giảm tốc độ và tốc độ thay đổi nhỏ so với sự thay đổi của tải.

7.14.5. Phương pháp thay đổi hệ số trượt

Bỏ qua sự giảm thấp của hiệu suất khi hoạt động ở tốc độ thấp hoặc làm ảnh hưởng tốc độ với tải thay đổi. Tốc độ động cơ KDB có thể điều khiển bằng cách dùng bộ biến đổi bán dẫn để tác động thay đổi hệ số trượt.

7.14.6. Phương pháp điều khiển tốc độ bằng công tắc không tiếp điểm (pha xung)

Tốc độ của động cơ rôto dây quấn có thể điều khiển bằng bộ biến đổi điện áp stato hoặc bộ biến đổi mắc ở mạch rôto với thiết bị công tắc không tiếp điểm như transistor công suất hoặc các bộ chỉnh lưu có điều khiển (SCRs hay thyristor). Nhìn chung, dùng thyristor điều khiển tạo ra vùng điều chỉnh rộng có hiệu suất cao hơn phương pháp điều khiển hệ số trượt.

7.15. THÍ NGHIỆM XÁC ĐỊNH CÁC THÔNG SỐ CỦA MẠCH ĐIỆN

Các thông số của mạch điện của động cơ KDB có thể tìm thông qua thí nghiệm không tải và thí nghiệm ngắn mạch. Các thí nghiệm này tiến hành như máy biến áp. Điện trở stato có thể xác định từ thí nghiệm một chiều.

7.15.1. Thí nghiệm không tải

Điện áp có tần số định mức được đưa vào stato và động cơ chạy không tải. Điện áp, dòng điện, công suất vào stato đều đo được. Khi không tải, R_2 rất nhỏ so với $R_2(1-s)/s$. Do đó, tổn hao đồng rôto là không đáng kể. $P_{vào}$ khi không tải là tổng của tổn hao đồng stato và tổn hao quay. Do vậy:

$$P_{vào} = P_{1,Cu} + P_{quay} \quad (7.92a)$$

$$\text{Hoặc:} \quad P_{vào} = 3I_1^2 R_1 + P_{quay} \quad (7.92b)$$

$$\text{Trong đó:} \quad P_{vào} = P_{lõi thép} + P_{gió} \quad (7.93)$$

Cho rằng các tổn hao phụ là không đáng kể vì tổn hao quay có thể tìm từ:

$$P_{quay} = P_{vào} - 3I_1^2 R_1 \quad (7.94)$$

Trong đó, $P_{\text{vào}}$ là tổng công suất 3 pha đưa vào máy tại điện áp có tần số định mức và I_1 là dòng điện dây.

Trong trạng thái không tải, R_1 rất nhỏ so với X_m , và hệ số công suất rất nhỏ, cỡ 0,1. Tổng trở vào:

$$Z_{\text{vào}} = \frac{U_{\text{pha}}}{\sqrt{3}I_1} = X_1 + X_m \quad (7.95)$$

Trong đó, $U_{\text{vào}}$ là điện áp pha, nên:

$$X_m = \frac{U_{\text{pha}}}{\sqrt{3}I_1} - X_1 \quad (7.96)$$

7.15.2. Thí nghiệm một chiều

Điện trở stato R_1 có thể tìm từ điện trở một chiều. Do đó, có thể đo nó độc lập với rôto. Trong thí nghiệm này, một nguồn điện một chiều được nối với hai đầu của mạch điện 3 pha đầu Δ của động cơ KDB. Dòng trong cuộn stato sẽ cho một giá trị, và điện áp giữa chúng được đo lường. Do dòng chạy qua hai đầu của các cuộn dây đầu Δ nên tổng trở ở đây là $2R_1$. Do vậy:

$$2R_1 = U_{\text{mc}}/I_{\text{mc}} \quad (7.97)$$

$$\text{hoặc: } R_1 = U_{\text{mc}}/2I_{\text{mc}} \quad (7.98)$$

Giá trị của R_1 được xác định ở phương trình 7.98 dùng để xác định tổn hao đồng stato và tổn hao quay. Thông thường, do R_1 phụ thuộc vào hiệu ứng bề mặt và nhiệt độ của dây khi thí nghiệm ngắn mạch. Do đó, điện trở xoay chiều sẽ bằng tích của điện trở một chiều với hệ số khoảng 1,2 ~ 1,8, phụ thuộc vào tần số và các hệ số khác.

7.15.3. Thí nghiệm ngắn mạch

Thí nghiệm này tương ứng với thí nghiệm ngắn mạch ở máy biến áp và nó được gọi là thí nghiệm khoá rôto. Ở đây, rôto của máy đứng yên ($s = 1$) vì bị giữ chặt. Một điện áp nhỏ được nối với máy sao cho dòng vào là định mức. Công suất, điện áp và dòng vào trong thí nghiệm ngắn mạch với tần số bằng 25% tần số định mức. $P_{\text{vào}}$ của động cơ là:

$$P_{\text{vào}} = \sqrt{3}U.I.\cos\varphi \quad (7.99)$$

Cho nên hệ số công suất được xác định như sau:

$$\cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{3}U.I} \quad (7.100)$$

$$\text{Tổng trở là: } |Z_n| = \frac{U_n}{I_1} = \frac{U_n}{\sqrt{3}I_n} \quad (7.101)$$

Hay biểu diễn theo góc φ :

$$Z_n = R_n + jX_n \quad (7.102a)$$

$$Z_n = Z_n \cos \varphi + jX_n \sin \varphi \quad (7.102b)$$

Vì R_1 được tìm từ thí nghiệm một chiều, nên:

$$R_n = R_1 + R_2 \quad (7.103)$$

Và điện kháng ngắn mạch là:

$$X_n' = X_1' + X_2' \quad (7.104)$$

Trong đó X_1' và X_2' là điện kháng stato và rôto tại tần số thí nghiệm.

$$X_1' = Z_n \sin \varphi \quad (7.105a)$$

$$X_n' = (Z_n^2 - R_n^2)^{1/2} \quad (7.105b)$$

Hoặc:

$$X_n' = \left[\left(\frac{U_n}{\sqrt{3}I_n} \right)^2 + \left(\frac{P_n}{\sqrt{3}I_n^2} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (7.105c)$$

Điện trở rôto có thể tìm thấy như sau:

$$R_2 = R_n - R_1 \quad (7.106)$$

Trong đó, R_1 tìm từ thí nghiệm một chiều. Do đó:

$$R_2 = \frac{P_n}{3I_n^2} - \frac{U_{mc}}{2I_{mc}} \quad (7.107)$$

Vì điện kháng tỷ lệ với tần số, nên tổng điện kháng tương đương tại tần số vận hành là:

$$X_n = \frac{f_{dm}}{f_{in}} X_n' = X_1 + X_2 \quad (7.108)$$

Thực tế là không có cách nào đơn giản hơn để xác định điện trở stato và rôto. Thông tin này chỉ được biết trong thiết kế máy. Bảng 7.2 cho những giá trị gần đúng của X_1 và X_2 theo một phần của X_n . Nhìn chung, tỷ lệ của X_1 và X_2 trong X_n không quan trọng, nhưng điều quan trọng là lượng X_n và ảnh hưởng của nó tới mômen cản. Cũng cần lưu ý rằng, rôto loại B và C thiết kế để cho điện kháng thay đổi theo tần số.

**BẢNG 7.2. XÁC ĐỊNH CÁC THÔNG SỐ X_1 VÀ X_2
TỪ THÍ NGHIỆM NGẮN MẠCH VỚI MỘT TỶ LỆ TẦN SỐ**

Thiết kế động cơ	Tỷ số X_1 và X_2 trên X_n	
	X_1	X_2
Rôto dây quấn	0,5	0,5
Loại A	0,5	0,5
Loại B	0,4	0,6
Loại C	0,3	0,7
Loại D	0,5	0,5

Ví dụ 7.12

Làm các thí nghiệm động cơ 3 pha; 4 cực; 150hp; 480V; 60Hz; loại B; nối với dòng điện là 101,3A.

* Thí nghiệm 1 chiều: $U_{dc} = 20,26V$; $I_{dc} = 101,3A$.

* Thí nghiệm không tải: $U_o = 480V$; $f = 60Hz$.

$$I_a = 34,8A ; P_o = 3617,5W.$$

$$I_b = 35A; I_c = 35,2A.$$

* Thí nghiệm ngắn mạch:

$$U_n = 5,13V; f = 15Hz.$$

$$I_a = 101,3A ; P_n = 5200W.$$

$$I_b = 100,4A; I_c = 102,5A.$$

Xác định các thông số sau:

a) Tính R_1 và R_2 của động cơ, sử dụng thêm hệ số là 1,5 trong các tính toán với điện trở phản ứng trên mỗi pha.

b) Tính X_1 , X_2 và X_m của động cơ.

Lời giải:

a) Từ thí nghiệm 1 chiều:

$$R_1 = \frac{U_{dc}}{2I_{dc}} = \frac{20,26}{2(101,3)} = 0,1\Omega$$

Như vậy điện trở trong mạch xoay chiều là $(0,1) 1,5 = 0,15\Omega$. Từ thí nghiệm không tải:

$$I_{1,o} = \frac{I_a + I_b + I_c}{3} = \frac{34,8 + 35 + 35,2}{3} = 35A$$

$$\text{Và vì: } |Z_o| = \frac{U_o}{\sqrt{3} I_o} \cong X_1 + X_m$$

$$\text{Nên: } |Z_o| = \frac{480}{\sqrt{3} \cdot 35} = 7,918\Omega = X_1 + X_m$$

Do vậy khi đã biết X_1 , thì X_m có thể được xác định. Tổn hao đồng trên stato là:

$$P_{1,Cu} = 3I_{1,o}^2 R_1 = 3(35)^2(0,15) = 551,25W$$

Tổn hao không tải khi quay là:

$$P_{rot} = P_o - P_{1,Cu} = 3617,5 - 551,25 = 3066,25W$$

Từ thí nghiệm ngắn mạch:

$$I_n = \frac{101,3 + 100,4 + 102,5}{3} = 101,4A$$

Tổng trở ngắn mạch có thể tìm được từ biểu thức:

$$|Z_n| = \frac{U_n}{\sqrt{3} I_n} = \frac{5,13}{\sqrt{3}(101,4)} = 0,292\Omega$$

và góc φ là:

$$\varphi = \cos^{-1} \left(\frac{P_n}{\sqrt{3} U_n I_n} \right) = \cos^{-1} \left(\frac{5200}{\sqrt{3}(5,13)(101,4)} \right) = 54,75^\circ$$

Như vậy: $R_n = Z_n \cos \varphi = 0,292 \cos 54,75^\circ = 0,169 \Omega$

vì $R_n = R_1 + R_2$

nên $R_2 = R_n - R_1 = 0,169 - 0,15 = 0,019 \Omega$

b) Điện kháng lúc tần số 15Hz là:

$$X'_n = Z_n \sin \varphi = 0,292 \sin 54,75^\circ = 0,239 \Omega$$

Điện kháng tại tần số 60Hz là:

$$X_n = \frac{60}{15} 0,239 = 0,956 \Omega$$

Vì là thiết kế cho động cơ loại B nên:

$$X_1 = 0,4 X_n = 0,4(0,956) = 0,382 \Omega$$

Và $X_2 = 0,6 X_n = 0,6(0,956) = 0,574 \Omega$

Cũng vậy $X_m = 7,92 - 0,382 = 7,538 \Omega$

BÀI TẬP

7.1. Một động cơ không đồng bộ 3 pha, nối Δ , có tần số định mức là 60Hz với công suất là 50 hp hoạt động với tốc độ đầu trục tối đa là 900 vòng/phút khi không tải và khi đầy tải thì tốc độ là 873 vòng/phút. Xác định các thông số sau:

- Số cực của động cơ.
- Hệ số trượt khi đầy tải tính theo phần trăm.
- Tần số trượt của động cơ.
- Tốc độ của từ trường rôto so với chính nó.
- Tốc độ của từ trường rôto so với stato.
- Tốc độ từ trường rôto so với từ trường stato.
- Mômen đầu trục của động cơ.

7.2. Một động cơ không đồng bộ 3 pha đấu sao có tần số định mức là 60Hz hoạt động có tốc độ lớn nhất là 3600 vòng/phút khi không tải và 3466 vòng/phút khi đầy tải. Hãy xác định các thông số sau:

- Số cực của động cơ.
- Hệ số trượt khi đầy tải tính theo phần trăm.
- Tần số trượt của động cơ.
- Tốc độ của từ trường rôto so với chính nó.
- Tốc độ của từ trường rôto so với stato.
- Tốc độ từ trường rôto so với từ trường stato.

7.3. Như bài 7.1 nhưng với giả thiết là động cơ 10hp chạy không tải là 1800 vòng/phút, đầy tải là 1761 vòng/phút.

7.4. Như bài 7.2 nhưng giả thiết là động cơ chạy với tốc độ trục là 120 vòng/phút khi không tải và 114 vòng/phút khi đầy tải.

7.5. Một động cơ KĐB 3 pha; 480V; 25hp; hai cực; 60Hz có hệ số trượt khi đầy tải là 5%. Xác định:

- Tốc độ đồng bộ.
- Tốc độ lúc đầy tải.

- c) Tần số trượt lúc đầy tải.
- d) Mômen đầu trục khi đầy tải.

7.6. Một động cơ KĐB 3 pha; 480V; 50hp; 4 cực; tần số 60Hz có hệ số trượt lúc đầy tải là 3,5%. Xác định:

- a) Tốc độ đồng bộ của động cơ.
- b) Tốc độ rôto khi đầy tải.
- c) Tần số trượt khi đầy tải.
- d) Mômen đầu trục khi đầy tải.

7.7. Động cơ không đồng bộ 3 pha; 208V; 25hp, có dòng điện là 75A khi hệ số công suất là 0,85. Tổn hao đồng trên stato và rôto lần lượt là 1867W và 650W. Tổn hao sắt từ là 1500W, tổn hao do ma sát và quạt gió là 300W, coi các tổn hao phụ là không đáng kể. Xác định các thông số sau:

- a) Công suất khe hở không khí.
- b) Công suất cơ.
- c) Công suất đầu trục.
- d) Hiệu suất của động cơ.

7.8. Động cơ KĐB 3 pha có $I = 50A$; 480V; hệ số công suất là 0,85. Tổn hao đồng trên stato và rôto lần lượt là 1000W và 500W. Tổn hao sắt từ là 500W, tổn hao do ma sát và quạt gió là 250W, tổn hao phụ là 250W. Xác định các thông số sau:

- a) Công suất khe hở không khí.
- b) Công suất cơ.
- c) Công suất đầu trục tính theo hp.
- d) Hiệu suất của động cơ.

7.9. Sử dụng các thông số cho trong bài 7.8. Nếu tần số của nguồn là 60Hz và động cơ KĐB có hai cực, xác định:

- a) Hệ số trượt.
- b) Tốc độ hoạt động tính theo rad/s và vòng/phút.
- c) Mômen điện từ.
- d) Mômen đầu trục.

7.10. Chứng minh rằng nếu tổn hao đồng trên động cơ KĐB chỉ có tổn hao đồng trên rôto thì hiệu suất của động cơ có thể tính theo công thức $\eta = 1 - s$, với s là hệ số trượt.

7.11. Một động cơ KĐB ba pha có: 50A, 380V, hệ số công suất 0,9. Tổn hao đồng trên stato và rôto lần lượt là 1000W và 500W, tổn hao sắt từ là 650W, tổn hao do ma sát và quạt gió là 200W, và các tổn hao phụ là 250W. Xác định:

- a) Công suất khe hở không khí.
- b) Công suất cơ.
- c) Công suất đầu trục.
- d) Hiệu suất của động cơ.

7.12. Sử dụng các thông số cho trong bài 7.11. Nếu tần số của nguồn là 50Hz và động cơ KĐB có 4 cực, xác định:

- a) Hệ số trượt.
- b) Tốc độ hoạt động tính theo rad/s và vòng/phút.

c) Mômen điện từ.

d) Mômen lúc ra.

7.13. Một động cơ KĐB 2 cực; 60Hz, mômen lúc đầy tải tại tốc độ 3492 vòng/phút. Xác định:

a) Tốc độ khi mômen còn 1/2.

b) Tốc độ khi mômen giảm và điện áp giảm 1 nửa, nếu điện trở trên mỗi pha tăng gấp đôi.

7.14. Cho động cơ KĐB hoạt động ở 10hp; 60Hz. Nếu động cơ hoạt động tại 120Hz, xác định:

a) Điện áp để động cơ duy trì được nhiệt độ ổn định ở trạng thái bão hoà.

b) Tính gần đúng tỷ số công suất và tần số.

7.15. Một động cơ KĐB 3 pha có các thông số đầu vào rôto là: 208V; 60Hz; 24 cực; 20kW.

Xác định:

a) Mômen điện từ.

b) Tốc độ và công suất đầu ra của động cơ nếu dòng điện rôto là 63,25A và điện trở mỗi pha là $0,05\Omega$ (bỏ qua tổn hao quay).

7.16. Một động cơ KĐB 3 pha; 4 cực 100hp; 480V; 60Hz; nối Δ , stato có các thông số sau:

$$R_1 = 0,1\Omega \quad R_2 = 0,079\Omega \quad X_1 = 0,205\Omega \quad X_2 = 0,186\Omega \quad X_m = 7,15\Omega$$

Tổn hao quay là 2950W và coi là không đổi. Tổn hao lõi thép nằm trong tổn hao quay. Cho hệ số $s = 3,33\%$, xác định:

a) Tốc độ động cơ.

b) Dòng điện stato.

c) Hệ số công suất.

d) Công suất điện từ và công suất đầu ra.

e) Mômen điện từ và mômen đầu ra.

f) Hiệu suất của động cơ.

7.17. Một động cơ KĐB 3 pha; 2 cực 25hp; 380V; 60Hz; nối Δ , stato có các thông số sau:

$$R_1 = 0,525\Omega \quad ; \quad R_2 = 0,295\Omega \quad ; \quad X_1 = 1,75\Omega \quad ; \quad X_2 = 0,8\Omega \quad ; \quad X_m = 20,5\Omega$$

Tổn hao quay là 1850W và coi là không đổi. Tổn hao lõi thép nằm trong tổn hao quay. Cho hệ số $s = 3,33\%$, xác định:

a) Tốc độ động cơ.

b) Dòng điện stato.

c) Hệ số công suất.

d) Công suất điện từ và công suất đầu ra.

e) Mômen điện từ và mômen đầu ra.

f) Hiệu suất của động cơ.

7.18. Một động cơ không đồng bộ 3 pha; 4 cực; 150hp; 480V; 60Hz, nối Y , stato có các thông số sau:

$$R_1 = 0,1\Omega \quad ; \quad R_2 = 0,085\Omega \quad ; \quad X_1 = 0,25\Omega \quad ; \quad X_2 = 0,175\Omega \quad ; \quad X_m = 6,25\Omega$$

Tổn hao quay là 3250W và coi là không đổi. Tổn hao lõi thép nằm trong tổn hao quay. Cho hệ số $s = 3\%$, xác định:

a) Tốc độ động cơ.

b) Dòng điện stato.

c) Hệ số công suất.

d) Công suất điện từ và công suất đầu ra.

e) Mômen điện từ và mômen đầu ra.

f) Hiệu suất của động cơ.

7.19. Một động cơ không đồng bộ 3 pha; 4 cực; 60Hz có công suất 50hp lúc tốc độ 1701 vòng/phút. Coi tổn hao cơ là bằng 0. Xác định:

a) Hệ số trượt của động cơ.

b) Mômen điện từ.

c) Tốc độ đầu trục của động cơ nếu mômen là tăng gấp 2.

d) Công suất đầu trục của động cơ nếu mômen là tăng gấp 2.

7.20. Một động cơ không đồng bộ 3 pha; 6 cực; 60Hz có công suất 30hp lúc tốc độ 114 vòng/phút. Coi tổn hao cơ là bằng 0. Xác định:

a) Hệ số trượt của động cơ.

b) Mômen điện từ.

c) Tốc độ đầu trục của động cơ nếu mômen là tăng gấp 2.

d) Công suất đầu trục của động cơ nếu mômen là tăng gấp 2.

7.21. Một động cơ không đồng bộ 3 pha; 4 cực; 60Hz có công suất 100hp lúc tốc độ 1701 vòng/phút. Coi tổn hao cơ là bằng 0. Xác định:

a) Hệ số trượt của động cơ.

b) Mômen điện từ.

c) Tốc độ đầu trục của động cơ nếu mômen là tăng gấp 2.

d) Công suất đầu trục của động cơ nếu mômen là tăng gấp 2.

7.22. Một động cơ không đồng bộ 3 pha; 30 cực; 60Hz có công suất 50hp lúc tốc độ 233 vòng/phút. Coi tổn hao cơ là bằng 0. Xác định:

a) Hệ số trượt của động cơ.

b) Mômen điện từ.

c) Tốc độ đầu trục của động cơ nếu mômen là tăng gấp 2.

d) Công suất đầu trục của động cơ nếu mômen là tăng gấp 2.

7.23. Giả sử động cơ không đồng bộ 3 pha cho trong ví dụ 7.16 và cho rằng đó là rôto dây quấn. Xác định:

a) Hệ số trượt lúc mômen cực đại.

b) Tốc độ lúc mômen cực đại.

c) Mômen cực đại.

d) Mômen khởi động.

e) Tốc độ khi mômen cực đại tăng gấp đôi, nếu điện trở là tăng gấp đôi.

f) Mômen cực đại nếu điện trở rôto là tăng gấp đôi.

g) Mômen khởi động nếu điện trở rôto tăng gấp đôi.

7.24. Một động cơ không đồng bộ 3 pha, 6 cực 75hp, 480V, 60Hz, nối Y, stato có các thông số sau:

$$R_1 = 0,245\Omega ; \quad R_2 = 0,198\Omega ; \quad X_1 = 0,975\Omega ; \quad X_2 = 0,72\Omega ; \quad X_m = 14,5\Omega$$

Xác định :

a) Hệ số trượt lúc mômen cực đại.

b) Tốc độ lúc mômen cực đại.

c) Mômen cực đại.

- d) Mômen khởi động.
- e) Tốc độ khi mômen cực đại tăng gấp đôi, nếu điện trở là tăng gấp đôi.
- f) Mômen cực đại nếu điện trở rôto là tăng gấp đôi.
- g) Mômen khởi động nếu điện trở rôto tăng gấp đôi.

7.25. Một động cơ không đồng bộ 3 pha; 6 cực; 150hp; 380V; 50Hz; nối Δ ; stato có các thông số sau:

$$R_1 = 0,09\Omega ; \quad R_2 = 0,07\Omega ; \quad X_1 = 0,195\Omega ; \quad X_2 = 0,172\Omega ; \quad X_m = 6,83\Omega$$

Xác định các thông số sau:

- a) Hệ số trượt lúc mômen cực đại.
- b) Tốc độ lúc mômen cực đại.
- c) Mômen cực đại.
- d) Mômen khởi động.
- e) Tốc độ khi mômen cực đại tăng gấp đôi, nếu điện trở là tăng gấp đôi.
- f) Mômen cực đại nếu điện trở rôto là tăng gấp đôi.
- g) Mômen khởi động nếu điện trở rôto tăng gấp đôi.

7.26. Một động cơ không đồng bộ 3 pha; 8 cực 100hp; 440V; 60Hz; nối Δ ; stato có các thông số sau:

$$R_1 = 0,085\Omega ; \quad R_2 = 0,067\Omega ; \quad X_1 = 0,196\Omega ; \quad X_2 = 0,161\Omega ; \quad X_m = 6,65\Omega$$

Tổn hao quay là 3200W và coi là không đổi. Tổn hao lõi thép nằm trong tổn hao quay. Cho hệ số $s = 3,33\%$, xác định:

- a) Trở kháng tương đương của động cơ.
- b) Dòng điện stato.
- c) Hệ số công suất của động cơ.
- d) Điện áp cảm ứng trên cuộn dây stato.
- e) Dòng điện rôto.
- f) Mômen điện từ.
- g) Tổng tổn hao của động cơ.
- h) Công suất đầu ra.
- i) Hiệu suất.

7.27. Giả sử các tham số cho trong bài 7.26, xác định các thông số:

- a) Mômen cực đại và hệ số trượt lúc mômen cực đại.
- b) Bỏ qua jX_2 và xác định mômen và hệ số trượt lúc mômen cực đại.

7.28. Giả sử động cơ không đồng bộ 3 pha cho trong ví dụ 7.8 và cho rằng động cơ là được cung cấp điện từ nguồn có tổng trở là $Z_L = R_L + jX_L = 0,02 + j0,05\Omega$ trên mỗi pha và điện áp của nguồn là không đổi với $U_L = 440/\sqrt{3}$. Xác định:

- a) Hệ số trượt lúc mômen đạt cực đại nếu bỏ qua jX_m .
- b) Mômen khởi động.
- c) Mômen điện từ lúc khởi động nếu bỏ qua jX_m .

7.29. Một động cơ không đồng bộ 3 pha rôto dây quấn hoạt động với điện áp lưới U_1 và điện trở ngoài $R_{2,ext}$. Tổng trở dây quấn rôto trên mỗi pha là R_2 nên $R_{2,tot} = R_2 + R_{2,ext}$. Nếu động cơ dùng để kéo tải không đổi (mômen hằng), bằng phương pháp phân tích, chứng minh:

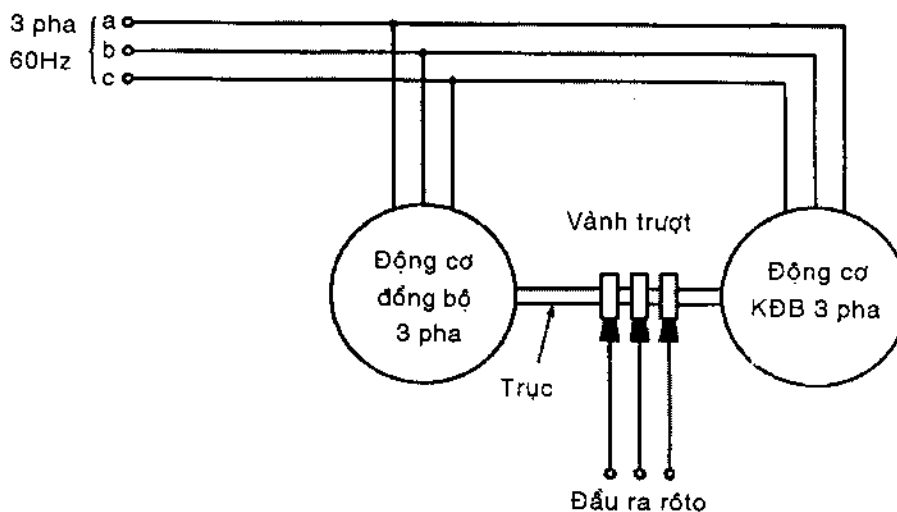
- a) Dòng điện rôto là hằng số khi $R_{2,ext}$ là thay đổi.
- b) $R_{2,tot}/s$ là hằng số.

7.30. Giả sử động cơ không đồng bộ 3 pha cho bởi ví dụ 7.8 và coi rằng động cơ là không nối với tải lúc khởi động. Xác định:

- Hệ số trượt lúc động cơ hoạt động.
- Dòng điện stato I_1 .
- Công suất đầu vào P_1 .

7.31. Hình 7.34 minh họa hệ thống để chuyển đổi tần số từ 60Hz sang các tần số khác. Động cơ không đồng bộ 3 pha có 4 cực và được nối trực theo chiều kim đồng hồ. Động cơ đồng bộ 3 pha có 8 cực và dây quấn stato là nối trực tiếp đến lưới để tạo ra một từ trường cùng chiều kim đồng hồ. Như trình bày trên hình vẽ, máy điện không đồng bộ là động cơ rôto dây quấn với đầu trực được nối với vành trượt. Xác định:

- Tốc độ khi động cơ chạy.
- Tần số của điện áp rôto trong máy điện không đồng bộ.



Hình 7.34. Sơ đồ thử động cơ không đồng bộ 100HP – 480V – 60Hz, nối Δ với dòng định mức 116,3A.

7.32. Làm các thí nghiệm động cơ 3 pha; 4 cực; 100hp; 480V; 60Hz; loại A; nối Δ với dòng điện là 116,3A.

Thí nghiệm 1 chiều: $U_{ac} = 23,26$ $I_a = 116,3A$

Thí nghiệm không tải: $U_o = 480V$ $f = 60Hz$

$I_a = 24,5A$ $P_o = 4900W$

$I_b = 24,1A$ $I_c = 24,7A$

Thí nghiệm ngắn mạch:

$U_n = 42,2V$ $f = 15Hz$

$I_a = 116,4A$ $P_n = 6100W$

$I_b = 116,4A$ $I_c = 116,2A$

Xác định các thông số sau:

- Tính R_1 và R_2 của động cơ, sử dụng thêm hệ số là 1,5 trong các tính toán với điện trở phản ứng trên mỗi pha.
- Tính X_1 , X_2 và X_m của động cơ.

8.1. GIỚI THIỆU CHUNG

Hầu hết điện ba pha được phát bởi máy điện đồng bộ ba pha làm việc ở chế độ máy phát điện. Máy phát đồng bộ cũng được gọi là *máy phát điện xoay chiều*. Các loại máy phát điện công suất lớn dùng để sản xuất ra điện ở các nhà máy thủy điện, các nhà máy điện hạt nhân và các nhà máy nhiệt điện v.v... đều là máy phát điện đồng bộ. Hiệu suất và tính kinh tế cao khiến cho máy phát điện đồng bộ công suất lớn được sử dụng rộng rãi. Cũng bởi lý do này mà các máy phát đồng bộ có công suất vượt quá 1000MVA được sử dụng khá phổ biến trong các nhà máy điện. Máy phát đồng bộ công suất lớn có hiệu suất rất cao, với dung lượng lớn hơn 50MVA có thể đạt 98%. Thuật ngữ *đồng bộ* nghĩa là các máy này hoạt động ở tốc độ và tần số không đổi trong trạng thái làm việc ổn định.

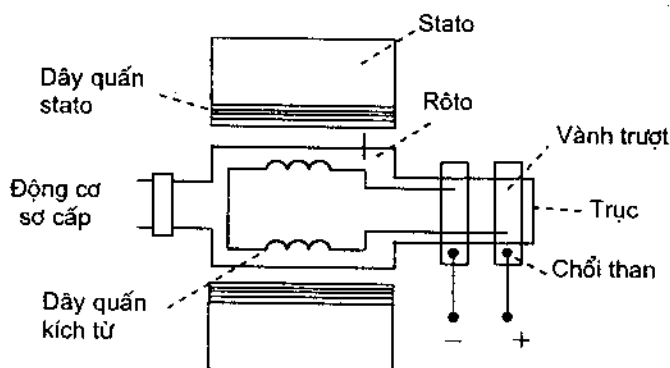
Các máy đồng bộ có thể hoạt động ở chế độ máy phát hoặc ở chế độ động cơ. Các động cơ đồng bộ được sử dụng trong hệ truyền động tốc độ không đổi, trong công nghiệp và trong các trạm bơm.

Máy điện đồng bộ công suất nhỏ (nhỏ hơn 1kW) được sử dụng trong các đồng hồ điện, các bộ đếm thời gian, các thiết bị ghi âm và các ứng dụng khác mà đòi hỏi tốc độ không đổi.

Động cơ đồng bộ với bộ biến đổi tần số kiểu nghịch lưu (biến tần) hoặc với bộ biến đổi vòng cũng có thể được sử dụng trong các ứng dụng cần điều chỉnh tốc độ. Động cơ đồng bộ quá kích từ ở chế độ không tải có thể được sử dụng như một *máy bù đồng bộ* để hiệu chỉnh hệ số công suất cho lưới. Động cơ đồng bộ kiểu tuyến tính có thể tạo ra các chuyển động thẳng hoặc tịnh tiến. Hiện nay động cơ đồng bộ tuyến tính đang được nghiên cứu phát triển cho hệ thống giao thông công cộng tốc độ cao tương lai ở Nhật Bản. Tuy nhiên động cơ đồng bộ tuyến tính không được sử dụng phổ biến nhiều như động cơ không đồng bộ tuyến tính.

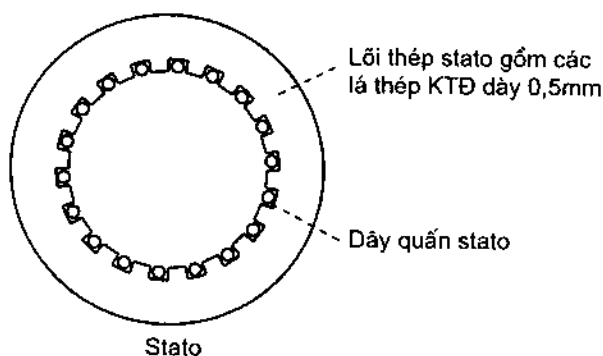
8.2. CẤU TẠO CỦA MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Trong máy điện đồng bộ, cuộn dây *phản ứng* được đặt ở phần tĩnh (stato) và cuộn dây phần cảm được đặt ở phần động (rôto). Trong máy điện quay, phần ứng là bộ phận của máy điện được cảm ứng sức điện động do có chuyển động tương đối với từ thông. Trong điều kiện hoạt động bình thường, dòng điện ba pha (trong ba pha của cuộn dây stato) phía stato tạo ra từ trường quay. Rôto máy điện đồng bộ đơn giản là một nam châm có số cực bằng số cực cuộn dây stato. Cuộn dây rôto được cấp điện từ nguồn một chiều bên ngoài thông qua các vành trượt và chổi than. Bởi vậy nó tạo ra từ trường rôto. Khi rôto quay đồng bộ với từ trường stato, từ trường tổng trong máy là từ trường stato và từ trường rôto tạo ra. Hình 8.1 biểu diễn cấu tạo nguyên lý máy phát điện đồng bộ.



Hình 8.1. Cấu tạo nguyên lý máy phát điện đồng bộ.

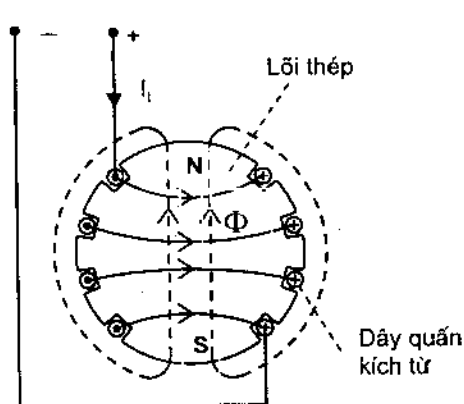
Stato của một máy điện đồng bộ (hình 8.2) tương tự như máy điện không đồng bộ ba pha. Cuộn dây stato là nơi phát ra điện khi máy đồng bộ hoạt động ở chế độ máy phát và là đầu vào cấp điện cho máy khi hoạt động ở chế độ động cơ. Cuộn dây stato thường là dây quấn cứng và được quấn hai lớp. Cuộn dây này được bố trí sao cho giảm được sóng điều hoà bậc cao của điện áp và dòng điện tương tự như dây quấn stato của máy không đồng bộ.



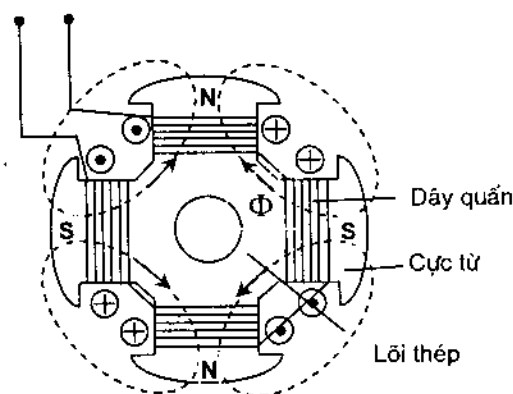
Hình 8.2. Stato của máy phát đồng bộ.

Máy điện đồng bộ có tốc độ không đổi (tốc độ đồng bộ). Cấu tạo rôto của máy điện đồng bộ phụ thuộc vào tốc độ của chúng. Chính vì vậy, trong máy điện tốc độ cao, rôto có cấu tạo dạng cực ẩn, còn trong máy tốc độ thấp, rôto có cấu tạo dạng cực lồi. Với loại rôto cực ẩn, từ trở của mạch từ phần cảm không phụ thuộc vào vị trí tương đối so với trục cực từ. Với loại cực lồi, từ trở là nhỏ nhất khi từ trường theo hướng dọc trục, và khi đó khe hở không khí là nhỏ nhất. Từ trở có giá trị lớn nhất khi từ trường ở giữa các cực từ, đó là theo hướng vuông góc với trục cực từ – theo hướng ngang trục.

Cấu tạo phần cảm rôto phụ thuộc vào tốc độ của máy điện đồng bộ. Máy phát điện tuabin loại cực ẩn là loại có tốc độ cao, rôto cực ẩn với hai hoặc bốn cực. Hình 8.3 biểu diễn loại rôto cực ẩn có hai cực. Máy phát thủy điện và các máy phát điện diesel là những máy có tốc độ thấp, chúng có rôto dạng cực lồi với bốn cực hoặc nhiều hơn. Hình 8.4 biểu diễn loại rôto cực lồi có bốn cực. Cấu tạo rôto loại này thường là dạng rôto có chiều dài trục ngắn và đường kính lớn.



Hình 8.3. Rôto cực ẩn có hai cực.



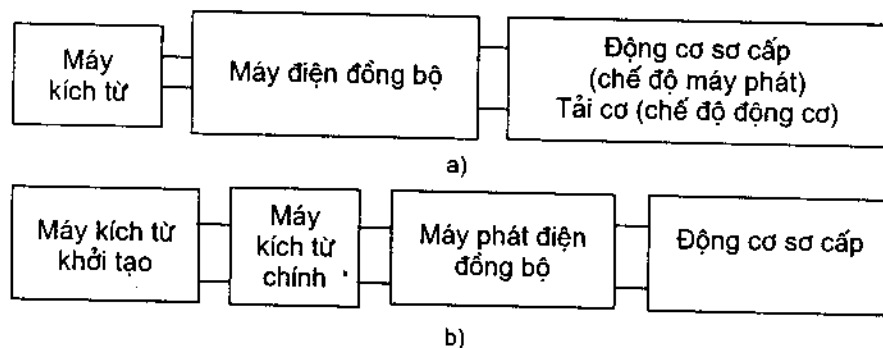
Hình 8.4. Rôto cực lõi có bốn cực.

Trong máy điện đồng bộ cực lõi, cấu tạo rôto gồm nhiều lá thép mỏng ghép lại với nhau. Các dòng điện cảm ứng không được chạy trong thân của rôto, các thanh đồng nặng đặt tại các rãnh trên bề mặt cực. Các thanh đồng này được nối ngắn mạch tương tự như rôto lồng sóc trong các động cơ không đồng bộ. Cuộn dây này có tên là *cuộn dây cản dục* (hay *giảm sóc*). Cuộn dây cản dục được lắp đặt ở hầu hết các máy điện đồng bộ rôto cực lõi. Khi tải của máy đồng bộ thay đổi thì góc phụ tải cũng thay đổi. Cũng chính lý do này mà dao động trong góc phụ tải dẫn đến dao động cơ khí của trục rôto. Sự dao động của rôto dẫn đến hiện tượng *rung* và có thể phá hủy kết cấu máy. Cuộn dây cản dục tạo ra một mômen để khử các dao động của rôto khi có sự biến động của tải đối với máy phát điện. Đối với động cơ điện, cuộn dây này có tác dụng như một lồng sóc và dùng để khởi động như một động cơ không đồng bộ.

Rôto máy điện cực ẩn tạo thành từ lõi thép đặc. Bởi vì dòng điện rôto quá độ có thể được cảm ứng trong thân lõi thép đặc của nó, do đó không cần cuộn dây cản dục trong máy đồng bộ cực ẩn.

8.3. KÍCH TỪ TRONG MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Trong máy điện đồng bộ, các cực từ rôto có cực tính không đổi và phải được cấp bằng dòng điện một chiều. Dòng điện một chiều có thể lấy từ một máy phát điện một chiều bên ngoài hoặc bằng một bộ chỉnh lưu. Hình vẽ 8.5a và 8.5b miêu tả mô hình vật lý của máy kích từ được gắn trên trục, máy kích từ được gắn trên trục có máy kích từ khởi tạo. Cách bố trí trong hình 8.5b thường được dùng trong máy tốc độ thấp, công suất lớn, ví dụ như máy phát thủy điện. Máy kích từ có thể không phải là tự kích từ, thay vào đó, máy kích từ khởi tạo kiểu nam châm vĩnh cửu hay tự kích có thể được sử dụng để kích hoạt máy kích từ. Hình 8.6a miêu tả máy kích từ gắn trên trục thông thường, cụ thể là máy phát điện một chiều tự kích gắn trên cùng trục với rôto của máy điện đồng bộ. Trong cách xếp đặt này, máy phát điện một chiều là máy kích từ. Tiếp điểm tĩnh được gọi là chổi than được tỳ lên các vành trượt để cung cấp dòng điện từ nguồn một chiều cho dây quấn phần cảm.

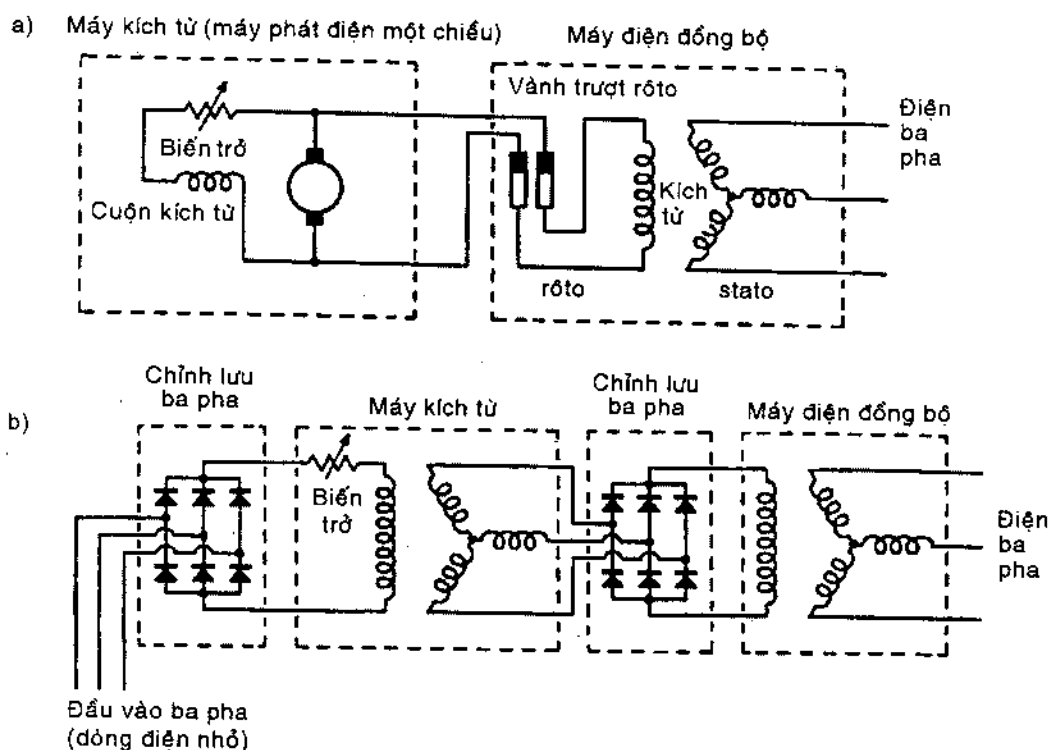


Hình 8.5. Hệ thống kích từ thông thường của máy điện đồng bộ

- a) Mô hình vật lý với máy kích từ gắn trên trục;
b) Mô hình vật lý với máy kích từ gắn trên trục và máy kích từ khởi tạo.

Vành trượt là các vòng kim loại bao quanh trục của máy, nhưng được cách điện với trục máy. Các chổi than được làm bằng hợp chất cacbon, tiếp xúc tốt, với ma sát cơ nhỏ.

Một kiểu kích từ khác là gắn phần ứng của máy kích từ xoay chiều loại nhỏ trên trục của máy điện đồng bộ còn cực từ gắn cố định trên stato. Đầu ra ba pha của máy phát kích từ được chỉnh lưu thành dòng một chiều bằng một mạch chỉnh lưu ba pha được gắn trên trục của máy phát. Sau đó nó được cấp cho mạch kích từ chính (hình 8.6b). Chính việc cấp dòng điện kích từ cho cuộn dây rôto như vậy được gọi là *kích từ không chổi than* (không tiếp xúc) và được sử dụng chủ yếu trong các loại máy điện đồng bộ công suất lớn.

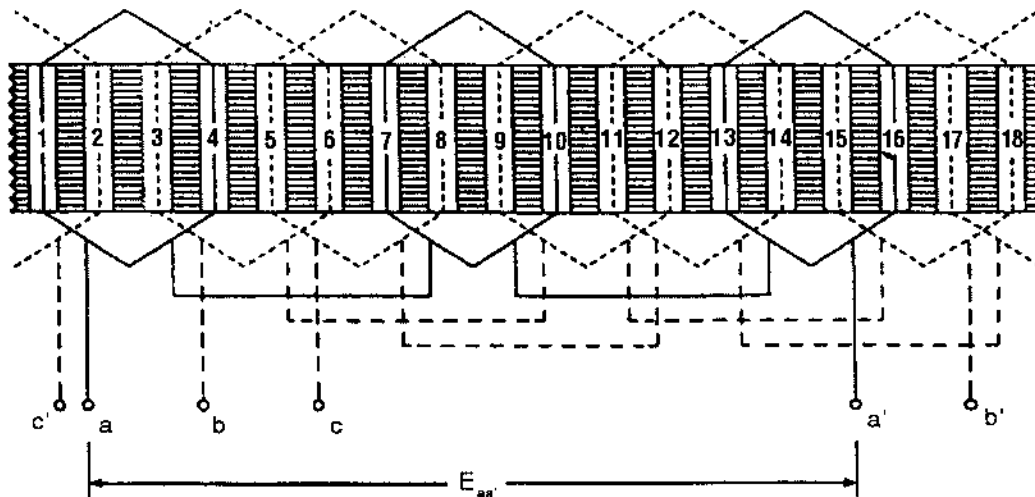


Hình 8.6. Sơ đồ mạch

- a) Máy kích từ thông thường gắn trên trục; b) Máy kích từ không tiếp xúc.

8.4. DÂY QUẤN STATO

Dây quấn stato (dây quấn phần ứng) của máy phát điện xoay chiều là nơi được cảm ứng sức điện động. Các cuộn dây của dây quấn được phân bố trong không gian (hình 8.7), chính vì vậy Sđđ cảm ứng trong các cuộn dây không trùng pha nhau, mà lệch pha nhau một góc bằng *góc độ điện* giữa hai rãnh kế nhau.

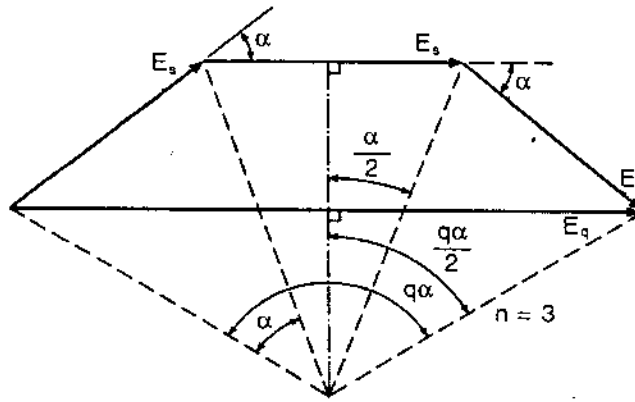


Hình 8.7. Sơ đồ trải của dây quấn phần ứng (stato) ba pha, một lớp, sáu cực.

Các cuộn dây có thể quấn dạng *bước đủ* hoặc dạng *bước ngắn*. Cuộn dây bước đủ kéo dài 180 độ điện (khoảng cách biên từ đường trung tâm của cực bắc đến đường trung tâm của cực nam liền kề), nhưng ngược lại cuộn dây bước ngắn kéo dài ít hơn 180 độ điện, nhưng hiếm khi ít hơn 120 độ điện. Cuộn dây stato nhiều pha thường là *dây quấn hai lớp*, lớp này nằm trên lớp kia trong cùng một rãnh. Số bố trí dây bằng số rãnh. Như vậy nếu ở đó có q rãnh cho mỗi cực của mỗi pha thì sẽ có q bố trí dây. Dây quấn nhiều pha một lớp thường sử dụng trong động cơ không đồng bộ công suất nhỏ. Ưu điểm chính của dây quấn hai lớp: đi kèm với nó là bước ngắn nên có điện trở vòng dây hay điện trở đầu nối nhỏ hơn so với dây quấn dạng bước đủ. Chúng cũng có điện trở thấp hơn mà không cần giảm tương ứng từ thông móc vòng. Các dây quấn có thể quấn xếp hoặc quấn sóng.

Dây quấn sóng thường được sử dụng trong các động cơ không đồng bộ. Hình 8.7 trình bày cách đấu nối các cuộn dây trong dây quấn stato một lớp sáu cực ba pha. Ở đây phần ứng có ba rãnh dưới một cực, tương ứng với một rãnh của một pha dưới một cực trong dây quấn ba pha. Mỗi dây quấn ba pha được đặt lệch so với hai cuộn dây kia tương ứng góc lệch là 120 và 240 độ điện từ pha đầu tiên để tạo ra một hệ thống điện áp ba pha lệch pha nhau góc 120 độ điện.

Giống như phần trước đã nêu, cuộn dây phần ứng được phân bố trên các rãnh trong không gian. Bởi vậy điện áp cảm ứng trong các vòng dây không trùng pha, và lệch pha góc rãnh α . Vì vậy điện áp của dây quấn là tổng điện áp pha (điện áp các cuộn dây) (hình 8.8).



Hình 8.8. Tổng hợp vectơ điện áp các bố dây để xác định hệ số quấn rai.

Hệ số quấn rai k_r được định nghĩa như sau:

$$k_r = \frac{\text{Tổng vectơ sức điện động các cuộn dây}}{\text{Tổng số học sức điện động các cuộn dây}} \quad (8.1)$$

hay:
$$k_r = \frac{E_q}{qE_s} \quad (8.2)$$

Trong đó:

E_q : sức điện động tổng của nhóm bố dây;

E_s : sức điện động cảm ứng của từng bố dây.

q : số rãnh của một pha dưới một cực, bằng số bố dây trong một nhóm bố dây.

Bởi vậy từ hình 8.8, hệ số quấn rai có thể được tính bằng công thức:

$$k_r = \frac{\sin(\frac{q\alpha}{2})}{q\sin(\frac{\alpha}{2})} \quad (8.3)$$

Chú ý rằng góc rãnh α cũng được gọi là bước rãnh và được tính bằng góc điện hay chính là góc lệch trong từ trường giữa hai rãnh cạnh nhau. Bởi vậy, nếu m là số pha của stato và Z là số rãnh của stato, p là số cực thì góc α có thể được xác định từ công thức sau:

$$\alpha = \frac{360^\circ \cdot p}{2Z} = \frac{180^\circ}{mq} \quad (8.4)$$

do $Z = mpq$. (8.5)

Nếu một pha dây quấn có số nhóm bố dây là n , điện áp pha dây quấn được tính:

$$E_r = nE_q \quad (8.6)$$

Bởi vậy, các bố dây được nối với nhau thành nhóm bố dây. Nếu có q rãnh của một pha dưới một cực, thì mỗi cực sẽ có q bố dây.

Nếu cuộn dây là dây quấn bước ngắn (bước dây quấn nhỏ hơn bước cực), Sđđ cảm ứng sẽ nhỏ hơn so với trường hợp dây quấn bước đủ. Hệ số bước ngắn của cuộn dây được tính: cảm

$$k_n = \frac{\text{Sức điện động cảm ứng trong cuộn dây bước ngắn}}{\text{Sức điện động cảm ứng trong cuộn dây bước đủ}} \quad (8.7)$$

hay: $k_n = \sin \{ \text{góc độ điện của bước dây quấn} / 2 \}$ (8.8a)

$$= \sin \frac{\rho}{2} \quad (8.8b)$$

với $\rho = \beta\pi$; $\beta = y/\tau$;

Trong đó: ρ là góc độ điện của bước dây quấn;

β là hệ số bước dây quấn;

y là bước dây quấn;

τ là bước cực.

Nếu bố dây của cuộn dây được quấn trên rãnh stato dưới dạng quấn rải và dạng bước ngắn thì Sđđ cảm ứng trong cuộn dây sẽ chịu ảnh hưởng của hai hệ số là hệ số quấn rải k_r và hệ số bước ngắn k_n . Chúng có thể kết hợp thành hệ số dây quấn k_{dq} . Hệ số dây quấn k_{dq} được xác định:

$$k_{dq} = k_r k_n \quad (8.9)$$

Ví dụ 8.1

Một máy điện đồng bộ ba pha, có sáu cực, stato 36 rãnh, dây quấn hai lớp bước ngắn, bước dây quấn năm rãnh. Hãy xác định các thông số sau:

- Số rãnh của một pha dưới một cực.
- Góc độ điện của bước rãnh (hoặc góc rãnh).
- Bước dây quấn.
- Hệ số bước ngắn.
- Số bố dây trong một nhóm bố dây của một pha của dây quấn.
- Hệ số quấn rải.
- Hệ số dây quấn.

Lời giải:

- a) Số rãnh của một pha dưới một cực

$$q = \frac{Z}{mp} = \frac{36}{3.6} = 2$$

- b) Góc độ điện của bước rãnh hoặc góc rãnh

$$\alpha = \frac{180^\circ}{mq} = \frac{180^\circ}{3.2} = 30^\circ$$

- c) Bước dây quấn

$$\rho = y\alpha = 5.30^\circ = 150^\circ$$

d) Hệ số bước ngắn

$$k_n = \sin \frac{\rho}{2} = \sin \frac{15^\circ}{2} = 0,9659$$

e) Số bội dây trong một nhóm bội dây của một pha của dây quấn hai lớp q chính bằng số rãnh của một pha dưới một cực, do đó bằng 2.

f) Hệ số quấn rải

$$k_r = \frac{\sin(\frac{q\alpha}{2})}{q \sin(\frac{\alpha}{2})} = \frac{\sin(\frac{2.30}{2})}{2 \sin(\frac{30}{2})} = 0,9659$$

g) Hệ số dây quấn

$$k_{dq} = k_r k_n = 0,9659.0,9659 = 0,933.$$

Việc xây dựng sơ đồ dây quấn có thể xem thêm chương 6.

8.5. TỐC ĐỘ ĐỒNG BỘ

Máy điện đồng bộ hoạt động duy nhất ở tốc độ đồng bộ, tốc độ không đổi này có thể được xác định bằng số đôi cực và tần số điện áp của cuộn dây phản ứng. Máy điện đồng bộ được gọi là máy đồng bộ bởi vì tốc độ của chúng tỷ lệ bậc nhất với tần số của điện áp cuộn dây stato. Do đó tốc độ đồng bộ được xác định bằng công thức sau:

$$\omega_{db} = \frac{\omega}{p/2} = \frac{2\pi f}{p/2} \quad (\text{rad/s}) \quad (8.10)$$

$$\text{hoặc:} \quad n_{db} = \frac{120f}{p} \quad (\text{vòng/phút}) \quad (8.11)$$

trong đó:
 ω_{db} – vận tốc góc của từ trường quay.
 ω – tần số góc của hệ thống điện.
 f – tần số điện (Hz).
 p – số cực.

Khi rôto quay với tốc độ bằng tốc độ của từ trường quay, tần số điện áp của stato cũng có thể xác định bằng công thức:

$$f = \frac{pn_{db}}{120} \quad (8.12)$$

Chú ý rằng tần số đơn vị là Hz đối với máy hai cực giống như là rôto quay được một vòng trong một giây, điều đó có nghĩa là tần số điện đồng bộ với tốc độ quay cơ học. Bởi vậy, máy điện đồng bộ hai cực quay ở tốc độ 50 vòng trong một giây hoặc 3000 vòng trong một phút để tạo ra điện áp có tần số 50Hz. Tần số góc ω của sóng điện áp so với vận tốc cơ ω_m (tính theo đơn vị radian cho một giây) biểu diễn theo công thức:

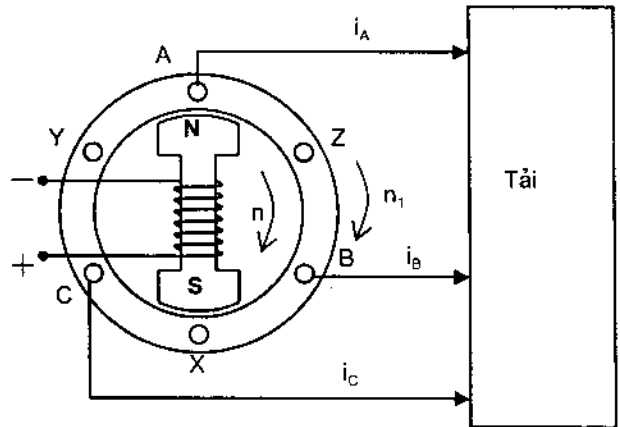
$$\omega = \frac{p}{2} \omega_m \quad (8.13)$$

$$\text{hoặc} \quad \theta = \frac{p}{2} \theta_m \quad (8.14)$$

trong đó θ được đo bằng góc điện và θ_m đo bằng góc cơ.

8.6. MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Xét máy phát điện đồng bộ cơ bản được trình bày trong hình 8.9. Nó có ba cuộn dây giống hệt nhau (AX, BY, CZ) quấn trên stato, mỗi cuộn dây đặt lệch nhau 120 độ trong không gian. Khi dòng điện kích từ I_f chạy trong cuộn dây cực từ rôto, nó tạo ra một từ trường xoay chiều phân bố hình sin trong khe hở không khí. Dùng động cơ sơ cấp quay rôto thuận chiều kim đồng hồ với một tốc độ không đổi thì một từ trường quay sẽ thiết lập trong khe hở không khí. Từ trường này gọi là từ trường kích từ bởi nó được tạo ra do dòng



Hình 8.9. Sơ đồ nguyên lý máy phát điện đồng bộ cơ bản.

điện kích từ I_f . Từ trường quay này sẽ móc vòng vào các cuộn dây phản ứng AX, BY, CZ, do đó trong các cuộn dây stato sẽ cảm ứng sức điện động. Sức điện động cảm ứng có biên độ giống nhau nhưng lệch pha nhau 120 độ điện.

Bởi vậy, sức điện động cảm ứng trong mỗi cuộn dây có thể xác định bằng công thức sau:

$$e_A(t) = E_{\max} \sin \omega t \quad (8.15a)$$

$$e_B(t) = E_{\max} \sin(\omega t - 120^\circ) \quad (8.15b)$$

$$e_C(t) = E_{\max} \sin(\omega t - 240^\circ) \quad (8.15c)$$

Sức điện động cực đại trong tất cả các pha của ba pha stato là:

$$E_{\max} = \omega w \Phi \quad (8.16)$$

Tuy nhiên, nếu dây quấn được quấn rải trên stato, thì sức điện động cảm ứng nhỏ hơn và được tính bằng công thức:

$$E_{\max} = \omega w \Phi k_{dq} \quad (8.17)$$

Do $\omega = 2\pi f$ nên $E_{\max} = 2\pi f w \Phi k_{dq} \quad (8.18)$

trong đó:

w – số vòng dây quấn trong một pha.

Φ – từ thông dưới một cực từ do dòng kích từ tạo ra I_f .

k_{dq} – hệ số dây quấn.

Bởi vậy giá trị hiệu dụng sức điện động cảm ứng của bất kỳ pha nào trong ba pha là:

$$E = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f w \Phi k_{dq} \quad (8.19)$$

hay: $E = 4,44 f w \Phi k_{dq} \quad (8.20)$

Sức điện động này là một hàm của tần số hay tốc độ quay của rôto, từ thông trong máy và hệ số phụ thuộc vào chính cấu tạo của máy điện. Bởi vậy có thể viết lại công thức (8.19) như sau:

$$E = K \Phi \omega \quad (8.21)$$

trong đó K là hằng số đặc trưng cho cấu trúc của máy và bằng:

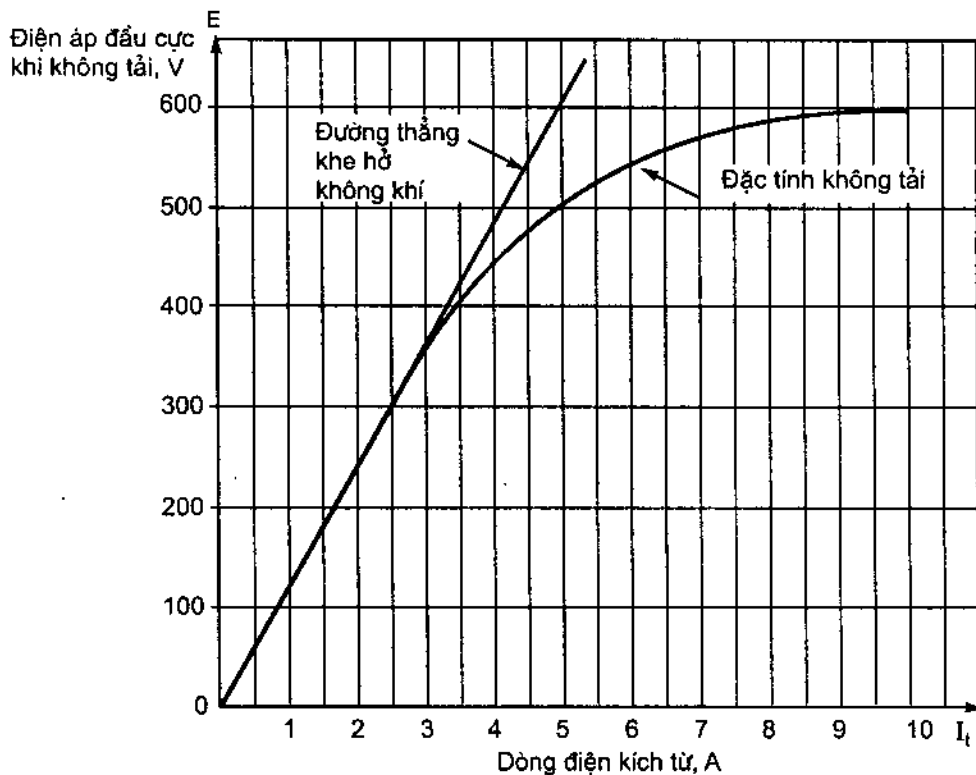
$$K = \frac{wk_{dq}}{\sqrt{2}} \quad (8.22)$$

khi đó ω có đơn vị là góc điện trên giây.

Cách khác
$$K = \frac{wpk_{dq}}{\sqrt{2}} \quad (8.23)$$

khi đó ω có đơn vị là góc cơ trên giây.

E còn có tên là điện áp phát nội tại, hoặc đơn giản là điện áp phát. Giá trị của nó phụ thuộc vào từ thông và tốc độ của máy. Tuy nhiên, từ thông lại phụ thuộc vào dòng điện từ hoá I_t chạy trong mạch từ rôto. Bởi vậy, đối với máy phát điện đồng bộ hoạt động ở tốc độ không đổi, E là một hàm của dòng điện từ hoá, giống như được trình bày trong hình 8.10. Đường cong đó gọi là đặc tính không tải hoặc được gọi là đường cong từ hoá của máy điện đồng bộ. Trái ngược với đồ thị trình bày trong hình 8.10, ở giá trị dòng điện kích từ $I_t = 0$ sức điện động cảm ứng không có giá trị bằng không bởi vì còn lượng từ thông dư trong mạch từ. Ở giai đoạn đầu sức điện động cảm ứng tăng tỷ lệ tuyến tính với dòng điện kích từ I_t . Khi dòng điện kích từ tăng thêm, thì từ thông không tăng tuyến tính theo dòng điện kích từ I_t bởi vì khi đó mạch từ ở trạng thái bão hoà và sức điện động cảm ứng E ở mức độ giới hạn. Nếu hở mạch, thì sức điện động cảm ứng E chính là điện áp ở đầu cực U và có thể đo được bằng vôn kế.



Hình 8.10. Đặc tính không tải (đường cong từ hóa) của máy điện đồng bộ.

Ví dụ 8.2

Một máy phát điện xoay chiều ba pha đơn giản, số cực là $2p = 2$, tần số 50Hz có từ thông quay là $\Phi = 0,0516\text{Wb}$. Số vòng dây của một pha dây quấn là $w = 20$. Tốc độ của rôto là $n = 3000$ (vòng /phút) và hệ số dây quấn stato là $k_{dq} = 0,96$. Hãy tính các thông số sau:

- Tốc độ góc của rôto.
- Sức điện động cảm ứng ba pha theo thời gian.
- Giá trị điện áp pha hiệu dụng của máy phát này nếu cuộn dây stato nối tam giác.
- Giá trị điện áp hiệu dụng trên đầu cực của máy phát này nếu cuộn dây stato nối hình sao.

Lời giải:

- a) Tốc độ góc của rôto

$$\omega = \frac{2\pi.n}{60} = \frac{3000.2.\pi}{60} = 314,1593 \text{ rad/s}$$

- b) Biên độ sức điện động

$$E_{\max} = \omega w \Phi k_{dq} = 314,1593.20.0,0516.0,96 = 311,127\text{V}.$$

Do đó, sức điện động các pha lần lượt là:

$$e_A(t) = 311,127 \sin 314,1593t \text{ V}$$

$$e_B(t) = 311,127 \sin(314,1593t - 120^\circ) \text{ V}$$

$$e_C(t) = 311,127 \sin(314,1593t - 240^\circ) \text{ V}$$

- c) Giá trị điện áp pha hiệu dụng của máy phát này nếu cuộn dây stato nối tam giác

$$E = \frac{E_{\max}}{\sqrt{2}} = \frac{311,127}{\sqrt{2}} = 220\text{V}$$

- d) Giá trị điện áp hiệu dụng trên đầu cực của máy phát này nếu cuộn dây stato nối hình sao

$$U_d = \sqrt{3} E = \sqrt{3} .220 = 380\text{V}$$

Ví dụ 8.3

Xác định giá trị của hằng số K của máy phát cho trong ví dụ 7.2 ở trên:

- Nếu ω tốc độ góc radian điện trên giây.
- Nếu ω tốc độ góc cơ trên giây.
- Tính giá trị của sức điện động E.

Lời giải:

- a) Nếu ω đơn vị là radian điện trên giây, khi đó

$$K = \frac{wk_{dq}}{\sqrt{2}} = \frac{20.0,96}{\sqrt{2}} = 13,5765$$

- b) Nếu ω có đơn vị là radian cơ /giây (tốc độ góc cơ)

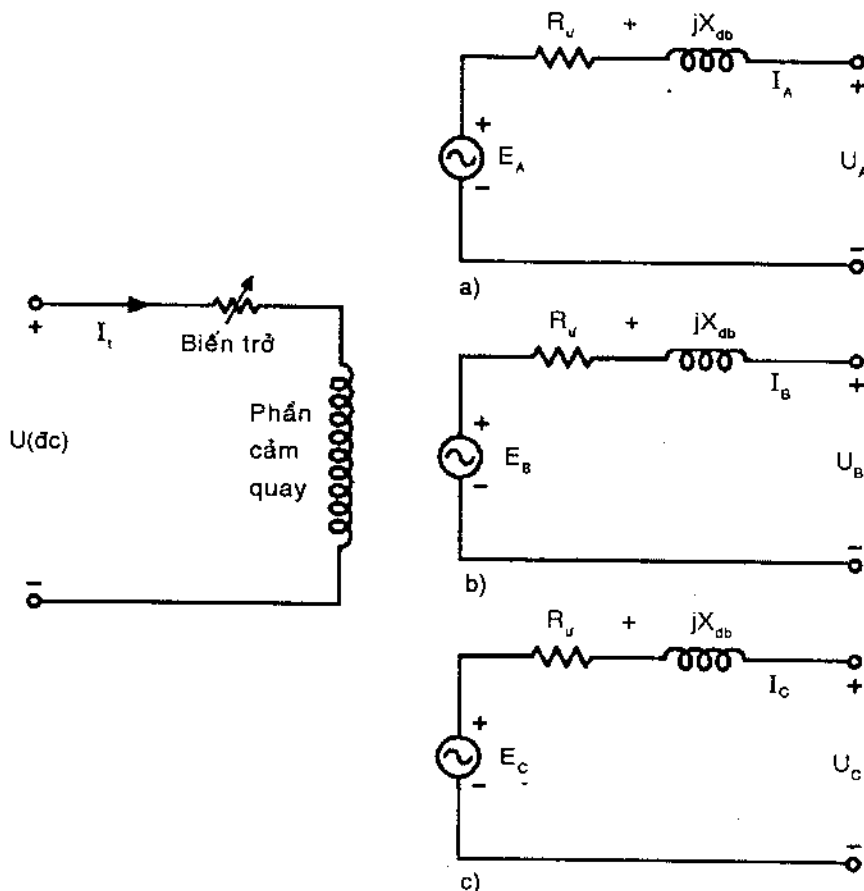
$$K = \frac{w p k_{dq}}{\sqrt{2}} = \frac{20 \cdot 10,96}{\sqrt{2}} = 13,5765$$

c) Sức điện động

$$E = K \Phi \omega = 13,5765 \cdot 0,0516 \cdot 314,1593 = 220V$$

8.7. MẠCH ĐIỆN THAY THẾ

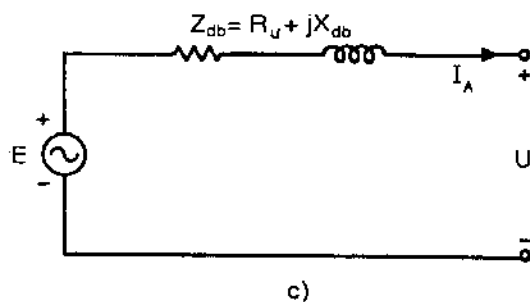
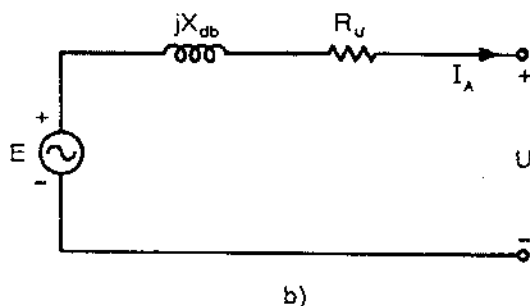
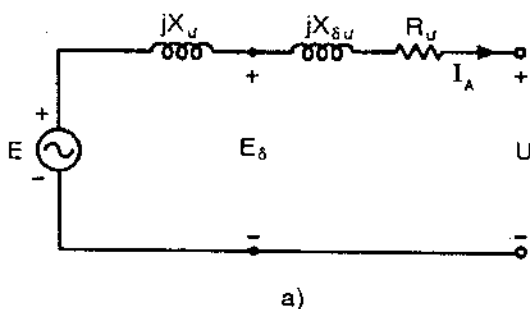
Hình 8.11 trình bày mạch điện thay thế của máy phát điện đồng bộ ba pha. Nguồn điện một chiều được cấp cho mạch rôto. Dòng điện cực từ I_t được điều khiển bằng biến trở mắc nối tiếp với cuộn dây phần cảm. Mỗi một pha có nguồn sức điện động mắc nối tiếp với điện trở R_u và điện kháng X_{db} . Để đảm bảo điều kiện đối xứng cho máy điện, dòng điện hay điện áp của các pha có trị số bằng nhau và lệch pha nhau 120 độ điện. Chú ý rằng các pha là giống hệt nhau. Bởi vậy cuộn dây phần ứng (cuộn dây stato) có thể phân tích trên một pha.



Hình 8.11. Mạch điện thay thế của máy phát điện đồng bộ ba pha rôto cực ẩn

Hình 8.12a, 8.12b và 8.12c trình bày mạch điện thay thế của các pha máy phát điện đồng bộ. Mặc dù sức điện động cảm ứng trong cuộn dây phần ứng là E , nhưng điện áp trên đầu cực cuộn dây lại là U . Lý do của sự khác nhau này là:

1. Có điện trở trong cuộn dây phần ứng do đó gây sụt áp trên điện trở này.
2. Có điện kháng tản trong cuộn dây phần ứng.
3. Từ trường tổng trong khe hở không khí bị méo do dòng điện tải chạy trong dây quấn phần ứng.
4. Ảnh hưởng của hình dạng rôto cực lõi nếu máy điện có rôto cực lõi.



Hình 8.12. Mạch điện thay thế của một pha máy phát điện rôto cực ẩn.

Điện trở R_u là *điện trở tác dụng* của cuộn dây phần ứng và nó bằng khoảng 1,6 lần điện trở một chiều của cuộn dây stato. Điện trở này có giá trị phụ thuộc vào nhiệt độ làm việc và *hiệu ứng bề mặt* gây ra bởi dòng điện chạy trong cuộn dây phần ứng.

Từ thông tản móc vòng với cuộn dây phần ứng do dòng điện chạy qua cuộn dây tạo ra điện kháng tản $X_{\sigma u}$ của cuộn dây phần ứng. Các luồng từ thông này không móc vòng với cuộn dây kích từ.

Để dễ dàng cho việc tính toán, điện kháng tản có thể được phân chia thành các thành phần sau:

1. Điện kháng tản phần đầu nối.
2. Điện kháng tản ở rãnh.
3. Điện kháng tản ở răng và điện kháng tản tập.
4. Điện kháng tản ở gông.

Tuy nhiên trong hầu hết các máy điện đồng bộ cỡ lớn, hai loại điện kháng sau cùng chiếm một phần rất nhỏ trong điện kháng tổng.

Từ trường cực từ ở khe hở không khí (do từ trường rôto tạo ra) bị méo bởi từ trường phần ứng do dòng điện chạy trong cuộn dây stato tạo ra. Ảnh hưởng này được coi là *phản ứng phần ứng* và được tổng hợp thành điện kháng X_u được gọi là *điện kháng phần ứng*.

Hai loại điện kháng X_u và $X_{\delta u}$ được tổng hợp thành một loại điện kháng gọi là điện kháng đồng bộ X_{db} , nó có thể được tính bằng công thức:

$$X_{db} = X_u + X_{\delta u} \quad (8.24)$$

Bởi vậy, giống như được trình bày trong hình 8.12b, tổng trở đồng bộ được xác định bằng công thức:

$$Z_{db} = R_u + jX_{db}. \quad (8.25)$$

Nói chung, khi kích thước của máy điện đồng bộ tăng lên thì điện trở tương đối của nó giảm đi nhưng điện kháng đồng bộ tương đối lại tăng lên. Biên độ của tổng trở đồng bộ trở thành:

$$Z_{db} = \sqrt{(R_s^2 + X_s^2)} \cong X_{db}. \quad (8.26)$$

Bởi vì lý do này mà điện trở R_u có thể được bỏ qua trong rất nhiều các công thức của máy điện đồng bộ.

Hình 8.13a, 8.13b và hình 8.14 trình bày giản đồ véc tơ của máy phát điện đồng bộ rôto cực ẩn hoạt động ở hệ số công suất chậm sau (tải có tính cảm, $\varphi = (U_r, I) < 0$), vượt trước (tải có tính dung, $\varphi < 0$) và bằng 1 (tải thuần trở, $\varphi = 0$), tương ứng. Chú ý rằng dòng điện kích từ một chiều I_f trong cuộn dây rôto tạo ra sức từ động F_f trong khe hở không khí và dòng điện tải xoay chiều trong cuộn dây stato tạo ra sức từ động F_u do phản ứng phân ứng. Tổng véc tơ của hai sức từ động này tạo ra sức từ động tổng F_δ . Từ thông trùng pha so với sức từ động, còn sức điện động chậm pha so với từ thông góc 90° . Trên hình 8.13a, sức từ động F_f vượt trước E góc 90° , còn sức từ động F_u trùng pha với I . Sức từ động tổng F_δ vượt trước E_δ góc 90° . Sđđ phản ứng E_u có thể tính bằng công thức sau:

$$E_u = -jX_u I \quad (8.27)$$

Từ hình 8.13a ta có:

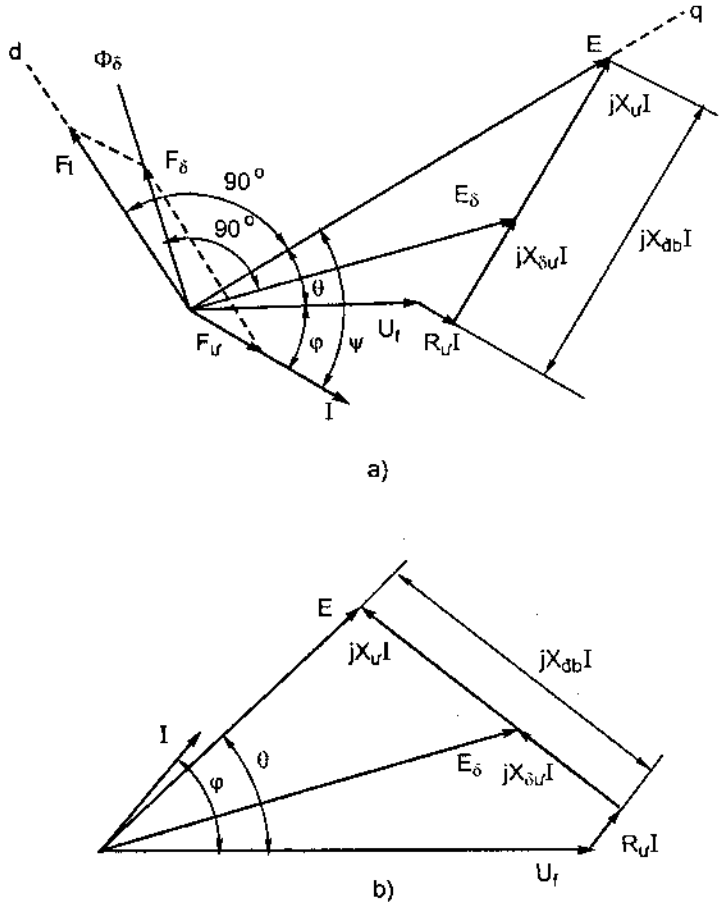
$$E_\delta = E + E_u \quad (8.28)$$

$$\text{hay} \quad E = E_\delta - E_u \quad (8.29)$$

$$\text{Bởi vậy} \quad E = E_\delta + jX_u I \quad (8.30)$$

Điện áp pha U_f được tính theo công thức:

$$U_f = E - R_u I - j(X_u + X_{su})I \quad (8.31a)$$



Hình 8.13. Giản đồ véc tơ của một máy phát điện đồng bộ rôto cực ẩn hoạt động tại

a) Hệ số công suất chậm sau (quá kích từ);

b) Hệ số công suất vượt trước (thiếu kích từ).

$$U_r = E - R_u I - jX_{ab} I \quad (8.31b)$$

$$U_r = E - (R_u + jX_{ab}) I \quad (8.31c)$$

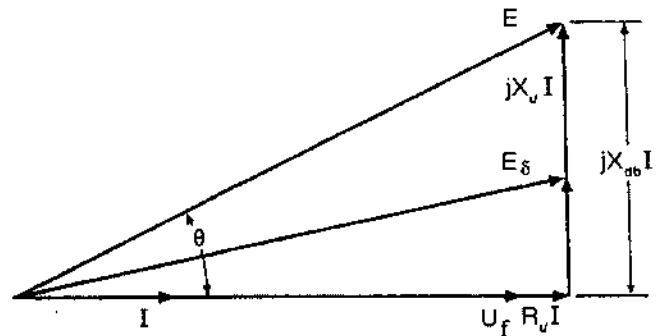
$$U_r = E - jZ_{ab} I \quad (8.31d)$$

Nói cách khác, Sđđ khe hở không khí và Sđđ cảm ứng trong máy có thể biểu diễn thành

$$E_\delta = U_r + (R_u + jX_{su}) I \quad (8.32)$$

$$\text{và} \quad E = U_r + (R_u + jX_{ab}) I \quad (8.33)$$

Trong máy điện đồng bộ, sức điện động E do từ thông kích từ tạo nên, còn điện kháng đồng bộ do từ thông tạo ra bởi dòng điện phần ứng ba pha đối xứng. Với máy điện đồng bộ rôto cực ẩn chưa bão hoà làm việc tại tần số không đổi, điện kháng đồng bộ là không đổi và sức điện động E tỷ lệ thuận với dòng kích từ I_f . Trong hình 8.14, với điện áp pha U_r và dòng điện phần ứng I đã cho, sức điện động E với tải chậm sau (tải có tính cảm) lớn hơn so với tải vượt trước (tải có tính dung). Do:



Hình 8.14. Giản đồ vectơ máy phát điện đồng bộ rôto cực ẩn hoạt động với hệ số công suất bằng 1.

$$E = K\Phi\omega$$

nên cần phải có dòng điện kích từ lớn hơn (quá kích từ) khi tải chậm sau để giữ U_r không đổi. (Ở đây ω có giá trị không đổi để giữ tần số không đổi). Tuy nhiên với tải vượt trước, sức điện động E là nhỏ hơn và cần dòng điện kích từ nhỏ hơn (thiếu kích từ). Nói ngắn gọn, máy điện đồng bộ được gọi là quá kích từ khi sức điện động E vượt quá trị số điện áp U_r còn ngược lại được gọi là thiếu kích từ. Góc θ hợp bởi E và U_r được gọi là góc mômen hay góc công suất của máy điện đồng bộ.

Độ thay đổi điện áp của máy phát điện đồng bộ khi tải, hệ số công suất, và tốc độ định mức được tính theo công thức:

$$\Delta U = \frac{E - U_r}{U_r} \quad (8.34)$$

hoặc theo phần trăm:

$$\Delta U \% = \frac{E - U_r}{U_r} \cdot 100. \quad (8.35)$$

trong đó: U_r là điện áp định mức, E là điện áp phát lúc không tải. Độ thay đổi điện áp là thước đo so sánh điện áp của máy phát. Nó là dương khi tải có tính cảm và là âm khi tải có tính dung.

Ví dụ 8.4

Một máy phát điện đồng bộ ba pha rôto cực ẩn có các thông số sau: điện áp 13,2kV, tần số 50Hz, công suất 50MVA, nối sao. Điện kháng phần ứng là $2,19\Omega$ (của một pha), điện kháng tản bằng 0,137 lần điện kháng phần ứng. Điện trở phần ứng nhỏ có thể bỏ qua. Bỏ qua sự bão hoà từ.

Cho rằng máy phát điện làm việc với tải định mức và hệ số công suất chậm sau là 0,8. Hãy tính các thông số sau:

- Điện kháng đồng bộ của mỗi pha.
- Dòng điện tải định mức.
- Sdd khe hở không khí.
- Sức điện động.
- Góc công suất.
- Độ thay đổi điện áp.

Lời giải:

- a) Điện kháng tản của mỗi pha

$$X_{\delta u} = 0,137X_u = 0,137 \cdot 2,19 = 0,3\Omega$$

Bởi vậy điện kháng đồng bộ mỗi pha là:

$$X_{db} = X_{\delta u} + X_u = 0,3 + 2,19 = 2,49\Omega$$

- b) Dòng điện tải định mức:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_d} = \frac{50 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 13200} = 2186,93 \text{ A}$$

Biểu diễn dưới dạng số phức:

$$\begin{aligned} I &= I (\cos\varphi - j\sin\varphi) = 2186,93 \cdot (0,8 - j0,6) \\ &= 1749,5 - j1312,16 = 2186,93 \angle -36,87^\circ \end{aligned}$$

- c) Sức điện động khe hở không khí (còn có tên là điện áp sau điện kháng tản).

$$\begin{aligned} E_s &= U_r + jX_{\delta u}I = \frac{13200}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ + j0,3(2186,93 \angle -36,87^\circ) \\ &= 8031,84 \angle 3,75^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

- d) Sức điện động cảm ứng (còn có tên là điện áp sau điện kháng tản)

$$\begin{aligned} E &= U_r + jX_{db}I = \frac{13200}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ + j2,49(2186,93 \angle -36,87^\circ) \\ &= 9102,8 \angle 11,08^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

- e) Góc công suất (còn có tên là góc mômen)

$$\theta = 11,08^\circ$$

- f) Độ thay đổi điện áp

do
$$U_r = \frac{U_d}{\sqrt{3}} = \frac{13200}{\sqrt{3}} = 7621,02 \text{ V}$$

$$\Delta U = \frac{E - U_f}{U_f} = \frac{9102,80 - 7621,02}{7621,02} = 0,194 \text{ hoặc } 19,4\%.$$

8.8. ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ

Máy điện đồng bộ có thể hoạt động ở chế độ động cơ. Tuy nhiên khi máy điện đồng bộ chuyển từ máy phát sang động cơ, dòng công suất là đối chiều. Thay cho việc chạy ra ngoài từ đầu cực của phần ứng động cơ, dòng điện chạy vào đầu cực của phần ứng. Tốc độ của động cơ không đổi khi tần số nguồn là không đổi. Bởi vậy, mạch điện thay thế của động cơ đồng bộ giống như mạch của máy phát điện đồng bộ (hình 8.11), ngoại trừ một điều: chiều của dòng điện I_u là ngược lại. Phương trình thay thế tương ứng của động cơ là:

$$U_f = E + (R_u + jX_{db})I \quad (8.36)$$

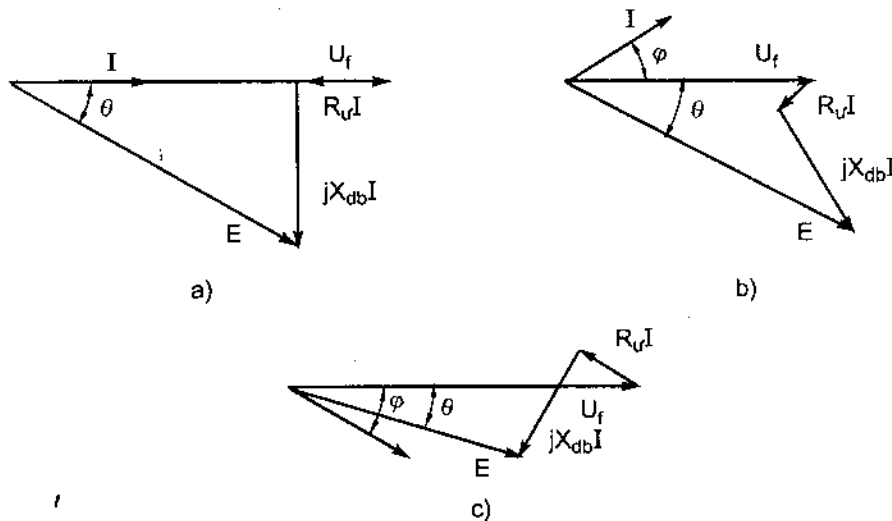
$$= E_s + (R_u + jX_u)I \quad (8.37)$$

hoặc: $E = U_f - (R_u + jX_{db})I \quad (8.38)$

$$E_s = U_f - (R_u + jX_u)I \quad (8.39)$$

Công suất ra của động cơ đồng bộ phụ thuộc vào tải trên trục động cơ. Tốc độ của nó phụ thuộc vào tần số nguồn. Khi dòng kích từ I_t thay đổi, tốc độ là không đổi, và sự thay đổi của dòng kích từ I_t làm thay đổi công suất ra. Tuy nhiên I_t làm thay đổi E (E tăng khi I_t tăng). Hình 8.15a, 8.15b, 8.15c miêu tả giản đồ vectơ của động cơ đồng bộ làm việc ở hệ số công suất bằng 1, vượt trước, và chậm sau. Khi giá trị $E = U_f$, chế độ này được gọi là 100% kích từ (hệ số công suất bằng 1).

Khi $E > U_f$, chế độ này được gọi là quá kích từ (hệ số công suất vượt trước). Khi $E < U_f$, chế độ này được gọi là thiếu kích từ (hệ số công suất chậm sau).



Hình 8.15. Giản đồ vectơ động cơ đồng bộ làm việc tại:

- a) Hệ số công suất bằng 1; b) Hệ số công suất vượt trước (quá kích từ);
- c) Hệ số công suất chậm sau (thiếu kích từ).

8.9. ĐẶC TÍNH MÔMEN VÀ CÔNG SUẤT CỦA MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Trong máy phát điện đồng bộ, công suất đưa vào được lấy từ nguồn sơ cấp đặt vào trục máy phát. Công suất cơ đưa vào của máy phát điện có thể được biểu diễn:

$$P_1 = P_{\text{trục}} = M_1 \omega_m \quad (8.40)$$

với M_1 là mômen của nguồn sơ cấp đặt vào trục; ω_m : tốc độ cơ học của trục quay. Ngược lại, công suất bên trong biến đổi từ cơ năng thành điện năng biểu diễn theo công thức:

$$P_{\text{dt}} = M_{\text{dt}} \omega_m \quad (8.41)$$

$$\text{hoặc:} \quad P_{\text{dt}} = 3EI \cos \Psi \quad (8.42)$$

trong đó: Ψ – góc giữa E và I được biểu diễn trong hình 8.13a

$$\Psi = \varphi + \theta \quad (8.43)$$

Khác biệt giữa công suất vào và công suất ra chính là tổn hao của máy điện. Trong khi đó, sự khác biệt giữa công suất vào và công suất điện từ (công suất thành lập) là tổn hao cơ và tổn hao phụ của máy phát. Công suất điện phát ra của máy phát có thể tính được đại lượng dây:

$$P_2 = \sqrt{3} U_d I_d \cos \varphi \quad (8.44)$$

hoặc theo đại lượng pha:

$$P_2 = 3U_r I_r \cos \varphi \quad (8.45)$$

Tương tự, công suất phản kháng được tính theo đại lượng dây:

$$Q_2 = \sqrt{3} U_d I_d \sin \varphi \quad (8.46)$$

hoặc theo đại lượng pha:

$$Q_2 = 3U_r I_r \sin \varphi \quad (8.47)$$

Công suất tác dụng và công suất phản kháng phát ra của máy phát điện đồng bộ còn có thể biểu diễn dưới dạng hàm của điện áp trên đầu cực, sức điện động, tổng trở đồng bộ, góc công suất hoặc góc mômen θ . Điều này cũng tương tự như công suất tác dụng và công suất phản kháng mà động cơ đồng bộ nhận được. Thực tế X_{db} lớn hơn rất nhiều so với R_u , dễ dàng thấy được:

$$E \sin \theta = X_{\text{db}} I \cos \varphi \quad (8.48)$$

$$\text{Suy ra:} \quad I \cos \varphi = \frac{E \sin \theta}{X_{\text{db}}} \quad (8.49)$$

và thay phương trình này vào phương trình (8.45)

$$P = \frac{3EU_r}{X_{\text{db}}} \sin \theta \quad (8.50)$$

Do tổn hao stato được bỏ qua (R_u được cho là bằng 0), P đặc trưng cho cả công suất điện từ P_{dt} (hay công suất thành lập, công suất khe hở không khí) và công suất ra P_2 .

Công suất ra của máy phát điện đồng bộ phụ thuộc vào góc giữa E và U_r . Nếu góc θ tăng lên, công suất tác dụng phát ra cũng tăng lên và đạt tới cực đại khi θ đạt 90° . Cho nên công suất cực đại là:

$$P_{\max} = \frac{3EU_f}{X_{db}} \quad (8.51)$$

Đây còn được gọi là giới hạn công suất trạng thái tĩnh hay giới hạn ổn định tĩnh. Từ biểu thức (8.41), mômen điện từ của máy điện đồng bộ được tính:

$$M_{dt} = \frac{P}{\omega_{db}} \quad (8.52a)$$

$$= \frac{3EU_f}{\omega_m X_{db}} \sin \theta \quad (8.52b)$$

$$= M_{\max} \sin \theta \quad (8.52c)$$

trong đó mômen cực đại là:

$$M_{\max} = \frac{P_{\max}}{\omega_m} \quad (8.53a)$$

$$= \frac{3EU_f}{\omega_m X_{db}} \quad (8.53b)$$

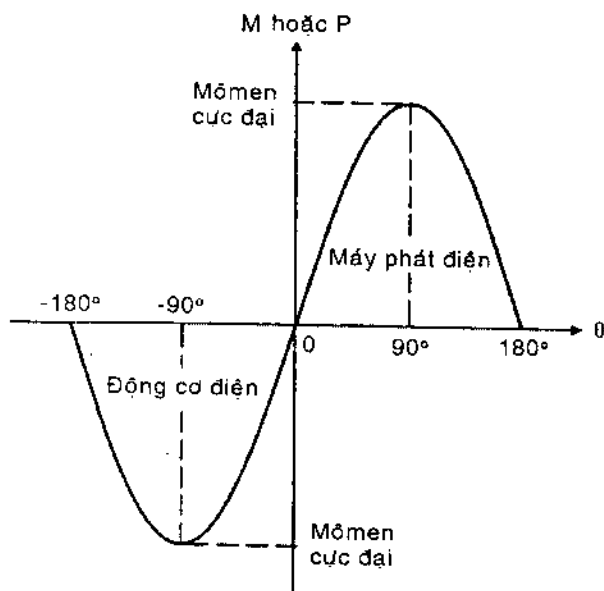
Do đó, bất kỳ sự tăng lên của công suất cơ đối với máy phát đồng bộ hoặc công suất cơ đầu ra của động cơ đồng bộ sau khi θ đạt 90° đều làm suy giảm công suất điện tác dụng. Máy phát thì tăng tốc, còn động cơ thì giảm tốc, kết quả là dẫn tới mất đồng bộ. Mômen cực đại còn được hiểu là mômen trượt. Hình 8.16 miêu tả đặc tính góc mômen hay góc công suất trạng thái tĩnh của máy điện đồng bộ với điện trở phần ứng nhỏ không đáng kể. Lưu ý khi góc θ âm, dòng công suất sẽ đổi chiều. Mặt khác, khi công suất điện đưa vào đầu cực, máy điện bắt đầu hoạt động ở chế độ động cơ với góc θ âm. Trong chế độ máy phát, công suất được phát ra và góc θ trở nên dương. Điều này được giải thích trong phương trình (8.51). Mômen đảo chiều (đảo dấu) khi máy chuyển từ chế độ máy phát sang chế độ động cơ theo đẳng thức (8.53b). Ở chế độ máy phát, mômen quay dương có nghĩa là mômen cản và do đó M_{dt} sẽ ngược lại ω_m . Ở chế độ động cơ, mômen quay là âm có nghĩa là nó quay cùng chiều với ω_m . Hình 8.17 cho thấy công suất được thêm vào và đặc tính góc mômen của máy điện đồng bộ hoạt động ở chế độ máy phát. Lưu ý rằng cả công suất cực đại và mômen quay cực đại có được khi θ đạt 90° . Nếu động cơ sơ cấp có chiều hướng đưa máy phát đến tốc độ quá đồng bộ khi mômen tăng mạnh, dòng điện kích từ có thể tăng lên để tạo ra mômen cản lớn hơn và tránh được chiều hướng này. Tương tự, nếu động cơ đồng bộ có khuynh hướng mất đồng bộ do mômen tải quá lớn, dòng điện kích từ có thể tăng lên để làm tăng mômen trong máy và tránh được sự mất đồng bộ.

Công suất phản kháng của máy điện đồng bộ được tính:

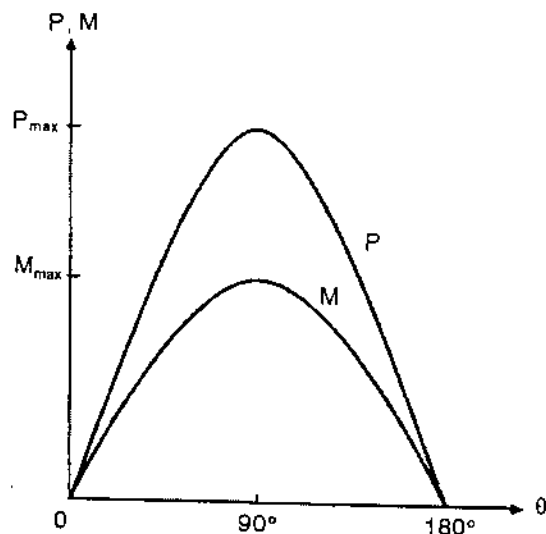
$$Q = \frac{3(EU_d \cos \theta - U_f)^2}{X_{db}} \quad (8.54)$$

Tại đây, Q dương nghĩa là máy cung cấp công suất điện cảm ở chế độ máy phát

hoặc nhận công suất điện cảm ở chế độ động cơ, còn Q âm nghĩa là máy cung cấp công suất điện dung ở chế độ máy phát, hoặc máy nhận công suất điện dung ở chế độ động cơ.



Hình 8.16. Công suất (hoặc mômen) là hàm của góc công suất 0.



Hình 8.17. Đặc tính góc mômen và góc công suất của máy phát điện đồng bộ.

Ví dụ 8.5

Một động cơ đồng bộ ba pha rôto cực ẩn; 100hp; 60Hz; 480V; bốn 4 cực; nối hình sao, có điện trở phản ứng bằng $0,15\Omega$ và điện kháng đồng bộ của một pha là 2Ω . Tải định mức và hệ số công suất vượt trước là 0,8; hiệu suất động cơ là 0,95. Hãy tính:

- Sức điện động.
- Góc mômen θ .
- Mômen cực đại.

Lời giải:

- Công suất đưa vào động cơ

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{(100\text{hp})(746\text{W/hp})}{0,95} = 78526,32\text{W}$$

Dòng điện tải định mức là:

$$I = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U_d \cos \varphi} = \frac{78526,32}{\sqrt{3} \cdot 480 \cdot 0,8} = 118,07\text{A}$$

$$\text{Điện áp pha là: } U_t = \frac{U_d}{\sqrt{3}} = \frac{480}{\sqrt{3}} = 277,13\text{V}$$

$$\text{và } \varphi = \cos^{-1}0,8 = 36,87^\circ \text{ vượt trước.}$$

$$E = U_f - (R_u + jX_{db})I = 227,13\angle 0^\circ - (0,15 + j2)(118,07\angle 36,87^\circ) = 451,17\angle -26,25^\circ V$$

b) Dấu âm cho thấy rằng E chậm pha so với U_f (chọn U_f là trục véctơ gốc). $26,25^\circ$ cũng đặc trưng cho góc mômen θ . Góc mômen được tính:

$$\tan(\varphi + \theta) = \frac{U_f \sin \varphi + IX_{db}}{U_f \cos \varphi - IR_u} = \frac{277,13 \sin 36,87^\circ + (118,07)2}{277,13 \cos 36,87^\circ - (118,07)0,15} = 1,97$$

$$\text{Suy ra: } \varphi + \theta = \tan^{-1}(1,97) = 63,12^\circ$$

$$\text{và: } \theta = 63,12^\circ - 36,87^\circ = 26,25^\circ$$

c) Khi máy điện có bốn cực, nó có tốc độ 1800 vòng/phút hoặc 188,495 rad/s.

Suy ra mômen quay cực đại là:

$$M_{\max} = \frac{P_{\max}}{\omega_m} = \frac{3E U_f}{\omega_m X_{db}} = \frac{3(451,17) \cdot 227,13}{(188,495)2} = 994,98 \text{ N.m}$$

8.10. ĐỘ CỨNG CỦA MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Khả năng của máy điện đồng bộ chịu đựng được các lực có xu hướng làm cho mất đồng bộ gọi là độ cứng. Độ cứng đặc trưng cho độ dốc của đường cong góc công suất tại điểm làm việc đã cho và có thể tính bằng cách lấy đạo hàm của công suất truyền với góc mômen tương ứng (đơn vị là watt/radian)

Với góc lệch $\Delta\theta$ nhỏ, độ thay đổi công suất là ΔP .

$$\text{Từ: } P = \frac{3EU_f}{X_{db}} \sin \theta \quad (8.55)$$

$$K_s = \frac{\Delta P}{\Delta \theta} \equiv \frac{dP}{d\theta} \quad (8.56)$$

suy ra độ cứng có thể xác định:

$$P_s = \frac{3EU_f}{X_{db}} \cos \theta \quad (8.57)$$

Độ cứng lớn nhất tương ứng với công suất đồng bộ. Dĩ nhiên, tại điểm trượt, độ cứng là bằng 0.

Ví dụ 8.6

Cho máy phát đồng bộ như ở ví dụ 8.4 và giả sử máy có tám cực. Hãy xác định:

- Công suất đồng bộ theo đơn vị MW/radian điện và MW/độ điện.
- Công suất đồng bộ theo đơn vị MW/độ cơ.
- Mômen đồng bộ theo đơn vị MW/độ cơ.

Lời giải:

a) Công suất đồng bộ:

$$\begin{aligned} P_{db} &= \frac{3EU_f}{X_{db}} \cos \theta = \frac{3 \cdot 9102,8 \cdot 7621,02}{2,49} \cos 11,08^\circ \\ &= 82,024 \text{ (MW/radian điện)} = 1,4316 \text{ (MW/độ điện)} \end{aligned}$$

b) Máy điện có bốn cặp cực, nên có bốn chu kỳ điện ứng với một vòng quay. Suy ra:

$$P_{db} = 4.1,4316 = 5,7264 \text{ (MW/độ cơ)}$$

c) Tốc độ đồng bộ:

$$n_{db} = \frac{60}{4} = 15 \text{ (vòng/giây)}$$

nên mômen đồng bộ là:

$$M_{db} = \frac{P_{db}}{\omega_m} = \frac{5726400}{2\pi.15} = 60758,1 \text{ (N.m/độ cơ)}$$

8.11. ẢNH HƯỞNG CỦA SỰ THAY ĐỔI KÍCH TỪ

Một trong những đường đặc tính quan trọng của máy điện đồng bộ là có thể điều chỉnh hệ số công suất bằng dòng điện kích từ. Nói cách khác, hệ số công suất của dòng điện stato (hoặc của lưới) có thể điều khiển bằng cách thay đổi kích từ. Tuy nhiên, sự hoạt động của máy phát đồng bộ kết nối vào lưới điện vô cùng lớn sẽ có khác biệt so với khi hoạt động độc lập.

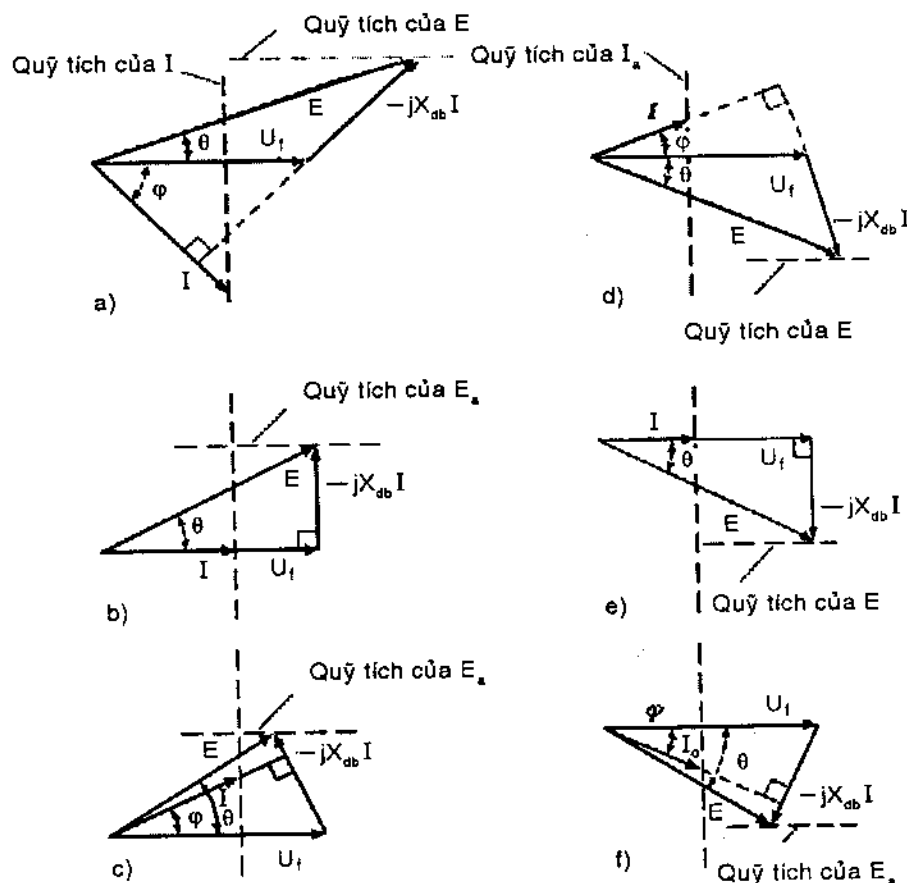
8.11.1. Máy điện đồng bộ làm việc với hệ thống lớn

Giả sử máy điện đồng bộ làm việc với công suất không đổi kết nối vào hệ thống lớn nghĩa là hoạt động với tần số và điện áp không đổi. Trong điều kiện như vậy hệ số công suất được xác định bởi dòng điện kích từ. Trong chế độ máy phát, giá trị của công suất và tần số (hoặc tốc độ) của máy phát được xác định bởi công suất cơ đưa vào. Ở chế độ động cơ, tốc độ được xác định bởi tần số và công suất cơ phụ thuộc vào tải cơ trên trục.

Hình 8.18a, 8.18b, 8.18c miêu tả giản đồ vectơ của máy điện đồng bộ hoạt động ở chế độ máy phát quá kích từ, máy phát kích từ định mức và máy phát thiếu kích từ. Hình vẽ cho thấy quỹ tích của dòng I với công suất tác dụng không đổi là một đường thẳng đứng, còn quỹ tích của sức điện động là đường nằm ngang. Lưu ý rằng, sự thay đổi góc hệ số công suất φ là rõ rệt, nhưng sự thay đổi của góc mômen θ thì hầu như không đáng kể. Trong hình vẽ 8.18a, khi máy điện hoạt động ở chế độ quá kích từ, hầu như nó có hệ số công suất chậm sau do dòng điện kích từ lớn. Công suất cực đại P_{max} lớn, do đó máy điện hoạt động ổn định. Ở hình 8.18b, khi máy điện hoạt động ở chế độ máy phát kích từ định mức, nó có hệ số công suất bằng 1 do dòng điện kích từ định mức. Cuối cùng ở hình 8.18c, máy hoạt động ở chế độ máy phát thiếu kích từ, có hệ số công suất vượt trước do dòng điện kích từ yếu. Cho nên công suất cực đại P_{max} là nhỏ và do đó máy làm việc kém ổn định.

Hình 8.18d, 8.18e, 8.18f cho thấy đồ thị vectơ của máy điện đồng bộ hoạt động ở chế độ động cơ quá kích từ, động cơ kích từ định mức và động cơ thiếu kích từ. Hình vẽ cho thấy quỹ tích dòng điện I của công suất tác dụng không đổi là một đường thẳng theo phương thẳng đứng trong khi quỹ tích của sức điện động E là một đường nằm ngang. Ở hình 8.18d, khi máy điện làm việc ở chế độ động cơ quá kích từ nó có hệ số

công suất vượt trước do dòng điện kích từ lớn. Cho nên công suất cực đại $P_{\max}$ lớn và máy hoạt động ổn định. Ở hình 8.18e, khi máy điện hoạt động ở chế độ động cơ kích từ định mức, nó có hệ số công suất là 1 do dòng điện kích từ định mức. Ở điều kiện này, động cơ tiêu thụ dòng điện stato nhỏ nhất I . Cuối cùng, trên hình 8.18f, khi máy điện hoạt động ở chế độ động cơ thiếu kích từ, nó có hệ số công suất chậm pha do dòng điện kích từ thấp. Tại đây công suất cực đại $P_{\max}$ nhỏ và máy điện hoạt động kém ổn định.



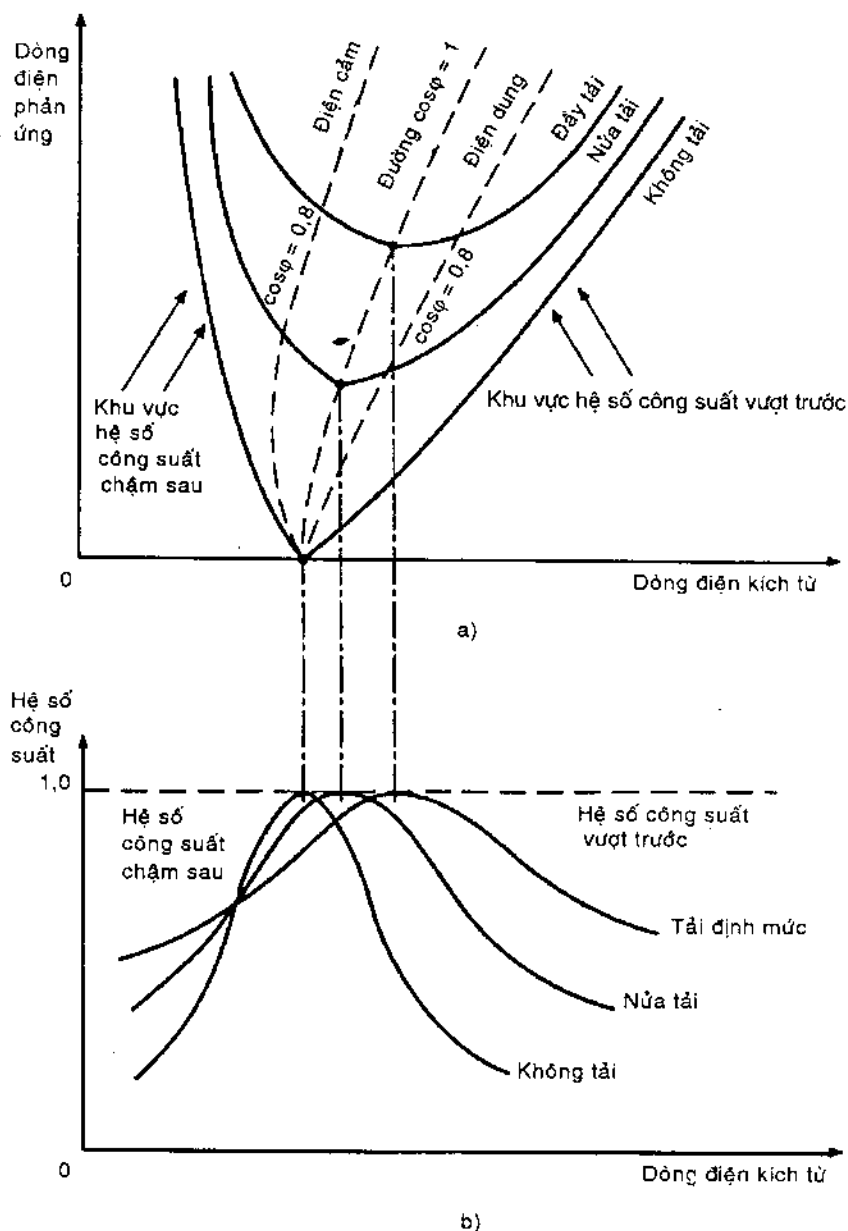
Hình 8.18. Giản đồ vectơ máy điện đồng bộ làm việc ở chế độ :

- a) Máy phát quá kích từ; b) Máy phát kích từ định mức; c) Máy phát thiếu kích từ;
 d) Động cơ quá kích từ; e) Động cơ kích từ định mức; f) Động cơ thiếu kích từ.

Từ đồ thị vectơ hình 8.18, một điều có thể nhận thấy là: sức điện động E vượt trước điện áp U_t khi máy điện đồng bộ làm việc ở chế độ máy phát và chậm pha khi hoạt động ở chế độ động cơ. Đồng thời, lưu ý rằng góc mômen và góc công suất là dương khi hoạt động ở chế độ máy phát và là âm khi hoạt động ở chế độ động cơ.

Tóm lại, hệ số công suất của máy điện đồng bộ và dòng điện phản ứng của nó có thể điều khiển được bằng cách thay đổi dòng kích từ. Đường cong miêu tả mối quan hệ giữa dòng điện stato và dòng điện kích từ tại điện áp trên đầu cực không đổi với công suất tác dụng không đổi gọi là đường cong hình V của máy điện đồng bộ (do chính hình dạng của nó). Đường cong chữ V có thể áp dụng cho máy phát đồng bộ cũng như động cơ đồng bộ. Hình 8.19a cho thấy họ các đường hình V theo thứ tự

cho tải định mức, non tải và không tải. Đường nét liền là quỹ tích của công suất không đổi gọi là đường cong hỗn hợp. Lưu ý rằng, dòng điện phản ứng cực tiểu luôn đồng nghĩa với hệ số công suất bằng 1. Dòng điện kích từ tương ứng là dòng điện kích từ định mức. Và cũng lưu ý vùng bên phải của đường cong hỗn hợp hệ số công suất bằng 1 là khu vực quá kích từ và hệ số công suất vượt trước, còn vùng bên trái là khu vực thiếu kích từ và hệ số công suất chậm sau. Hình 8.19b cho thấy sự tương quan giữa hệ số công suất và dòng điện kích từ. Động cơ đồng bộ có thể bị quá kích từ và có hệ số công suất vượt trước. Hai đường cong 8.19a và 8.19b cho thấy dòng điện kích từ tăng không đáng kể để có dòng điện kích từ khi tải tăng.



Hình 8.19. Đường đặc tính hình V

a) Dòng điện stato phụ thuộc vào dòng kích từ; b) Hệ số công suất phụ thuộc vào dòng kích từ.

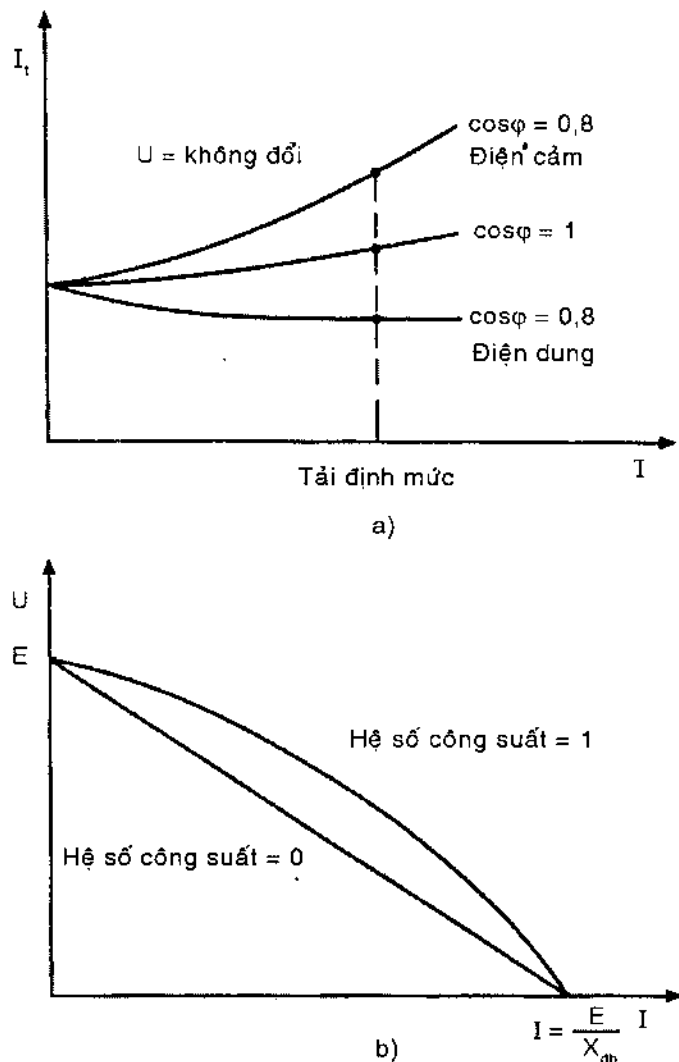
8.11.2. Máy phát đồng bộ làm việc độc lập

Nói chung, máy điện đồng bộ hoạt động ở chế độ máy phát hoặc chế độ động cơ khi kết nối với hệ thống lớn. Tuy nhiên, trong nhiều trường hợp máy phát đồng bộ có thể sử dụng để cấp điện cho hệ thống điện độc lập. Trong trường hợp này lý thuyết hệ thống lớn (có tần số, điện áp không đổi) không thể sử dụng vì không có máy phát nào nối cùng song song để bù cho việc thay đổi dòng kích từ hoặc thay đổi nguồn cơ năng sơ cấp để giữ cho điện áp nguồn và tần số không đổi. Ở đây, nguồn sơ cấp chủ yếu là động cơ diesel hoặc động cơ xăng. Tần số phụ thuộc vào tốc độ của nguồn sơ cấp. Cho nên, cần phải có máy điều tốc để giữ cho tần số không đổi. Hệ số công suất của máy cũng là của hệ số tải và sẽ thay đổi khi tải thay đổi. Hệ số công suất và dòng điện phản ứng không thể điều chỉnh bên phía máy phát. Bên phía máy phát chỉ có thể thay đổi dòng kích từ. Với tốc độ không đổi, nếu dòng điện kích từ tăng, điện áp trên đầu cực sẽ tăng (hình 8.20a).

Điện áp đầu cực thay đổi lớn khi tải thay đổi, cần phải có bộ điều chỉnh điện áp tự động để điều khiển I_f sao cho điện áp đầu cực máy phát không đổi khi tải thay đổi.

Trong hình 8.20b, khi dòng điện tải I tăng, điện áp trên đầu cực giảm rõ rệt theo độ giảm của hệ số công suất tải. Thông qua các đặc tính máy phát đồng bộ trên hình 8.20, ta có thể kết luận:

1. Thêm vào tải cảm khiến cho điện áp trên đầu cực giảm đột ngột.



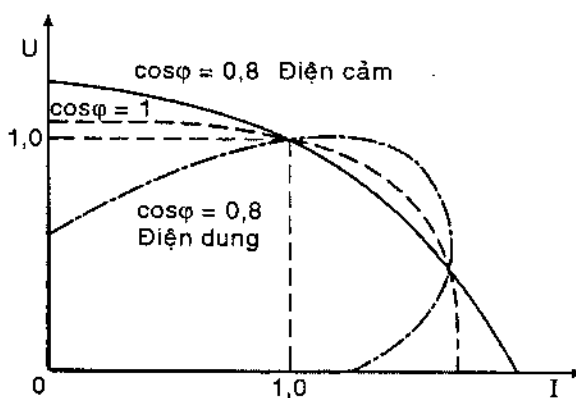
Hình 8.20. Đặc tính của máy phát điện làm việc độc lập

a) Đường cong hỗn hợp;

b) Điện áp đầu cực phụ thuộc vào dòng điện tải với dòng kích từ không đổi.

2. Thêm vào tải thuần trở khiến cho điện áp trên đầu cực giảm nhưng rất ít (gần như không thay đổi).

3. Thêm vào tải dung khiến cho điện áp trên đầu cực tăng mạnh. Hình 8.21 cho thấy đường cong đặc tính von – ampe với dòng kích từ không đổi của máy phát điện đồng bộ hoạt động độc lập. Lưu ý rằng, các đường cong này được vẽ cho 3 hệ số công suất khác nhau với dòng kích từ không đổi.



Hình 8.21. Đường cong đặc tính von–ampe với dòng kích từ không đổi của máy phát điện đồng bộ làm việc độc lập.

8.12. SỬ DỤNG CUỘN DÂY CẢN DỤ ĐỂ HẠN CHẾ DAO ĐỘNG KHI TẢI THAY ĐỔI

Nếu tải của máy điện đồng bộ thay đổi, góc tải thay đổi từ giá trị ổn định sang giá trị khác. Sự dao động quá độ này của góc tải dẫn đến dao động cơ học của rôto. Để tránh những rung động như vậy cuộn cản dục được sử dụng cho hầu hết máy điện đồng bộ cực lỗi. Cuộn cản dục được làm bằng thanh đồng hoặc đồng thau nằm trên các rãnh bề mặt cực rôto cực lỗi và các đầu của chúng được nối với nhau. Khi tốc độ rôto khác với tốc độ đồng bộ, dòng điện sẽ được cảm ứng trong cuộn cản dục. Cuộn cản dục giống như rôto lồng sóc của động cơ không đồng bộ, tạo ra mômen để khử dao động cơ học và giữ cho tốc độ được đồng bộ. Lưu ý rằng, máy điện rôto cực lỗi không có cuộn cản dục vì dòng điện xoáy tồn tại trong rôto khi quá độ như vậy đóng vai trò như dòng điện trong cuộn cản dục của máy điện rôto cực lỗi.

8.13. KHỞI ĐỘNG ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ

Động cơ đồng bộ không thể tự khởi động. Nói cách khác, nếu dây quấn rôto của nó nối với nguồn một chiều và cuộn stato được cấp điện xoay chiều, động cơ sẽ không khởi động được nhưng bị rung nhẹ. Các phương pháp dùng để khởi động động cơ đồng bộ:

1. Khởi động như động cơ không đồng bộ.
2. Khởi động bằng bộ biến tần.
3. Khởi động với sự hỗ trợ của động cơ một chiều.

Cách đầu tiên là thực tế hơn cả và được sử dụng rất phổ biến. Khi cuộn dây kích từ được ngắt khỏi nguồn một chiều và cuộn stato được nối với nguồn xoay chiều, động cơ sẽ hoạt động như động cơ không đồng bộ vì do có cuộn cản dục. Cách

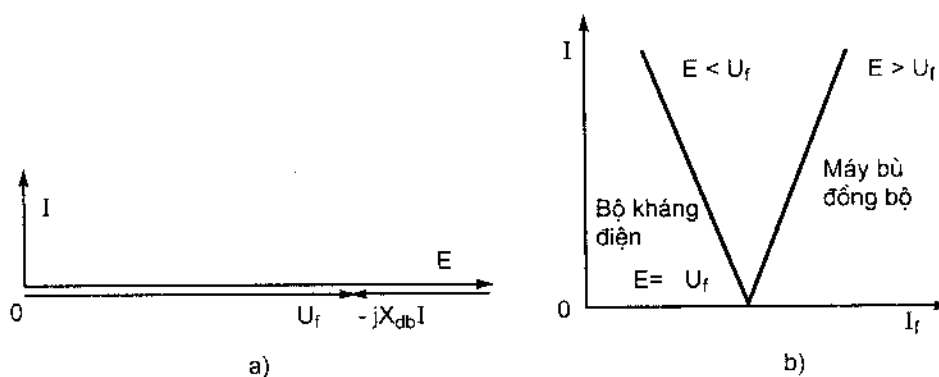
khởi động kiểu như động cơ không đồng bộ sẽ đưa máy gần tới tốc độ đồng bộ và khi cuộn dây cực từ được kích từ, rôto bước đúng nhịp và bắt đầu quay với tốc độ đồng bộ. Tại tốc độ đồng bộ không có dòng cảm ứng trong cuộn cảm dự và do đó không có mômen do dòng cảm ứng tạo ra.

Cách thứ hai là khởi động động cơ với điện xoay chiều có tần số thấp bằng việc sử dụng bộ biến tần. Kết quả là từ trường phản ứng quay chậm làm cho cực từ rôto quay theo cực từ của phần ứng. Cuối cùng, động cơ có thể hoạt động tại tốc độ đồng bộ bằng cách tăng từ từ tần số cho đến giá trị định mức.

Cách thứ ba là đưa động cơ đến tốc độ đồng bộ bằng việc dùng động cơ một chiều trước khi nối động cơ vào nguồn điện xoay chiều.

8.14. ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ HOẠT ĐỘNG Ở CHẾ ĐỘ MÁY BÙ ĐỒNG BỘ

Động cơ đồng bộ quá kích từ có thể phát công suất phản kháng. Khi động cơ đồng bộ được dùng như máy bù đồng bộ, chúng không có đầu trục và hoạt động không tải. Nguồn vào xoay chiều cung cấp cho động cơ tạo ra tổn hao của chính nó. Những tổn hao này là rất nhỏ và hệ số công suất của động cơ gần như bằng không. Do đó, dòng điện phản ứng vượt trước điện áp nguồn một góc 90° (hình 8.22a) và lưới điện coi động cơ như là bộ tụ. Có thể thấy ở hình 8.22b, khi động cơ bị quá kích từ, nó sẽ như một tụ điện (tụ đồng bộ) với $E > U_f$. Ngược lại, khi nó thiếu kích từ, nó sẽ như là cuộn cảm (cuộn kháng đồng bộ) với $E < U_f$. Máy bù đồng bộ được sử dụng để điều chỉnh hệ số công suất tại những điểm làm việc của tải, làm giảm độ sụt áp và nâng cao điện áp tại các điểm này, và cũng điều chỉnh được công suất phản kháng. Sử dụng máy bù đồng bộ công suất lớn kinh tế hơn so với tụ điện tĩnh.

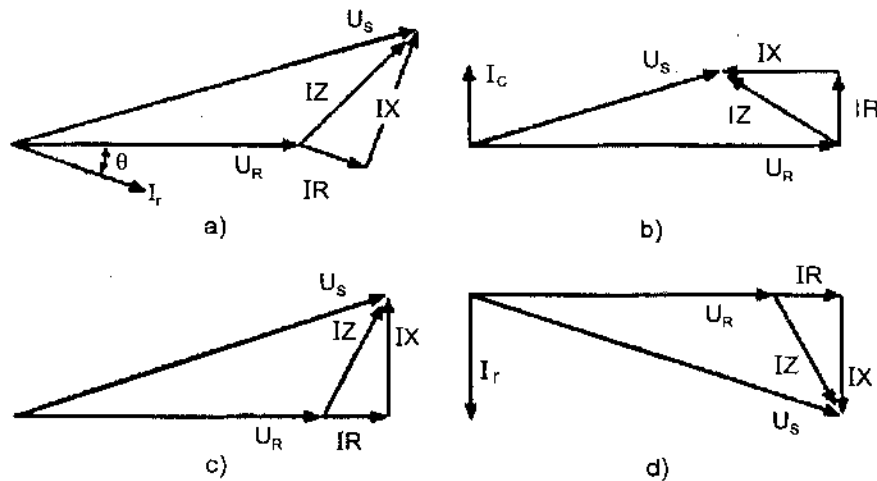


Hình 8.22. Hoạt động của máy bù đồng bộ.

8.15. ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ HOẠT ĐỘNG NHƯ BỘ ĐIỆN KHÁNG ĐỒNG BỘ

Sẽ là không kinh tế nếu hiệu chỉnh công suất cùng một lúc tải với định mức. Cho nên, đường dây truyền tải thường được vận hành tại hệ số công suất chậm sau. Xét một động cơ đồng bộ quá kích từ được sử dụng như tụ điện đồng bộ để hiệu chỉnh hệ số công suất đường dây truyền tải đang cấp điện cho tải với hệ số công suất chậm sau.

Hình 8.23a miêu tả đồ thị véctơ của lưới điện đã được bù với điện áp đầu gửi U_s và điện áp đầu nhận U_R , hoạt động dưới điều kiện tải đầy với $U_s > U_R$. Tuy nhiên, khi không tải hoặc tải nhẹ do có dòng điện phản kháng I_r , điện áp nhận U_R trở nên lớn hơn U_s , ($U_s < U_R$) (hình 8.23b). Điều kiện này được hiểu là hiệu ứng Ferranti. Để ngăn ngừa hiện tượng này, dòng điện kích từ một chiều và động cơ đồng bộ có thể can thiệp bằng bộ điều chỉnh điện áp và sẽ giảm khi tải giảm và U_R tăng.



Hình 8.23. Sử dụng máy bù đồng bộ như bộ điện kháng đồng bộ.

Trong hình 8.23d, động cơ đồng bộ thiếu kích từ trở thành cuộn kháng đồng bộ và bắt đầu tạo độ sụt áp do có dòng điện cảm ứng. Hình 8.23c, 8.23d miêu tả sự hiệu chỉnh khi tải định mức và không tải. Rõ ràng là quan hệ giữa hai điện áp nhận là như nhau. Ứng dụng của cuộn kháng đồng bộ là tạo ra điện áp không đổi khi có sự thay đổi ở cả dòng điện tải và hệ số công suất.

Ví dụ 8.7

Động cơ không đồng bộ ba pha, 750kW, 4160V, nối hình sao, có hiệu suất khi tải định mức là 90%; hệ số công suất chậm sau 0,75 được nối với lưới điện. Dùng máy bù đồng bộ nối với tải để hiệu chỉnh hệ số công suất thành chậm sau 0,85. Xác định công suất phản kháng cấp bởi máy bù đồng bộ.

Lời giải:

Công suất đưa vào động cơ không đồng bộ là:

$$P = \frac{750}{0,9} = 833,33\text{kW}.$$

Công suất phản kháng của động cơ tại hệ số công suất chưa hiệu chỉnh là:

$$Q_1 = P \tan \phi_1 = 833,33 \tan(\cos^{-1} 0,7) = 734,92\text{kVar}.$$

Công suất tác dụng của động cơ tại hệ số công suất đã hiệu chỉnh là:

$$Q_2 = P \tan \phi_2 = 833,33 \tan(\cos^{-1} 0,85) = 516,44\text{kVar}.$$

Suy ra công suất phản kháng cấp bởi máy bù đồng bộ là:

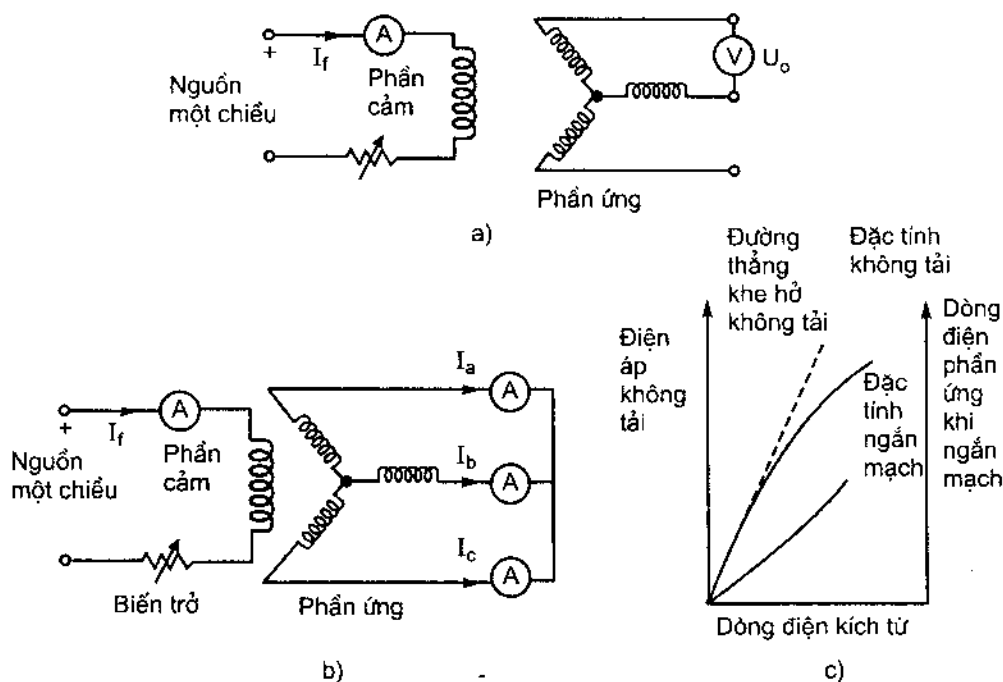
$$Q_c = Q_1 - Q_2 = 734,92 - 516,44 = 218,48\text{kVar}.$$

8.16. THÍ NGHIỆM XÁC ĐỊNH THAM SỐ MẠCH ĐIỆN THAY THẾ

Tham số mạch điện thay thế máy điện đồng bộ có thể xác định bằng ba thí nghiệm: thí nghiệm không tải, thí nghiệm ngắn mạch và thí nghiệm một chiều.

8.16.1. Thí nghiệm không tải

Như đã nói ở mục 8.6, đặc tính không tải của máy điện đồng bộ có thể xác định dựa trên thí nghiệm không tải. Theo hình 8.24a, máy điện chạy với tốc độ đồng bộ, phần ứng được hở mạch và dòng điện kích từ bằng không tải. Điện áp dây U_0 được đo khi tăng dần dòng điện I_f . $U_0 = E = U$ nếu cuộn dây phần ứng được nối hình sao. Quan hệ của điện áp này với dòng điện kích từ I_f gọi là đặc tính không tải (hình 8.24c). Do đó, sức điện động E ứng với bất kỳ dòng kích từ I_f nào cũng có thể xác định được từ đặc tính không tải. Khi dòng kích từ tăng lên, đặc tính không tải bắt đầu tách ra khỏi đường nét đứt do tính chất bão hoà của lõi từ. Các tổn hao không tải (như ma sát, quạt gió, hoặc sắt từ) có thể xác định bằng việc đo công suất cơ đưa vào. Trong khi tổn hao ma sát và quạt gió giữ không đổi, tổn hao lõi sắt tỷ lệ với điện áp không tải.



Hình 8.24. Thí nghiệm không tải và ngắn mạch

- a) Sơ đồ nối thí nghiệm không tải; b) Sơ đồ nối thí nghiệm ngắn mạch;
c) Các đặc tính không tải và ngắn mạch.

8.16.2. Thí nghiệm ngắn mạch

Trong hình vẽ 8.24b, phần ứng được ngắn mạch thông qua ampe kế và dòng điện kích từ đặt bằng không. Khi máy điện đồng bộ chạy với tốc độ đồng bộ, dòng

điện phản ứng I được đo bằng cách tăng dòng điện kích từ đến khi dòng điện phản ứng được khoảng 150% dòng định mức. Quan hệ của dòng điện phản ứng I với dòng điện kích từ I_t cho ta đặc tính ngắn mạch của máy điện như ở hình vẽ 8.24c. Đặc tính ngắn mạch là tuyến tính khi mạch từ lõi thép chưa bão hòa.

8.16.3. Thí nghiệm một chiều

Điện trở R_u của cuộn dây phần ứng có thể xác định bằng cách đặt điện áp một chiều vào hai trong số ba cực của máy điện đồng bộ nối hình sao (khi máy không làm việc). Khi dòng điện chạy qua hai cuộn dây phần ứng nối hình sao, điện trở tổng lúc này là $2R_u$. Suy ra:

$$2R_u = \frac{U_{MC}}{I_{MC}} \quad (8.58)$$

$$\text{hay} \quad R_u = \frac{U_{MC}}{2I_{MC}} \quad (8.59)$$

Thông thường R_u được tính toán như trên cần phải hiệu chỉnh do hiệu ứng bề mặt của cuộn dây phần ứng trong quá trình thí nghiệm ngắn mạch. Tuy nhiên, điện trở R_u của máy điện đồng bộ công suất lớn (cỡ vài trăm kVA) là rất nhỏ và thường được bỏ qua ngoại trừ khi tính toán hiệu suất.

8.16.4. Điện kháng đồng bộ chưa bão hòa

Ta có thể thấy trong hình 8.25, nếu máy điện đồng bộ chưa bão hòa, điện áp dây lúc không tải sẽ tăng tỷ lệ tuyến tính theo dòng điện kích từ (đường nét đứt). Kết quả là dòng điện phản ứng khi ngắn mạch tỷ lệ thuận với dòng điện kích từ. Cho nên, tổng trở đồng bộ chưa bão hòa ứng với giá trị cụ thể của dòng điện kích từ xác định theo hình 8.25.

$$Z_{db,cbh} = \frac{E_{ac}}{\sqrt{3} \cdot I_{ab}} = R_u + j \cdot X_{db,cbh} \quad (8.60)$$

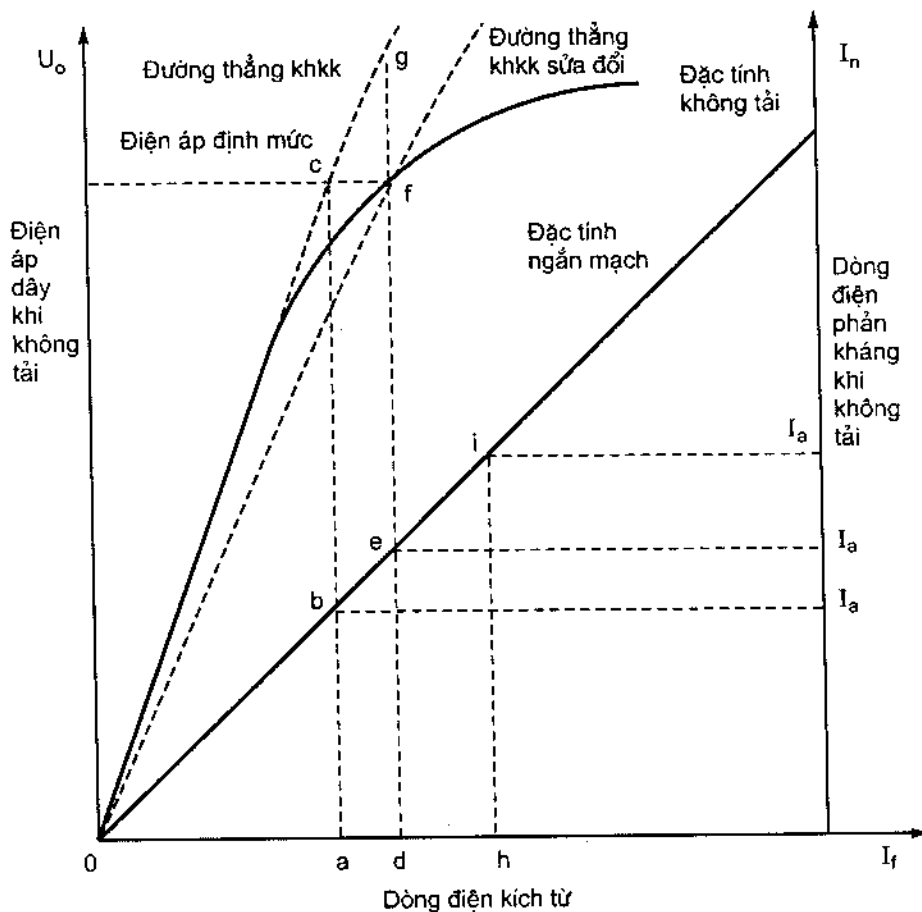
nếu R_u quá nhỏ có thể bỏ qua:

$$X_{db,cbh} \cong \frac{E_{ac}}{\sqrt{3} \cdot I_{ab}} \quad (8.61)$$

8.16.5. Điện kháng đồng bộ bão hòa

Trong điều kiện làm việc bình thường, mạch từ bị bão hòa. Cho nên nếu dòng điện kích từ thay đổi thì sức điện động sẽ thay đổi theo đường nét đứt sửa đổi trong hình 8.25. Vậy tổng trở đồng bộ bão hòa tại điện áp định mức được tính:

$$Z_{db} = \frac{E_{df}}{\sqrt{3} \cdot I_{dc}} = R_u + j \cdot X_{db} \quad (8.62)$$

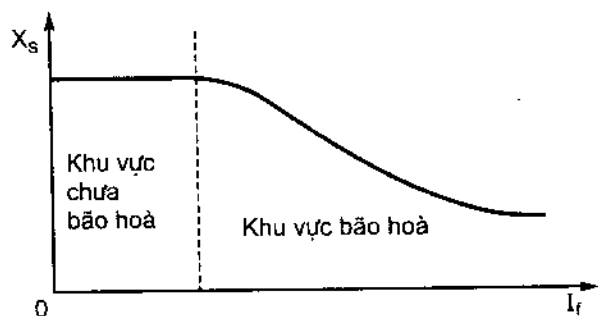


Hình 8.25. Đặc tính không tải và ngắn mạch của máy điện đồng bộ.

Nếu R_a đủ nhỏ để bỏ qua:

$$X_{db} \cong \frac{E_{df}}{\sqrt{3}I_{dc}} \quad (8.63)$$

Tuy nhiên, máy điện chưa bão hoà trong thí nghiệm ngắn mạch. Cho nên, việc xác định điện kháng đồng bộ dựa trên số liệu của thí nghiệm ngắn mạch và không tải hở mạch chỉ là gần đúng. Hình 8.26 biểu diễn mức độ biến đổi của điện kháng đồng bộ do bão hoà.



Hình 8.26. Độ thay đổi điện kháng đồng bộ do bão hoà từ.

8.16.6. Tỷ số ngắn mạch

Tỷ số ngắn mạch của máy điện đồng bộ là tỷ số của dòng điện kích từ cần có để tạo ra điện áp định mức với tốc độ định mức khi không tải, chia cho dòng điện kích

từ cần có để tạo ra dòng điện phần ứng định mức khi ngắn mạch. Cho nên, từ hình 8.25, tỷ số ngắn mạch của máy điện đồng bộ là:

$$k = \frac{od}{oh} \quad (8.64)$$

Ở đây: od – dòng điện kích từ tạo ra điện áp định mức trên đặc tính không tải;
 oh – dòng kích từ tương ứng với dòng phần ứng có giá trị định mức khi ngắn mạch.
 Tỷ số ngắn mạch tỷ lệ nghịch với điện kháng đồng bộ bão hoà trong hệ đơn vị tương đối.

Ví dụ 8.8

Số liệu sau đây lấy từ đặc tính không tải và ngắn mạch của máy điện đồng bộ 100kVA, ba pha, nối hình sao, 380V, 60Hz với điện trở phần ứng không đáng kể:

Từ đặc tính không tải:

1. Điện áp dây = 380V.
2. Dòng điện kích từ = 3,2A.

Từ đường nét đứt:

3. Điện áp dây = 380V.
4. Dòng điện kích từ = 2,94A.

Từ đặc tính ngắn mạch:

5. Dòng điện phần ứng 90,35A; 120, 28A.
6. Dòng điện kích từ 3,2A; 4,26A.

Hãy xác định:

- a) Điện kháng đồng bộ chưa bão hoà.
- b) Điện kháng đồng bộ bão hoà tại điện áp định mức.
- c) Tỷ số ngắn mạch.

Lời giải:

a) Dòng điện kích từ 2,94A cần thiết để có điện áp dây định mức 380V trên đường nét đứt tạo ra dòng điện phần ứng khi ngắn mạch $2,94(90,35/3,2) = 83,01A$. Do đó, điện kháng đồng bộ chưa bão hoà là:

$$X_{db,cbh} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 83,01} = 2,64\Omega/\text{pha}.$$

b) Dòng điện kích từ 3,2A tạo ra điện áp định mức trên đặc tính không tải và dòng điện phần ứng khi ngắn mạch là 90,35A. Do đó điện kháng đồng bộ bão hoà tại điện áp định mức là:

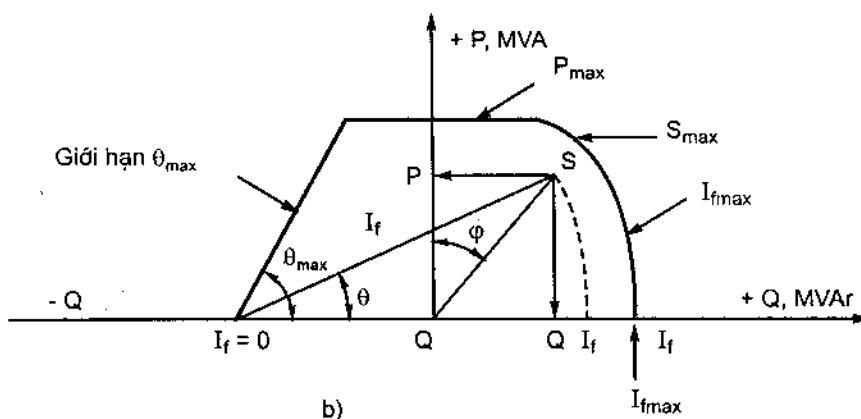
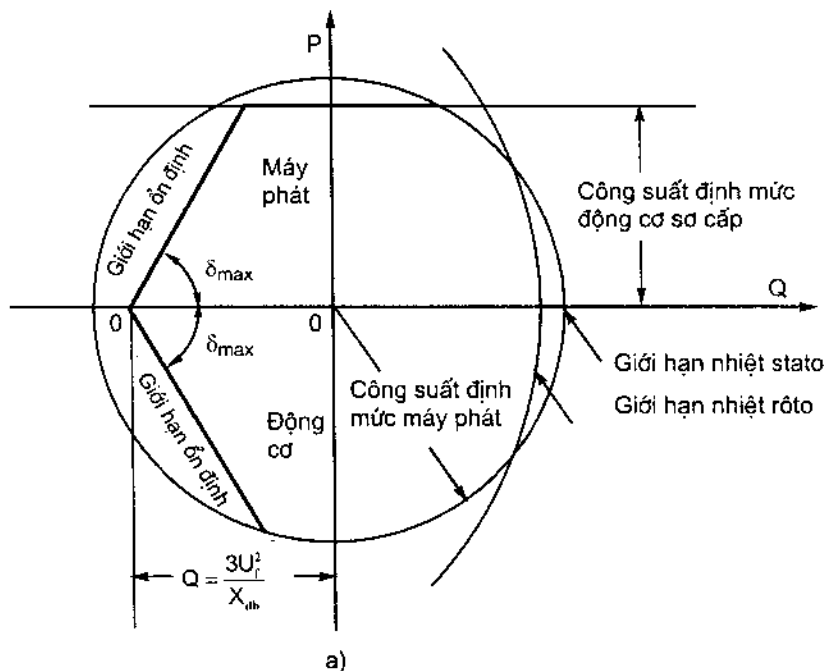
$$X_{db} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 90,35} = 2,43\Omega/\text{pha}.$$

c) Tỷ số ngắn mạch:

$$k = \frac{3,2}{4,26} = 0,75$$

8.17. ĐƯỜNG CONG DUNG LƯỢNG CỦA MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Hình 8.27a biểu diễn đường cong dung lượng của máy điện đồng bộ. Giá trị công suất định mức của máy đồng bộ được xác định do nhiệt của dòng điện stato lớn nhất cho phép. Phần trên và dưới của khu vực bên trong vòng tròn với bán kính S lớn nhất đặc trưng cho chế độ máy phát và động cơ. Dòng điện kích từ lớn nhất cho phép được giới hạn bởi điều kiện phát nóng trên rôto. Góc mômen lớn nhất cho phép được xác định bởi giới hạn trạng thái ổn định tĩnh, tồn tại trong chế độ làm việc của máy phát và động cơ, và giới hạn bởi vòng làm việc của máy điện đồng bộ. Trong chế độ máy phát, công suất bị giới hạn bởi nguồn sơ cấp.



Hình 8.27. Đường cong dung lượng của máy điện đồng bộ

a) Xây dựng đường cong dung lượng máy điện đồng bộ; b) Đường cong dung lượng của máy phát điện đồng bộ.

Hình 8.27b cho thấy đường cong dung lượng của máy phát đồng bộ. Bất kỳ điểm nào ở trong vùng này cũng là điểm làm việc của máy phát trừ điểm dừng phát nhiệt và ổn định. Giả sử điểm làm việc được chọn trên hình 8.27b là S thì tương ứng với nó là công suất tác dụng P, công suất phản kháng Q. Góc hệ số công suất φ trên có thể xác định từ đồ thị bằng cách vẽ từ điểm làm việc S tới điểm gốc. Đường thẳng nối từ điểm làm việc S tới điểm gốc của trục và I_1 tạo ra góc công suất hoặc góc mômen θ so với trục này.

8.18. MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ LÀM VIỆC SONG SONG

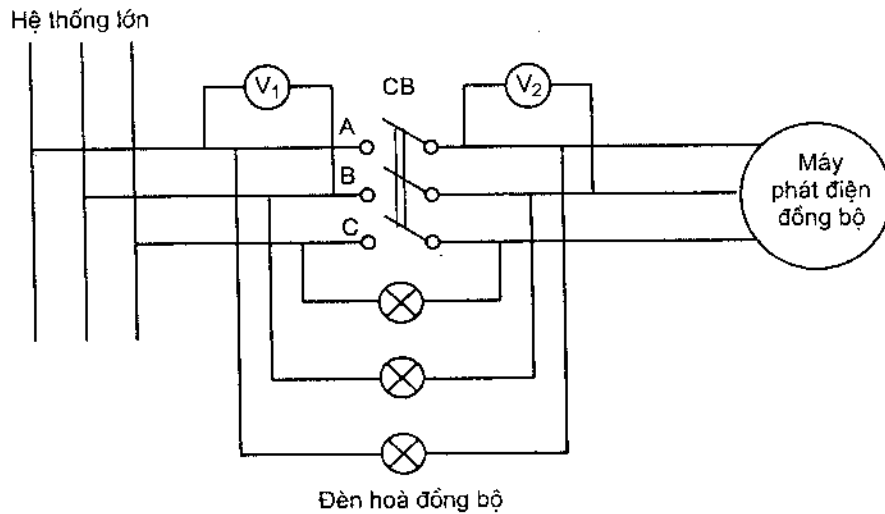
Quá trình nối máy phát đồng bộ vào lưới điện lớn gọi là làm việc song song với lưới điện lớn. Máy phát được ghép thêm vào hệ thống là máy được đặt vào lưới. Trong hình 8.28, khi nối máy phát vào hệ thống lớn, quá trình đóng máy phát vào lưới gọi là hoà đồng bộ. Phải đảm bảo đầy đủ các điều kiện hoà trước khi đóng cầu dao nối máy vào lưới nhằm ngăn chặn bất cứ sự cố nào xảy ra với máy phát. Theo đó, thứ tự các điều kiện cần phải tuân theo là:

- 1) Điện áp hiệu dụng của máy phát phải giống như điện áp hiệu dụng của lưới.
- 2) Thứ tự pha điện áp máy phát trùng với thứ tự pha của điện áp lưới.
- 3) Điện áp pha của máy phát trùng pha với điện áp của lưới.
- 4) Tần số của máy phát phải bằng tần số của lưới.

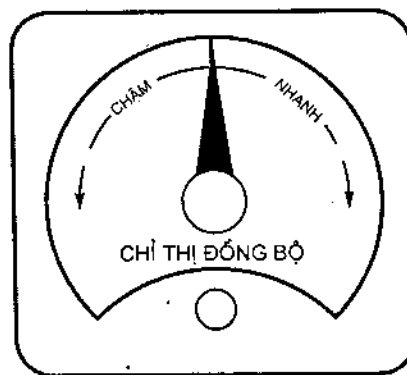
Dòng kích từ của máy phát cần hoà đồng bộ được tăng tới khi điện áp của máy phát bằng điện áp của lưới (dùng voltmeter để đo). Thứ tự các pha của máy phát cần phải được so sánh với thứ tự pha của lưới. Điều này có thể thực hiện được bằng nhiều cách khác nhau. Cách thứ nhất, nối ba bóng đèn như hình 8.28. Nếu thứ tự pha là đúng, cả ba bóng đèn sẽ sáng như nhau. Cách thứ hai là nối một động cơ không đồng bộ công suất nhỏ vào lưới, và sau đó nối vào máy phát. Nếu động cơ quay cùng chiều trong cả hai trường hợp, thứ tự pha là như nhau. Cách thứ ba là sử dụng thiết bị gọi là bộ chỉ thị thứ tự pha. Trong bất cứ trường hợp nào, nếu thứ tự pha là khác nhau, hai cực của máy phát cần phải đổi chỗ cho nhau. Điện áp của máy phát và lưới phải trùng pha và điện áp ba pha cần phải bằng điện áp của lưới. Tần số của máy phát cần phải lớn hơn một chút so với tần số của lưới. Lý do là khi được kết nối máy sẽ cung cấp công suất. Tần số (hoặc tốc độ) của máy phát cũng có thể so sánh với tần số của lưới bằng cách sử dụng dụng cụ có tên là máy hoà đồng bộ. Khi hai tần số này trùng nhau, kim của máy hiện đồng bộ ở vị trí thẳng đứng (xem hình 8.29). Ví dụ, nếu tần số góc của máy phát là 381 rad/s và của hệ thống là 377 rad/s thì kim sẽ xoay đi 4 rad/s theo chiều ghi là **nhANH**.

Nếu tần số góc của máy phát là 372 rad/s, kim sẽ xoay đi 5 rad/s theo chiều được ghi là **CHẬM**. Khi tất cả các điều kiện được đáp ứng, máy phát sẽ được nối lưới bằng cách đóng cầu dao. Khi cầu dao đóng, máy phát đã hoà vào lưới. Tại thời điểm này nó không nhận cũng như không truyền công suất. Có $E = U$, $I = 0$ và $\theta = 0$ trong từng pha, máy đơn giản ở trạng thái thả nổi (xem giải thích phần 8.11.1). Sau khi máy phát được nối, nhân viên điều lệnh sẽ xác định có bao nhiêu công suất cần phải phát ra. Công suất của động cơ sơ cấp sẽ tăng cho đến khi máy phát bắt đầu

tạo ra công suất theo yêu cầu. Với máy phát lớn, hoà đồng bộ máy phát được thực hiện tự động bằng máy tính.



Hình 8.28. Máy phát điện đồng bộ làm việc song song.



Hình 8.29. Mặt đồng hồ của máy điện đồng bộ.

8.19. MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ RÔTÔ CỰC LỖI

Hầu hết máy điện đồng bộ tốc độ thấp có số cực lớn hơn hoặc bằng bốn đều có dạng rô-tô cực lồi. Máy phát điện tốc độ thấp thông thường hoạt động bằng tuabin hơi nước và được dùng làm máy phát thuỷ điện.

Trong máy điện đồng bộ rô-tô cực ẩn không có phần lõi lôm, cho nên từ trở và điện kháng là không đổi do khe hở không khí đều; nhưng ở rô-tô cực lồi, khu vực giữa các cực từ (ngang trục hay trục q) có khe hở không khí lớn hơn so với khu vực ở trục cực từ (dọc trục hay trục d). Kết quả là sức từ động phần ứng cung cấp theo trục d lớn hơn so với theo trục q. Do có phần lõi lôm này, điện áp trên đầu cực máy điện rô-tô cực lồi sẽ là hàm số có biến là vị trí rô-tô. Điện kháng theo trục d được gọi là điện kháng đồng bộ dọc trục, X_d . Điện kháng theo hướng trục q được gọi là điện kháng đồng bộ ngang trục, X_q . Chúng có thể được xác định:

$$X_d = X_{\sigma u} + X_{ud} \quad (8.65)$$

$$X_q = X_{\sigma u} + X_{uq} \quad (8.66)$$

Trong đó: $X_{\sigma u}$ là điện kháng tự cảm của phần ứng và không phụ thuộc vào góc quay của rôto. Điện kháng từ hoá dọc trục X_{ud} và ngang trục X_{uq} đặc trưng cho hiệu ứng cảm ứng từ của phần ứng phần ứng dọc trục, ngang trục tạo ra bởi dòng điện dọc trục I_d và dòng điện ngang trục I_q . X_q nhỏ hơn X_d do có từ trở lớn hơn ở khe hở không khí ngang trục, X_q thường bằng $0,6 \div 0,7 X_d$. Cho nên phản ứng phần ứng của dòng điện I_a có thể gồm hai thành phần dọc theo trục d và trục q gọi là I_d , I_q . Vậy trên hình 8.30a, điện áp tổng trên stato được xác định:

$$U_f = E + E_d + E_q - R_u I \quad (8.67)$$

Trong đó: E_d là sức điện động phản ứng phần ứng của trục d;

E_q là sức điện động phản ứng phần ứng của trục q.

$$\text{Khi đó: } E_d = -jX_d I_d \quad (8.68)$$

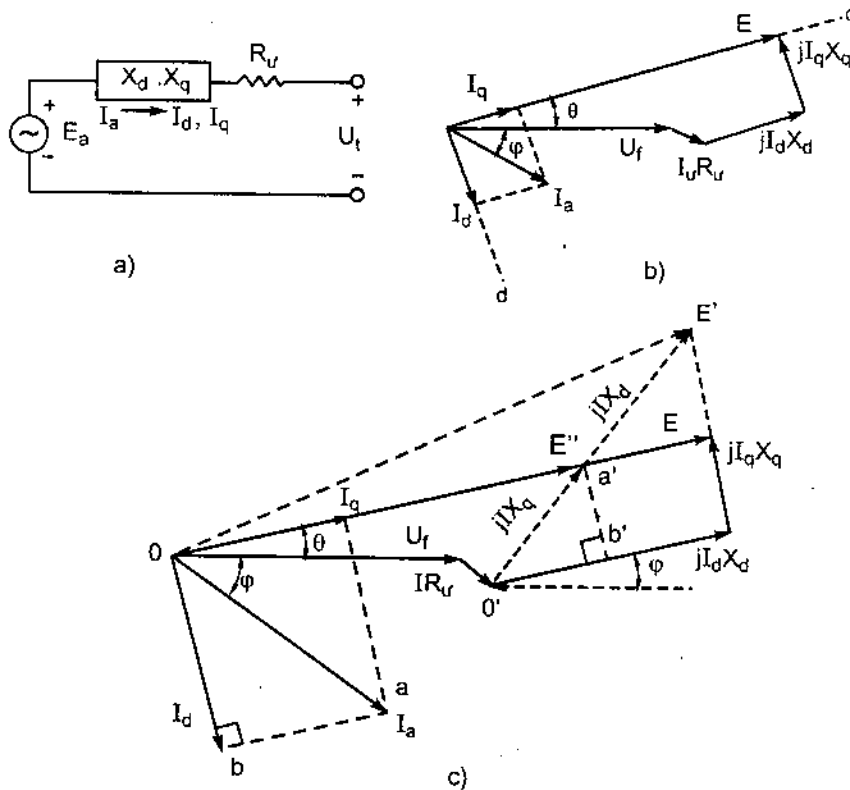
$$E_q = -jX_q I_q \quad (8.69)$$

$$\text{Cho nên: } U_f = E - jX_d I_d - jX_q I_q - R_u I \quad (8.70)$$

Trong đó: $R_u I$ là điện áp rơi trên điện trở phần ứng.

Dòng điện phần ứng là:

$$I = I_d + I_q \quad (8.71)$$



Hình 8.30. Mạch điện thay thế và giản đồ vectơ của máy điện đồng bộ cực lỗi

a) Mạch điện thay thế; b) Giản đồ vectơ; c) Vẽ giản đồ vectơ khi không biết góc công suất φ .

Điện trở phản ứng nhỏ, nên nếu có thể bỏ qua thì:

$$U_r = E - jX_d I_d - jX_q I_q \quad (8.72)$$

hay: $E = U_r + jX_d I_d + jX_q I_q \quad (8.73)$

Mạch điện thay thế của máy phát đồng bộ cực lỗi được vẽ trên hình 8.30a. Đồ thị vectơ biểu diễn trên hình 8.30b. Đồ thị vectơ này dựa trên giả thiết là góc giữa E , I (góc $\varphi + \theta$) đã biết từ trước. Tuy nhiên, thông thường góc hệ số công suất $\varphi + \theta$ không được biết trước, chỉ biết góc hệ số công suất φ . Hình 8.30c miêu tả cách vẽ đồ thị vectơ khi góc công suất φ không được cho trước. Quan sát thấy vectơ E'' là:

$$E'' = U_r + R_v I + jX_q I \quad (8.74)$$

Vectơ E'' và góc φ có thể xác định bằng cách vẽ vectơ $R_v I$ song song với dòng điện I và từ đầu vectơ đó kẻ $X_q I$ vuông góc với vectơ I . Cuối cùng nối đường thẳng từ điểm gốc tới đầu vectơ $X_q I$. Khi đã biết góc θ sẽ tìm được sức điện động.

Nếu bỏ qua điện trở phản ứng, góc θ có thể tính từ công thức:

$$\tan \theta = \frac{X_q I \cos \varphi}{U_r + X_q I \sin \varphi} \quad (8.75)$$

Tuy nhiên, nếu không bỏ qua điện trở phản ứng thì góc θ được xác định như sau:

$$\tan \theta = \frac{X_q I \cos \varphi - R_v I \sin \varphi}{U_r + X_q I \sin \varphi + R_v I \cos \varphi} \quad (8.76)$$

Công suất ra của máy phát đồng bộ ba pha là:

$$P = 3U_r I \cos \varphi \quad (8.77a)$$

$$= 3U_r I_d \cos(90^\circ - \theta) + 3U_r I_q \cos \theta \quad (8.77b)$$

$$= 3U_r I_d \sin \theta + 3U_r I_q \cos \theta \quad (8.77c)$$

Do: $U_r \sin \theta = I_q X_q$

nên: $I_q = \frac{U_r \sin \theta}{X_q} \quad (8.78)$

và $U_r \cos \theta = E - X_d I_d$

hay $I_d = \frac{E - U_r \cos \theta}{X_d} \quad (8.79)$

Thay I_d và I_q vào biểu thức 8.77c:

$$P = 3U_r \frac{E - U_r \cos \theta}{X_d} \sin \theta + 3U_r \frac{U_r \sin \theta}{X_q} \cos \theta \quad (8.80)$$

hay $P = \frac{3U_r E}{X_d} \sin \theta + 3U_r^2 \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin \theta \cos \theta \quad (8.81)$

Do: $\sin \theta \cos \theta = \frac{1}{2} \sin 2\theta$

nên:
$$P = \frac{3U_f E}{X_d} \sin\theta + \frac{3U_f^2}{2} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\theta \quad (8.82)$$

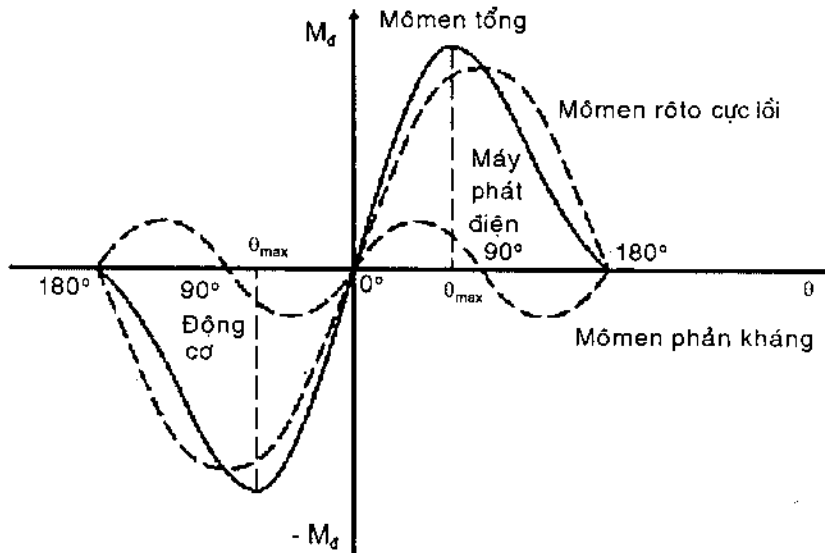
Số hạng đầu giống như công suất trong máy điện đồng bộ rôto cực ẩn và số hạng sau là công suất thêm vào do mômen từ trở trong máy điện. Phần công suất thứ hai phụ thuộc vào phần nhô ra của rôto cực lồi. Do đó:

$$\text{Độ nhô ra} = \frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \quad (8.83)$$

Độ nhô ra này không có nếu $X_d = X_q$ (trường hợp rôto cực ẩn). Mômen của máy điện đồng bộ xác định như sau:

$$M_d = \frac{3U_f E}{\omega_{\text{đb}} X_d} \sin\theta + \frac{3U_f^2}{2\omega_{\text{đb}}} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\theta \quad (8.84)$$

Mômen của máy phát cực lồi là hàm số của góc mômen θ được vẽ trong hình 8.31. Mômen từ trở cực đại khi $\theta = 45^\circ$ và chiếm khoảng 20% mômen cực đại. Kiểu máy điện rôto cực lồi “cứng” hơn máy điện rôto cực ẩn vì mômen của nó tăng nhanh hơn khi giá trị θ nhỏ. Công suất cực đại có được khi $\theta < 90^\circ$.



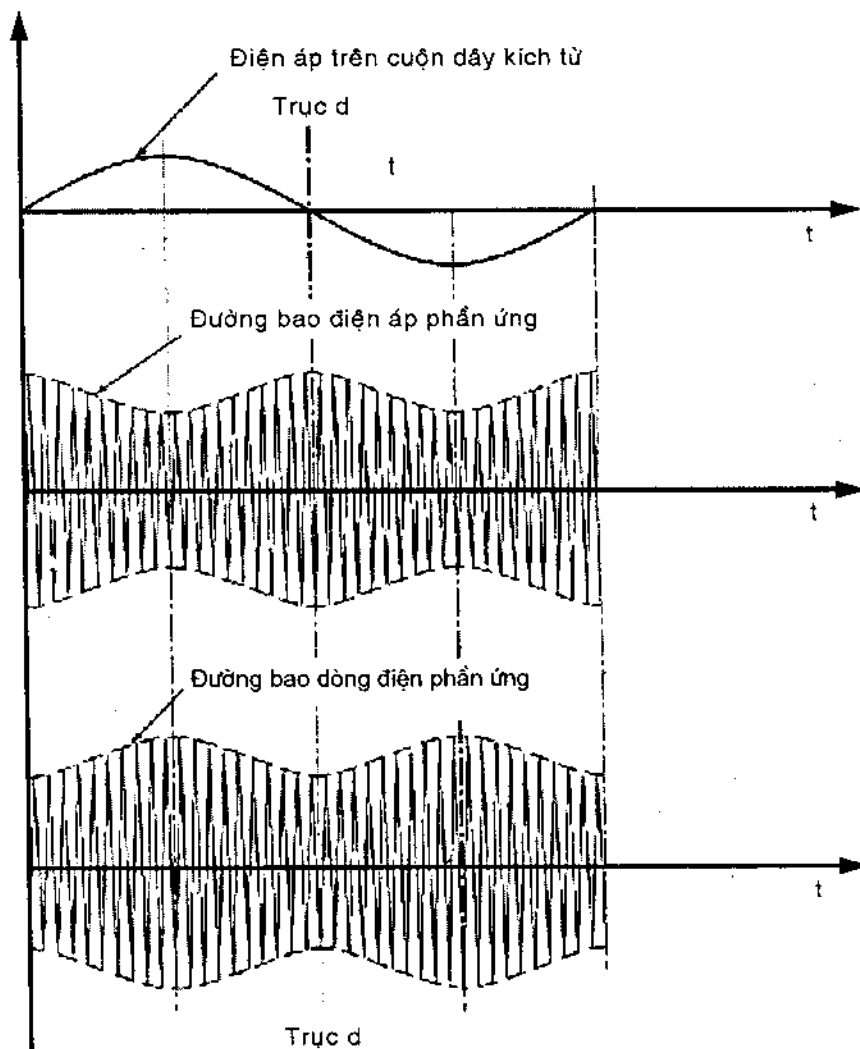
Hình 8.31. Mômen của máy phát điện đồng bộ rôto cực lồi theo góc mômen.

Với máy điện cực lồi, cần phải biết được giá trị của cả X_d và X_q . Các điện kháng được xác định bằng các thí nghiệm. Các thí nghiệm này dùng cách giảm điện áp ba pha đặt vào stato trong khi rôto quay nhanh hoặc chậm hơn tốc độ đồng bộ với cuộn dây kích từ hở mạch (không kích từ). Máy đo sóng sẽ hiển thị điện áp trên đầu cực phản ứng, dòng điện phản ứng và sức điện động cảm ứng trong cuộn dây kích từ hở mạch. Hình 8.32 cho thấy các dạng sóng này. Giá trị của X_d và X_q có thể tính được bằng chỉ số đồng hồ voltmeter và ammeter. Ví dụ, khi điện trở phản ứng được bỏ qua, X_d và X_q có thể xác định được từ:

$$X_d = \frac{U_{\max}}{I_{\min}} \quad (8.85)$$

và:
$$X_q = \frac{U_{\min}}{I_{\max}} \quad (8.86)$$

Tỷ số giữa dòng điện phản ứng cực đại và cực tiểu sẽ cho tỷ số X_d/X_q . Ví dụ: giả sử từ máy hiện sóng tìm được X_d/X_q là 1,7. Nếu X_d được biết từ thí nghiệm không tải và ngắn mạch đối với máy điện rôto cực ẩn thì có thể xác định được X_q .



Hình 8.32. Dạng sóng từ thí nghiệm xác định X_d , X_q

Ví dụ 8.9

Máy phát đồng bộ ba pha, nối sao, công suất 50MVA; điện áp 13,2kV; tần số 60Hz có thông số: $X_d = 1,52\Omega$ và $X_q = 0,91\Omega$. Điện trở của máy nhỏ có thể bỏ qua. Máy hoạt động với tải định mức và hệ số công suất chậm sau là 0,8. Tính các thông số sau:

- a) Điện áp pha và dòng điện pha khi tải định mức.
- b) Sức điện động E nếu rôto là cực ắn.
- c) Sức điện động E nếu rôto là cực lỗi.

Lời giải:

a) Điện áp pha là:

$$U_f = \frac{13200}{\sqrt{3}} = 7621 \text{ V hay } U_f = 7621 \angle 0^\circ \text{ V}$$

Dòng điện pha là:

$$I = \frac{50 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 13200} = 2186,9 \text{ A và góc } \varphi = \cos^{-1}(0,8) = 36,87^\circ$$

Vậy: $I = 2186,9 \angle -36,87^\circ \text{ A}$

b) Nếu máy điện có rôto cực ắn thì sức điện động là:

$$\begin{aligned} E &= U_f + jX_{d0}I = 7621 \angle 0^\circ + j1,52 \cdot (2186,9 \angle -36,87^\circ) \\ &= 7621 \angle 0^\circ + j1,52 \angle 90^\circ \cdot (2186,9 \angle -36,87^\circ) \\ &= 9976,41 \angle 15,46^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

c) Nếu máy điện có rôto cực lỗi thì sức điện động là :

$$\begin{aligned} E_L &= U_f + jX_q I = 7621 \angle 0^\circ + j0,91 \cdot (2186,9 \angle -36,87^\circ) \\ &= 8815,14 \angle 10,24^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

Phương chiều của E là $\theta = 10,24^\circ$. Do đó biên độ của dòng điện thành phần dọc trục d là:

$$I_d = I \sin(\varphi + \theta) = 2186,9 \cdot \sin(36,87^\circ + 10,24^\circ) = 1602,26 \text{ A}$$

và biên độ của dòng điện thành phần ngang trục q là:

$$I_q = I \cos(\varphi + \theta) = 2186,9 \cdot \cos(36,87^\circ + 10,24^\circ) = 1488,39 \text{ A}$$

Từ đó kết hợp biên độ và góc, ta được:

$$I_d = 1602,26 \angle -79,76^\circ \text{ A}$$

$$I_q = 1488,39 \angle 10,24^\circ \text{ A}$$

và

$$\begin{aligned} E &= U_f + jX_d I_d + jX_q I_q \\ &= 7621 \angle 0^\circ + j1,52 \cdot (1602,26 \angle -79,76^\circ) + j0,91 \cdot (1488,39 \angle 10,24^\circ) \\ &= 9935 \angle 10,24^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

Lưu ý rằng, góc θ của rôto cực lỗi là nhỏ hơn của rôto cực ắn. Do đó máy điện rôto cực lỗi được coi là có độ cứng hơn máy điện rôto cực ắn.

BÀI TẬP

8.1. Máy phát đồng bộ ba pha, hai cực có dây quấn stato là dây quấn hai lớp. Có 12 bố trí dây trên một pha, mỗi bố trí có 20 vòng. Các dây quấn lệch nhau góc 150° điện. Tốc độ trục quay là 3600 vòng/phút. Lượng từ thông trên một cực của máy phát xoay chiều là 0,0203Wb. Tính các thông số sau:

- a) Bước rãnh của phần ứng (đo bằng góc điện).
- b) Bước dây quấn (đo bằng số rãnh).
- c) Biên độ điện áp pha.
- d) Điện áp trên đầu cực của máy phát nếu dây quấn stato được nối Δ .

8.2. Máy phát đồng bộ được cho giống ví dụ 8.1 và giả sử máy phát làm việc với dòng điện định mức, điện áp định mức và hệ số công suất vượt trước là 0,8. Tính các thông số sau:

- a) Dòng điện định mức.
- b) Số khe hở không khí.
- c) Sức điện động.
- d) Góc công suất.
- e) Độ thay đổi điện áp.

8.3. Một máy phát đồng bộ ba pha rôto cực ẩn, nối Δ , điện áp 4,17kV, tần số 60Hz, có điện kháng tản của một pha là $2,2\Omega$, điện trở dây quấn của một pha là $0,15\Omega$. Máy phát được nối với tải có công suất là 950kVA và hệ số công suất chậm sau là 0,85. Tính điện áp khe hở không khí.

8.4. Một động cơ đồng bộ ba pha được cấp bởi nguồn 100A với hệ số công suất bằng 1. Tính các thông số sau:

- a) Dòng điện với hệ số công suất vượt trước là 0,85 nếu điện áp nguồn là không đổi.
- b) Dòng điện với hệ số công suất chậm sau là 0,85 nếu điện áp nguồn là không đổi.
- c) Điều gì xảy ra với điện áp nguồn khi hệ số công suất trở thành vượt trước.

8.5. Một máy phát điện ba pha nối Δ cung cấp một tải có hệ số công suất bằng 1 với điện áp là 4,16kV. Nếu điện áp rơi trên điện kháng đồng bộ là 262V ở một pha và độ sụt áp trên điện trở của một pha là 25V, thì độ thay đổi điện áp là bao nhiêu phần trăm?

8.6. Một động cơ đồng bộ 25hp có hiệu suất khi tải định mức là 92% và hoạt động với hệ số công suất vượt trước là 0,8. Tính các thông số sau:

- a) Công suất đặt vào động cơ.
- b) Công suất kVA đặt vào động cơ.

8.7. Một máy phát điện đồng bộ ba pha rôto cực ẩn, nối Δ , 4 cực, có thông số là 12kV, 60Hz, 40 MVA, có điện kháng đồng bộ tương đối là 0,3. Bỏ qua giá trị điện trở phần ứng và ảnh hưởng của sự bão hòa. Máy phát cấp điện cho tải định mức với hệ số công suất chậm sau là 0,85. Tính các thông số sau:

- a) Dòng điện định mức.
- b) Sức điện động cảm ứng.
- c) Góc mômen.
- d) Công suất đồng bộ với đơn vị watt/radian điện và watt/độ điện.

8.8. Động cơ đồng bộ ba pha rôto cực ẩn, nối Δ , bốn cực, công suất 100kVA, tần số 60Hz, điện áp 480V, có điện trở phần ứng và điện kháng đồng bộ của một pha tương ứng là $0,09\Omega$ và $1,5\Omega$. Tổn hao do ma sát và quạt gió là 2,6kW, tổn hao lõi sắt là 1,941kW. Bỏ qua tổn hao dòng kích từ một chiều. Nếu động cơ hoạt động tại hệ số công suất bằng 1, hãy tính các thông số sau:

- a) Sức điện động E.
- b) Góc mômen θ .
- c) Hiệu suất khi tải định mức.
- d) Mômen đầu ra khi tải định mức.

8.9. Giống thông số và yêu cầu của bài 8.8 nhưng máy hoạt động với hệ số công suất vượt trước là 0,85.

8.10. Giống thông số và yêu cầu của bài 8.8 nhưng máy hoạt động với hệ số công suất chậm sau là 0,85.

8.11. Máy phát đồng bộ ba pha rôto cực ẩn, nối tam giác, hai cực, có thông số 60Hz, điện áp 480V, điện kháng đồng bộ là $0,12\ \Omega$ và điện trở phần ứng là $0,01\ \Omega$. Đặc tính không tải của nó được cho ở hình 8.10, tổn hao ma sát và quạt gió là 30kW và tổn hao lõi sắt là 20kW. Bỏ qua tổn hao kích từ, hãy tính:

- a) Độ lớn dòng điện kích từ để có điện áp định mức là 480V khi không tải.
- b) Độ lớn dòng điện kích từ để có điện áp định mức là 480V khi dòng điện tải định mức là 1000 A với hệ số công suất chậm sau là 0,85.
- c) Hiệu suất của máy phát ở chế độ tải định mức.
- d) Điện áp đầu cực máy phát khi mất tải đột ngột.
- e) Độ lớn dòng điện kích từ để có điện áp đầu cực định mức là 480V khi dòng điện tải định mức là 1000A và hệ số công suất chậm sau là 0,85.

8.12. Máy phát đồng bộ ba pha rôto cực ẩn, nối tam giác, hai cực, có thông số 60Hz, điện áp 480V, điện kháng đồng bộ là $0,12\ \Omega$ và điện trở phần ứng là $0,015\ \Omega$. Đặc tính không tải của nó được cho ở hình 8.10, tổn hao ma sát và quạt gió là 35kW và tổn hao lõi sắt là 25kW. Bỏ qua tổn hao kích từ, hãy tính:

- a) Độ lớn dòng điện kích từ để có điện áp định mức là 480V khi không tải.
- b) Độ lớn dòng điện kích từ để có điện áp định mức là 480V khi dòng điện tải định mức là 1100 A với hệ số công suất chậm sau là 0,90.
- c) Hiệu suất của máy phát ở chế độ tải định mức.
- d) Điện áp đầu cực máy phát khi mất tải đột ngột.
- e) Độ lớn dòng điện kích từ để có điện áp đầu cực định mức là 480V khi dòng điện tải định mức là 1100A và hệ số công suất chậm sau là 0,90.

8.13. Máy phát có thông số và yêu cầu giống bài 8.12 nhưng nối Δ và dòng điện tải định mức là 500A.

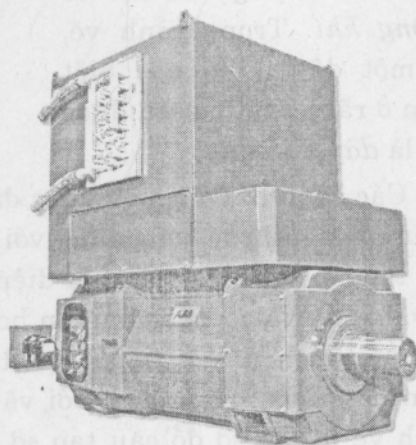
8.14. Máy phát đồng bộ ba pha rôto cực ẩn, nối Δ , có thông số 60Hz, điện áp 480V, điện kháng đồng bộ của một pha là $1,2\ \Omega$. Điện trở phần ứng đủ nhỏ để có thể bỏ qua. Dòng điện phần ứng khi tải định mức là 75A với hệ số công suất chậm sau là 0,85. Tổn hao ma sát và quạt gió là 1,8kW, tổn hao lõi sắt là 1,1kW. Bỏ qua tổn hao kích từ một chiều. Tính:

- a) Điện áp trên đầu cực máy khi máy được nối với tải có dòng định mức và hệ số công suất là: (1) chậm sau 0,85; (2) bằng 1; (3) vượt trước 0,85.
- b) Hiệu suất của máy phát với dòng điện tải định mức và hệ số công suất chậm sau là 0,85.
- c) Mômen vào và mômen cảm ứng ngược khi tải định mức.
- d) Độ thay đổi điện áp khi tải định mức với hệ số công suất là: (1) chậm sau 0,85; (2) bằng 1; (3) vượt trước 0,85.

9.1. GIỚI THIỆU CHUNG

Máy điện một chiều là loại máy đa năng, có thể được sử dụng làm máy phát điện, biến đổi cơ năng thành điện một chiều, hoặc có thể sử dụng như một động cơ, biến đổi điện một chiều thành cơ năng. Tuy nhiên, sử dụng máy điện một chiều làm máy phát điện để sản xuất điện năng công suất lớn đã gần như không còn do tính kinh tế trong việc phát điện, truyền tải, phân phối điện xoay chiều. Điện xoay chiều có hiệu suất cao và tương đối đơn giản khi dùng máy biến áp biến đổi từ điện áp này sang điện áp khác. Ngày nay, để có nguồn một chiều thường sử dụng bộ chỉnh lưu điều khiển bán dẫn. Tuy nhiên, động cơ một chiều được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng công nghiệp vì nó cung cấp công suất cơ không đổi hoặc mômen không đổi, tốc độ của động cơ được điều chỉnh trong phạm vi rộng, điều khiển tốc độ hoặc vị trí một cách chính xác, vận hành hiệu quả ở dải tốc độ rộng, tăng tốc và giảm tốc nhanh, và đáp ứng nhanh với các tín hiệu phản hồi. Những máy như vậy có kích thước rất đa dạng, từ những động cơ nam châm vĩnh cửu rất nhỏ tới những máy lớn vận hành liên tục ở vài nghìn kilôoát. Một số ví dụ về động cơ một chiều nhỏ: động cơ được sử dụng trong các thiết bị điều khiển, động cơ cần gạt nước, động cơ quạt, động cơ của bộ khởi động và một số động cơ chấp hành (servo) khác.

Một vài ví dụ ứng dụng của động cơ một chiều công suất lớn: động cơ truyền động công nghiệp trong các băng tải, máy bơm, cần trục, cần cầu, xe nâng, quạt, máy cán thép và nhôm, máy nghiền giấy, máy dệt, các loại máy cán khác, xe golf, ô tô điện, xe điện bánh hơi, tàu điện, thang máy và một số thiết bị nâng hạ công suất lớn. Rõ ràng các ứng dụng của máy điện một chiều có tầm quan trọng rất lớn, tuy nhiên các ưu điểm của máy điện một chiều cũng phải được cân nhắc vì mức đầu tư ban đầu lớn và vấn đề bảo dưỡng hệ thống phức tạp. Hình 9.1 miêu tả một máy điện một chiều sử dụng trong công nghiệp



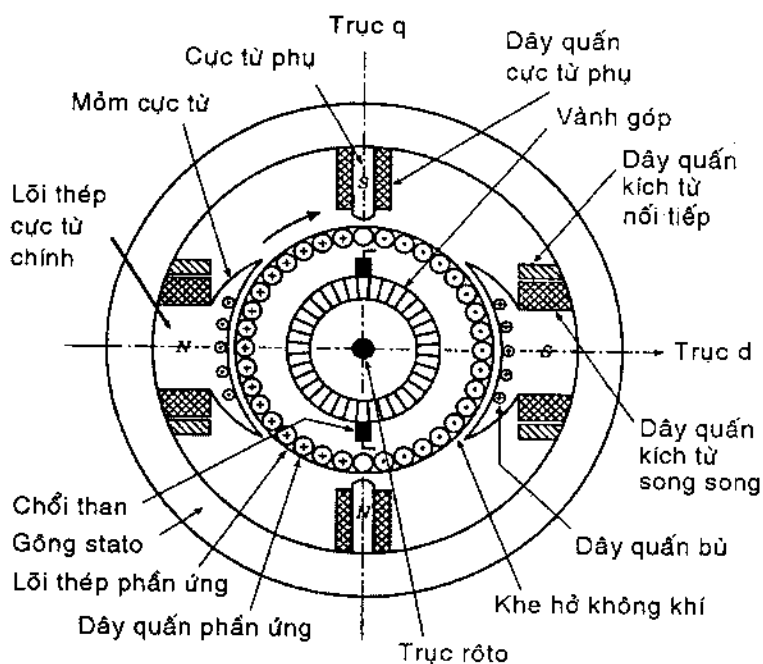
Hình 9.1. Máy điện một chiều.

9.2. ĐẶC ĐIỂM CẤU TẠO

Cấu tạo của một máy điện một chiều được biểu diễn trên hình 9.2. Cấu tạo bao gồm 2 phần cơ bản là stato (phần tĩnh) và rôto (phần động). Stato có cực lõi được

kích từ bởi một hay nhiều cuộn dây kích từ. Dây quấn phần ứng nằm trên rôto và dòng điện chạy qua nó bởi các chổi than tiếp xúc với các phiến góp bằng đồng. Cả cực từ chính và lõi thép phần ứng đều được làm từ những lá thép kỹ thuật điện để giảm bớt sự hao tổn phần lõi. Ngoài trừ một số máy có kích thước nhỏ, các máy điện một chiều còn có các *cực từ phụ* (có tên gọi khác: cực từ chuyển mạch, cực từ liên kết) ở giữa các cực từ chính của stato. Mỗi cực từ phụ có một dây quấn kích từ riêng được gọi là *dây quấn cực từ phụ* (có tên gọi khác: dây quấn chuyển mạch).

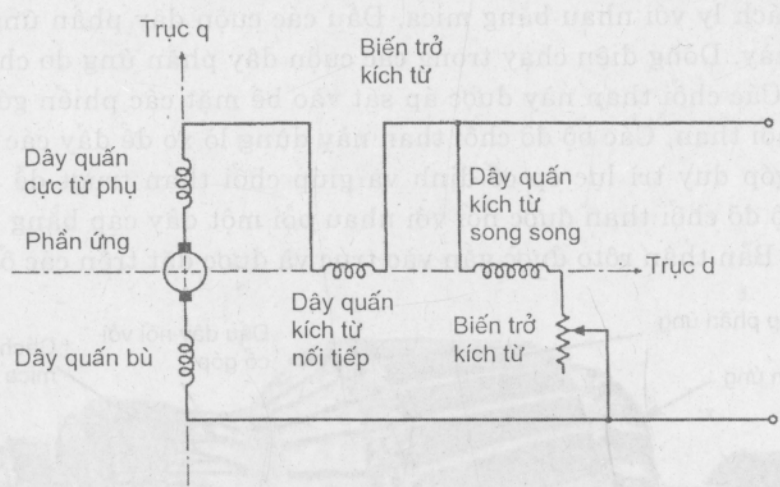
Các cực chính được đặt trên stato và được gắn với gông stato. Gông stato tạo đường dẫn cho dòng từ thông của cực từ được khép mạch. Vì vậy, gông stato được tạo nên bởi các lớp lá thép kỹ thuật mỏng để giảm tổn hao lõi sắt từ trong động cơ được truyền động bằng nguồn chỉnh lưu bán dẫn. Phần đầu các cực được gọi là *mỏm cực*. Bề mặt của mỏm cực đối diện với rôto gọi là mặt cực từ. Khoảng cách giữa mặt cực với bề mặt rôto được gọi là *khe hở không khí*. Trong hình vẽ, có một dây quấn đặc biệt nằm ở rãnh mặt cực từ được gọi là *dây quấn bù*.



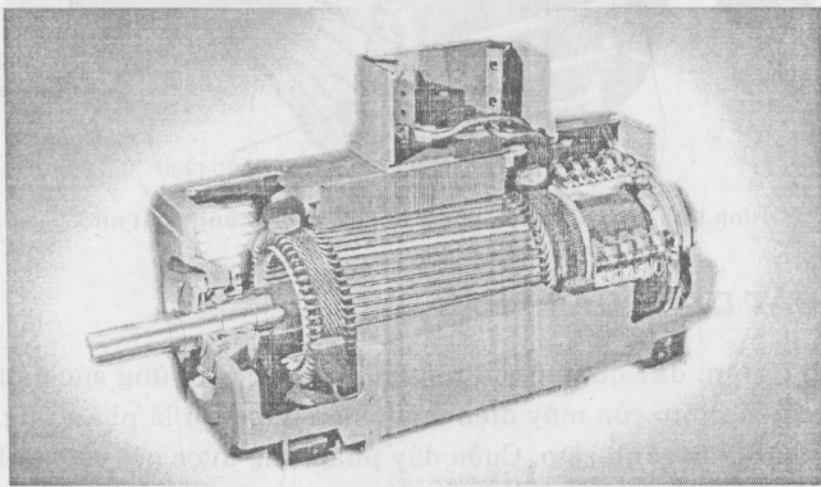
Hình 9.2. Cấu tạo máy điện một chiều.

Các cuộn dây kích từ được đặt xung quanh lõi cực từ và được nối với nhau theo kiểu nối tiếp hoặc song song với mạch phần ứng. Cuộn dây kích từ song song được cấu tạo bởi các vòng dây tiết diện nhỏ. Trong khi đó cuộn dây kích từ nối tiếp lại chỉ có vài vòng và có tiết diện lớn hơn. Qua hình vẽ ta thấy nếu cực từ có hai cuộn dây thì cuộn kích từ nối tiếp được đặt bên ngoài của cuộn dây kích từ song song. Hai cuộn dây được ngăn cách bởi vật liệu cách điện, thường làm bằng giấy cách điện. Hình vẽ 9.3 là sơ đồ cấu tạo sơ lược về sự kết nối giữa dây quấn cực từ phụ, dây quấn bù với cuộn dây kích từ nối tiếp và cuộn dây kích từ song song. Cuộn dây kích từ nối tiếp và cuộn dây kích từ song song nằm trên trục d. Trục này được gọi là trục cực từ, hoặc trục dọc, bởi vì từ thông ở khe hở không khí do các cuộn kích từ sinh ra được phân bố đối xứng qua đường tâm của các cực từ. Cả cuộn bù, cuộn cực từ phụ và chổi than đều nằm trên trục q. Trục này được gọi là trục ngang vì nó nghiêng 90° điện so với trục d và là khu vực trung tính. Hình vẽ 9.4 thể hiện mặt cắt của hai

chiếc máy điện một chiều khác nhau. Hình 9.5 thể hiện nhãn của một động cơ một chiều. Hình 9.6 miêu tả stato với cực từ và dây quấn của một máy điện một chiều.



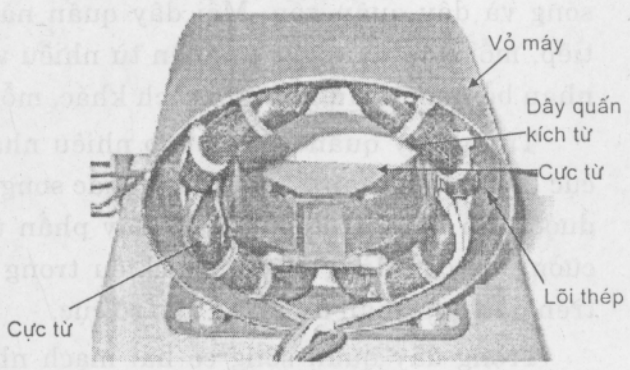
Hình 9.3. Sơ đồ nối dây máy điện một chiều kích từ hỗn hợp có dây quấn cực từ phụ, dây quấn bù, dây quấn kích từ nối tiếp, dây quấn kích từ song song.



Hình 9.4. Mặt cắt của một động cơ một chiều.

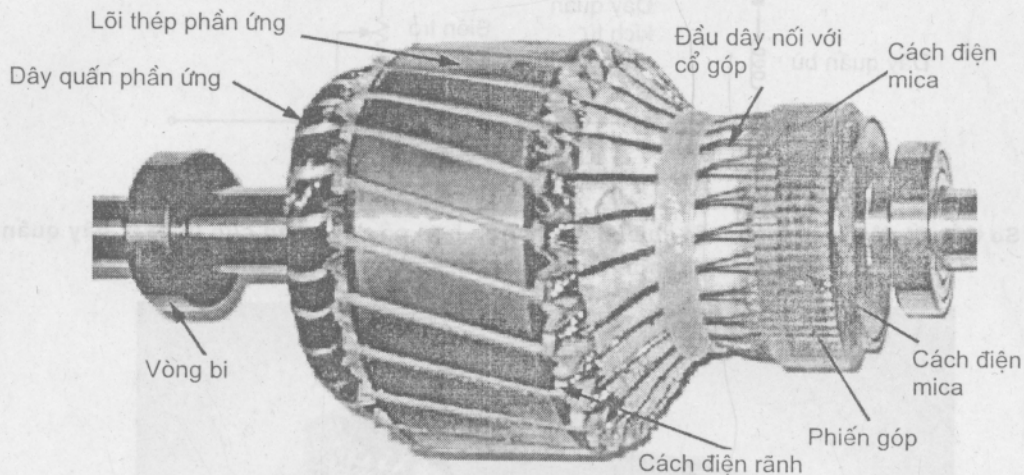
SIEMENS					
NP	10	PPM	1180	VOLTS	500
ARM AMPS	17,0	VOUND	SHUNT		
FLD AMPS	1,1/2,8	FLD OHMS	2SC	156	
INSUL CLASS	F	DUTY	CONT	MAX	AMBERT 40° C
	C		FLD VOLTS	300/150	
TYPE	E	ENCL	DP	NSTR	
MDD		SER			
DIRECT CURRENT MOTOR MADE IN USA					

Hình 9.5. Nhãn máy điện một chiều của hãng Siemens.



Hình 9.6. Stato với cực từ và dây quấn của một máy điện một chiều công suất nhỏ.

Vành góp nằm trên phần ứng và bao gồm một số phiến góp hình cung tròn được lắp ráp vào một đầu hình trụ gắn và cách điện với trục (xem hình vẽ 9.7). Các phiến góp này được cách ly với nhau bằng mica. Đầu các cuộn dây phần ứng được nối với các phiến góp này. Dòng điện chạy trong các cuộn dây phần ứng do chổi than tỳ lên các phiến góp. Các chổi than này được áp sát vào bề mặt các phiến góp và được giữ bởi các bộ đỡ chổi than. Các bộ đỡ chổi than này dùng lò xo để đẩy các chổi than vào bề mặt phiến góp duy trì lực ép cố định và giúp chổi than trượt dễ dàng trên đó. Chổi than và bộ đỡ chổi than được nối với nhau bởi một dây cáp bằng đồng mềm, có tên là đuôi lợn. Bản thân rôto được gắn vào trục và được đặt trên các ổ bi.



Hình 9.7. Phần ứng của động cơ một chiều công suất nhỏ.

9.3. KHÁI QUÁT DÂY QUẤN PHẦN ỨNG

Như đã nói ở trên, dây quấn phần ứng là nơi được cảm ứng sức điện động trong máy điện một chiều. Rôto của máy điện một chiều được gọi là phần ứng do cuộn dây phần ứng được đặt trên rãnh rôto. Cuộn dây phần ứng được nối với vành góp nên nó cũng được gọi là cuộn dây vành góp. Cuộn dây này thường được quấn bước đủ.

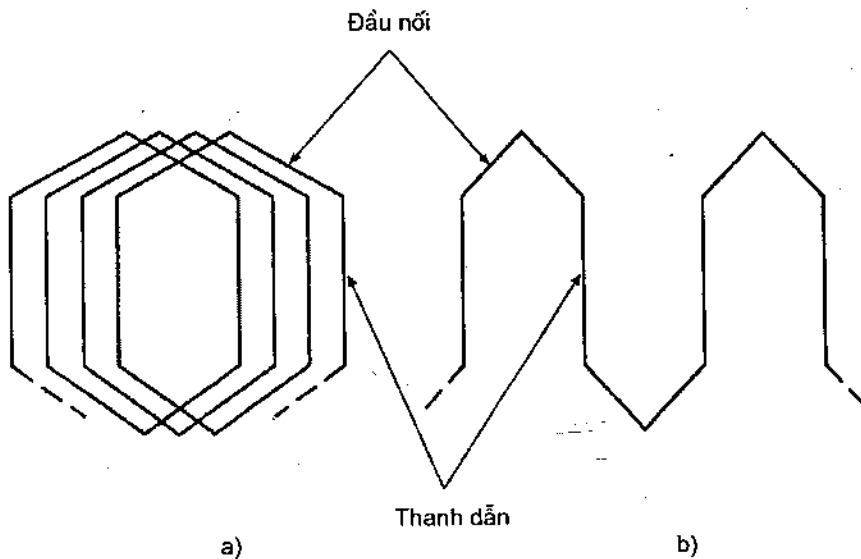
Trong hình vẽ 9.8, dây quấn phần ứng được quấn hai lớp, bao gồm dây quấn sóng và dây quấn xếp. Mỗi dây quấn này được tạo thành từ nhiều cuộn mắc nối tiếp, mỗi cuộn lại được tạo nên từ nhiều vòng. Mỗi vòng gồm hai thanh dẫn nối với nhau bởi phần đầu nối. Nói cách khác, mỗi cạnh của một vòng dây gọi là thanh dẫn.

Trong dây quấn xếp có bao nhiêu nhánh mắc song song thì luôn có bấy nhiêu cực (hoặc chổi than). Mỗi nhánh mắc song song gồm nhiều cuộn dây mắc nối tiếp và được tính bằng số lượng cuộn dây phần ứng chia cho số cực. Trong dây quấn xếp cường độ của dòng điện một chiều trong mỗi cuộn dây phần ứng bằng dòng điện trên đầu cực phần ứng chia cho số cực.

Trong dây quấn sóng có hai mạch nhánh song song nối từ đầu này sang đầu khác. Vào bất kỳ thời điểm nào, mỗi mạch nhánh gồm nhiều cuộn dây mắc nối tiếp,

và bằng một nửa tổng số cuộn dây phân ứng giữa các đầu cực. Cường độ dòng một chiều trong mỗi cuộn dây phân ứng bằng một nửa của dòng điện đầu cực phân ứng.

Sức điện động sinh ra trong các nhánh song song của dây quấn xếp sẽ bằng nhau nếu máy đối xứng về hình học và từ tính. Nếu không có sự đối xứng thì sức điện động sinh ra trong các nhánh song song sẽ không bằng nhau. Khi đó, sẽ có một dòng điện quán chạy vòng xung quanh giữa các bộ chổi than có cùng cực tính. Để hạn chế điều này cần phải sử dụng dây nối cân bằng là những thanh dẫn nằm trên rôto của máy điện một chiều dây quấn xếp và nối các điểm trên dây quấn có cùng điện áp tại các mạch nhánh song song khác nhau. Dây nối cân bằng được gắn vào một vành đai nhỏ nằm phía trước phiến góp.

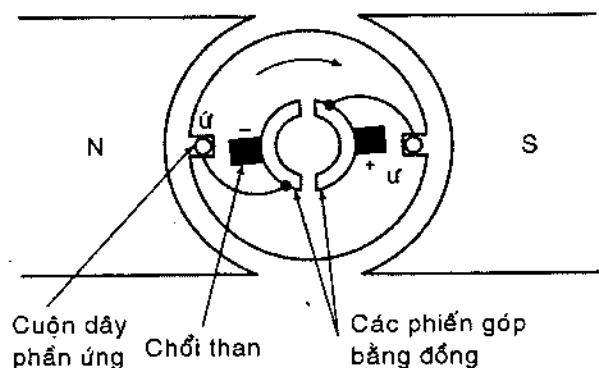


Hình 9.8. Kiểu dây quấn phân ứng.

a) Dây quấn xếp; b) Dây quấn sóng.

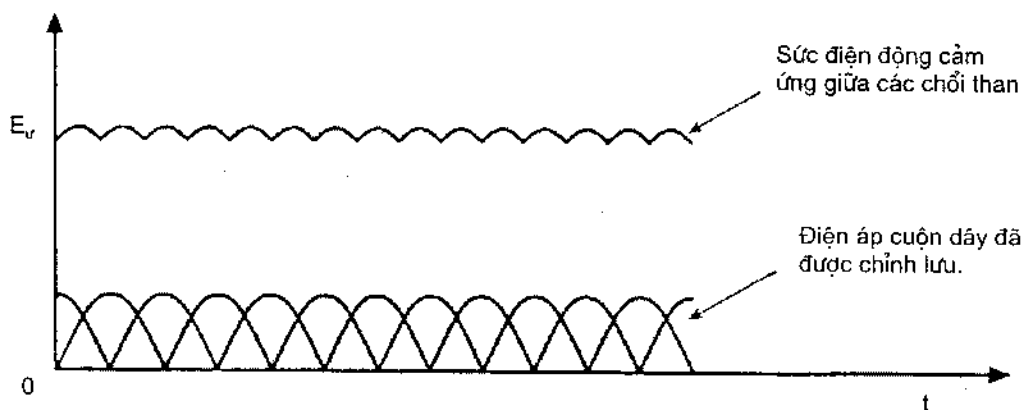
9.4. MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU CƠ BẢN

Hình vẽ 9.9 miêu tả một máy phát điện một chiều hai cực cơ bản. Cuộn dây phân ứng chỉ là một cuộn dây có N vòng. Điện áp cảm ứng trong phần ứng quay là điện áp xoay chiều. Tuy nhiên, bằng việc sử dụng vành góp, điện áp này được chỉnh lưu cơ học thành điện áp một chiều cấp cho mạch ngoài. Ở đây, vành góp có hai nửa vòng đai làm từ hai phiến góp bằng đồng cách điện với nhau và cách điện với trục.



Hình 9.9. Hình biểu diễn đơn giản máy điện một chiều.

Mỗi đầu cuộn dây phản ứng được nối vào một phiên góp. Chổi than đứng yên tỳ lên bề mặt phiên góp để nối cuộn dây với đầu ra của phần ứng. Vì các chổi than nằm yên tại chỗ khi cuộn dây quay, mỗi đầu cực cố định luôn được nối với một cạnh tác dụng của cuộn dây khi có sự chuyển động tương đối giữa cuộn dây và cực từ. Nói cách khác, hoạt động của vành góp là để đảo cách nối giữa cuộn dây phản ứng với mạch ngoài khi dòng điện đảo chiều trong cuộn dây phản ứng. Vì vậy, vành góp lúc nào cũng kết nối với cạnh cuộn dây phía dưới cực Nam với chổi than cực tính dương và cạnh cuộn dây phía dưới cực Bắc với chổi than cực tính cực âm. Do đó, cực tính của hiệu điện thế giữa hai chổi cố định luôn luôn giống nhau và điện áp là một chiều. Tuy nhiên, dòng điện xung một chiều, được tạo ra từ loại máy phát điện chỉ có một cuộn dây không thích hợp cho việc sử dụng mang mục đích thương mại. Trong hình vẽ 9.10, tổng lượng sức điện động tạo ra giữa các chổi than (đơn giản gọi là điện áp chổi than) có thể giữ nguyên không đổi bằng cách sử dụng nhiều cuộn dây và nhiều phiên góp với các cuộn dây được phân bố đều trên bề mặt phần ứng.



Hình 9.10. Sức điện động cảm ứng giữa các chổi than trong máy điện một chiều.

9.5. ĐIỆN ÁP PHẦN ỨNG

Trong máy điện một chiều, điện áp phần ứng (còn có tên là điện áp tốc độ) là sức điện động phần ứng. Trong chế độ máy phát, nó là điện áp nguồn nội tại, trong chế độ động cơ, nó là sức phản điện động. Áp dụng định luật cảm ứng điện từ của Faraday, điện áp phần ứng có thể được tính theo công thức sau:

$$E_v = \left(\frac{Np}{2\pi a} \right) \Phi_d \omega_m \quad (9.1)$$

Trong đó:

N – Tổng số lượng thanh dẫn trong dây quấn phần ứng.

p – Số cực.

a – Số mạch nhánh song song trong dây quấn phần ứng.

Φ_d – Từ thông khe hở không khí dọc trục của một cực (Wb).

ω_m – Vận tốc góc của phần ứng (radian cơ/giây).

Điện áp phản ứng cũng có thể được tính theo công thức:

$$E_u = K_u \Phi_d \omega_m \quad (9.2)$$

Trong đó $K_u = \frac{Np}{2\pi a}$ (9.3)

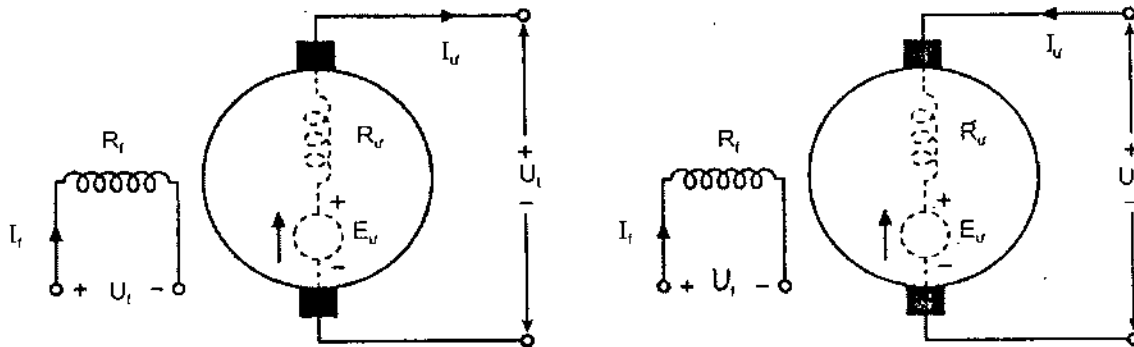
và được gọi là hằng số phản ứng. Tốc độ của máy thường dùng là vòng/phút hơn là radian/giây. Vì: $\omega_m = (\frac{2\pi}{60})n_m$ (9.4)

nên điện áp phản ứng được tính theo công thức:

$$E_u = K_{u1} \Phi_d n_m \quad (9.5)$$

trong đó: $K_{u1} = \frac{pN}{60a}$ (9.6)

Vì vậy, điện áp phản ứng là hàm của từ thông trong máy, tốc độ của rôto, và là hằng số phụ thuộc vào cấu tạo máy.



Hình 9.11. Hình biểu diễn đơn giản máy điện một chiều

a) Máy phát điện; b) Động cơ điện.

Điện áp phản ứng, hay chính xác hơn là sức điện động, không phải là một điện áp trên đầu cực. Ta hãy xem xét mạch biểu diễn của một máy phát điện và động cơ điện một chiều kích từ độc lập tương ứng trên hình 9.11a và 9.11b. Sức điện động phản ứng E_u được tính theo công thức:

$$E_u = U \pm R_u I_u \quad (9.7)$$

Trong đó dấu cộng (+) tương ứng với máy phát điện và dấu trừ (-) tương ứng với động cơ điện. U là điện áp đầu cực và R_u là điện trở phản ứng. Do vậy, trong trường hợp máy phát điện, sức điện động phản ứng luôn lớn hơn điện áp đầu cực. Trong trường hợp động cơ, sức điện động phản ứng luôn nhỏ hơn điện áp đầu cực. Bất kể chiếc máy đó được sử dụng như một máy phát hay một động cơ, luôn có điện áp rơi trên tiếp điểm chổi than, thường được giả thiết là 2V, tồn tại vì có điện áp rơi trên điện trở giữa các chổi than và vành góp. Thêm vào đó, khái niệm điện trở cuộn dây phản ứng có thể bao gồm không chỉ điện trở của cuộn dây phản ứng R_u mà cả điện trở của cuộn dây kích từ nối tiếp R_{t-nl} , cuộn dây cực từ phụ R_p , cuộn bù R_b , cùng với

diện trở của bất kỳ dây dẫn bên ngoài nào khác (được sử dụng trong các phòng thí nghiệm để tạo ra các đầu nối cần thiết) R_{u-n} . Vì vậy, công thức tổng quát để xác định điện áp phản ứng trở thành:

$$E_u = U \pm \Sigma R_u \cdot I_u \pm 2,0 \quad (9.8)$$

Trong đó:

$$\Sigma R_u = R_u + R_{t-n} + R_p + R_b + R_{u-n} \quad (9.9)$$

đặc trưng cho tổng trở mạch dây quấn phần ứng. Trong phương trình (9.8) dấu cộng (+) được sử dụng cho máy phát điện và dấu trừ (−) được sử dụng cho động cơ. Chú ý rằng cực tính điện áp trên chổi than là một hàm của chiều quay và cực tính cực từ stato.

Ví dụ 9.1

Một máy điện một chiều sáu cực, có phần ứng với bán kính 15cm, chiều dài hiệu dụng là 30cm, và các cực từ chiếm 70% chu vi phần ứng. Dây quấn phần ứng là dây quấn sóng với số mạch nhánh song song $a = 2$ có 50 cuộn dây, mỗi cuộn có 5 vòng. Mật độ từ trung bình trong khe hở không khí dưới các mặt cực từ là 0,7T. Hãy xác định:

- Tổng số thanh dẫn trong cuộn dây phần ứng N .
- Từ thông dưới mỗi cực từ Φ_d .
- Hằng số phần ứng K_u .
- Sức điện động phần ứng E_u nếu tốc độ quay của phần ứng là 900 vòng/phút.
- Dòng điện trong mỗi cuộn dây I_{cd} nếu dòng điện của phần ứng là 200A.

Lời giải:

- Tổng số thanh dẫn trong dây quấn phần ứng là:

$$N = (2 \text{ thanh dẫn/vòng}) (5 \text{ vòng/cuộn dây}) (50 \text{ cuộn dây}) = 500$$

- Diện tích của cực từ là:

$$S_t = \frac{2\pi \cdot 0,15 \cdot 0,30 \cdot 0,7}{6} = 0,033\text{m}^2$$

- Từ thông qua mỗi cực từ là:

$$\Phi_d = S_t B = 0,033 \cdot 0,7 = 0,0231\text{Wb}$$

- Hằng số phần ứng là:

$$K_u = \frac{Np}{2\pi a} = \frac{500 \cdot 6}{2\pi \cdot 2} = 238,73$$

- Tốc độ góc của phần ứng là

$$\omega_m = n_m \frac{2\pi}{60} = 900 \frac{2\pi}{60} = 94,25\text{rad/s}$$

Do đó, sức điện động phần ứng là:

$$E_u = K_u \Phi_d \omega_m = 238,73 \cdot 0,0231 \cdot 94,25 = 519,76\text{V}$$

e) Cường độ dòng điện trong mỗi cuộn dây là:

$$I_{cd} = \frac{I_u}{a} = \frac{200}{2} = 100A$$

Ví dụ 9.2

Một máy điện một chiều kích từ độc lập có điện áp định mức là 230V và dòng điện phản ứng là 100A. Điện trở của dây quấn phần ứng, dây quấn cực từ phụ và dây quấn bù lần lượt là 0,08; 0,01 và 0,008Ω. Điện trở của dây dẫn ngoài là 0,002Ω. Hãy xác định:

- Sức điện động phần ứng khi máy hoạt động ở chế độ máy phát với tải định mức.
- Sức điện động phần ứng khi máy hoạt động ở chế độ động cơ với tải định mức.

Lời giải:

- Tổng điện trở của mạch phần ứng là:

$$\Sigma R_u = R_u + R_{t-nt} + R_p + R_b + R_{u-n} = 0,08 + 0 + 0,01 + 0,008 + 0,002 = 0,1\Omega$$

Khi máy hoạt động ở chế độ máy phát điện, sức điện động phần ứng là:

$$E_u = U + I_u(\Sigma R_u) + 2,0 = 230 + 100 \cdot 0,1 + 2,0 = 242V$$

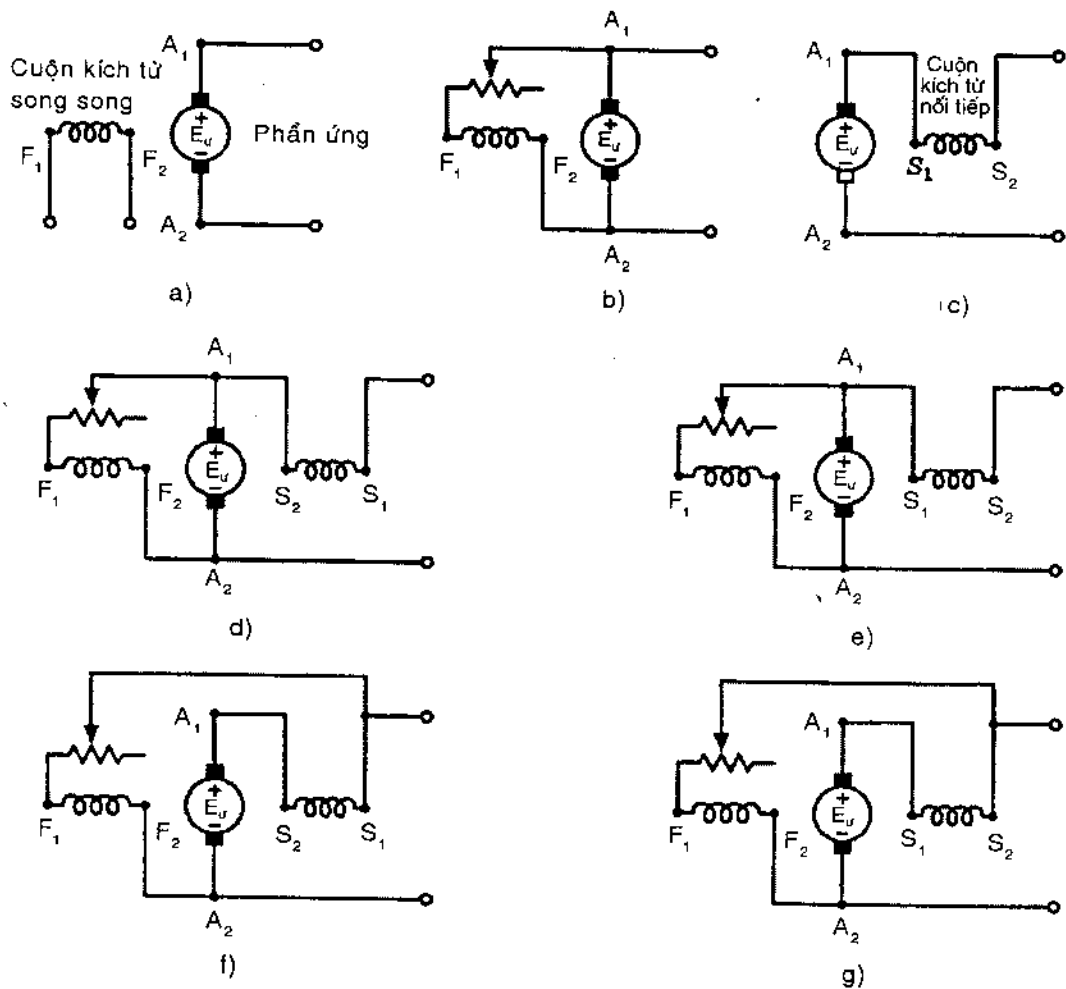
- Khi máy hoạt động ở chế độ động cơ, sức điện động phần ứng là:

$$E_u = U - I_u(\Sigma R_u) - 2,0 = 230 - 100 \cdot 0,1 - 2,0 = 218V$$

9.6. CÁC PHƯƠNG PHÁP KÍCH TỪ

Mạch phần cảm và mạch phần ứng của máy điện một chiều có thể nối với nhau bằng nhiều cách để tạo ra các đặc tính hoạt động khác nhau. Về cơ bản, có hai loại dây quấn kích từ là dây quấn kích từ song song và dây quấn kích từ nối tiếp. Dây quấn kích từ song song có nhiều vòng, tiết diện dây nhỏ. Do đó, dòng điện kích từ chỉ chiếm một phần rất nhỏ (ít hơn 5%) so với dòng điện phần ứng định mức. Còn dây quấn kích từ nối tiếp chỉ có vài vòng dây nhưng tiết diện dây lại to hơn. Dây quấn kích từ nối tiếp được mắc nối tiếp với phần ứng, do đó dòng điện kích từ chính là dòng điện phần ứng. Dây quấn kích từ song song có thể được kích từ độc lập từ một nguồn riêng biệt. Trong máy điện một chiều kích từ độc lập, dây quấn kích từ và dây quấn phần ứng không được nối với nhau (hình 9.12a). Nếu dây quấn kích từ được nối với dây quấn phần ứng, máy điện được gọi là tự kích. Máy điện tự kích có thể là kích từ song song, nối tiếp hoặc hỗn hợp (hình 9.12b, c, d, e, f, g). Ngoài dây quấn phần ứng, máy điện kích từ hỗn hợp có cả các dây quấn kích từ song song và dây quấn kích từ nối tiếp. Nếu cực tính của dây quấn kích từ song song và nối tiếp hỗ trợ nhau thì gọi là hỗn hợp nối thuận. Nếu ngược chiều nhau thì gọi là hỗn hợp nối ngược. Máy điện kích từ hỗn hợp có thể được nối song song ngắn với dây quấn kích từ song song nối song song với dây quấn phần ứng, hoặc được nối song song dài với dây quấn kích từ song song được mắc song song với cả dây quấn phần ứng lẫn

dây quấn kích từ nối tiếp. Các mạch điện trong hình 9.12 mô tả các phương pháp nối dây kích từ.



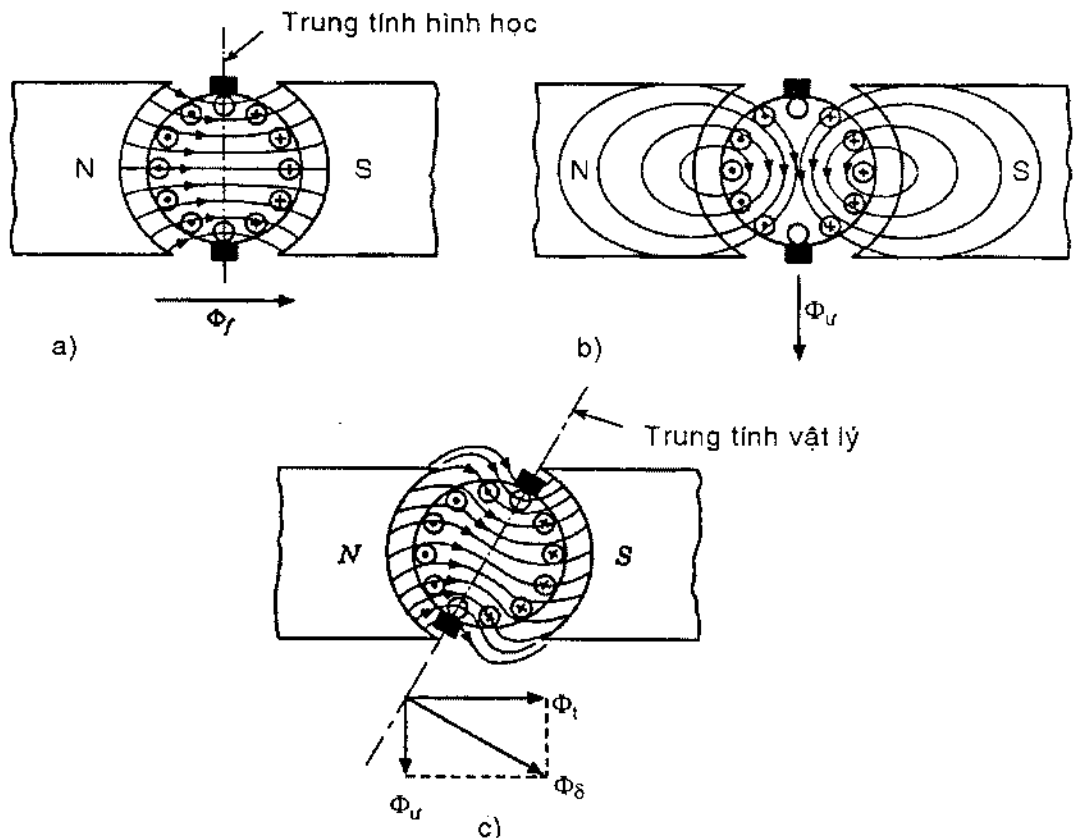
Hình 9.12. Các phương pháp kích từ điển hình của máy điện một chiều

a) Kích từ độc lập; b) Kích từ song song; c) Kích từ nối tiếp; d) Kích từ song song ngắn trong động cơ kích từ hỗn hợp nối thuận hoặc máy phát điện kích từ hỗn hợp nối ngược; e) Kích từ song song ngắn trong máy phát điện hỗn hợp nối thuận hay động cơ kích từ hỗn hợp nối ngược; f) Kích từ song song dài trong động cơ hỗn hợp nối thuận hay máy phát điện kích từ hỗn hợp nối ngược; g) Nối song song dài trong máy phát điện kích từ hỗn hợp nối thuận hay động cơ kích từ hỗn hợp nối ngược.

9.7. PHẢN ỨNG PHẢN ỨNG

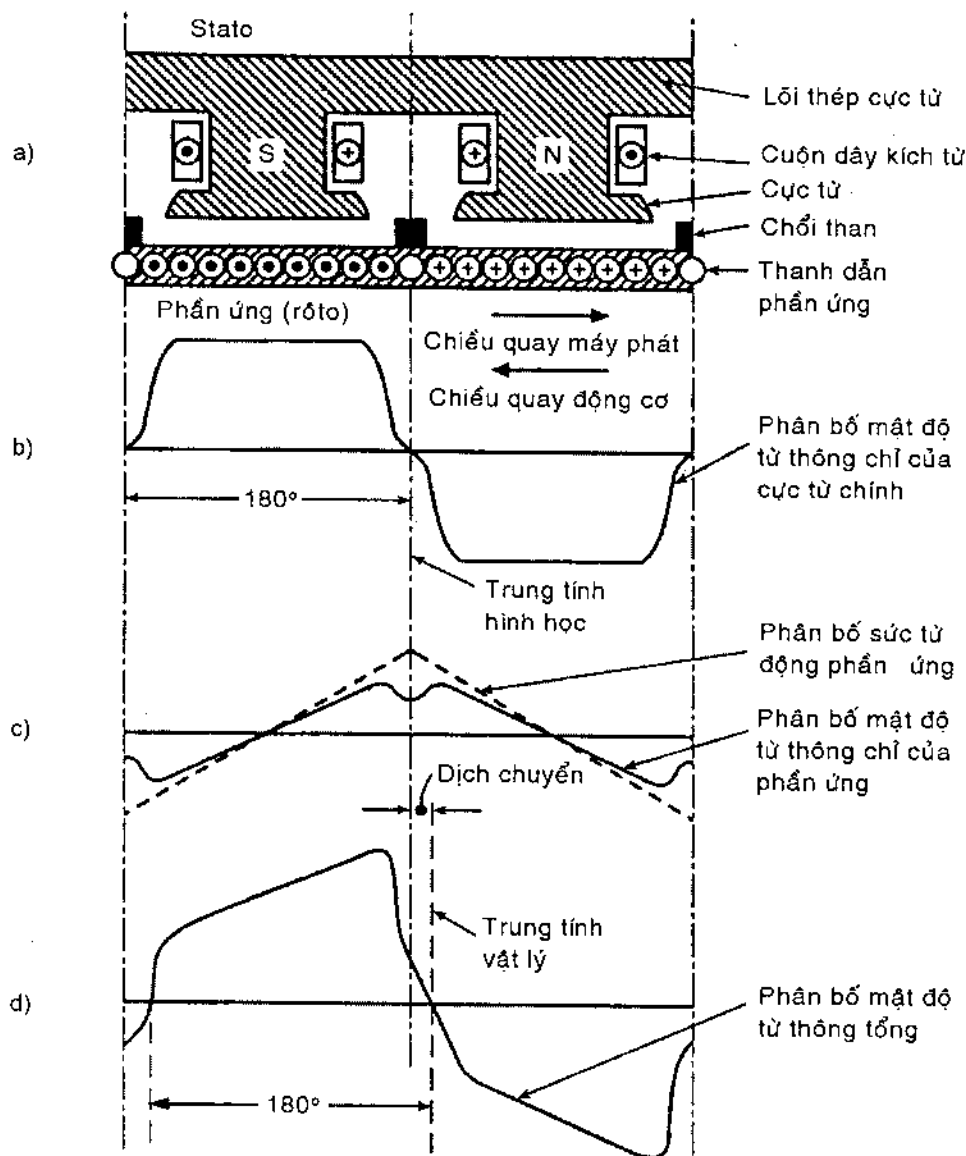
Phản ứng phản ứng được định nghĩa là tác động của sức từ động phản ứng đối với sự phân bố từ thông trong máy điện. Hình 9.13a cho thấy từ thông chính của cực từ Φ_i được tạo ra bởi dòng kích từ khi không có dòng điện chạy trong phản ứng. Hình 9.13b cho thấy từ thông được tạo ra do dòng điện phản ứng khi không có dòng điện chạy trong cuộn dây kích từ của máy điện.

Chổi than được đặt trên trung tính vật lý (trục trung tính của từ trường). Hình 9.13c cho thấy từ thông của cực từ chính và từ thông phản ứng cùng tồn tại. Rõ ràng là từ thông của phần ứng làm thay đổi phân bố từ thông cực từ chính. Theo hình vẽ, tổng hai véc tơ từ thông tạo thành từ thông tổng Φ_δ . Lưu ý là từ thông phản ứng ngược chiều với từ thông dưới nửa cực từ và cùng chiều với nửa còn lại. Do đó mật độ từ thông dưới một nửa cực từ tăng còn nửa cực từ còn lại thì giảm. Theo hình 9.14d, trung tính vật lý được dịch chuyển so với trung tính hình học. Sự dịch chuyển này cùng chiều với chiều quay của máy phát điện và ngược chiều với chiều quay của động cơ. Biên độ của sự dịch chuyển từ thông phụ thuộc vào sự bão hoà trên đỉnh các cực và dòng điện phần ứng (dòng điện tải). Nếu không có sự bão hoà này, sự gia tăng từ thông trên các đỉnh cực sẽ triệt tiêu do suy giảm tương ứng ở các đỉnh cực khác. Mặt khác, nếu xảy ra sự bão hoà thì sẽ có một sự suy giảm từ thông tổng, gây nên sự sụt giảm điện áp đầu ra của máy phát điện và tăng tốc độ của động cơ.



Hình 9.13. Ảnh hưởng của phản ứng phần ứng trong máy điện một chiều

- a) Ảnh hưởng của khe hở không khí lên sự phân bố từ thông cực từ;
- b) Từ thông của phần ứng;
- c) Sự méo của từ thông kích từ do từ thông phản ứng gây ra.



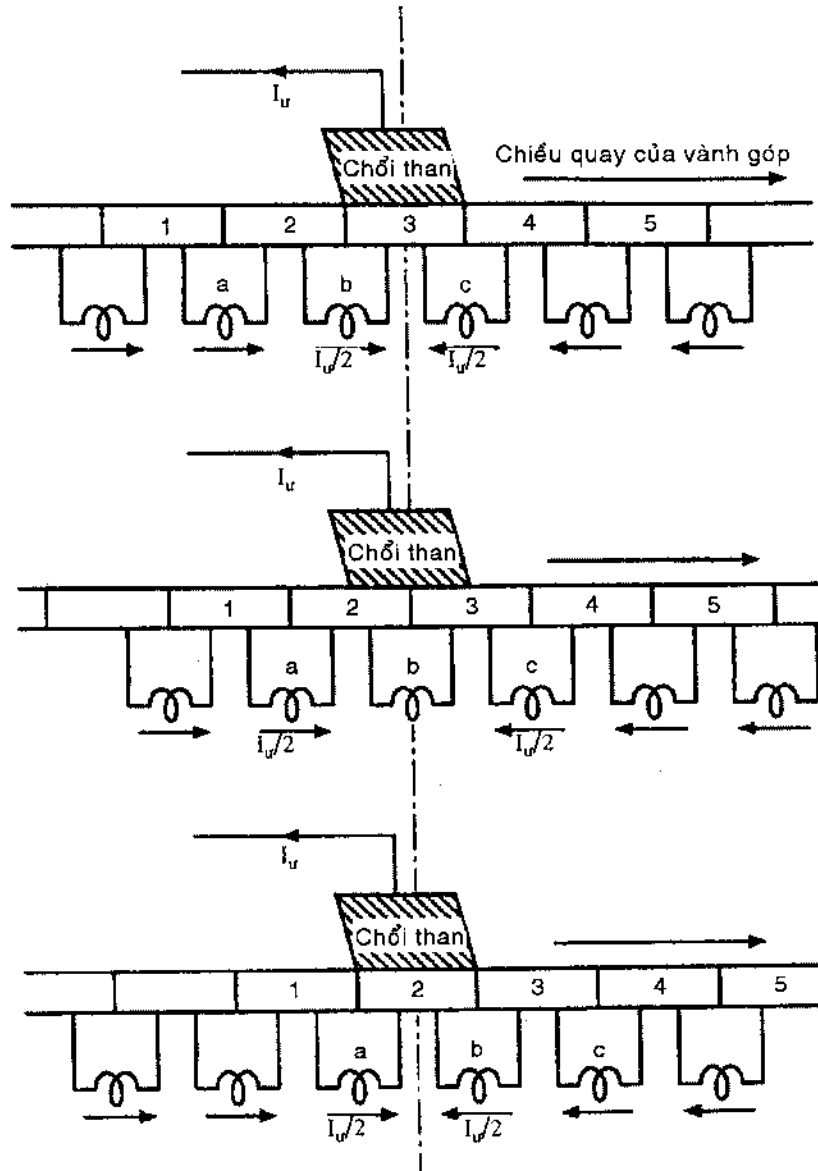
Hình 9.14. Phân bố mật độ từ thông cực từ chính, phần ứng, và tổng khi chổi than nằm trên đường trung tính hình học

- a) Hình biểu diễn trái stato và mạch từ phần ứng; b) Phân bố mật độ từ thông cực từ chính;
c) Phân bố mật độ từ thông phần ứng; d) Phân bố mật độ từ thông tổng.

9.8. CHUYỂN MẠCH

Chuyển mạch (hay còn gọi là đảo chiều) là quá trình đảo chiều dòng điện trong cuộn dây của phần ứng khi phiến góp được nối với các cuộn dây dịch chuyển từ khu vực của từ trường có cực tính này sang khu vực của từ trường có cực tính khác (hình 9.15). Khoảng thời gian cần thiết cho quá trình đảo chiều này gọi là quá trình chuyển mạch. Khi phiến góp quét qua chổi than, bất cứ cuộn nào nối với một trong các phiến góp đó đều có dòng điện chạy qua. Dòng điện trong cuộn dây bị đảo chiều

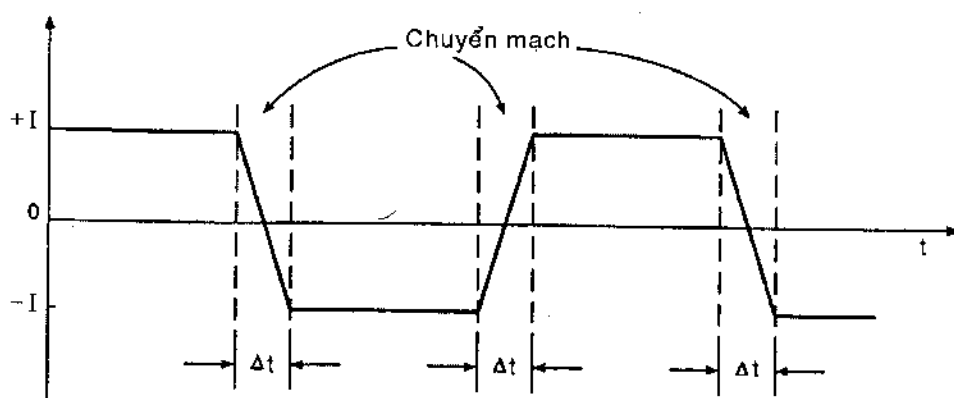
khi phiến góp bắt đầu tiếp xúc và quét qua chổi than. Giả sử cuộn dây b được nối với phiến góp 2 và 3 (sơ đồ trên cùng hình 9.15), dòng điện trong cuộn dây b chạy từ trái sang phải. Sơ đồ giữa hình 9.15 cho thấy không có dòng điện chạy trong cuộn dây b vì nó bị nối tắt qua chổi than. Sơ đồ dưới cùng hình 9.15 cho thấy thời điểm khi chổi than không còn tiếp xúc với phiến góp 3. Chiều dòng điện chạy trong cuộn dây b bị đảo chiều và bây giờ chạy từ phải sang trái.



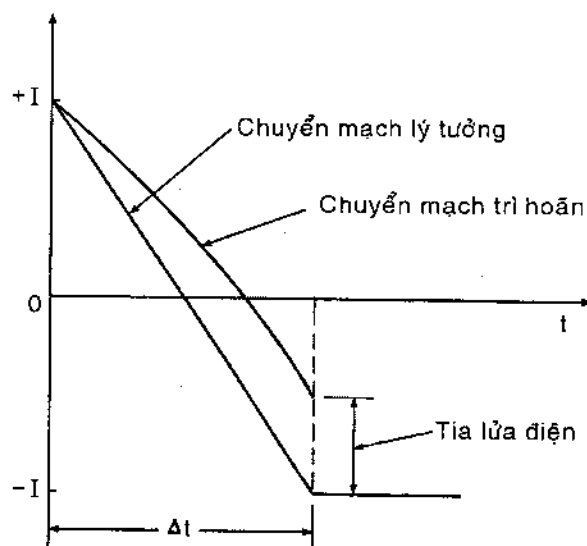
Hình 9.15. Sự đảo chiều của dòng điện trong cuộn dây khi xảy ra chuyển mạch.

Theo hình 9.16, trong suốt thời gian Δt , các phiến góp có các cuộn dây nối với nó bị đảo chiều đều tiếp xúc với chổi than. Dòng điện I kết thúc đảo chiều khi các phiến góp đi qua khỏi chổi than để tránh hiện tượng phóng hồ quang. Sự đảo chiều dòng điện trong cuộn dây cảm ứng ra điện thế tự cảm, chống lại sự thay đổi dòng điện, tạo ra tia lửa điện ở mép tiếp xúc của chổi than. Hình 9.17 cho thấy quá trình chuyển

mạch lý tưởng cũng như sự chuyển mạch trì hoãn do điện áp điện kháng. Nếu điện áp điện kháng đủ lớn, nó có thể tạo ra sự phóng tia lửa điện ở mép tiếp xúc của chổi than. Các tia lửa điện lớn có thể làm cháy chổi than và bề mặt phiến góp, nhưng cũng có thể chống tia lửa điện bằng cách cảm ứng ra một điện áp trong cuộn dây khi xảy ra chuyển mạch. Có thể thực hiện điều này bằng cách dùng các cực từ phụ (là các cực từ nhỏ được đặt giữa các cực chính của máy điện một chiều). Các cuộn dây cực từ phụ được nối sao cho chúng có cùng cực tính so với cực từ chính theo chiều quay. Hầu hết các máy điện một chiều công suất lớn hơn 1 mã lực đều được trang bị các cực từ phụ. Như đã đề cập ở phần trước, các cuộn dây cực từ phụ đều mắc nối tiếp cố định với phần ứng và đầu dây của chúng không đưa ra ngoài hộp cực. Trong những máy nhỏ (1 mã lực hoặc ít hơn), quá trình đảo mạch có thể được cải thiện bằng cách dịch chuyển vị trí chổi than. Kết quả là các cuộn dây trong quá trình chuyển mạch có thể có dòng điện ngược chiều do tác động của từ thông cực từ chính.



Hình 9.16. Dạng sóng của dòng điện trong cuộn dây phản ứng khi xảy ra chuyển mạch đường thẳng.



Hình 9.17. Dòng điện trong cuộn dây là hàm của thời gian khi chuyển mạch lý tưởng và chuyển mạch trì hoãn.

9.9. DÂY QUẤN BÙ

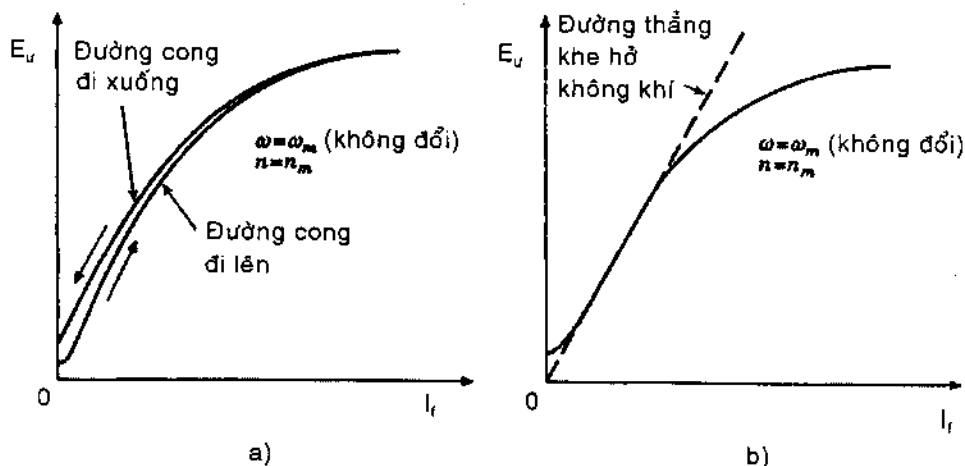
Khi dòng điện phần ứng tăng, phản ứng phần ứng tăng, độ méo của mặt độ từ thông cũng tăng, kéo theo đó là sự bắn tia lửa chỗ chổi than tiếp xúc với cổ góp có thể sẽ tăng. Cuộn dây cực từ phụ có thể trung hoà ảnh hưởng của phản ứng phần ứng tại khu vực cực từ phụ. Tuy nhiên nó không thể triệt tiêu được độ méo từ thông trong khe hở không khí trên bề mặt cực. Độ méo từ thông này có thể được loại bỏ bằng cách đặt dây quấn bù vào trong các rãnh nằm trên bề mặt cực (hình vẽ 9.2). Mỗi dây quấn bù có cực tính ngược với cực tính dây quấn phần ứng. Bằng cách cho dòng điện phần ứng đi qua cuộn dây trên bề mặt cực, phản ứng phần ứng có thể hoàn toàn được trung hoà bởi một lượng (ampe.vòng) thích hợp. Nhược điểm duy nhất của cuộn bù là nó rất đắt. Chính vì lý do này mà chúng chỉ được sử dụng trong những máy điện một chiều lớn cho phép quá tải lớn, tải thay đổi đột ngột hoặc trong những động cơ gia tốc lớn và đảo chiều quay đột ngột.

9.10. ĐƯỜNG CONG TỪ HOÁ

Đường cong từ hoá của máy điện một chiều được tạo ra bằng cách cho máy hoạt động ở chế độ máy phát điện với tốc độ định mức khi không có tải và thay đổi dòng kích từ. Sức điện động được tạo ra trong máy được tính bằng:

$$E_u = K_u \Phi_d \omega_m \quad (9.10)$$

và nếu tốc độ của phần ứng là không đổi, thì E_u sẽ tỷ lệ với từ thông do cuộn kích từ tạo ra. Đường cong từ hoá được tạo ra bằng cách dùng cuộn dây kích từ độc lập, cho dù máy điện được chạy như máy phát điện hay động cơ điện. Dòng điện phần ứng (hay tải) bằng 0 khi máy chạy không có tải, do đó điện áp trên đầu cực bằng với sức điện động trong máy là E_u . Khi tăng từ thông dưới mỗi cực từ bằng cách tăng dòng điện trong cuộn kích từ, giá trị sức điện động E_u cũng tăng theo. Tuy nhiên, khi đã vượt qua điểm bão hoà thì việc từ hoá lõi sắt càng trở nên khó hơn. Vì tính chất bão hoà của mạch từ trên điểm bão hoà nên quan hệ giữa sức điện động E_u và dòng kích từ I_t trở nên phi tuyến (xem hình 9.18a và 9.18b). Đường cong từ hoá tổng là mối liên hệ giữa sức điện động E_u và sức từ động cực từ hay dòng điện kích từ I_t . Tuy vậy, hình dạng của đường cong từ hoá lại được quyết định chủ yếu bởi đặc tính của mạch từ. Bởi vì tồn tại một lượng từ dư trong mạch từ nên điện áp sẽ không bắt đầu từ giá trị 0 (trừ khi máy mới hoàn toàn). Trong hình 9.18a, nếu dòng kích từ tăng từ 0 tới giá trị mà tại đó sức điện động của phần ứng sinh ra lớn hơn điện áp định mức của máy điện, thì đường cong sẽ là đường cong đi lên. Nếu dòng kích từ lại giảm dần xuống 0 thì đường này gọi là đường cong đi xuống. Việc đường đi xuống lại cao hơn đường đi lên có thể giải thích là do hiện tượng từ trễ. Đường cong từ hoá trong hình 9.18b là giá trị trung bình của hai đường cong đó. ω_m và n_m là tốc độ định mức của máy điện khi xây dựng đường cong từ hoá được tính tương ứng bằng rad/giây và vòng/phút.



Hình 9.18. Đường cong từ hoá

a) Có xét đến ảnh hưởng của từ trễ; b) Đường cong từ hoá trung bình.

Hãy xem xét đường cong từ hoá trong hình 9.19. Giả sử các đường đó được xây dựng khi tốc độ $\omega_{m1}; \omega_{m2}$ là không đổi. Khi đó sức điện động tổng được tạo ra trong máy là:

$$E_{u1} = K_u \Phi_d \omega_{m1} \quad (9.11)$$

$$\text{và} \quad E_{u2} = K_u \Phi_d \omega_{m2} \quad (9.12)$$

$$\text{Vì} \quad K_u \Phi_d = \frac{E_{u1}}{\omega_{m1}} \quad (9.13)$$

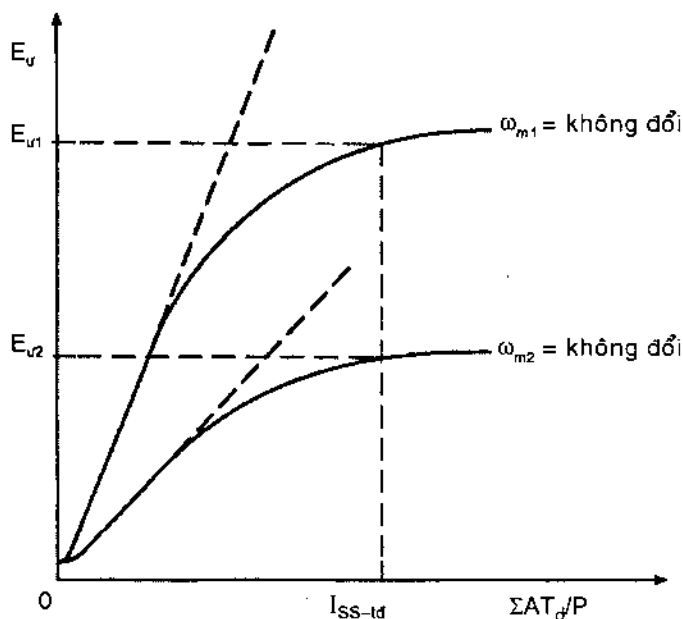
$$\text{và} \quad K_u \Phi_d = \frac{E_{u2}}{\omega_{m2}} \quad (9.14)$$

$$\text{nên} \quad E_{u2} = \left(\frac{\omega_{m2}}{\omega_{m1}} \right) E_{u1} \quad (9.15)$$

trong đó E_{u1} và E_{u2} được tạo ra ở tốc độ không đổi ω_{m1} và ω_{m2} . Nếu tốc độ không đổi được tính bằng vòng/phút thì:

$$E_{u2} = \frac{n_{m2}}{n_{m1}} E_{u1} \quad (9.16).$$

Máy điện được khảo sát trên đây là máy kích từ độc lập. Tuy nhiên có thể áp dụng cách tiếp cận này đối với các loại máy điện một chiều khác. Điều này có thể thực hiện được nếu coi từ thông khe hở không khí dọc trục là do sức từ động tổng. Ví dụ, giả sử máy điện được khảo



Hình 9.19. Hai đường cong từ hoá tại hai tốc độ khác nhau khi giữ dòng kích từ không đổi.

sát là kích từ hỗn hợp. Kích từ tổng của máy dưới mỗi cực trên trục d (tổng giá trị ampe vòng của một cực trên trục d Av_d) có thể được mô tả như sau:

$$\frac{\sum Av_d}{p} = w_{ss} \cdot I_{ss} \pm w_{nt} \cdot I_{nt} \quad (9.17)$$

Với: w_{ss} – số vòng dây dưới mỗi cực từ của cuộn kích từ song song.
 I_{ss} – dòng điện cuộn kích từ song song.
 w_{nt} – số vòng dây dưới mỗi cực từ của cuộn kích từ nối tiếp.
 I_{nt} – dòng điện cuộn kích từ nối tiếp.

Nếu kể đến ảnh hưởng của phản ứng phần ứng biểu thức trên có thể được điều chỉnh lại như sau:

$$\frac{\sum Av_d}{p} = w_{ss} \cdot I_{ss} \pm w_{nt} \cdot I_{nt} - K_d I_u \quad (9.18)$$

trong đó giá trị $K_d I_u$ được lấy gần đúng tuyến tính khi xét sự khử từ trên trục d (phản ứng phần ứng) do sức từ động phần ứng tạo ra. Trong các biểu thức 9.17 và 9.18, dấu cộng được dùng cho máy điện kích từ hỗn hợp nối thuận, còn dấu trừ dùng cho máy điện kích từ hỗn hợp nối ngược. K_d là hằng số phản ứng phần ứng của máy điện được khảo sát. Phương trình (9.18) cho thấy sức từ động tổng dưới mỗi cực từ.

Nếu máy điện là kích từ song song thích thì giá trị kích từ tổng của một cực trên trục d là:

$$\frac{\sum Av_d}{2p} = \frac{U_{w_{ss}}}{\sum R_{ss}} + w_{nt} I_{nt} - K_d I_u \quad (9.19)$$

Trong đó điện trở tổng của mạch kích từ song song là:

$$\sum R_{ss} = R_{t-ss} + R_{bt} \quad (9.20)$$

với U – điện áp đầu cực
 R_{t-ss} – điện trở của cuộn kích từ song song
 R_{bt} – điện trở của biến trở kích từ song song

Tuy nhiên, nếu máy điện là kích từ độc lập thì giá trị kích từ tổng của mỗi cực từ trên trục d là:

$$\frac{\sum Av_d}{p} = \frac{U_{ss} w_{ss}}{\sum R_{ss}} + w_{nt} I_{nt} - K_d I_u \quad (9.21)$$

Trong đó U_{ss} là điện áp đặt vào cuộn kích từ song song.

Nếu đường cong từ hoá là mối quan hệ E_u và I , thì cần phải xác định một giá trị I_t có thể tạo ra một sức điện động E_u (khi tổng hợp tất cả sức từ động trong máy). Do:

$$\frac{\sum Av_d}{p} = w_{ss} \cdot I_{ss-tđ} \quad (9.22)$$

Nên dòng điện kích từ song song tương đương có thể tính bằng:

$$I_{ss-td} = \frac{\sum A v_d / p}{w_{ss}} \quad (9.23)$$

Khi đã xác định được dòng điện kích từ song song tương đương, ta cũng có thể tìm được sức điện động tương ứng E_u từ đường cong từ hoá. Trên hình 9.19 có vẽ một số đường cong từ hoá được biểu thị mối quan hệ giữa E_u và $\sum A v_d / 2p$ hoặc I_{ss-td} . Qua biểu thức 9.21 có thể thấy rằng, khi giá trị $I_u = 0$ thì tổng kích từ của một cực từ trên trục d được tạo ra chỉ do cuộn kích từ song song, do đó:

$$\frac{\sum A v_d}{2p} = w_{ss} \cdot I_{t-ss} \quad (9.24)$$

nên:
$$I_{ss} = \frac{\sum A v_d / p}{w_{ss}} \quad (9.25)$$

9.11. MÁY PHÁT ĐIỆN MỘT CHIỀU

Như đã nêu trong phần 9.1, ngày nay các máy phát điện một chiều nói chung không được dùng để sản xuất ra năng lượng điện lớn. Thay vào đó, các bộ chỉnh lưu điều khiển bằng bán dẫn được ưa thích hơn trong nhiều ứng dụng. Tuy nhiên, vẫn có một số máy phát điện một chiều được sử dụng để tạo ra dòng một chiều để cung cấp cho các tải cách ly và trong các ứng dụng đặc biệt khác. Trong các trường hợp đó, máy điện một chiều được vận hành ở chế độ máy phát điện, nguồn cơ năng lấy từ động cơ thứ cấp với tốc độ không đổi, với các đầu cực phần ứng được nối với tải. Máy phát điện có thể là kích từ độc lập, song song, nối tiếp hoặc hỗn hợp.

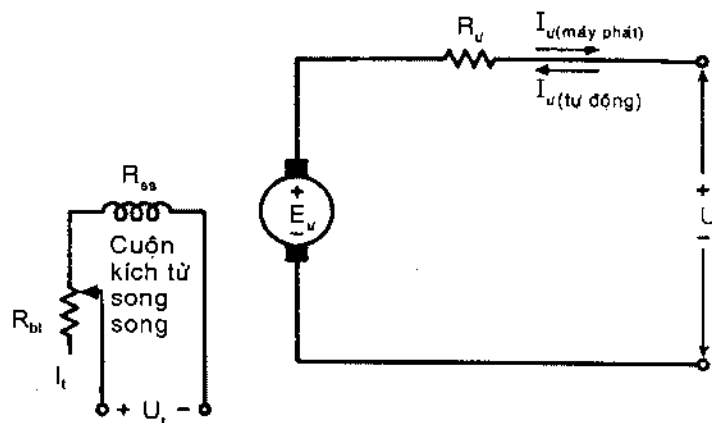
9.12. MÁY PHÁT ĐIỆN KÍCH TỪ ĐỘC LẬP

Trong máy phát điện một chiều kích từ độc lập, cuộn kích từ song song được cung cấp từ nguồn điện một chiều độc lập bên ngoài (hình 9.20). Nguồn này có thể là máy phát điện một chiều nhỏ, bộ nguồn chỉnh lưu một chiều bán dẫn, hoặc là ắc quy. Trong mạch điện thay thế, E_u là sức điện động, U là điện áp đầu cực, I_u là dòng điện phần ứng (hay cũng là dòng điện tải I), I_t là dòng điện kích từ, R_u là điện trở của cuộn dây phần ứng, R_t là điện trở cuộn kích từ, R_{bt} là điện trở của biến trở kích từ song song và U_t là điện áp của nguồn một chiều kích từ. Theo định luật Kiéc hốp về điện áp, điện áp đầu cực là:

$$U = E_u - R_u I_u - 2,0 \quad (9.26)$$

và điện áp kích từ là:

$$U_t = R_t I_t \quad (9.27)$$

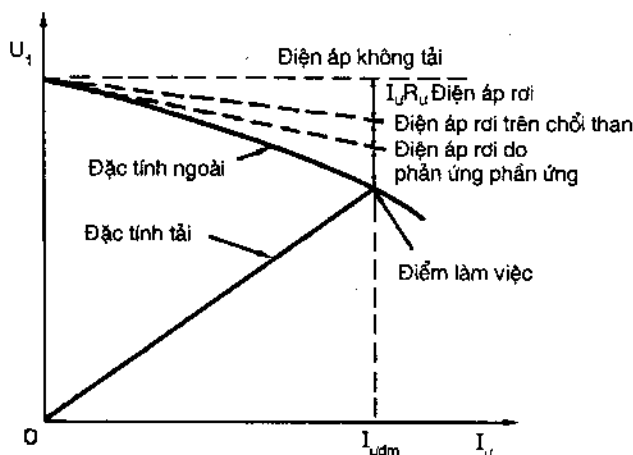


Hình 9.20. Sơ đồ máy phát điện (hoặc động cơ điện) kích từ độc lập.

Biểu thức (9.26) là đặc tính ngoài (còn có tên gọi là đặc tính trên đầu cực) của máy phát điện một chiều kích từ độc lập (hình 9.21). Điện áp trên đầu cực khác với điện áp không tải, vì có ba chỗ sụt điện áp: điện áp rơi trên điện trở phần ứng, điện áp rơi chỗ tiếp điểm chổi than, điện áp rơi do phản ứng phần ứng. Đặc tính tải là:

$$U = R I_u$$

với R là điện trở của tải. Trong hình 9.21, chỗ giao nhau giữa đặc tính ngoài và đặc tính tải trở gọi là điểm làm việc của máy phát điện. Sự hoạt động của máy phát điện một chiều kích từ độc lập là ổn định đối với bất cứ giá trị kích từ nào. Do đó dải điện áp phát ra là tương đối rộng.



Hình 9.21. Đặc tính ngoài và đặc tính tải của máy phát điện một chiều kích từ độc lập.

9.13. MÁY PHÁT ĐIỆN KÍCH TỪ SONG SONG

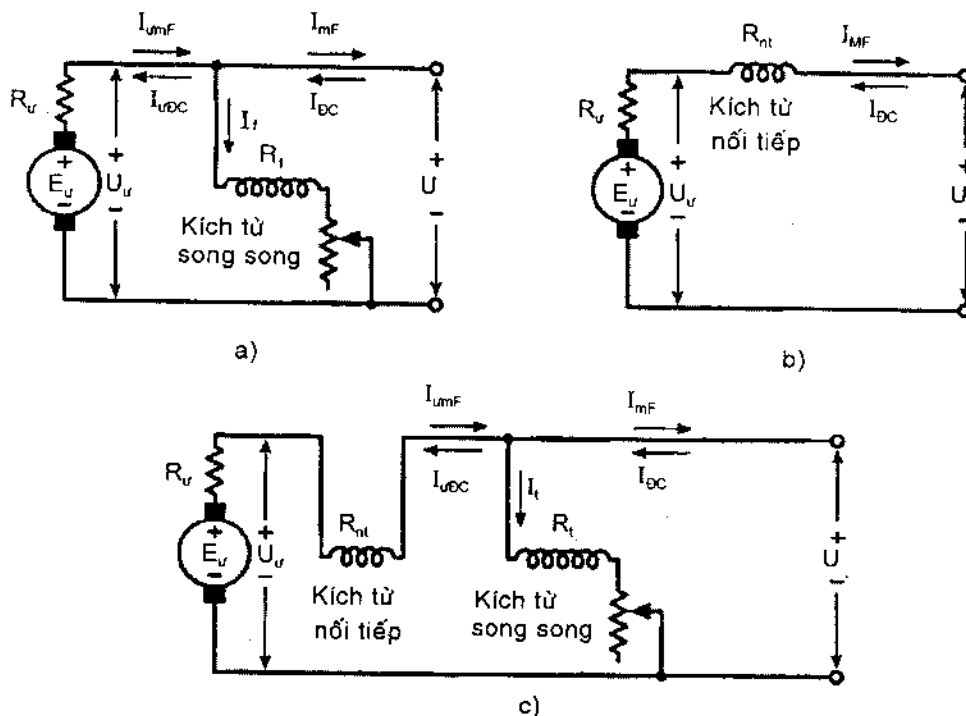
Trong máy phát điện kích từ song song, cuộn kích từ được nối song song với dây quấn phần ứng (hình 9.22a). Do đó, điện áp của phần ứng có thể tạo ra dòng điện kích từ. Tuy nhiên, nếu có bất cứ thay đổi nào trong dòng điện của phần ứng, sẽ làm cho điện áp rơi $R_u I_u$ thay đổi. Bởi vậy, điện áp trên đầu cực và dòng điện kích từ

cũng thay đổi theo. Do đó, sức điện động E_u của máy phát điện kích từ song song sẽ là một hàm của dòng điện phản ứng I_u . Điện áp đầu cực U thay đổi khi I_u thay đổi. Do vậy:

$$U = E_u - R_u I_u - 2,0 \quad (9.28)$$

và điện áp kích từ là:

$$U_t = R_t I_t \quad (9.29)$$



Hình 9.22. Sơ đồ nối dây của động cơ (hoặc máy phát) với chiều dòng điện trong các dây quấn của máy điện một chiều
a) Kích từ song song; b) Kích từ nối tiếp; c) Kích từ hỗn hợp (nối dài).

Đặc tính ngoài của máy phát điện kích từ song song cũng tương tự như máy phát điện kích từ độc lập, ngoại trừ là điện áp trên đầu cực giảm nhanh hơn khi dòng điện tải I tăng. Dòng điện phản ứng:

$$I_u = I + I_t \quad (9.30)$$

Dòng điện kích từ:

$$I_t = \frac{U_t}{R_t} \quad (9.31)$$

Khi điện áp trên đầu cực giảm (do điện áp rơi $R_u I_u$ và phản ứng phản ứng tăng) dẫn đến dòng điện kích từ I_t giảm và điện áp đầu cực giảm nhanh hơn. Có thể điều chỉnh dòng điện kích từ bằng cách sử dụng biến trở mắc nối tiếp với dây quấn kích từ song song. Khi không tải, dòng điện phản ứng bằng dòng điện kích từ.

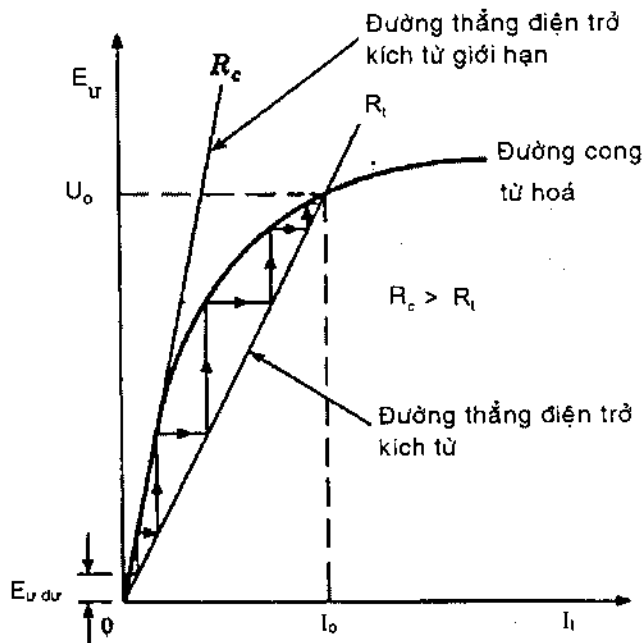
Cơ chế vận hành của máy phát điện tự kích phụ thuộc vào từ dư trong mạch từ của nó. Trong hình 9.23, máy phát điện được chạy ở tốc độ không đổi, do sự xuất

hiện của từ thông dư Φ_{du} trong các cực từ, do đó sẽ có một lượng nhỏ sức điện động E_{u-du} cho dù dòng điện kích từ bằng không, bởi vì:

$$E_{u-du} = K_u \Phi_{du} \omega_m \quad (9.32)$$

Khi điện áp này xuất hiện trên các đầu cực, sẽ có một dòng điện kích từ nhỏ chạy qua cuộn dây kích từ song song (vì nó được nối trực tiếp với các chổi than). Dòng điện kích từ này sẽ tạo ra một sức từ động trong cực từ, khiến cho từ thông tăng và cảm ứng ra sức điện động E_u cao hơn và có dòng điện kích từ lớn hơn chạy qua các cuộn kích từ. Sự thành lập điện áp này được mô tả trên đường cong từ hoá hình 9.23. Khi không tải, dòng điện kích từ I_{l0} tương ứng với điện áp trên đầu cực U_0 . Trong hình cũng mô tả đường thẳng điện trở kích từ, là hàm của $R_t I_t$ theo I_t . Đường thẳng điện trở kích từ được tính:

$$R_t = \frac{U_t}{I_t} \quad (9.33)$$



Hình 9.23. Sự thành lập điện áp trong máy phát điện một chiều kích từ song song.

Khi có phần từ dư trong các cực từ của máy phát điện, sự thành lập điện áp sẽ xảy ra nếu thoả mãn các điều kiện sau: (1) phải có từ thông dư trong mạch từ, (2) sức từ động cuộn kích từ phải cùng chiều với từ thông dư này, (3) tổng trở của cả mạch kích từ phải nhỏ hơn điện trở tối hạn của mạch từ. Theo hình 9.23, *điện trở kích từ tối hạn* là giá trị mà tại đó đường thẳng điện trở trùng với phần tuyến tính của đường cong từ hoá. Nói cách khác, đó là giá trị điện trở của mạch kích từ song song, thấp hơn giá trị này mới có thể thành lập điện áp. Bởi vậy, độ dốc của đường cong từ hoá là *điện trở tối hạn*. Máy phát điện kích từ song song duy trì mức điện áp trên tải hầu như không đổi, nên được sử dụng rộng rãi với vai trò cung cấp dòng điện kích từ cho máy phát điện công suất lớn.

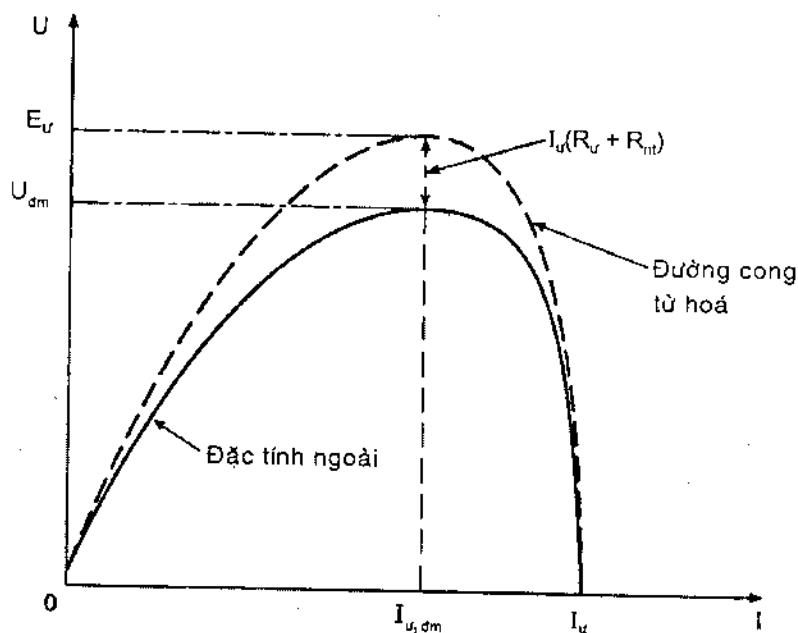
9.14. MÁY PHÁT ĐIỆN KÍCH TỪ NỐI TIẾP

Máy phát điện kích từ nối tiếp là máy phát điện tự kích, có cuộn kích từ được mắc nối tiếp với phần ứng (hình 9.22b). Do đó, dòng điện chạy qua phần ứng I_u , dòng điện kích từ I_{t-nt} và dòng tải I là bằng nhau. Bởi vậy:

$$I_u = I_{nt} = I \quad (9.34)$$

$$\text{và:} \quad U = E_u - I_u(R_u + R_{nt}) \quad (9.35)$$

với R_{nt} là điện trở của cuộn kích từ nối tiếp. Trong điều kiện không có tải, sức điện động được tạo ra trong máy là do có từ dư. Khi tải tăng thì dòng điện phần ứng I_u và sức điện động E_u cũng tăng theo (hình 9.24). Điện áp trên đầu cực tiếp tục tăng cho đến khi mạch từ của máy bị bão hoà. Máy phát điện kích từ nối tiếp đóng vai trò là bộ khuếch đại điện áp và cũng là máy phát điện có dòng điện không đổi trong kỹ thuật hàn điện hồ quang.



Hình 9.24. Đặc tính ngoài của máy phát điện kích từ nối tiếp.

9.15. MÁY PHÁT ĐIỆN KÍCH TỪ HỖN HỢP

Trong hình 9.22c, một máy phát điện kích từ hỗn hợp có cả cuộn kích từ nối tiếp và song song. Nếu sức từ động của cuộn kích từ nối tiếp cùng chiều với sức từ động của cuộn kích từ song song thì gọi là *máy phát điện kích từ hỗn hợp nối thuận*. Nếu sức từ động của cuộn kích từ nối tiếp ngược chiều với sức từ động của cuộn kích từ song song thì gọi là *máy phát điện kích từ hỗn hợp nối ngược*. Nếu cuộn kích từ song song được mắc nối tiếp với hai đầu phần ứng (hình 9.12d, e) thì gọi là máy phát điện kích từ hỗn hợp song song ngắn. Nếu cuộn kích từ song song được mắc với tổ hợp nối tiếp cả phần ứng và cuộn nối tiếp (hình 9.12g) thì gọi là máy phát điện kích từ hỗn hợp song song dài.

Đối với máy phát điện kích từ hỗn hợp song song ngắn thì:

$$U = E_u - I_u R_u - I R_{nt} \quad (9.36)$$

và: $I_u = I + I_t \quad (9.37)$

trong đó R_{nt} là điện trở của cuộn dây kích từ nối tiếp và I là dòng điện tải.

Đối với máy phát điện hỗn hợp song song dài thì:

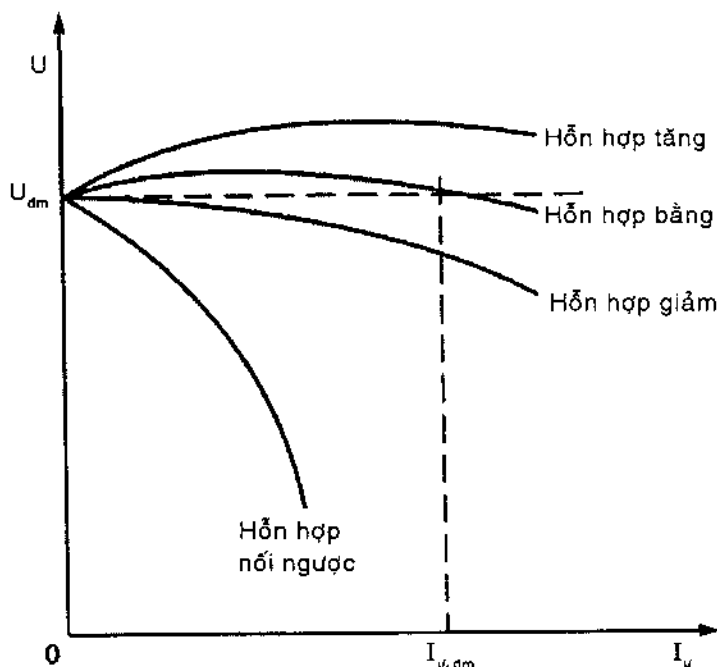
$$U = E_u - I_u (R_u + R_{nt}) \quad (9.38)$$

và: $I_u = I + I_t \quad (9.39)$

với: $I_t = \frac{U}{R_t} = \frac{U}{R_u + R_{nt}} \quad (9.40)$

Theo hình 9.25, máy phát điện kích từ hỗn hợp nối thuận có thể là hỗn hợp bằng, hỗn hợp tăng hoặc hỗn hợp giảm, tùy vào dây quấn kích từ nối tiếp. Nếu điện áp trên đầu cực khi tải định mức bằng điện áp định mức (điện áp không tải) thì gọi là máy phát điện hỗn hợp bằng.

Nếu điện áp trên đầu cực khi tải định mức lớn hơn so với điện áp không tải gọi là máy phát điện hỗn hợp tăng. Nếu điện áp trên đầu cực khi tải định mức nhỏ hơn so với điện áp không tải gọi là máy phát điện hỗn hợp giảm. Máy phát điện hỗn hợp tăng có thể dùng để bù vào điện áp rơi khi tải đặt xa so với máy phát điện. Nó cũng có thể dùng để bù lại sự giảm tốc độ động cơ sơ cấp khi tải tăng.



Hình 9.25. Đặc tính ngoài của máy phát điện kích từ hỗn hợp làm việc với tốc độ cố định.

9.16. ĐỘ BIẾN ĐỔI ĐIỆN ÁP

Thông thường, điện áp trên đầu cực của máy phát điện thay đổi khi dòng điện tải thay đổi. Sự biến đổi này được gọi là độ biến đổi (hay độ thay đổi, độ biến thiên) điện áp. Độ biến đổi điện áp của máy phát điện được tính như sau:

$$\% \Delta U = \frac{U_0 - U_{dm}}{U_{dm}} 100 \quad (9.41)$$

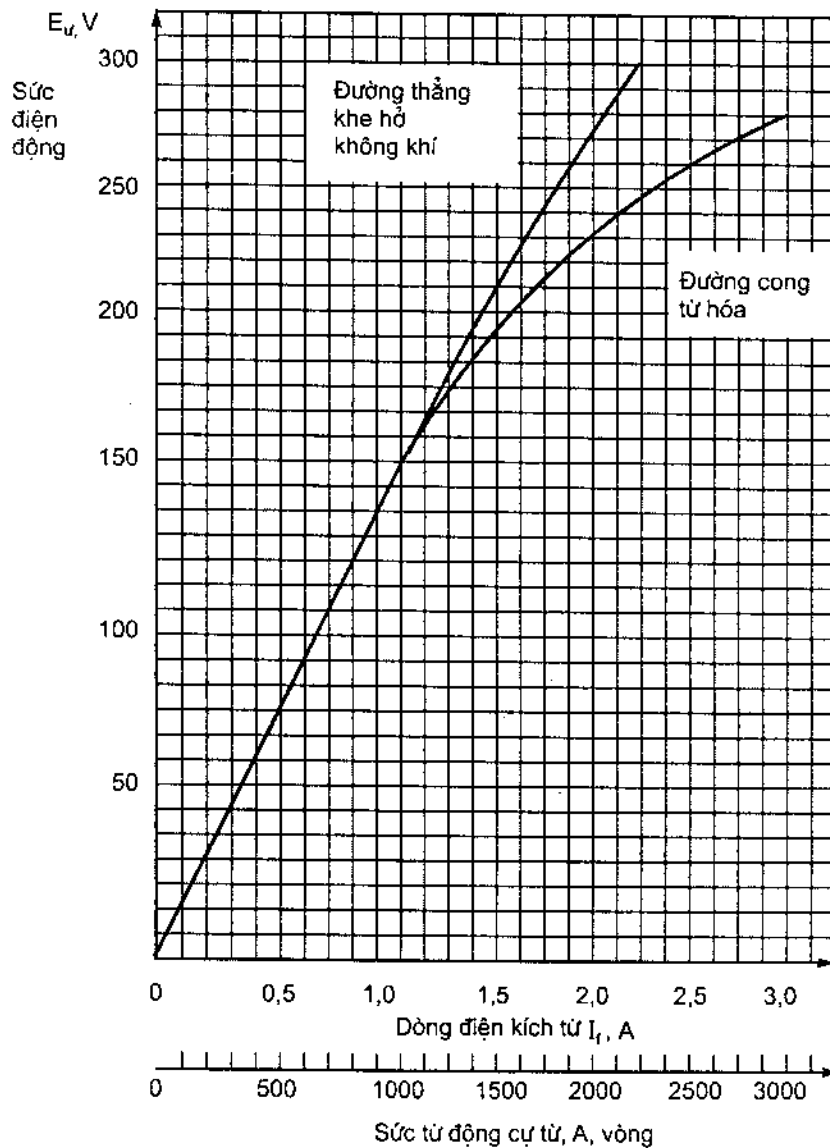
trong đó U_0 là điện áp trên đầu cực khi không tải, U_{dm} là điện áp trên đầu cực định mức. Ngoài ra còn có:

$$\% \Delta U = \frac{E_u - U_{dm}}{U_{dm}} 100 \quad (9.42)$$

do: $E_u = U_0$

Ví dụ 9.3

Một máy phát điện một chiều có điện áp trên đầu cực định mức là 250V, và dòng điện phản ứng định mức là 100A. Điện trở của mạch phản ứng là $0,10\Omega$ (bao gồm điện trở dây quấn phản ứng và điện trở cực từ phụ). Cuộn dây kích từ song song của phản ứng có điện trở là 100Ω và có 1000 vòng trên một cực. Điện áp rơi trên tiếp điểm chổi than là 2V và bỏ qua sự khử từ của trục d do sức từ động phản ứng. Các thông số về đường cong từ hoá của máy chạy ở tốc độ định mức $n_{dm} = 1200$ vòng/phút được cho trong bảng 9.1 và đường cong từ hoá được vẽ trên hình 9.26.



Hình 9.26. Đường cong từ hoá cho máy điện một chiều tốc độ 1200 vòng/phút ở ví dụ 9.3.

BẢNG 9.1. DỮ LIỆU ĐƯỜNG CONG TỪ HOÁ VỚI $n_{đm} = 1200$ VÒNG/PHÚT

$E_{u(th)} (V)$	70	140	195	235	260	276
$I_t (A)$	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0

Giả sử rằng đó là máy phát điện kích từ độc lập và chạy ở tốc độ không đổi là 1200 vòng/phút.

a) Hãy tính các giá trị của điện áp trên đầu cực khi không tải và tải định mức, nếu dòng điện kích từ lần lượt là 1,0A; 1,5A và 2,5A.

b) Vẽ giá trị tìm được của điện áp trên đầu cực U theo dòng điện phần ứng I_u .

c) Xác định độ biến đổi điện áp % ở các giá trị dòng điện kích từ nói trên.

Lời giải:

a) Khi dòng điện kích từ là 1,0A (khi không tải), điện áp U_o bằng với sức điện động $E_{u(th)}$ (đã được cho trên đường cong từ hoá bảng 9.1). Do đó:

$$U_o = E_{u(th)} = E_u = 140V$$

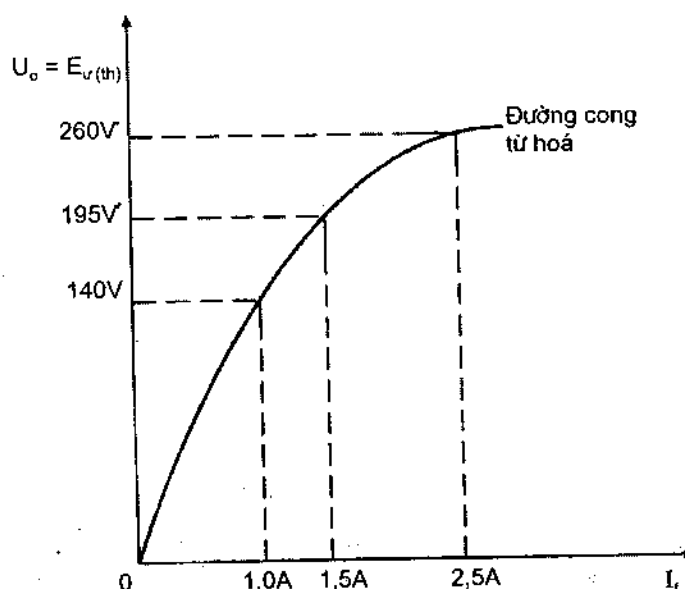
Khi tải định mức, sụt áp trên điện trở mạch phần ứng $E_{u(th)}$ là:

$$I_u \Sigma R_u = 100.0,1 = 10V$$

Do đó, khi tải định mức, điện áp trên đầu cực của máy phát điện là:

$$U_{(100A)} = E_u - I_u \Sigma R_u - 0,2 = 140 - 100.0,1 - 2,0 = 128V$$

Tương tự, khi cường độ dòng điện là 1,5A và 2,5A, ta có thể tìm được các giá trị tương ứng như trên. Kết quả được ghi trên bảng 9.2. Hình 9.27 miêu tả đường cong điện áp khi không tải so với dòng điện kích từ I_t .



Hình 9.27. Đường cong điện áp khi không tải so với I_t .

b) Đường biểu diễn của điện áp U so với dòng điện phản ứng I_v được vẽ trong hình 9.28.

BẢNG 9.2

I_t	Tại $I_v = 0$ $U_{(0)} = E_{u(th)} = E_u$	Tại $I_v = 100 \text{ A}$ $I_v (\Sigma R_v)$	$U_{(100 \text{ A})}$
1,0A	140V	10 A	128 V
1,5A	195V	10 A	183V
2,5A	260V	1 A	248V

c) Tại: $I_t = 1,0\text{A}$

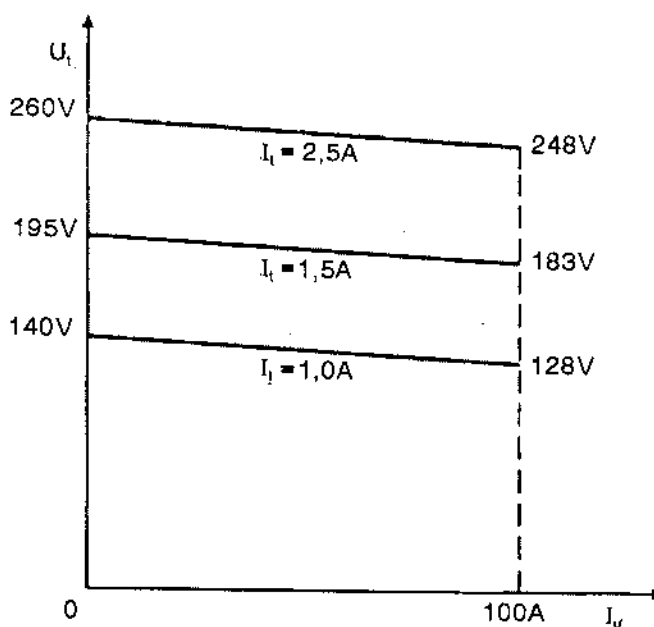
$$\% \Delta U = \frac{U_0 - U_{dm}}{U_{dm}} \cdot 100 = \frac{140 - 128}{128} \cdot 100 = 9,4\%$$

Tại: $I_t = 1,5\text{A}$

$$\% \Delta U = \frac{195 - 183}{183} \cdot 100 = 6,6\%$$

Tại: $I_t = 2,5\text{A}$

$$\% \Delta U = \frac{260 - 248}{248} \cdot 100 = 4,8\%$$



Hình 9.28. Đường cong điện áp đầu cực U theo I_v .

9.17. CÔNG SUẤT ĐIỆN TỪ

Ở chương trước, chúng ta đã biết, máy điện một chiều có tính chất thuận nghịch, có thể sử dụng chúng như là một máy phát điện hoặc động cơ điện. Trong chế độ máy phát, đầu vào là công suất cơ được cấp bởi một động cơ sơ cấp (như

động cơ diesel, tua bin khí hoặc là một động cơ điện khác), còn đầu ra là công suất điện. Ngược lại, trong chế độ động cơ thì đầu vào là công suất điện và đầu ra là công suất cơ. Tuy vậy, như minh họa ở hình 9.29 trong cả hai chế độ hoạt động đều cần cấp dòng điện kích từ một chiều I_t để tạo ra từ trường. Biểu thức công suất điện từ (còn có tên là công suất thành lập) máy điện một chiều kích từ độc lập là:

$$P_{dt} = E_u I_u \quad (9.43)$$

Công suất trên đầu cực phần ứng là:

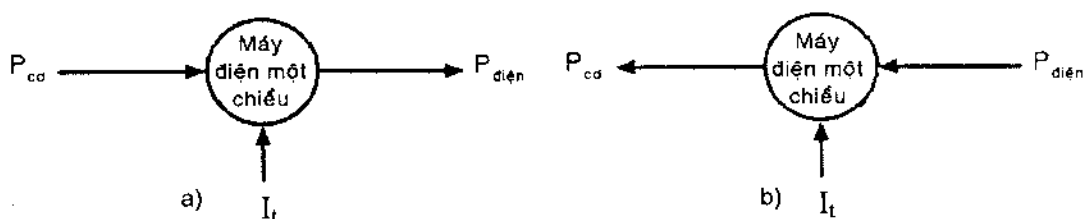
$$P_{c-u} = U_{c-u} I_u \quad (9.44)$$

Trong đó U_{c-u} là điện áp trên đầu cực phần ứng. Do đó theo công thức (9.8) ta có:

$$U_{c-u} = E_u \pm I_u \Sigma R_u \pm 2 \quad (9.45)$$

Trong đó tổng điện trở mạch dây quấn phần ứng được tính theo công thức (9.9) như sau:

$$\Sigma R_u = R_u + R_{nt} + R_p + R_b + R_{u-n}$$



Hình vẽ 9.29. Sơ đồ khối máy điện một chiều vận hành

a) Chế độ máy phát; b) Chế độ động cơ.

Trong công thức (9.45) dấu trừ ứng với trường hợp máy phát, dấu cộng ứng với trường hợp động cơ. Thay công thức (9.45) vào công thức (9.44), công suất trên đầu cực phần ứng là:

$$P_u = [E_u \pm I_u \Sigma R_u \pm 2] I_u \quad (9.46)$$

$$\text{hay:} \quad P_u = E_u I_u \pm I_u^2 \Sigma R_u \pm 2 I_u \quad (9.47)$$

$$\text{hoặc:} \quad P_u = P_{dt} \pm P_{cu} \pm P_{tx} \quad (9.48)$$

Trong đó P_{dt} là công suất điện từ, P_{cu} là tổn hao đồng trong dây quấn phần ứng, P_{tx} là tổn hao do tiếp xúc chổi than. Theo đó:

$$P_{cu} = I_u^2 \Sigma R_u \quad (9.49)$$

$$P_{tx} = 2 I_u \quad (9.50)$$

Công suất điện từ P_{dt} lớn hơn công suất trên đầu cực phần ứng P_{c-u} đối với máy phát, và nhỏ hơn đối với động cơ.

Công suất đầu trục có thể được diễn tả như sau:

$$P_{trục} = P_{dt} \pm P_0 \quad (9.51)$$

trong đó P_0 là tổn hao không tải (tổn hao quay), bằng tổng của tổn hao cơ $P_{cơ}$ (do ma sát, quạt gió) và tổn hao trong lõi sắt P_{fe} . Ta có:

$$P_0 = P_{cơ} + P_{fe} \quad (9.52)$$

Trong công thức (9.51) dấu (+) cho trường hợp máy phát và dấu (-) cho trường hợp động cơ bởi vì công suất đầu trục $P_{\text{trục}}$ lớn hơn công suất điện từ nếu là máy phát, nhưng lại nhỏ hơn công suất điện từ nếu là động cơ.

Trong tổn hao không tải còn có thêm tổn hao phụ nhưng rất khó tính toán chính xác. Thông thường tổn hao phụ được bỏ qua trong máy công suất nhỏ, nhưng với máy lớn có công suất trên 100 sức ngựa thì ta thường lấy bằng 1% công suất đầu ra.

9.18. MÔMEN ĐIỆN TỪ

Giả sử rằng máy điện một chiều có Sdd phần ứng là E_u và dòng điện phần ứng là I_u . Công suất điện từ của nó được tính bằng:

$$P_{dt} = E_u I_u \quad (9.53)$$

và mômen điện từ (hay mômen thành lập):

$$M_{dt} = \frac{P_{dt}}{\omega_m} \quad (9.54)$$

$$\text{hay:} \quad M_{dt} = \frac{E_u \cdot I_u}{\omega_m} \quad (9.55)$$

Sử dụng công thức (9.2) ta có:

$$M_{dt} = \frac{(K_u \Phi_d \omega_m) \cdot I_u}{\omega_m} \quad (9.56)$$

$$\text{hay:} \quad M_{dt} = K_u \Phi_d I_u \quad (9.57)$$

$$\text{trong đó:} \quad K_u = \frac{Zp}{\pi a}$$

K_u là hằng số dây quấn, là số cố định đối với một dây quấn đã cho. Do đó, mômen điện từ của máy điện một chiều là tích số của từ thông trong máy, dòng điện phần ứng trong dây quấn rôto, và một hằng số phụ thuộc vào cấu tạo của máy. Trong các công thức trên, đơn vị của mômen là N.m. Mômen điện từ cũng có thể được xác định theo công thức:

$$M_{dt} = \frac{P_{dt}}{\omega_m} = \frac{E_u \cdot I_u}{\omega_m}$$

$$\text{Do:} \quad \omega_m = \frac{2\pi n_m}{60}$$

$$\text{nên:} \quad M_{dt} = \frac{E_u I_u}{2\pi n_m / 60}$$

trong đó đơn vị của tốc độ n_m là vòng/phút.

9.19. GIẢN ĐỒ NĂNG LƯỢNG VÀ HIỆU SUẤT

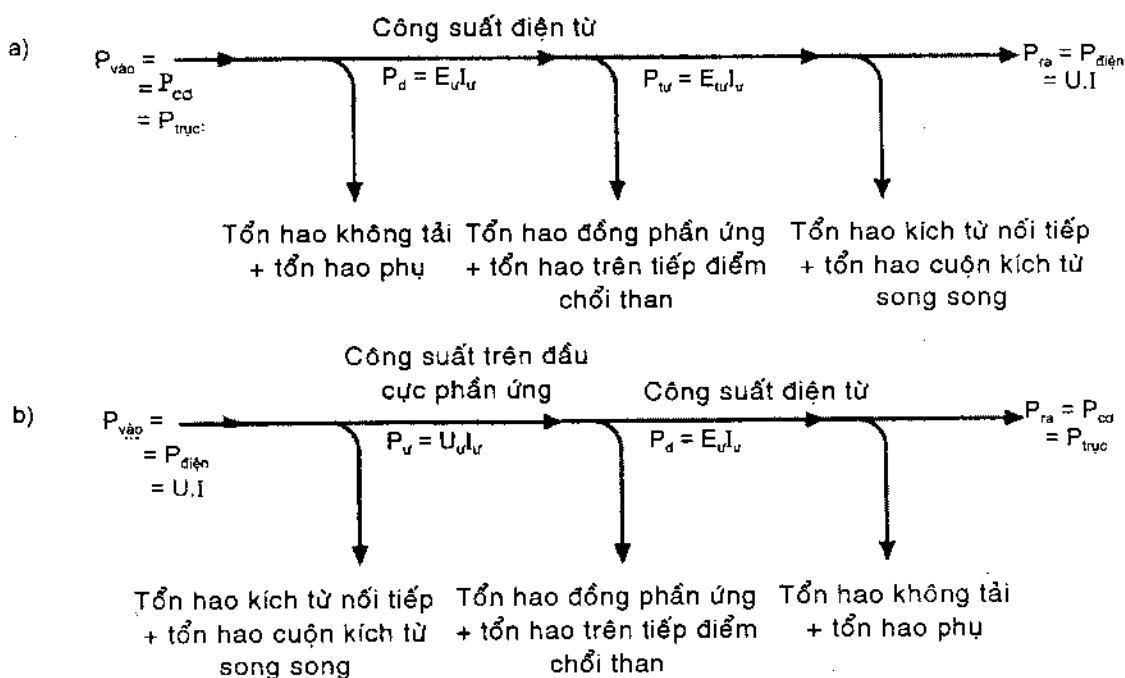
Xem xét sơ đồ mạch thay thế của máy điện một chiều kích thích hỗn hợp ở

hình vẽ 9.22c. Hình 9.30a vẽ giản đồ năng lượng của loại máy phát này. Công suất đầu vào là công suất cơ hay còn gọi là công suất đầu trục. Tùy theo độ lớn của máy điện mà tổn hao không tải nằm trong khoảng $3\% \div 15\%$, tổn hao phụ chiếm khoảng 1% đối với máy có công suất lớn hơn 100 sức ngựa (máy nhỏ thường bỏ qua tổn hao phụ), tổn hao đồng trong mạch phần ứng chiếm khoảng $3\% \div 6\%$, tổn hao trong cuộn kích từ song song trong khoảng $1\% \div 5\%$, tổn hao do tiếp xúc chỗ chổi than khoảng $2I_u$. Nếu cuộn kích từ song song được kích từ độc lập thì tổn hao của nó không lấy từ động cơ sơ cấp nên phải tách riêng hình 9.30b vẽ giản đồ năng lượng của động cơ một chiều kích từ hỗn hợp. Đầu vào là công suất điện còn đầu ra là công suất cơ. Hiệu suất của máy điện một chiều được xác định theo:

$$\eta = \frac{P_{ra}}{P_{vào}} \quad (9.58)$$

Do: $P_{ra} = P_{vào} - \Sigma P_{tổn\ hao}$ (9.59)

nên: $\eta = 1 - \frac{\Sigma P_{tổn\ hao}}{P_{vào}}$ (9.60)



Hình 9.30. Giản đồ năng lượng trong máy điện một chiều

a) Máy phát; b) Động cơ.

Hiệu suất tính theo đơn vị phần trăm:

$$\% \eta = \left(1 - \frac{\Sigma P_{tổn\ hao}}{P_{vào}} \right) \cdot 100 \quad (9.61)$$

Hiệu suất cực đại tại một tốc độ xác định sẽ đạt được khi tổng tổn hao không tải

và tổn hao đồng trong cuộn kích từ song song bằng tổn hao đồng trong dây quấn phần ứng. Hiệu suất phần trăm có thể tính bằng:

$$\% \eta = \frac{P_{ra}}{P_{ra} + \Sigma P_{tổn hao}} 100 \quad (9.62)$$

Ví dụ 9.4

Một động cơ một chiều kích từ độc lập có các thông số sau: $n = 1000$ vòng/phút, dòng điện tải 100 A, điện áp trên đầu cực là 240V, điện trở dây quấn phần ứng là $0,1\Omega$. Hãy xác định:

- Mômen điện từ.
- Tốc độ quay của rôto và dòng điện tải nếu mômen tăng gấp đôi, biết kích từ là không đổi.

Lời giải:

- Theo công thức 9.8

$$E_u = U - I_u R_u - 2 = 240 - 100 \cdot 0,1 - 2 = 228V$$

Tốc độ theo đơn vị rad/giây:

$$\omega_m = 1000 \cdot \frac{2\pi}{60} = 104,72 \text{ rad/giây.}$$

Từ công thức 9.2: $E_u = K_u \Phi_d \omega_m$

suy ra:
$$K_u \Phi_d = \frac{E_u}{\omega_m} = \frac{228}{104,72} = 2,1772$$

Mômen điện từ bằng:

$$M_{dt} = K_u \Phi_d I_u = 2,1772 \cdot 100 = 217,72 \text{ N.m}$$

- Khi $M_{dt} = 2 \cdot 217,72 = 435,44 \text{ Nm}$

$$I_u = \frac{M_{dt}}{K_u \Phi_d} = \frac{435,44}{2,1772} = 200 \text{ A}$$

Tốc độ tương ứng của động cơ là

$$\omega_m = \frac{E_u}{K_u \Phi_d} = \frac{U - I_u R_u}{K_u \Phi_d} = \frac{240 - 200 \cdot 0,1}{2,1772} = 101,05 \text{ rad/giây}$$

hay:
$$n = 101,05 \cdot \frac{60}{2\pi} = 964,96 \text{ vòng/phút}$$

Ví dụ 9.5

Một động cơ một chiều kích từ song song 250V, 25 mã lực, dòng điện tải định mức 83A. Điện trở phần ứng là $0,1\Omega$, điện trở cuộn kích từ là 108Ω . Điện áp rơi trên chổi than là 2V, tổng tổn hao cơ và tổn hao lõi sắt là 650W, hãy xác định:

- Tổn hao trong cuộn kích từ.
- Tổn hao trong dây quấn phần ứng.

- c) Tổng tổn hao trong động cơ.
- d) Hiệu suất của động cơ.

Lời giải:

Công suất đầu vào:

$$P_{\text{vào}} = UI = 250 \cdot 83 = 20750 \text{ W}$$

a) Tổn hao trong dây quấn kích từ:

$$P_t = I_t^2 R_t = UI_t = \frac{U^2}{R_t} = \frac{250^2}{108} = 579 \text{ W}$$

Dòng điện kích từ:

$$I_t = \frac{P_t}{U_t} = \frac{579}{250} = 2,316 \text{ A}$$

b) Khi tải định mức, dòng điện phản ứng là;

$$I_u = I - I_t = 83 - 2,316 = 80,684 \text{ A}$$

Tổn hao trong dây quấn phần ứng là;

$$P_u = I_u^2 R_u = 80,684^2 \cdot 0,1 = 651 \text{ W}$$

Tổn hao do tiếp xúc chổi than:

$$P_{tx} = 2I_u = 2 \cdot 80,684 = 161,4 \text{ W}$$

c) Khi tổn hao không tải bằng 650W, tổng tổn hao trong động cơ là;

$$\Sigma P_{\text{tổn hao}} = P_t + P_u + P_{tx} + P_0 = 579 + 651 + 161,4 + 650 = 2041,4 \text{ W}$$

d) Hiệu suất của động cơ:

$$\% \eta = \left(1 - \frac{\Sigma P_{\text{tổn hao}}}{P_{\text{vào}}} \right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{2041,4}{20750} \right) \cdot 100 = 90,16\%$$

9.20. ĐẶC TÍNH ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU

Máy điện một chiều có thể được sử dụng hoạt động ở hai chế độ: máy phát, hoặc động cơ. Trong thực tế, trong một vài ứng dụng máy điện một chiều hoạt động luân phiên cả chế độ động cơ và máy phát. Tuy nhiên có sự khác nhau về mặt thiết kế, phụ thuộc vào việc máy điện một chiều được sử dụng chủ yếu là động cơ hay máy phát. Không như máy phát điện một chiều, động cơ một chiều vẫn được sử dụng rất nhiều trong công nghiệp bởi vì những đặc tính vận hành tốt của chúng.

9.20.1. Điều chỉnh tốc độ

Động cơ một chiều có khả năng điều chỉnh tốc độ rất tốt. Khả năng điều chỉnh tốc độ của động cơ được định nghĩa như sau:

$$\text{Khả năng điều chỉnh tốc độ} = \frac{\omega_0 - \omega_{dm}}{\omega_{dm}} \quad (9.63)$$

Khả năng điều chỉnh tốc độ phần trăm tính bằng:

$$\% \text{ khả năng điều chỉnh tốc độ} = \frac{\omega_0 - \omega_{dm}}{\omega_{dm}} \cdot 100 \quad (9.64)$$

Trong đó ω_0 – Tốc độ góc khi không tải tính bằng đơn vị rad/giây

ω_{dm} – Tốc độ góc khi tải định mức tính bằng đơn vị rad/giây.

Nếu tốc độ được tính theo đơn vị vòng/phút thì khả năng điều chỉnh tốc độ phần trăm của động cơ tính theo công thức

$$\% \text{ khả năng điều chỉnh tốc độ} = \left(\frac{n_0 - n_{dm}}{n_{dm}} \right) \cdot 100 \quad (9.65)$$

Độ lớn của khả năng điều chỉnh tốc độ thể hiện độ dốc của đặc tính cơ (mômen-tốc độ).

9.20.2. Đặc tính tốc độ – dòng điện

Nói chung, các động cơ được thiết kế để tạo ra một công suất định mức tương ứng với một tốc độ định mức. Do sức điện động cảm ứng là hàm số tỷ lệ với vận tốc góc:

$$E_u = K_u \Phi_d \omega_m \quad (9.66)$$

nên vận tốc góc ω_m có thể biểu diễn bằng:

$$\omega_m = \frac{E_u}{K_u \Phi_d} \quad (9.67)$$

Thay thế công thức (9.66) vào công thức (9.67) sẽ có biểu thức tốc độ góc của trục động cơ :

$$\omega_m = \frac{U - I_u R_u}{K_u \Phi_d} \quad (9.68)$$

Công thức này được gọi là công thức tốc độ động cơ. Tốc độ động cơ một chiều phụ thuộc vào điện áp trên đầu cực U, dòng điện phần ứng I_u , điện trở phần ứng R_u , và từ thông của mỗi cực từ Φ_d . K_u là hằng số thiết kế và không đổi khi điều chỉnh tốc độ. Công thức (8.68) có thể viết lại như sau:

$$\omega_m = \frac{U}{K_u \Phi_d} - \frac{I_u R_u}{K_u \Phi_d} \quad (9.69)$$

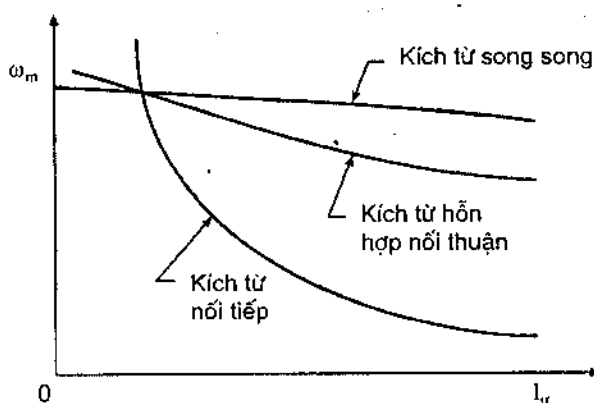
Do số hạng thứ hai bằng không khi không tải nên tốc độ là:

$$\omega_0 = \frac{U}{K_u \Phi_d} \quad (9.70)$$

Trong thực tế, khi không tải, dòng điện phần ứng là khác không, khoảng 5% dòng điện định mức do có tổn hao không tải. Với dòng điện phần ứng đã cho, tốc độ của động cơ một chiều sẽ giảm xuống khi tăng điện trở mạch phần ứng. Theo công thức (9.68) có thể điều chỉnh tốc độ của động cơ bằng cách giảm từ thông (cụ thể là đưa thêm biến trở vào mạch kích từ). Phương pháp này có ưu điểm là điều chỉnh trơn và hiệu quả khi điều chỉnh từ tốc độ định mức tới tốc độ lớn nhất mà độ bền cơ của

động cơ cho phép. Tuy nhiên, nếu mạch kích từ bị hở mạch do xảy ra sự cố, từ thông sẽ đột ngột bị giảm tới giá trị rất nhỏ. Khi đó, nếu phần ứng không được hở mạch kịp thời, tốc độ của động cơ sẽ tăng tới giá trị rất cao, rất nguy hiểm và động cơ có thể bị phá hủy trong vài giây do dây quấn trong các rãnh hoặc các phiến góp sẽ bị văng ra ngoài do lực ly tâm quá lớn. Khi từ thông giảm đột ngột, sức phản điện động cảm ứng cũng giảm tới giá trị rất nhỏ, do đó dòng điện phần ứng sẽ tăng tới giá trị rất lớn. Điều đó sẽ xảy ra trước khi động cơ đạt tới tốc độ cao. Một cầu dao có thông số hợp lý phải được lắp vào mạch phần ứng để ngăn chặn sự cố trên. Tóm lại, cuộn kích từ của động cơ kích từ song song không được phép hở mạch khi động cơ đang hoạt động. Nếu không, động cơ sẽ bị lồng tốc và bị phá hủy trong vòng vài giây!

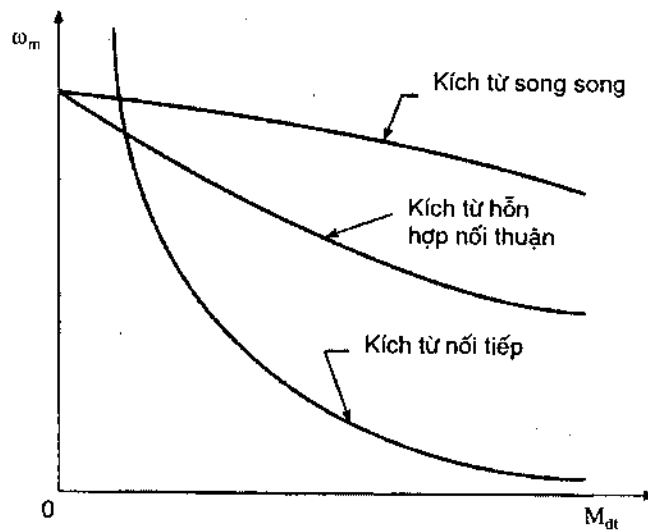
Tương tự, khi ngắt tải ra khỏi động cơ kích từ nối tiếp, từ thông của động cơ sẽ giảm đi. Nếu tất cả các tải cơ đều bị ngắt ra khỏi trục động cơ thì từ thông cực từ giảm tới giá trị gần như bằng không, và tốc độ của động cơ sẽ tăng nhanh tới giá trị cao nguy hiểm cho tới khi động cơ bị phá hủy. Do vậy, động cơ kích từ nối tiếp không bao giờ được chạy không tải! Động cơ kích từ nối tiếp cũng không nên nối với tải cơ bằng dây đai vì dễ bị đứt hoặc trượt. Hình 9.31 miêu tả đặc tính tốc độ – dòng điện của động cơ kích từ song song, kích từ nối tiếp, và kích từ hỗn hợp nối thuận.



Hình 9.31. Đặc tính tốc độ – dòng điện.

9.20.3. Đặc tính cơ

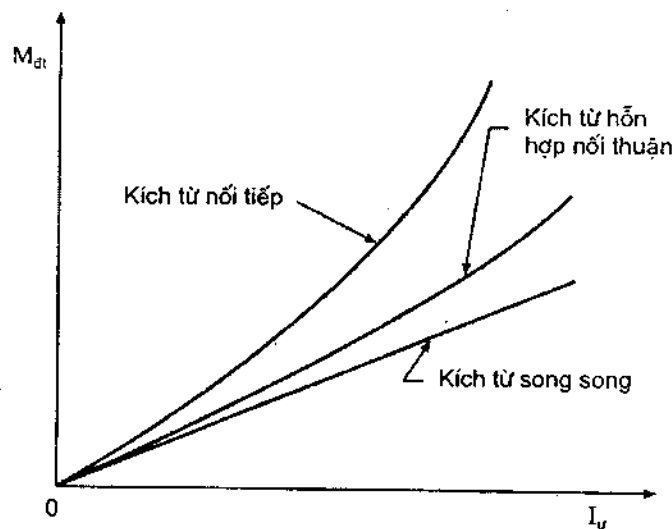
Hình 9.32 biểu diễn đặc tính cơ (tốc độ – mômen) $\omega_m = f(M_{dt})$ của động cơ kích từ song song, kích từ nối tiếp, và kích từ hỗn hợp nối thuận. Tốc độ của động cơ kích từ song song thay đổi rất ít (trong thực tế, nhỏ hơn 5% đối với động cơ công suất lớn và nhỏ hơn 8% đối với động cơ công suất nhỏ). Tốc độ của động cơ kích từ nối tiếp thay đổi rất lớn khi tải hay mômen tải thay đổi. Thế nhưng, đặc tính của động cơ kích từ hỗn hợp nối thuận là sự kết hợp đặc tính của động cơ kích từ song song và động cơ kích từ nối tiếp. Không giống động cơ kích từ nối tiếp, động cơ kích từ hỗn hợp có một tốc độ nhất định khi không tải và có thể hoạt động an toàn khi không tải. Khi tải hoặc mômen tải tăng lên, từ thông tăng lên làm tốc độ động cơ kích từ nối tiếp giảm nhiều hơn so với động cơ kích từ song song.



Hình 9.32. Đặc tính cơ.

9.20.4. Đặc tính mômen – dòng điện

Hình 9.33 thể hiện đặc tính mômen – dòng điện $M_{dt} = f(I_u)$ của động cơ kích từ nối tiếp, song song, hỗn hợp nối thuận. Động cơ kích từ nối tiếp có mômen lớn nhất so với động cơ kích từ song song và động cơ kích từ hỗn hợp nối thuận khi có cùng một dòng điện phần ứng. Động cơ kích từ nối tiếp có mômen khởi động lớn, thích hợp để khởi động với tải nặng ở tốc độ thấp.



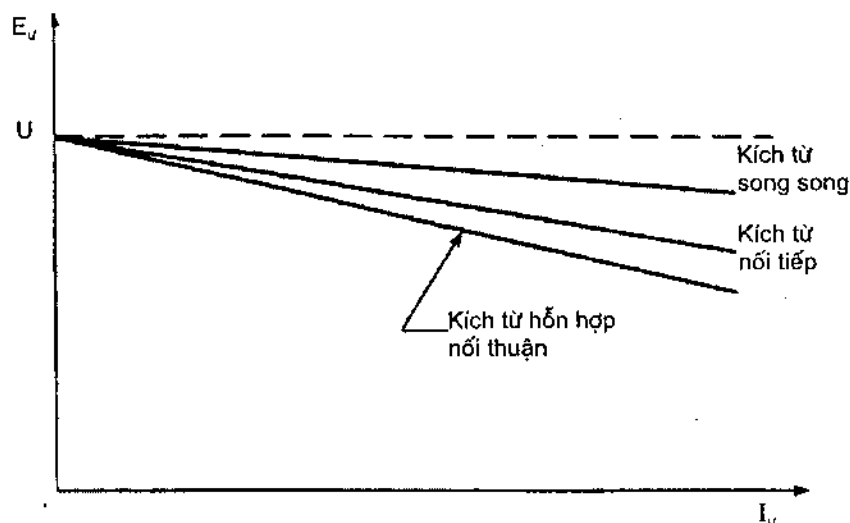
Hình 9.33. Đặc tính mômen – dòng điện.

9.20.5. Đặc tính sức điện động – dòng điện

Hình vẽ 9.34 thể hiện đặc tính giữa sức điện động với dòng điện phần ứng $E_u = f(I_u)$ của động cơ kích từ song song, nối tiếp, hỗn hợp nối thuận. Trong động cơ, sức điện động này còn có tên là sức phản điện động. Sức điện động sẽ giảm khi tải tăng vì điện áp rơi trong phần ứng $I_u \sum R_u$ tăng lên. Trong động cơ kích từ nối tiếp và

hỗn hợp, điện trở mạch phản ứng $\sum R_u$ là tổng của điện trở dây quấn phản ứng R_u và điện trở của cuộn dây kích từ nối tiếp R_{nt} . Do đó:

$$\sum R_u = R_u + R_{nt} \quad (9.71)$$



Hình 9.34. Đặc tính sức điện động – dòng điện phản ứng.

Tuy nhiên, trong động cơ kích từ song song điện trở mạch phản ứng bằng điện trở dây quấn phản ứng, nghĩa là:

$$\sum R_u = R_u \quad (9.72)$$

Ví dụ 9.6

Một máy điện một chiều kích từ độc lập cho trong ví dụ 9.3 được sử dụng làm động cơ kích từ song song kéo một tải cơ. Dòng kích từ của động cơ giữ ở giá trị không đổi bằng 2A. Dòng điện định mức của máy là 100A. Dùng một bộ chỉnh lưu có điều khiển đặt điện áp vào đầu cực động cơ lần lượt là 150V, 200V, 250V. Hãy xác định:

- Mômen điện từ ứng với dòng định mức 100A.
- Tốc độ không tải lý tưởng (vòng/phút).
- Tốc độ định mức (vòng/phút).
- Vẽ đặc tính mômen – dòng điện của động cơ dựa trên kết quả tìm được ở phần a.
- Vẽ đặc tính tốc độ – dòng điện của động cơ dựa trên kết quả tìm được ở phần b, c.

Lời giải:

a) Từ đường cong từ hoá được vẽ, ứng với tốc độ định mức $n_{th} = 1200$ vòng/phút, dòng kích từ $I_t = 2A$, ta tra bảng 9.1 được giá trị sức điện động $E_{u(th)} = 235V$. Tuy nhiên, khi tại tốc độ khác là n_m thì sẽ có sức điện động tương ứng E_u . Do đó, từ công

thức (9.15) ta có:

$$\frac{E_u}{E_{u(th)}} = \frac{\omega_m}{\omega_{th}}$$

hay:

$$\frac{E_u}{\omega_m} = \frac{E_{u(th)}}{\omega_{th}}$$

Vế phải của công thức trên mô tả kích từ không đổi theo trục d.

Từ công thức: $E_u = K_u \Phi_d \omega_m$

suy ra: $K_u \Phi_d = \frac{E_u}{\omega_m}$

Mômen điện từ bằng:

$$M_{dt} = K_u \Phi_d I_u = \left(\frac{E_u}{\omega_m} \right) \cdot I_u = \left(\frac{E_{u(th)}}{\omega_{th}} \right) \cdot I_u$$

$$\text{Khi tải định mức: } M_{dt} = \frac{235 \cdot 100}{1200 \cdot \frac{2\pi}{60}} = 187 \text{ Nm}$$

b) Từ: $\frac{E_u}{E_{u(th)}} = \frac{\omega_m}{\omega_{th}}$

hay: $\frac{E_u}{E_{u(th)}} = \frac{n_m}{n_{th}}$

suy ra: $n_m = \left(\frac{E_u}{E_{u(th)}} \right) \cdot n_{th}$

trong đó $n_{th} = 1200$ vòng/phút, $E_u = 235V$ tra được từ đường cong từ hoá khi dòng kích từ giữ không đổi bằng 2A. Khi không tải, điện áp trên đầu cực và sức điện động bằng nhau $U = E_u = 150V$. Tốc độ không tải lý tưởng bằng:

$$n_0 = \left(\frac{150}{235} \right) \cdot 1200 = 766 \text{ vòng/phút.}$$

Các tốc độ không tải lý tưởng khác ứng với điện áp trên đầu cực 200V và 250V được đưa vào bảng 9.3.

BẢNG 9.3

U (V)	$I_u = 100 \text{ A}$ $\sum R_u = 0,1$ $\sum I_u \cdot R_u$	$I_u = 0 \text{ A}$ $E_{u,0} \text{ (V)}$	$I_u = 100 \text{ A}$ $E_{u,dm} \text{ (V)}$	$I_t = 2 \text{ A}$ $E_{u(th)} \text{ (V)}$	$I_u = 0 \text{ A}$ n_0 (vòng/phút)	$I_u = 100 \text{ A}$ n_{dm} (vòng/phút)
150	10	150	138	235	766	705
200	10	200	188	235	1021	960
250	10	250	238	235	1277	1215

c) Tương tự, tốc độ định mức bằng:

$$n_{dm} = \left(\frac{E_{u,dm}}{E_{u(th)}} \right) \cdot n_{th}$$

trong đó sức điện động bằng:

$$E_{u,dm} = U - \sum I_u R_u - 2$$

Nếu điện áp đặt vào là $U = 150V$, sức điện động bằng:

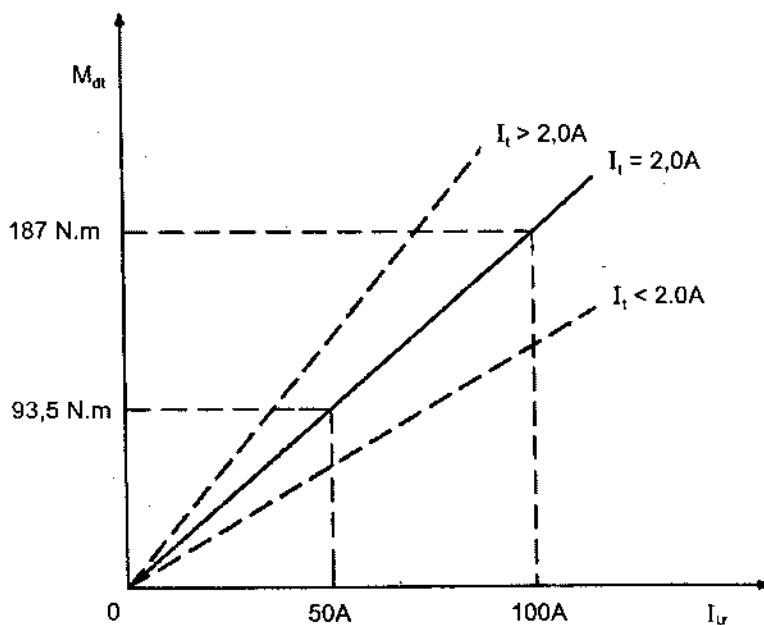
$$E_{u,dm} = 150 - 100 \cdot 0,1 - 2 = 138V$$

Tốc độ định mức là:

$$n_{dm} = \left(\frac{138}{235} \right) \cdot 1200 = 705 \text{ vòng/phút}$$

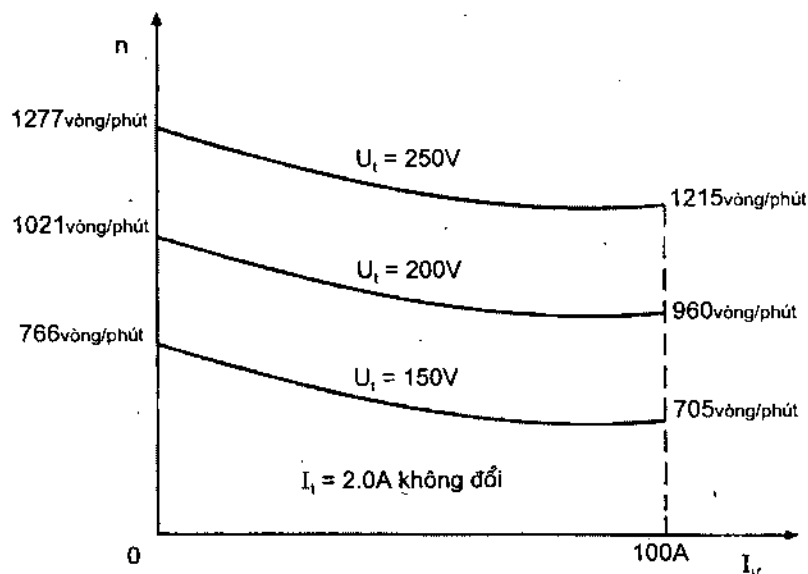
Những tốc độ định mức ứng với điện áp cấp cho động cơ 200V, 250V cho trong bảng 9.3.

d) Hình 9.35 vẽ đặc tính mômen – dòng điện dựa trên kết quả tìm được ở câu a). Chú ý là nếu dòng kích từ tăng lên, độ dốc của đường đặc tính cũng tăng lên và động cơ tạo ra được mômen lớn hơn. Tương tự, nếu dòng kích từ giảm thì độ dốc của đường đặc tính sẽ giảm, động cơ tạo ra mômen nhỏ hơn.



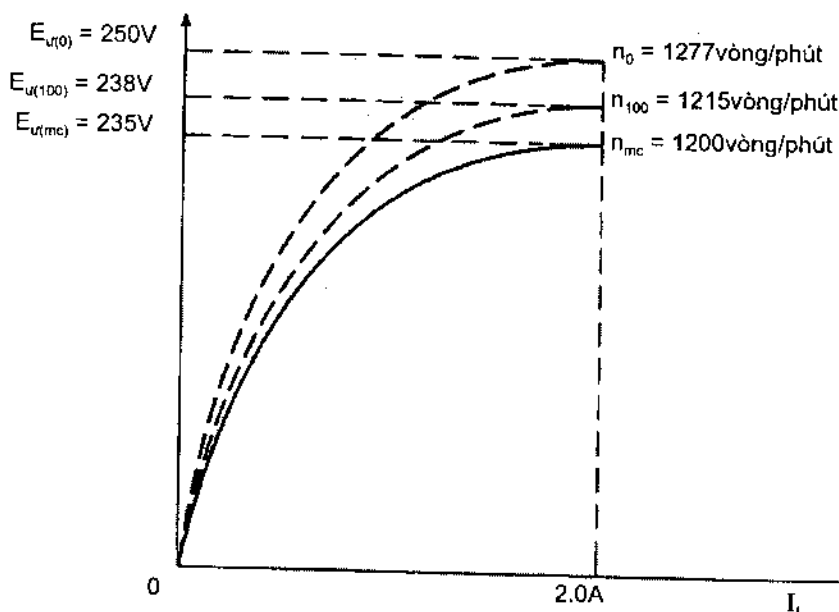
Hình 9.35. Đặc tính mômen – dòng điện.

e) Hình 9.36 vẽ đặc tính tốc độ – dòng điện dựa trên kết quả tìm được từ phần b) và c).



Hình 9.36. Đặc tính tốc độ – dòng điện.

Với mục đích so sánh, hình 9.37 vẽ đường cong từ hoá tại tốc độ không tải 1277 vòng/phút, tốc độ định mức 1215 vòng/phút, và tốc độ 1200 vòng/phút.



Hình vẽ 9.37. Đường cong từ hoá.

9.21. ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU

Tốc độ của một động cơ một chiều có thể được điều khiển tương đối dễ dàng trong một dải rộng trên và dưới tốc độ định mức. Tốc độ định mức là tốc độ có được khi điện áp phản ứng, từ thông cực từ, điện trở phản ứng là định mức. Các phương pháp điều khiển tốc độ động cơ một chiều thì đơn giản hơn và rẻ hơn so với động cơ xoay chiều. Theo công thức (9.68), tốc độ của một động cơ một chiều có thể được điều khiển bằng các phương pháp sau:

- Phương pháp điều khiển kích từ.
- Phương pháp thay đổi điện trở mạch phản ứng.
- Phương pháp điều khiển điện áp phản ứng.

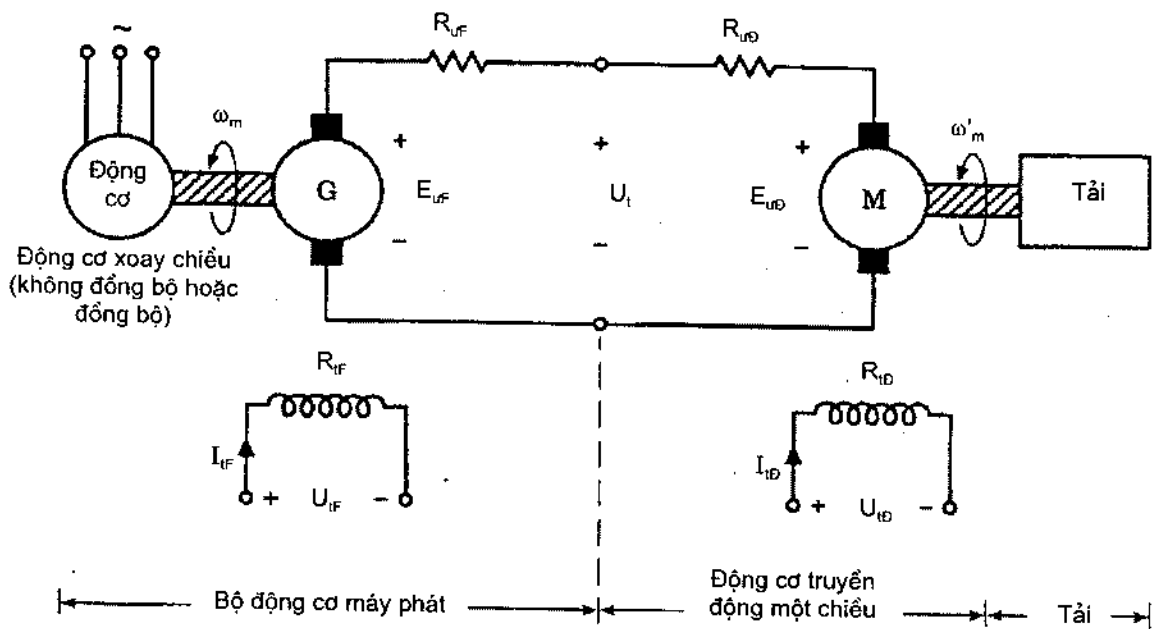
Phương pháp điều khiển kích từ là phương pháp đơn giản nhất, rẻ nhất, và áp dụng chủ yếu cho động cơ kích từ song song. Trong phương pháp này, điện trở mạch phản ứng R_u và điện áp trên đầu cực U được giữ không đổi và tốc độ được điều khiển bằng cách thay đổi dòng kích từ I_t . Khi giá trị của biến trở trong cuộn kích từ song song tăng lên, dòng kích từ giảm đi kéo theo sự suy giảm từ thông Φ_d và tốc độ sẽ tăng lên. Theo cách đó, sức điện động thay đổi không đáng kể khi tốc độ tăng lên. Tuy nhiên, mômen của động cơ bị giảm khi từ thông giảm. Phương pháp điều chỉnh tốc độ này còn được gọi là phương pháp điều chỉnh có công suất không đổi và nó rất thích hợp cho những truyền động có yêu cầu mômen lớn ở tốc độ thấp. Nếu động cơ

là kích từ nối tiếp, điều khiển tốc độ trên tốc độ định mức có thể đạt được bằng cách thêm một điện trở rẽ nhánh mắc song song với cuộn kích từ nối tiếp để làm cho dòng điện kích từ nhỏ hơn dòng điện phản ứng. Nếu động cơ là kích từ độc lập, bộ chỉnh lưu bán dẫn có thể dùng mà không gây ra sự thay đổi nào trong tổn hao của động cơ.

Trong phương pháp thay đổi điện trở phản ứng, điện áp trên đầu cực phản ứng U và dòng điện kích từ I_k được duy trì ở giá trị không đổi tại các giá trị định mức của chúng. Tốc độ của động cơ được điều khiển bằng cách thay đổi điện trở mạch phản ứng, cụ thể là thêm một biến trở ngoài mắc nối tiếp với phản ứng. Mặc dù phương pháp này cũng có thể được áp dụng cho động cơ kích từ hỗn hợp và kích từ nối tiếp nhưng áp dụng dễ dàng nhất là đối với động cơ kích từ song song. Phương pháp điều khiển điện trở phản ứng có ưu điểm là dễ thực hiện, chỉ cần đầu tư vốn ban đầu ít, nhưng có nhược điểm là tổn hao công suất khá lớn, hiệu suất thấp bởi vì toàn bộ dòng điện phản ứng chạy qua biến trở gây ra tổn thất nhiệt lớn. Ngày nay, phương pháp điều khiển này vẫn được sử dụng trong nhiều phương tiện giao thông. Biến trở trong mạch phản ứng có thể được dùng để khởi động và điều khiển tốc độ động cơ. Phạm vi tốc độ bắt đầu từ giá trị bằng không.

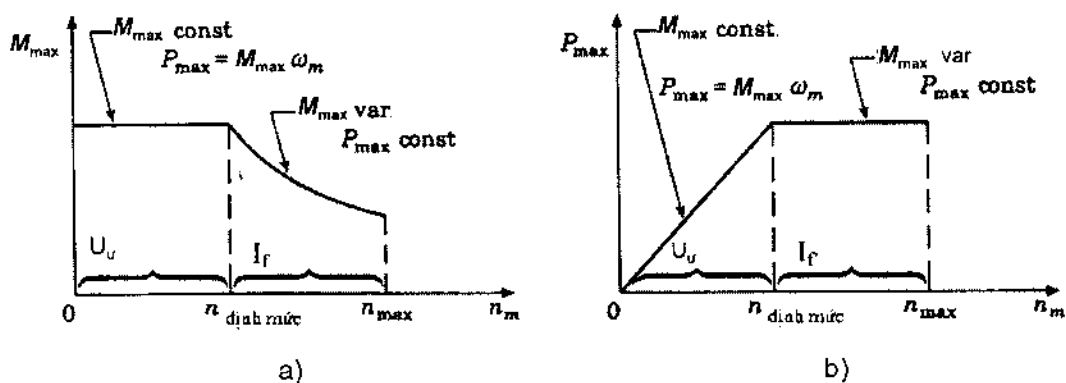
Trong phương pháp điều khiển điện áp phản ứng, điện trở mạch phản ứng R_a và dòng điện kích từ I_k được giữ không đổi, tốc độ được điều khiển bằng cách thay đổi điện áp trên đầu cực phản ứng U . Đây là phương pháp linh hoạt nhất trong các phương pháp điều khiển tốc độ động cơ, khắc phục được những nhược điểm như dải điều chỉnh tốc độ hẹp, hiệu suất thấp của phương pháp thay đổi điện trở phản ứng. Phương pháp này có thể được áp dụng cho động cơ kích từ song song, kích từ nối tiếp và kích từ hỗn hợp. Tốc độ dễ dàng được điều khiển từ giá trị bằng không tới giá trị lớn nhất mà giới hạn an toàn cho phép theo cả hai chiều thuận và ngược. Nguồn điện áp điều khiển có thể lấy từ máy điện một chiều hoặc từ bộ chỉnh lưu có điều khiển. Nếu nguồn là một máy điện một chiều thì hệ thống điều khiển tốc độ được gọi là hệ thống Ward – Leonard.

Hình 9.38 vẽ hệ thống Ward – Leonard để điều khiển tốc độ động cơ một chiều. Động cơ không đồng bộ ba pha hoặc động cơ đồng bộ ba pha làm quay máy phát điện một chiều kích từ độc lập có phản ứng được nối trực tiếp với phản ứng của một động cơ một chiều kéo một tải cơ khí. Động cơ của tổ hợp động cơ – máy phát được đặt hoạt động ở tốc độ không đổi. Điện áp phản ứng của động cơ một chiều có thể được điều khiển bằng cách thay đổi dòng điện kích từ của máy phát một chiều. Do đó, phương pháp điều khiển điện áp phản ứng này cho phép điều khiển tốc độ từ giá trị rất nhỏ tới giá trị định mức. Nếu tốc độ động cơ cần điều chỉnh tới giá trị lớn hơn tốc độ định mức thì có thể điều khiển bằng cách giảm dòng điện kích từ I_{k0} trong động cơ.



Hình 9.38. Hệ thống Ward – Leonard để điều khiển tốc độ động cơ một chiều.

Hình vẽ 9.39 biểu diễn giới hạn mômen và công suất là hàm theo tốc độ của một động cơ kích từ song song kết hợp hai phương pháp điều khiển tốc độ bằng điện áp phản ứng và thay đổi điện trở kích từ. Trong dải tốc độ dưới tốc độ định mức, mômen là hằng số do từ thông và dòng điện phản ứng hầu như không thay đổi. Còn ở dải tốc độ trên tốc độ định mức thì lại có công suất không đổi. Trong trường hợp dòng điện kích từ I_{tF} của máy phát một chiều bị đổi chiều, cực tính của điện áp phản ứng máy phát cũng bị đảo chiều và kéo theo sự đảo chiều quay động cơ. Hệ thống Ward – Leonard có khả năng tạo ra một dải điều chỉnh tốc độ rộng theo cả hai chiều thuận và ngược. Tăng điện trở cuộn dây kích từ R_{tF} của máy phát đồng nghĩa với việc giảm dòng điện kích từ I_{tF} và sức điện động E_{uF} . Do đó, tốc độ của động cơ sẽ giảm theo. Điều ngược lại cũng đúng khi điện trở của cuộn kích từ máy phát R_{tF} bị giảm đi. Bằng cách tăng điện trở cuộn kích từ R_{tD} của động cơ sẽ làm giảm dòng điện kích từ I_{tD} và làm tăng tốc độ của động cơ. Khi giảm điện trở cuộn kích từ R_{tD} của động cơ sẽ làm tốc độ của động cơ giảm xuống. Hơn nữa, hệ thống Ward – Leonard còn có khả năng đóng vai trò “tái sinh”, có nghĩa là trả năng lượng tích lũy trong máy điện đưa về lưới. Ví dụ, khi động cơ trong hệ thống Ward – Leonard kéo một tải thế năng nặng, đầu tiên đi lên sau đó hạ xuống thì động cơ sẽ bắt đầu đóng vai trò như máy phát khi đi xuống, khi đó nó sử dụng mômen cản để hãm. Trong điều kiện như vậy “máy phát” sẽ tự bắt đầu hoạt động ở chế độ động cơ, kéo máy điện đồng bộ phát ra điện trả về lưới điện xoay chiều. Phương pháp này gọi là tái sinh.



Hình 9.39. Giới hạn mômen

a) Công suất; b) Hàm theo tốc độ của động cơ kích từ song song kết hợp hai phương pháp điều khiển tốc độ bằng cách thay đổi điện áp phần ứng và điện trở kích từ.

Khi động cơ truyền động một chiều đang hoạt động, nếu điện áp U đột ngột giảm tới giá trị nhỏ hơn giá trị sức phản điện động của động cơ, dòng điện phần ứng sẽ bị đổi chiều và động cơ đóng vai trò là một máy phát, máy phát một chiều lại đóng vai trò là động cơ. Người ta gọi hiện tượng trên là hãm động năng với mục đích dừng nhanh động cơ.

Tóm lại, ưu điểm chính của của hệ thống Ward – Leonard là tốc độ được điều chỉnh trong một dải rộng mà tổn thất công suất không lớn do đó hệ thống có hiệu suất cao ở tất cả mọi tốc độ. Hệ thống này thỏa mãn dải điều chỉnh từ tốc độ lớn nhất đến tốc độ nhỏ nhất (từ 40 tới 1), nhưng còn có thể được điều chỉnh cho những dải tốc độ lớn hơn. Nhược điểm của hệ thống là phải cần một hệ động cơ – máy phát cho mỗi một động cơ truyền động, thay vì một máy điện, chúng ta cần phải sử dụng tới ba máy điện và như vậy làm chi phí đầu tư ban đầu lớn. Nếu động cơ làm việc với tải nhẹ trong thời gian dài thì tổn thất công suất trong hệ máy phát – động cơ sẽ rất cao. Điều này là không có lợi do sự tham gia của nhiều quá trình biến đổi năng lượng. Trong những năm gần đây, dưới sự phát triển của điện tử công suất, các bộ chỉnh lưu silic đã được sử dụng nhiều để điều khiển tốc độ động cơ một chiều với độ chính xác cao. Tuy nhiên, chúng ta không nghiên cứu chúng trong quyển sách này.

9.22. KHỞI ĐỘNG ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU

Chỉ những động cơ một chiều có công suất nhỏ hơn một sức ngựa mới được phép đóng điện trực tiếp vào lưới khi khởi động, nhưng những động cơ này phải có mômen quán tính rất nhỏ. Bất kỳ động cơ một chiều nào có công suất lớn hơn một sức ngựa đều cần một thiết bị khởi động để bảo vệ mạch phần ứng khỏi quá dòng quá trình khởi động. Thông thường, điện trở phần ứng trong hệ đơn vị tương đối của động cơ một chiều R_u^* vào khoảng $0,05\Omega$. Nếu động cơ được đóng trực tiếp vào lưới có điện áp định mức $U_{u, \text{đm}}$, dòng điện khởi động trong phần ứng là:

$$I_{u,kd} = \frac{U_u}{R_u} = \frac{U_{u,dm}}{R_u} \quad (9.73)$$

$$\text{do:} \quad R_u^* = \frac{R_u}{R_{u,dm}} \quad (9.74)$$

$$\text{nên:} \quad R_u = R_u^* \cdot R_{u,dm} \quad (9.75)$$

$$\text{Do đó:} \quad I_{u,kd} = \frac{U_{u,dm}}{R_u^* \cdot R_{u,dm}} \quad (9.76)$$

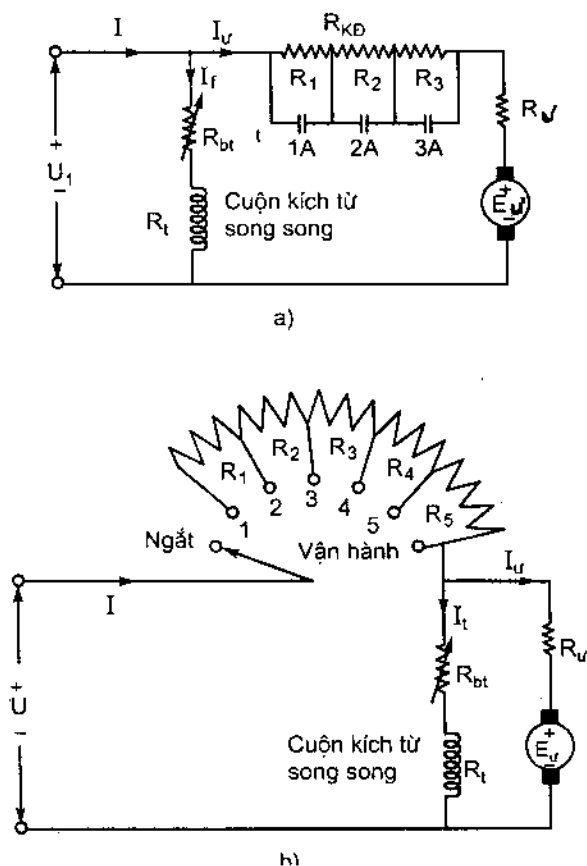
$$\text{hay:} \quad I_{u,kd} = \frac{I_{u,dm}}{R_u^*} \quad (9.77)$$

trong đó, $I_{u,dm}$ là dòng điện phản ứng định mức và R_u^* là điện trở phản ứng tương đối. Thông thường:

$$R_u^* = 0,05 \text{ nên } I_{u,kd} = \frac{I_{u,dm}}{0,05} = 20I_{u,dm} \quad (9.78)$$

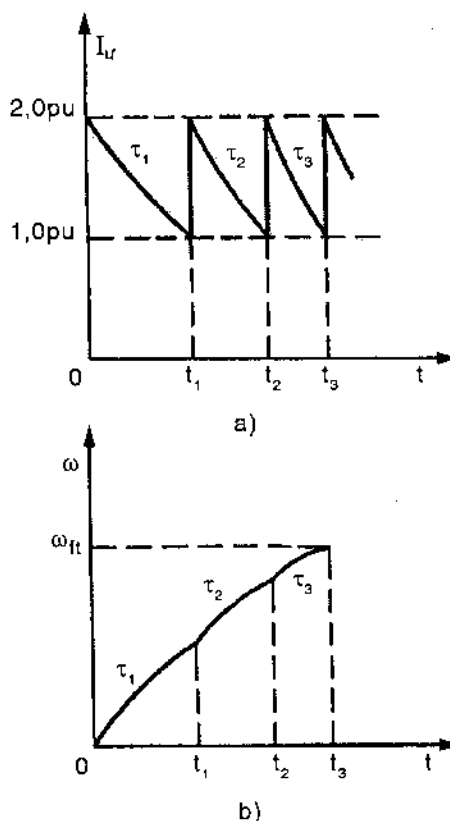
Như vậy, dòng điện phản ứng khi khởi động của một động cơ một chiều lớn gấp 20 lần dòng điện định mức phản ứng. Điều này là do khi bắt đầu khởi động, động cơ vẫn còn đứng im và sức phản điện động bằng không. Cho nên, dòng phản ứng khi khởi động chỉ bị hạn chế bởi điện trở của mạch phản ứng.

Ngoại trừ các động cơ rất nhỏ, động cơ một chiều được khởi động qua một biến trở bên ngoài mắc nối tiếp với mạch phản ứng để hạn chế dòng khởi động tới giá trị (khoảng từ 1,5 tới 2 lần dòng định mức) mà động cơ có thể làm việc bình thường mà không xảy ra hư hỏng. Điện trở khởi động được tách ra khỏi mạch phản ứng bằng tay hoặc tự động khi động cơ đạt được tốc độ nhất định. Để có được mômen khởi động cực đại, động cơ kích từ song song và kích từ hỗn hợp thường được khởi động với dòng kích từ định mức (điện áp định mức của lưới đặt vào cuộn kích từ, biến trở trong mạch kích từ đặt bằng không). Dĩ nhiên là động cơ kích từ nối tiếp luôn luôn khởi động với tải. Hình 9.40a miêu tả cách khởi động động cơ kích từ song song bằng bộ khởi động. Hình 9.40b miêu tả cách khởi động động cơ một chiều dùng điện trở khởi động và công tắc tơ tăng tốc. Điện trở khởi động trong mỗi trường hợp đều gồm nhiều phần mắc nối tiếp nhau, mỗi phần này sẽ lần lượt bị cắt ra khỏi mạch phản ứng khi tốc độ động cơ tăng lên. Điều này đã giới hạn dòng điện phản ứng của động cơ ở giá trị an toàn và để tăng tốc nhanh, nó không cho phép dòng điện giảm xuống tới giá trị quá nhỏ (hình 9.41). Khi điện trở phản ứng bị giảm theo từng cấp tương ứng, tốc độ của động cơ tăng theo, nhưng cần một khoảng thời gian nhỏ để đạt được tốc độ tiệm cận (gia tốc bằng không) và giảm dòng điện của động cơ tới giá trị xấp xỉ định mức. Số cấp tăng tốc phụ thuộc vào công suất của động cơ. Theo đó, những động cơ lớn có quán tính lớn cần nhiều cấp khởi động hơn và thời gian trong mỗi cấp cần dài hơn để đạt tới tốc độ tiệm cận đã cho.



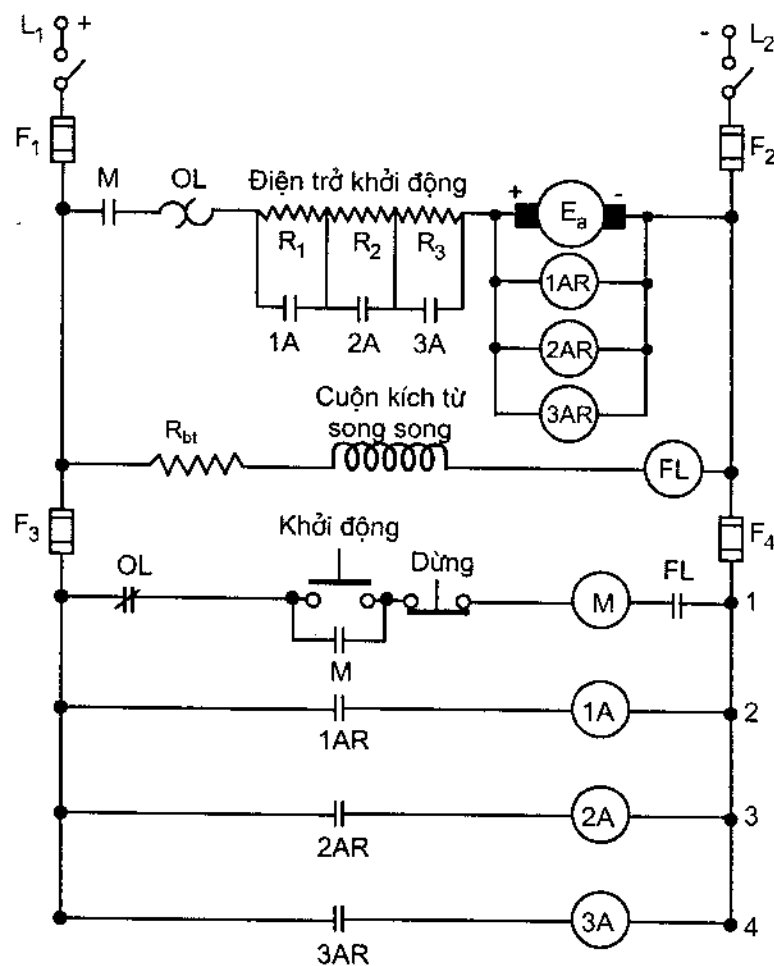
Hình vẽ 9.40. Khởi động động cơ một chiều

- a) Bộ khởi động động cơ một chiều bằng tay;
b) Điện trở khởi động và công tắc tơ tăng tốc.

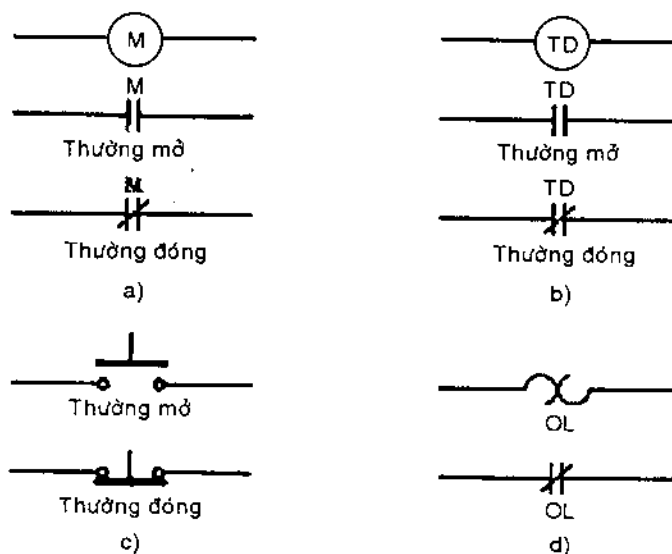


Hình 9.41. a) Đồ thị dòng điện phản ứng theo thời gian;
b) Đồ thị tốc độ theo thời gian trong quá trình khởi động động cơ một chiều.

Hình 9.42 vẽ sơ đồ đơn giản khởi động tự động động cơ một chiều dùng rơle “sức phản điện động”. Nguyên tắc hoạt động của nó như sau: khi tốc độ của động cơ tăng lên, sức phản điện động E_u cũng tăng theo từ giá trị ban đầu bằng không và làm giảm dòng điện phản ứng. Các phần của điện trở khởi động lần lượt được cắt ra khỏi mạch phản ứng khi sức phản điện động tăng. Khi E_u đã tăng tới giá trị tương đối lớn thì điện trở khởi động được ngắt mạch hoàn toàn và động cơ được nối trực tiếp với lưới. Hình 9.43 vẽ một số ký hiệu sử dụng trong mạch khởi động tự động. Bộ khởi động tự động trong hình 9.42 được vận hành đơn giản bằng cách ấn nút. Mạch kích từ có một rơ le ký hiệu là FL gọi là rơle chống mất kích từ. Nếu dòng kích từ bị mất, rơle chống mất kích từ sẽ tác động và cắt điện của rơle M bằng cách tác động lại lên tiếp điểm thường mở FL sau khi ấn nút khởi động. Do vậy tiếp điểm thường mở M trong mạch phản ứng bị ngắt ra. Ba rơle nối song song với phần ứng gọi là rơle tăng tốc AR. Chúng là những rơle tác động nhanh, có các tiếp điểm nằm trong nhánh điều khiển 2, 3 và 4 (hình 9.42). Các rơle điều khiển được ký hiệu là 1A, 2A, và 3A nằm trên các nhánh điều khiển 2, 3, và 4. Chúng sẽ ngắt mạch các cấp điện trở khởi động khi sức phản điện động của động cơ tăng lên. Động cơ được bảo vệ quá tải bằng một rơle nhiệt OL mắc trong mạch phản ứng, tiếp điểm thường đóng của nó trong nhánh điều khiển 1 sẽ mở ra khi động cơ quá tải và ngắt điện rơle chính M. Khi rơle M mất điện, tiếp điểm của nó trong mạch phản ứng bị mở ra và cắt động cơ khỏi lưới.



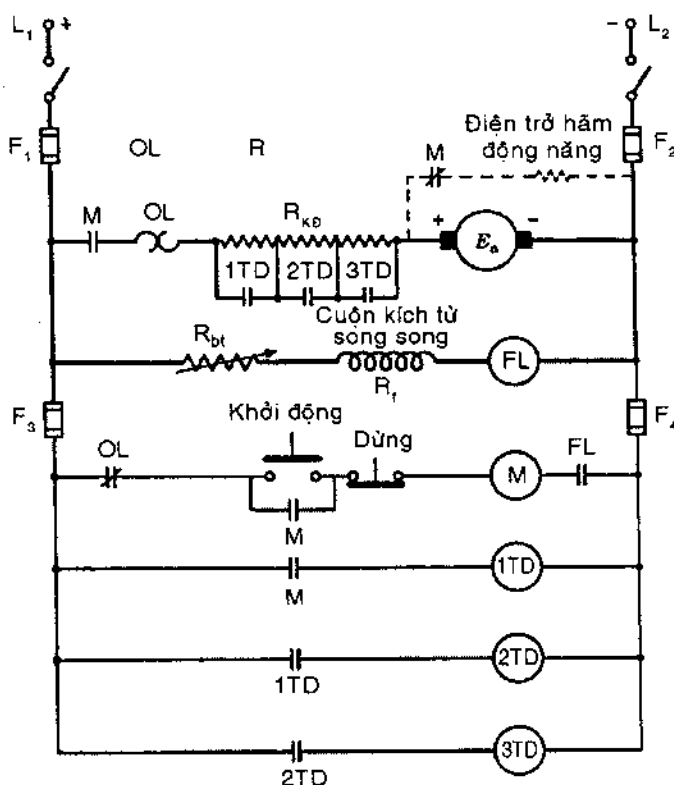
Hình 9.42. Bộ khởi động tự động động cơ một chiều dùng rơle “sức phản điện động”.



Hình 9.43. Các ký hiệu sử dụng trong sơ đồ của bộ khởi động tự động.

- a) Cuộn dây rơle và các tiếp điểm; b) Cuộn dây rơle thời gian trễ và các tiếp điểm;
c) Nút nhấn thường mở và thường đóng; d) Thiết bị bảo vệ quá nhiệt và tiếp điểm thường đóng của nó.

Hình 9.44 vẽ sơ đồ đơn giản một bộ khởi động tự động động cơ một chiều dùng rơle thời gian trễ. Nguyên lý là dùng rơle thời gian trễ điều chỉnh khoảng thời gian thích hợp để đóng các tiếp điểm và ngắt mạch từng phân đoạn của điện trở khởi động.



Hình vẽ 9.44. Bộ khởi động tự động động cơ một chiều sử dụng rơle thời gian trễ.

Ví dụ 9.7

Một động cơ một chiều có các thông số sau: công suất định mức 100kW, điện áp định mức 240V, dòng định mức 343A, điện trở phần ứng tương đối bằng 0,05. Hãy xác định:

- Giá trị định mức của điện trở phần ứng (Ω).
- Giá trị của điện trở phần ứng (Ω).
- Giá trị dòng điện phần ứng khi khởi động (A).
- Giá trị điện trở ngoài cần thiết thêm vào mạch phần ứng để dòng khởi động không vượt quá 2 lần giá trị dòng định mức.

Lời giải:

- Giá trị định mức của điện trở phần ứng:

$$R_{u, dm} = \frac{U_{u, dm}}{I_{u, dm}} = \frac{240}{343} = 0,6997 \Omega$$

- Giá trị điện trở phần ứng:

$$R_u = R_u^* \cdot R_{u, dm} = 0,05 \cdot 0,6997 = 0,035 \Omega$$

c) Giá trị dòng điện phần ứng khi khởi động:

$$I_{u,kd} = \frac{U_{u,dm} - E_u}{R_u} = \frac{240 - 0}{0,035} = 6860A$$

hoặc sử dụng trực tiếp công thức (9.78)

$$I_{u,kd} = 20I_{u,dm} = 20.343 = 6860A$$

d) Giá trị điện trở cần thêm vào mạch phần ứng khi khởi động:

$$R_p = \frac{U}{2I_{u,dm}} - R_u = \frac{240}{2.343} - 0,035 = 0,3149\Omega$$

9.23. HÃM ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU

Bằng cách sử dụng các bộ khởi động tự động động cơ, ta có thể thực hiện thêm một số các thao tác điều khiển khác. Các thao tác này có thể là hãm động năng, đảo chiều quay, đảo chiều nhanh, hãm đấu ngược, và hãm tái sinh.

Khi ấn nút dừng, nguồn cấp cho động cơ bị cắt, và động cơ giảm tốc độ dần tới khi dừng hẳn. Nếu tác nhân gây hãm chỉ là ma sát cơ khí thì sẽ mất khoảng thời gian khá lâu để động cơ dừng hẳn. Thời gian để động cơ dừng hẳn là một hàm số của động năng tích lũy trong phần ứng động cơ và tải cơ khí gắn với động cơ.

Trong phần 9.22 ta đã biết, một động cơ có thể được dừng một cách nhanh chóng nhờ kỹ thuật hãm động năng. Trong phương pháp hãm động năng cuộn dây kích từ song song vẫn được nối với nguồn sau khi phần ứng bị ngắt khỏi nguồn bằng cách mở tiếp điểm chính (M). Khi tiếp điểm M mở ra, một điện trở gọi là điện trở hãm động năng được nối song song với hai cực phần ứng của động cơ. Cuộn kích từ song song được kích hoạt, động cơ một chiều lúc này giống như một máy phát và nó sinh ra mômen hãm tác dụng ngược với chiều quay và làm phần ứng quay chậm lại một cách nhanh chóng bằng cách giải phóng năng lượng trên điện trở dưới dạng nhiệt. Trong suốt quá trình hãm dòng điện chạy trong dây quấn phần ứng có chiều ngược so với khi hoạt động ở chế độ động cơ. Một động cơ kích từ song song có thể dễ dàng thay đổi từ chế độ động cơ sang chế độ máy phát mà không cần thay đổi cách đấu nối trong cuộn kích từ. Trong máy điện kích từ nối tiếp, muốn hãm động năng thì phải đảo chiều cực tính của cuộn kích từ hoặc nối cuộn kích từ với một nguồn điện áp riêng. Trong máy điện kích từ hỗn hợp, cuộn kích từ nối tiếp được ngắt khỏi nguồn khi hãm. Trong phương pháp hãm động năng, tác dụng hãm phụ thuộc vào tốc độ động cơ, cường độ từ trường trong động cơ, và giá trị của điện trở. Phương pháp hãm động năng được sử dụng rộng rãi trong điều khiển các máy nâng hạ, thang máy, cần trục... và nhiều ứng dụng khác mà ở đó động cơ bắt buộc phải khởi động, dừng, đảo chiều quay liên tục.

Trong một số ứng dụng, động cơ cần thiết phải nhanh chóng đảo chiều quay. Điều đó có thể đạt được bằng cách sử dụng hãm động năng để dừng nhanh động cơ sau đó đảo chiều điện áp cấp cho phần ứng động cơ. Hoạt động của động cơ chỉ

trong một phần của vòng quay hay một vài vòng quay mà không phải qua các giai đoạn khởi động thông thường được gọi là đảo chiều nhanh. Nó thường được sử dụng trong những ứng dụng có liên quan đến điều khiển vị trí.

Hãm đảo ngược được sử dụng khi động cơ cần dừng nhanh hoặc đảo nhiều quay nhanh. Nó có thể được sử dụng trong các ứng dụng mà động cơ phải đảo chiều quay đột ngột tại tốc độ định mức. Phương pháp này được thực hiện bằng cách đảo cực tính điện áp cấp vào phần ứng của động cơ trong khi đó chiều dòng điện chạy trong cuộn kích từ vẫn như cũ. Bởi vì điện trở của cuộn dây phần ứng rất nhỏ, sức phản điện động thì gần bằng nhưng ngược dấu với điện áp nguồn cấp. Khi xảy ra hãm ngược, sức phản điện động và điện áp nguồn cấp cùng chiều. Do vậy tổng điện áp đặt lên dây quấn phần ứng gấp gần hai lần điện áp nguồn. Để bảo vệ động cơ do dòng điện phần ứng tăng đột ngột trong mạch phần ứng được đưa thêm vào một điện trở gọi là điện trở hãm đảo ngược. Dòng điện phần ứng đảo chiều nên sinh ra mômen làm quay phần ứng theo chiều ngược với chiều quay ban đầu, làm cho động cơ bị dừng lại. Năng lượng tích lũy trong phần ứng và tải cơ khí được giải phóng trên điện trở hãm đảo ngược dưới dạng nhiệt.

Trong trường hợp chung, hãm tái sinh được sử dụng trong các ứng dụng của động cơ mà tốc độ của nó vượt quá tốc độ định mức. Ví dụ như các ứng dụng trong đầu máy tàu điện, cần trục, thang máy... Tốc độ của động cơ truyền động cũng như tải có thể được giảm tới một mức độ thích hợp mà không cần dùng hãm cơ khí bằng cách sử dụng hãm tái sinh trả năng lượng điện về hệ thống điện. Khi tốc độ tăng lên, sức phản điện động trong động cơ cũng tăng theo. Khi sức phản điện động bắt đầu lớn hơn giá trị điện áp nguồn cấp thì dòng điện trong dây quấn phần ứng sẽ đổi chiều, động cơ sẽ hoạt động ở chế độ máy phát. Hãm tái sinh có thể được sử dụng để duy trì tốc độ an toàn nhưng không được sử dụng để dừng một tải cơ khí. Để thực hiện yêu cầu này, cần dùng phương pháp hãm động năng, hãm đảo ngược hay hãm cơ học.

Ví dụ 9.8

Một động cơ kích từ song song có các thông số sau: $U = 240V$, dòng định mức bằng $102,4A$, tốc độ định mức $n = 1000$ vòng/phút. Điện trở mạch phần ứng và mạch kích từ song song lần lượt là $0,1\Omega$ và 100Ω . Biết rằng điện trở hãm bằng $1,05\Omega$ và sử dụng phương pháp hãm động năng. Hãy xác định:

- Giá trị của sức phản điện động.
- Giá trị dòng điện dây quấn phần ứng khi bắt đầu hãm.
- Mômen định mức.
- Giá trị ban đầu của mômen hãm động năng.

Lời giải:

- a) Dòng điện kích từ của động cơ:

$$I_t = \frac{U_t}{R_t} = \frac{240}{100} = 2,4A$$

Dòng điện dây quấn phản ứng:

$$I_r = I - I_t = 102,4 - 2,4 = 100A$$

Giá trị sức phản điện động :

$$E_r = U - I_r R_r = 240 - 100.0,1 = 230V$$

b) Khi bắt đầu hãm, sức phản điện động E_r , tốc độ, từ thông đều chưa thay đổi, do vậy dòng điện dây quấn phản ứng là:

$$I_{r,phanh} = \frac{E_r}{R_r + R_{phanh}} = \frac{230}{0,1 + 0,5} = 200A$$

Trong quá trình hãm, giá trị dòng điện dây quấn phản ứng đã tăng lên gấp khoảng 2 lần.

c) Khi tải định mức, mômen của động cơ là:

$$M_{dt} = \frac{E_r I_r}{\omega_m} = \frac{E_r I_r}{2\pi.1000/60} = \frac{230.100}{2\pi.1000/60} = 219,6 \text{ Nm}$$

d) Giá trị mômen hãm động năng ban đầu:

$$M_{dt} = 2.219,6 = 439,2 \text{ Nm}$$

BÀI TẬP

9.1. Biết một máy điện một chiều có tốc độ bằng 1800 vòng/phút, số cực bằng 4, dây quấn xếp, tổng số thanh dẫn bằng 720. Nếu từ thông trên mỗi cực bằng 0,05W, tính:

a) Điện áp cảm ứng trong phần ứng.

b) Điện áp cảm ứng trong phần ứng nếu dây quấn phản ứng là dây quấn sóng.

9.2. Một động cơ kích từ song song chạy ở tốc độ 1200vòng/phút có dòng điện phản ứng là 38A, lấy từ nguồn điện 240V, và tạo ra công suất cơ 8398W. Nếu điện trở cuộn dây phản ứng là 0,3Ω, xác định:

a) Mômen tổn hao ở tốc độ đã cho.

b) Dòng điện phản ứng cần thiết để tạo ra một nửa giá trị công suất cơ ở trên với cùng một tốc độ.

9.3. Một máy phát điện một chiều kích từ song song có công suất 20kW, điện áp phản ứng 250V, được kéo ở tốc độ 1200 vòng/phút. Khi tải định mức điện trở mạch phản ứng là 0,15Ω và dòng điện kích từ bằng 2A, điện áp trên đầu cực là 250V. Nếu tổn hao không tải là 1000W, xác định:

a) Sức điện động trong máy.

b) Mômen điện từ.

c) Hiệu suất của máy phát điện.

9.4. Một máy điện một chiều kích từ độc lập trong ví dụ 9.3 được dùng làm động cơ kích từ độc lập kéo tải cơ khí. Điện áp trên đầu cực giữ không đổi bằng 200V. Dòng điện định mức của máy là 100A. Dùng biến trở kích từ lần lượt thay đổi dòng kích từ là 1A; 1,5A; 2,5A. Đối với mỗi giá trị của dòng kích từ, hãy xác định:

a) Mômen điện từ khi tải định mức bằng 100A.

b) Công suất điện từ khi tải định mức bằng 100A.

c) Tốc độ không tải lý tưởng (vòng/phút).

d) Tốc độ định mức (vòng/phút).

e) Vẽ đặc tính mômen – dòng điện của động cơ dựa trên kết quả tìm được ở phần a).

f) Vẽ đặc tính tốc độ – dòng điện của động cơ dựa trên kết quả tìm được ở phần c), d).

9.5. Một máy điện một chiều cho trong ví dụ 9.3 được dùng làm động cơ kích từ nối tiếp để kéo một tải cơ khí. Cuộn dây kích từ nối tiếp có 25 vòng dây trên mỗi cực, điện trở là $0,08\Omega$. Nếu điện áp phần ứng là 250V, hãy xác định:

a) Tốc độ của động cơ (vòng/phút) khi dòng điện tải bằng 20A.

b) Mômen điện từ khi dòng điện tải bằng 20A.

9.6. Xét máy điện một chiều đã cho trong phần 9.20 và xác định:

a) Tốc độ của động cơ (vòng/phút) khi dòng điện tải bằng 100A.

b) Mômen điện từ khi dòng điện tải bằng 100A.

9.7. Một máy điện một chiều cho trong ví dụ 9.3 được sử dụng là động cơ kích từ song song. Động cơ cần sinh ra mômen khởi động bằng 375Nm theo nhu cầu sử dụng. Dòng điện phần ứng khi khởi động theo khả năng cho phép không được lớn quá 2 lần dòng định mức. Bộ khởi động được thiết kế có thể nối ngắn mạch biến trở kích từ khi khởi động. Điện áp nguồn cấp là 250V. Hãy xác định:

a) Dòng điện phần ứng khi khởi động nếu không có điện trở khởi động nối thêm vào mạch.

b) Giá trị dòng kích từ khi khởi động.

c) Giá trị K_v, Φ_d của động cơ khi khởi động.

d) Dòng điện phần ứng khi khởi động nếu mômen khởi động 375Nm là mômen điện từ.

e) Giá trị của điện trở khởi động.

9.8. Một máy điện một chiều cho trong ví dụ 9.3 được sử dụng là động cơ kích từ song song, điều khiển tốc độ bằng biến trở ngoài nối vào mạch phần ứng có điện trở là $1,1\Omega$. Biết điện áp nguồn là 250V, dòng kích từ 2A. Tổn hao trong lõi sắt, và tổn hao cơ bằng 1% công suất máy. Hãy xác định:

a) Mômen điện từ định mức.

b) Tốc độ không tải lý tưởng (vòng/phút).

c) Tốc độ định mức (vòng/phút).

d) Hiệu suất của động cơ khi tải định mức.

e) Hiệu suất của động cơ.

9.9. Một động cơ một chiều có công suất 200 mã lực, điện áp 240V, dòng điện định mức 675A, điện trở phần ứng trong hệ tương đối là 0,05. Hãy xác định:

a) Giá trị định mức của điện trở phần ứng (Ω).

b) Giá trị thực của điện trở phần ứng (Ω).

c) Giá trị dòng điện phần ứng khi khởi động (A).

9.10. Một động cơ một chiều có công suất 50 mã lực, điện áp 240V, dòng điện định mức 173A, điện trở phần ứng trong hệ tương đối là 0,05. Hãy xác định:

a) Giá trị định mức của điện trở phần ứng (Ω).

b) Giá trị thực của điện trở phần ứng (Ω).

c) Giá trị dòng điện phần ứng khi khởi động (A).

d) Giá trị điện trở cần thêm vào phần ứng để dòng khởi động không quá 2 lần dòng định mức.

9.11. Một động cơ một chiều kích từ song song có dòng định mức 102A, tốc độ định mức 15 vòng/giây, điện áp phần ứng 250V, điện trở mạch phần ứng $0,15\Omega$, dòng điện kích từ 2A khi điện áp trên đầu cực là 250V và tải định mức. Một điện trở hãm đấu ngược thêm vào mạch phần ứng để dòng điện phần ứng không vượt quá 150% dòng điện tải định mức khi động cơ hãm đấu ngược. Hãy xác định:

- a) Giá trị của điện trở hãm đấu ngược.
- b) Mômen hãm khi bắt đầu xảy ra hãm ngược.
- c) Mômen hãm khi tốc độ của động cơ bằng không.

9.12. Một động cơ một chiều kích từ song song có dòng định mức bằng 102,5A, tốc độ định mức bằng 1200 vòng/phút, điện trở cuộn dây phần ứng và cuộn kích từ lần lượt là $0,1\Omega$ và 100Ω . Nếu điện trở hãm động năng bằng $1,1\Omega$ khi sử dụng phương pháp hãm động năng, hãy xác định:

- a) Sức phản điện động.
- b) Giá trị dòng điện phần ứng khi bắt đầu hãm.
- c) Mômen của động cơ khi tải định mức.
- d) Giá trị của mômen hãm động năng ở thời điểm ban đầu.

9.13. Một máy phát điện một chiều kích từ song song có công suất 20kW, điện áp phát 250V, tải máy phát là định mức, điện áp rơi trên mạch phần ứng là 4% điện áp trên đầu cực, dòng điện trong cuộn kích từ song song bằng 4% dòng điện định mức. Hãy xác định điện trở của mạch phần ứng và mạch kích từ.

ĐỘNG CƠ MỘT PHA VÀ ĐỘNG CƠ ĐẶC BIỆT

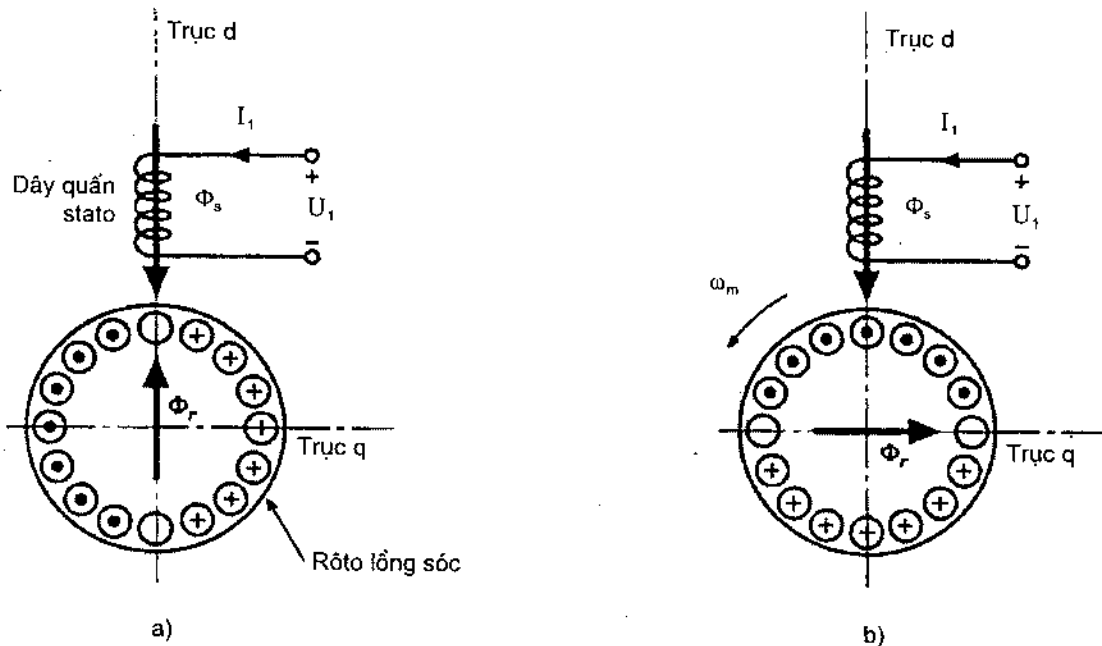
10.1. GIỚI THIỆU CHUNG

Có thể nói rằng khoảng 90% các động cơ được sản xuất hiện nay là loại động cơ điện một pha. Chúng được sử dụng rộng rãi trong gia đình, trong kinh doanh, nông nghiệp và các ngành công nghiệp nhẹ. Hầu hết các động cơ này được sản xuất theo hai loại: động cơ loại nhỏ (công suất nhỏ hơn 1 mã lực; 1 mã lực = 746W) và động cơ loại cực nhỏ. Động cơ loại nhỏ có công suất nằm trong khoảng 1/20 đến 1 mã lực. Các động cơ loại cực nhỏ có công suất dưới 1/20 mã lực, được phân loại theo đơn vị 1/1000 mã lực (millihorsepower – mhp), dải công suất từ 1 đến 35 mhp. Các động cơ một pha được sản xuất theo chuẩn công suất lớn hơn 1 mã lực có dải công suất là 1,5; 2; 3; 5; 7,5 đến 10 mã lực. Tuy nhiên, cũng có thể có các động cơ công suất rất lớn, đặc biệt có giá trị từ hàng trăm đến vài nghìn mã lực, ví dụ như ở các động cơ điện nối tiếp xoay chiều một pha sử dụng trong đầu tàu điện. Ngoài ra các động cơ một pha còn được thiết kế để kéo tải cần trục và thang máy nặng. Khác với các động cơ có công suất lớn hơn 1 mã lực, các động cơ một pha loại nhỏ và cực nhỏ được sản xuất ra có nhiều kiểu thiết kế rất khác nhau với các đặc tính khác nhau. Có ba loại động cơ xoay chiều một pha là động cơ không đồng bộ một pha, động cơ vạn năng và động cơ đồng bộ một pha.

10.2. ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ MỘT PHA

Các loại động cơ không đồng bộ một pha thường có dây quấn stato và rôto lồng sóc. Hình 10.1 vẽ mô hình cấu tạo đơn giản của động cơ không đồng bộ một pha. Điện áp xoay chiều một pha được cấp cho cuộn dây stato tạo ra từ trường không quay (vị trí cố định trong không gian và đập mạch theo thời gian). Từ trường này còn được gọi là từ trường thở bởi vì nó “nở ra” và “co lại” ở cùng một vị trí trên stato. Nói cách khác, cuộn dây stato không cung cấp từ trường quay để từ trường rôto quay theo. Trên hình 10.1a, các dòng điện được cảm ứng trong cuộn dây rôto lồng sóc do hiện tượng cảm ứng điện từ. Dòng điện này tạo ra sức từ động (std) ngược chiều với sức từ động stato. Khi trục của sóng sức từ động rôto và stato trùng nhau thì góc của mômen quay bằng không và không có mômen khởi động. Khi rôto không quay thì động cơ không đồng bộ một pha giống như máy biến áp một pha bị ngắn mạch phía thứ cấp. Do đó mà động cơ không đồng bộ một pha không thể tự khởi động được. Tuy nhiên nếu động cơ không đồng bộ một pha được cung cấp một lực quay hoặc có bộ phận khởi động phụ trợ thì nó sẽ tiếp tục quay và tạo ra công suất

cơ. Trước đây, các động cơ không đồng bộ một pha đầu tiên được khởi động bằng cách buộc một sợi dây thừng hay dây da vào trục động cơ để kéo quay rôto. Ngày nay việc khởi động bằng tay trên đã được thay thế bởi rất nhiều phương pháp đơn giản khác. Trên hình 10.1b thì động cơ không đồng bộ một pha này có thể tạo ra mômen quay khi đang chạy. Hiện tượng này có thể được giải thích theo lý thuyết hai từ trường quay (cũng có thể giải thích dựa vào lý thuyết từ trường ngang).



Hình 10.1 Động cơ một pha

a) Khi rôto đứng yên; b) Khi rôto quay.

Theo lý thuyết hai từ trường quay thì một sức từ động (hay từ thông) đập mạch được phân tích ra thành hai từ trường quay có biên độ bằng một nửa từ trường đập mạch nhưng quay ngược chiều nhau với cùng một tốc độ. Với cuộn dây stato được cung cấp nguồn điện sin, sức từ động tại vị trí α có thể được biểu diễn như sau:

$$F(\alpha) = w i \cos \alpha \quad (10.1)$$

Trong đó: w là số vòng dây tác dụng của cuộn dây stato và i là giá trị tức thời dòng điện stato. Do đó:

$$i = I_{\max} \cos \omega t \quad (10.2)$$

Sức từ động viết ở dạng hàm số của không gian và thời gian:

$$F(\alpha, t) = w I_{\max} \cos \alpha \cos \omega t \quad (10.3a)$$

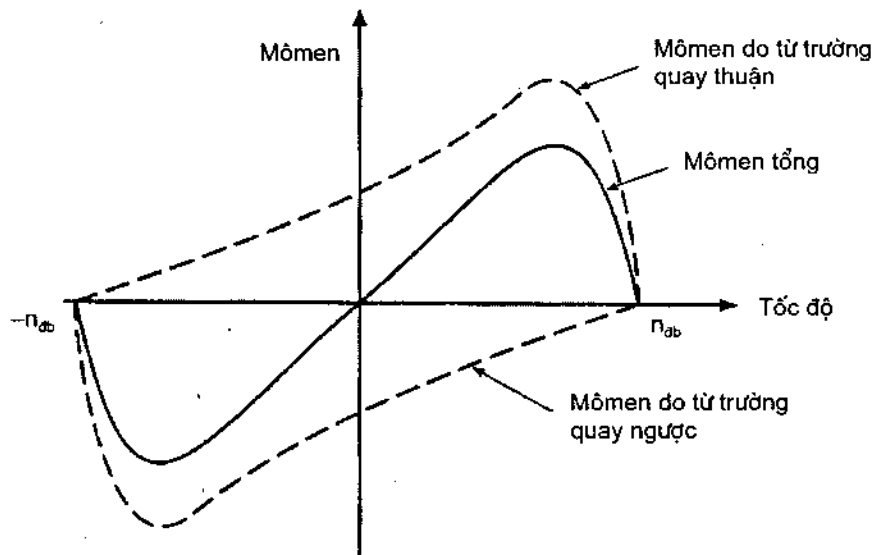
$$= \frac{w I_{\max}}{2} \cos(\omega t - \alpha) + \frac{w I_{\max}}{2} \cos(\omega t + \alpha) \quad (10.3b)$$

$$= F_t + F_n \quad (10.3c)$$

Như vậy sức từ động stato là tổng của sức từ động quay thuận và sức từ động quay ngược theo chiều α . F_t là sức từ động quay cùng chiều theo α , đặc trưng cho từ trường quay thuận. F_n là sức từ động quay theo chiều ngược lại, đặc trưng cho từ

trường quay ngược. Ở đây, chiều quay của rôto được coi là chiều quay của từ trường quay thuận. Do ta định nghĩa chiều quay thuận là chiều mà động cơ quay khi được khởi động ban đầu nên chiều quay thuận còn được gọi là thứ tự dương. Tương tự, chiều quay ngược được gọi là thứ tự âm.

Trong hình 10.2 cả từ trường quay thuận và từ trường quay ngược đều có tác động đến động cơ, đều tạo ra mômen quay trên động cơ, mặc dù theo chiều ngược nhau. Khi rôto chưa quay, mômen quay sinh bởi hai từ trường này có biên độ bằng nhau nên kết quả là mômen khởi động tổng bằng không. Tuy nhiên ở các tốc độ khác thì hai mômen này không bằng nhau nên mômen tổng của chúng cho động cơ quay theo chiều quay của nó.



Hình 10.2. Đặc tính mômen – tốc độ của động cơ không đồng bộ một pha theo lý thuyết từ trường quay.

Giả thiết rằng rôto được quay với tốc độ n_m (vòng/phút) theo chiều thuận và tốc độ đồng bộ là n_{db} (vòng/phút). Hệ số trượt tương ứng với từ trường quay thuận là:

$$s_t = s = \frac{n_{db} - n_m}{n_{db}} = 1 - \frac{n_m}{n_{db}} \quad (10.4)$$

Tuy nhiên do rôto quay ngược chiều với từ trường quay ngược nên hệ số trượt tương ứng với từ trường quay ngược là:

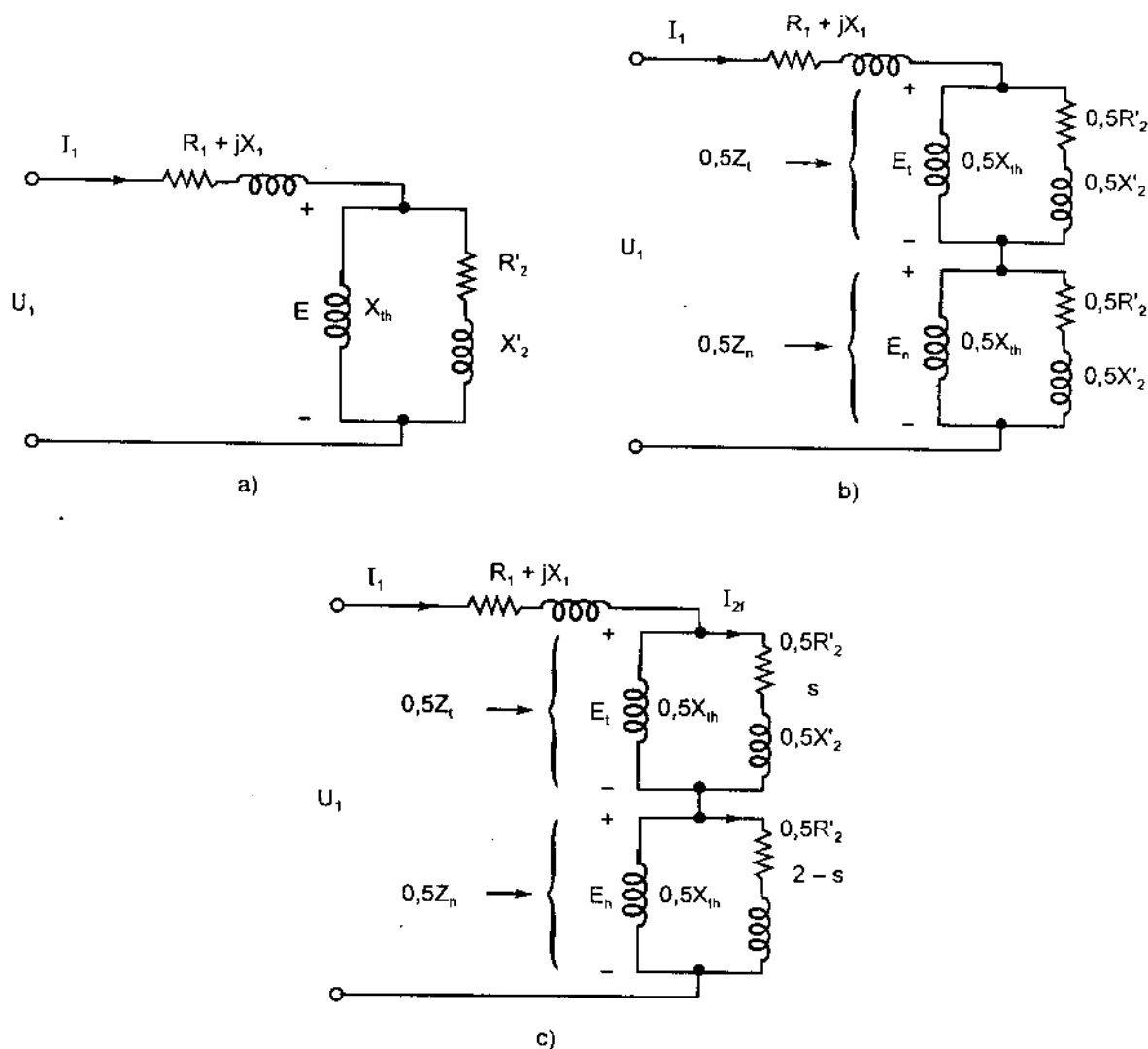
$$s_n = \frac{n_{db} - (-n_m)}{n_{db}} = \frac{n_{db} + n_m}{n_{db}} = 1 + \frac{n_m}{n_{db}} = 2 - s \quad (10.5)$$

hay: $s_n = 2 - s_t \quad (10.6)$

10.2.1. Mạch điện thay thế

Khi rôto đứng yên, động cơ không đồng bộ một pha giống như máy biến áp với cuộn dây thứ cấp ngắn mạch. Hình 10.3a biểu diễn sơ đồ mạch điện thay thế, trong

đó R_1 và X_1 là điện trở và điện kháng của cuộn dây stato. X_{th} là điện kháng từ hoá và R'_2 và X'_2 là giá trị điện trở và điện kháng của rôto khi rôto đứng yên quy đổi về phía cuộn dây stato theo tỷ số giữa các vòng dây. Tổn hao trong lõi sắt của động cơ không chỉ ra ở đây, nhưng tổn hao này được đưa vào trong tổn hao không tải, cùng với tổn hao cơ và tổn hao phụ. Theo lý thuyết hai từ trường quay, mạch điện thay thế có thể được biến đổi để xét đến ảnh hưởng của hai từ trường quay thuận và quay ngược với cùng một biên độ. Khi rôto đứng yên, biên độ của sức từ động quay thuận và sức từ động quay ngược bằng nhau và bằng 1/2 độ lớn của từ trường đập mạch. Do vậy mà sơ đồ mạch điện thay thế của rôto được chia thành các phần bằng nhau. Như vậy, sơ đồ thay thế của động cơ không đồng bộ một pha bao gồm các mạch điện thay thế hai từ trường quay thuận và quay ngược mắc nối tiếp nhau (xem hình 10.3b).



Hình 10.3. Mạch điện thay thế của động cơ không đồng bộ một pha dựa theo lý thuyết từ trường quay

a) Mạch điện thông thường khi rôto đứng yên; b) Mạch điện được biến đổi khi rôto đứng yên;

c) Mạch điện được biến đổi khi rôto quay.

Sau khi động cơ được tăng tốc bằng cách sử dụng các cuộn dây phụ (cuộn này được ngắt ra khi động cơ đạt được tốc độ cần thiết) và quay theo chiều quay của từ trường quay thuận với hệ số trượt s , mạch điện thay thế của động cơ phải được thay đổi như trên hình 10.3c. Do vậy mà điện trở của rôto ở mạch điện thay thế quay thuận là $0,5R'_2/s$. Bên cạnh đó, do rôto quay với tốc độ nhỏ hơn so với tốc độ từ trường quay thuận là s nên sự khác biệt giữa tốc độ của rôto và từ trường ngược là $2 - s$ (tốc độ của từ trường quay thuận và ngược khác nhau là 2). Vì vậy điện trở của rôto trong mạch điện thay thế từ trường quay ngược là $0,5R'_2/(2 - s)$.

Để đơn giản trong việc tính toán, tổng trở trong hình 10.3c của từ trường quay thuận và ngược được tính như sau:

$$Z_t = R_t + jX_t = \frac{jX_m(R'_2/s + jX'_2)}{jX_m + (R'_2/s + jX'_2)} \quad (10.7)$$

$$\text{và:} \quad Z_n = R_n + jX_n = \frac{jX_m(R'_2/(2-s) + jX'_2)}{jX_m + (R'_2/(2-s) + jX'_2)} \quad (10.8)$$

Các tổng trở này đặc trưng cho phản ứng của từ trường quay thuận và từ trường quay ngược với cuộn dây một pha stato và có giá trị là $0,5Z_t$ và $0,5Z_n$.

Sau khi động cơ đã khởi động, từ thông khe hở không khí quay thuận tăng lên còn từ thông quay ngược giảm xuống. Chính vì vậy, trong quá trình hoạt động bình thường, hệ số trượt rất nhỏ. Cũng bởi vậy mà điện trở của rôto trong từ trường quay thuận là $0,5R'_2/s$, lớn hơn nhiều so với giá trị khi rôto đứng yên, trong khi đó điện trở của rôto trong từ trường quay ngược là $0,5R'_2/(2 - s)$ thì lại nhỏ hơn. Kết quả là tổng trở từ trường quay thuận Z_t lớn hơn so với giá trị khi rôto đứng yên, còn tổng trở từ trường quay ngược Z_n thì lại nhỏ hơn. Điều này cũng có nghĩa là Z_t lớn hơn nhiều so với Z_n trong quá trình hoạt động bình thường của động cơ. Kết quả là khi cả hai tổng trở này có cùng một dòng điện đi qua thì sức điện động E_t lớn hơn nhiều so với sức điện động E_n . Cho nên độ lớn của từ trường quay thuận Φ_t tạo ra E_t lớn hơn từ trường quay ngược Φ_n tạo ra E_n .

10.2.2. Phân tích quá trình hoạt động

Theo mạch điện thay thế hình 10.3c, dòng điện đầu vào được xác định từ công thức:

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1 + jX_1 + 0,5Z_t + 0,5Z_n} \quad (10.9)$$

Do vậy công suất ở khe hở không khí do từ trường quay thuận và quay ngược tạo ra là:

$$P_{dt,t} = I_1^2(0,5R_t) \quad (10.10)$$

$$\text{và:} \quad P_{dt,n} = I_1^2(0,5R_n) \quad (10.11)$$

Vậy tổng công suất ở khe hở không khí (công suất điện từ) là:

$$P_{dt} = P_{dt,t} - P_{dt,n} \quad (10.12)$$

Do vậy mômen điện từ (mômen thành lập, mômen quay) do từ trường quay thuận và quay ngược sinh ra là:

$$M_{dt,t} = \frac{P_{dt,t}}{\omega_{db}} \quad (10.13)$$

và:
$$M_{dt,n} = \frac{P_{dt,n}}{\omega_{db}} \quad (10.14)$$

Mômen điện từ tổng là:

$$M_{dt} = \frac{P_{dt}}{\omega_{db}} \quad (10.15a)$$

$$= \frac{P_{dt,t} - P_{dt,n}}{\omega_{dt}} \quad (10.15b)$$

$$= M_{dt,t} - M_{dt,n} \quad (10.15c)$$

Vì dòng điện của rôto được sinh ra bởi hai thành phần từ trường khe hở không khí có tần số khác nhau nên tổn hao đồng rôto tổng là tổn hao đồng rôto của mỗi từ trường gây ra. Tổn hao đồng rôto của từ trường quay thuận và quay ngược là:

$$P_{Cu2,t} = sP_{dt,t} \quad (10.16)$$

và:
$$P_{Cu2,n} = (2-s)P_{dt,n} \quad (10.17)$$

Do vậy, tổn hao đồng rôto tổng là:

$$P_{Cu2} = P_{Cu2,t} + P_{Cu2,n} \quad (10.18)$$

Công suất cơ sinh ra của động cơ:

$$P_{co} = M_q \omega_m \quad (10.19a)$$

$$= M_{dt} \omega_{db} (1-s) \quad (10.19b)$$

do mômen điện từ M_{dt} chính là mômen quay M_q

$$P_{co} = (1-s)P_{dt} \quad (10.19c)$$

$$= (1-s)(P_{dt,t} - P_{dt,n}) \quad (10.19d)$$

$$= 0,5I_1^2(R_t - R_n)(1-s) \quad (10.19e)$$

Công suất đầu ra là:

$$P_{ra} = P_{co} - P_{tổn hao cơ} - P_{tổn hao phụ} \quad (10.20)$$

Ví dụ 10.1

Một động cơ không đồng bộ một pha 120V, hai cực, 50Hz, công suất 1/4 mã lực có các thông số quy đổi về stato tính theo đơn vị Ω như sau:

$$R_1 = 2,0 \Omega; R_2' = 4,1 \Omega;$$

$$X_1 = 2,5 \Omega; X_2' = 2,2 \Omega;$$

$$X_{th} = 5 \Omega;$$

Tổn hao cơ là 30W và tổn hao phụ là 15W. Động cơ hoạt động ở điện áp và tần số định mức với cuộn dây khởi động được hở mạch. Hệ số trượt là 5%, hãy xác định:

- Tốc độ quay của rôto (vòng/phút).
- Tổng trở thứ tự thuận và thứ tự ngược.
- Dòng điện đầu vào.

- d) Hệ số công suất.
- e) Công suất đầu vào.
- f) Tổng công suất khe hở không khí.
- g) Công suất cơ sinh ra.
- h) Công suất đầu ra.
- i) Mômen điện từ.
- k) Mômen đầu ra.
- l) Hiệu suất của động cơ.

Lời giải:

- a) Tốc độ đồng bộ là:

$$n_{db} = \frac{120f_1}{p} = \frac{120}{2} = 3000 \text{ vòng/phút} = 50 \text{ vòng/giây.}$$

Do vậy tốc độ trục rôto là:

$$n_m = (1 - s)n_{db} = (1 - 0,05)3000 = 2850 \text{ vòng/phút} = 47,5 \text{ vòng/giây}$$

- b) Tổng trở quay thuận của động cơ là:

$$\begin{aligned} Z_t = R_t + jX_t &= \frac{jX_m(R'_2/s + jX'_2)}{jX_m + (R'_2/s + jX'_2)} = \frac{j51(4,1/0,05 + j2,2)}{j51 + (4,1/0,05 + j2,2)} \\ &= 42,8 \angle 58,56^\circ = 22,32 + j2,185\Omega \end{aligned}$$

Một cách tương tự như vậy, tổng trở quay ngược là:

$$\begin{aligned} Z_n = R_n + jX_n &= \frac{jX_m(R'_2/(2-s) + jX'_2)}{jX_m + (R'_2/(2-s) + jX'_2)} = \frac{j51[4,1/(2-0,05) + j2,2]}{j51 + [4,1/(2-0,05) + j2,2]} \\ &= 2,915 \angle 48,56^\circ = 1,929 + j2,185\Omega \end{aligned}$$

- c) Dòng điện đưa vào dây quấn stato:

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{U_1}{R_1 + jX_1 + 0,5Z_t + 0,5Z_n} \\ &= \frac{120 \angle 0^\circ}{2,0 + j2,5 + 0,5(22,32 + j2,185) + 0,5(1,929 + j2,185)} \\ &= \frac{120 \angle 0^\circ}{14,1245 + j21,8475} = 4,61 \angle -57,12^\circ \text{ A} \end{aligned}$$

- d) Hệ số công suất của động cơ là:

$$\cos\varphi = \cos 57,12^\circ = 0,543$$

- e) Công suất đầu vào của động cơ là:

$$P_{vào} = UI \cos\varphi = 120 \cdot 4,61 \cos 57,12^\circ = 300,4 \text{ W}$$

- f) Công suất ở khe hở không khí của từ trường quay thuận là:

$$P_{at,t} = I_1^2 \cdot 0,5R_t = 4,61^2 \cdot 0,5 \cdot 22,32 = 237,17 \text{ W}$$

và công suất khe hở không khí của từ trường quay ngược là:

$$P_{dt,n} = I_1^2 \cdot 0,5R_n = 4,61^2 \cdot 0,5 \cdot 1,929 = 20,5W$$

Do vậy tổng công suất ở khe hở là:

$$P_{dt} = P_{dt,t} - P_{dt,n} = 237,17 - 20,5 = 216,67W$$

g) Công suất cơ sinh ra là:

$$P_{cs} = (1 - s)P_{dt} = (1 - 0,05)216,67 = 205,84W$$

h) Công suất đầu ra (trên trục động cơ) là :

$$P_{ra} = P_{cs} - P_{tổn hao cơ} - P_f = 205,84 - 30 - 15 = 160,84W$$

i) Mômen điện từ là

$$M_{dt} = \frac{P_{dt}}{\omega_{dh}} = \frac{P_{dt}}{2\pi n_{dh}} = \frac{216,67}{2\pi \cdot 50} = 0,69Nm$$

j) Mômen trên trục động cơ là:

$$M_{ra} = M_{tải} = \frac{P_{ra}}{\omega_m} = \frac{P_{dt}}{2\pi n_m} = \frac{160,84}{2\pi \cdot 47,5} = 0,539Nm$$

k) Hiệu suất của động cơ là:

$$\% \eta = \frac{P_{ra}}{P_{vào}} 100\% = \frac{160,84}{300,4} 100\% = 53,5 \%$$

10.3. KHỞI ĐỘNG ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ MỘT PHA

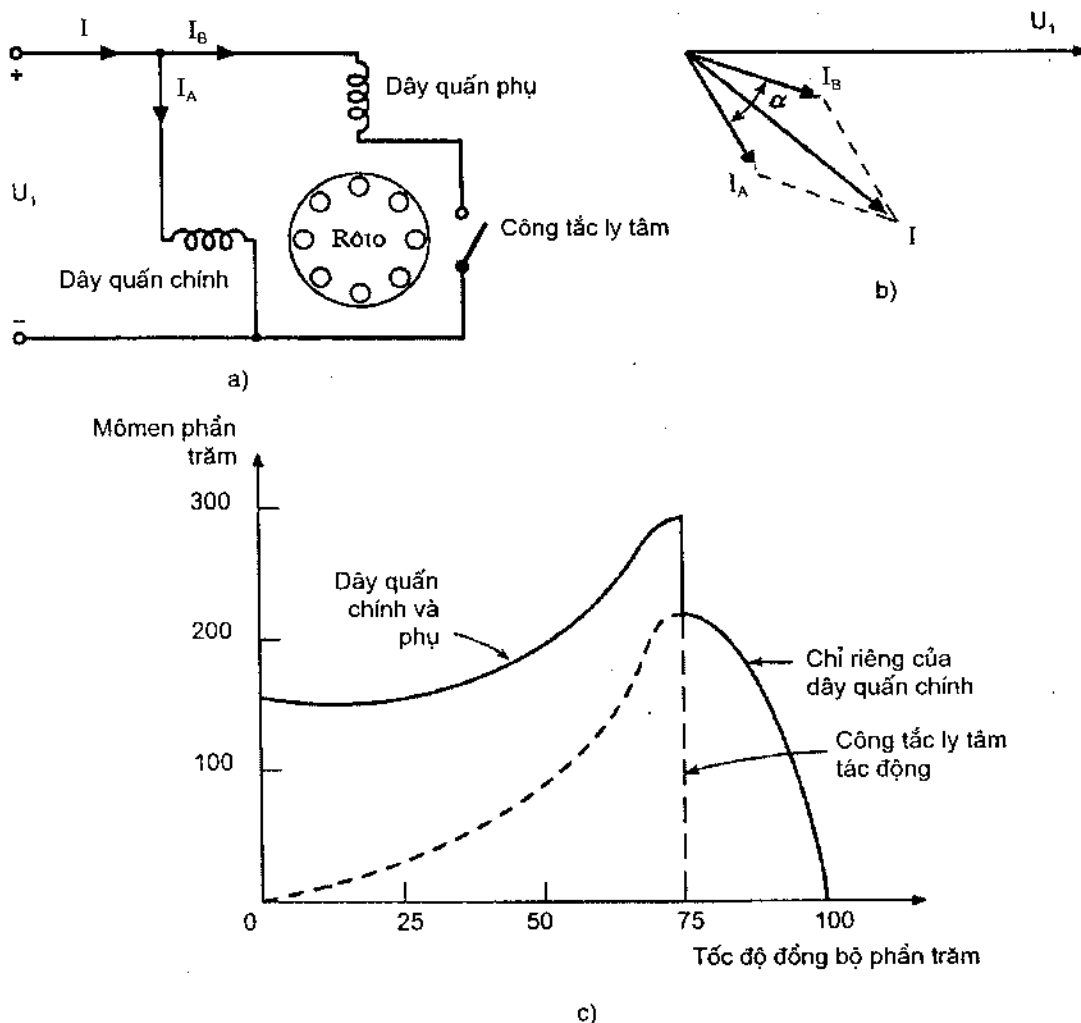
Như đã nói ở trước, động cơ không đồng bộ một pha không thể tự khởi động được nếu chỉ có một cuộn dây chính, nhưng có thể khởi động được bằng một cuộn dây phụ hoặc bằng một số phương pháp khác. Cuộn dây phụ có thể được tự động ngắt ra bằng một công tắc ly tâm ở tốc độ bằng khoảng 75% tốc độ đồng bộ. Khi động cơ đã được khởi động, thì nó sẽ tiếp tục chạy theo chiều đó. Động cơ điện một pha được thiết kế sao cho dòng điện chạy trong cuộn dây phụ vượt trước dòng điện chạy trong cuộn dây chính 90 độ điện. Cho nên, động cơ không đồng bộ một pha hoạt động tương tự như động cơ hai pha. Hai cuộn dây của động cơ một pha được đặt ở vị trí lệch nhau một góc 90 độ điện theo không gian trên stato. Từ trường cuộn dây phụ này được tạo nên đầu tiên. Động cơ có thể được đảo chiều bằng cách đảo đầu nối dây của cuộn chính hay cuộn phụ. Tuy nhiên nếu đảo đầu nối đồng thời cả cuộn chính và cuộn phụ thì không thể thay đổi chiều quay của động cơ.

Giản đồ vectơ của động cơ khi khởi động được vẽ trên hình 10.4b. Góc lệch pha α giữa hai dòng điện cuộn chính I_A và cuộn phụ I_B nằm trong khoảng từ 30° đến 45° . Do đó mômen khởi động là:

$$M_{kd} \sim I_A I_B \sin \alpha \quad (10.21)$$

$$\text{hay:} \quad M_{kd} = K I_A I_B \sin \alpha \quad (10.22)$$

trong đó, K là hằng số. Do vậy, mômen khởi động là hàm số của độ lớn dòng điện trong cuộn chính, cuộn phụ và góc lệch pha giữa hai dòng điện này.



Hình 10.4. Động cơ không đồng bộ tách pha

a) Sơ đồ nguyên lý; b) Giảm đồ vectơ khi khởi động; c) Đặc tính mômen – tốc độ điển hình.

10.4. PHÂN LOẠI ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ MỘT PHA

Động cơ không đồng bộ một pha được phân loại theo phương pháp khởi động. Mỗi phương pháp khởi động khác nhau đều có giá thành khác nhau và mômen khởi động khác nhau.

10.4.1. Động cơ tách pha

Động cơ tách pha là động cơ không đồng bộ một pha có hai cuộn dây ở stato: cuộn chính (stato) A và cuộn dây phụ (cuộn khởi động) B (xem hình 10.4a). Trục của hai cuộn dây này được đặt lệch nhau 90° điện trong không gian và khác nhau một góc nhỏ hơn 90° theo thời gian. Khi hai cuộn dây stato giống hệt nhau được đặt lệch nhau 90° điện trong không gian và được nối song song vào cùng một nguồn điện một pha thì dòng điện chạy qua cả hai cuộn đều chậm pha so với điện áp nguồn một góc như

nhau. Khi mắc thêm điện trở nối tiếp với một cuộn dây sẽ làm cho dòng điện trên cuộn đó gần như cùng pha với điện áp nguồn cung cấp. Mà dòng điện trong cuộn dây kia không bị ảnh hưởng bởi việc thêm điện trở trên nên dòng điện của hai cuộn dây lệch pha nhau về thời gian. Đây là điều kiện cần để tạo ra từ trường quay. Động cơ sử dụng phương pháp này để chia pha được gọi là động cơ khởi động bằng điện trở hay động cơ tách pha bằng điện trở hay đơn giản là động cơ tách pha. Trên hình 10.4b cuộn dây phụ có tỷ số điện trở trên điện kháng lớn hơn của cuộn chính, do vậy mà dòng điện của nó vượt trước (sớm pha) so với dòng ở cuộn chính. Cách thông thường nhất để có tỷ số R/X cao là sử dụng cuộn dây phụ có kích thước nhỏ hơn. Có thể làm như vậy được bởi vì cuộn dây phụ chỉ có dòng điện chạy qua trong quá trình khởi động. Cuộn dây phụ sẽ được ngắt ra nhờ công tắc ly tâm hoặc role khi tốc độ của động cơ đạt khoảng 75% tốc độ đồng bộ. Động cơ có thể được đảo chiều quay bằng cách đảo đầu nối cuộn dây phụ trong khi cuộn dây chính giữ nguyên như cũ. Tuy nhiên, cơ cấu đảo chiều như vậy không được thực hiện trong khi động cơ đang chạy mặc dù đôi khi có thể thực hiện với động cơ không đồng bộ nhiều pha. Đặc tính mômen – tốc độ tiêu biểu của động cơ này được cho trên hình 10.4c. Mômen khởi động lớn có thể được tạo ra bằng cách mắc nối tiếp thêm điện trở vào cuộn dây phụ. Ngoài ra đưa thêm điện kháng vào cuộn dây chính cũng cho kết quả tương tự. Động cơ tách pha có công suất nhỏ hơn 1/2hp (mã lực) rẻ hơn so với các loại động cơ khác và được sử dụng để kéo các tải dễ khởi động như tải quạt gió, máy cửa, máy bơm, máy mài.

Khi rôto đứng yên thì tổng trở của cuộn dây chính và cuộn dây phụ là:

$$Z_A = R_A + jX_A \quad (10.23)$$

$$Z_B = R_B + jX_B \quad (10.24)$$

Do vậy, dòng điện của cuộn phụ (cuộn khởi động) được xác định từ:

$$I_B = \frac{U_l}{\sqrt{(R_B^2 + X_B^2)}} \quad (10.25)$$

trong đó: $R_B = \frac{X_B}{X_A} (R_A + Z_A)$ (10.26)

hoặc: $R_B = \left(\frac{w_B}{w_A} \right)^2 (R_A + Z_A)$ (10.27)

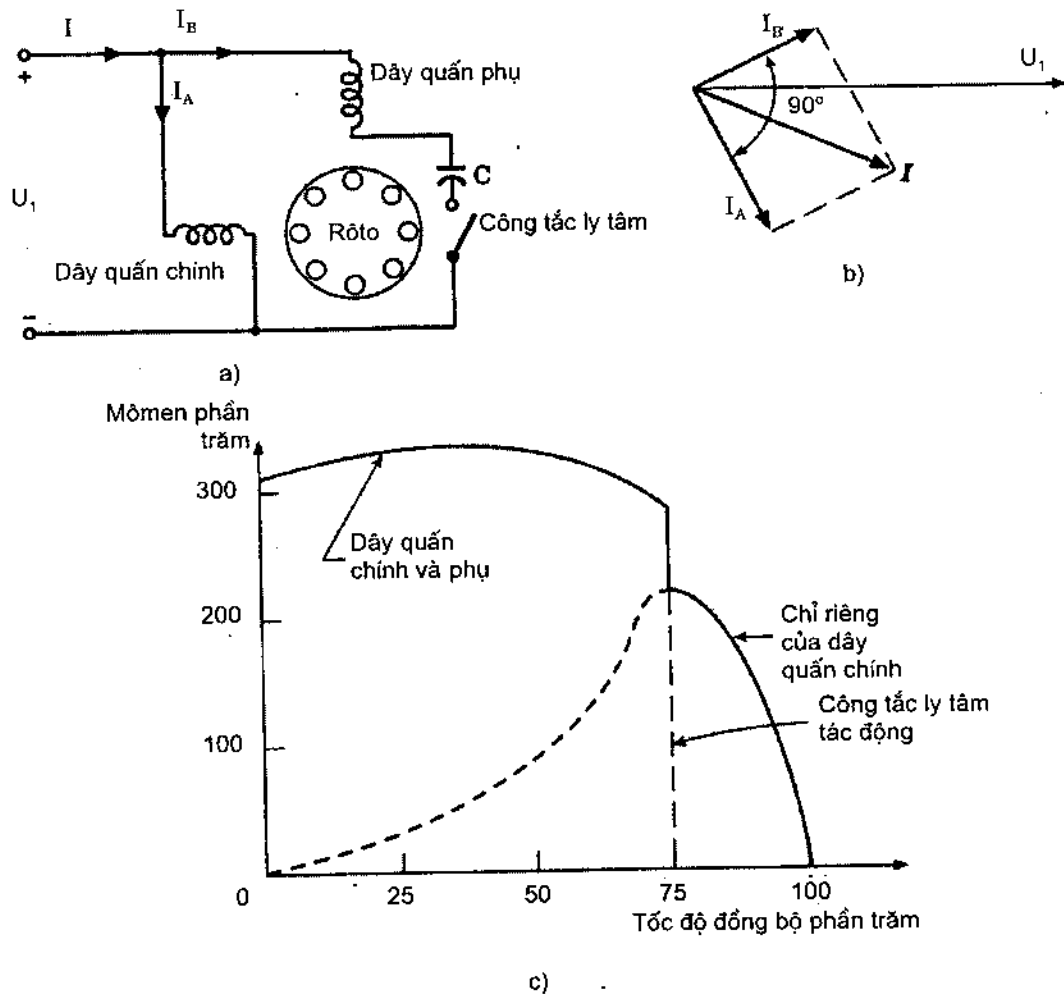
và: $X_B = \left(\frac{w_B}{w_A} \right)^2 X_A$ (10.28)

Do đó, khi thiết kế động cơ thì ta có thể chọn số vòng dây của cuộn dây phụ w_B để tính giá trị của R_B sao cho có mômen khởi động cực đại và tính dòng điện trong cuộn phụ. Nếu không có được giá trị của mômen khởi động và dòng điện như mong muốn, quá trình này được lặp lại cho đến khi tìm thấy giá trị thích hợp.

10.4.2. Động cơ khởi động bằng tụ

Động cơ khởi động bằng tụ (các tên gọi khác: động cơ khởi động bằng điện dung, động cơ có tụ khởi động) cũng là động cơ tách pha. Trong hình 10.5a, một tụ điện

được mắc nối tiếp với cuộn phụ của động cơ. Khi lựa chọn giá trị tụ thích hợp thì dòng điện trong cuộn phụ có thể vượt trước điện áp U_1 và tạo ra góc lệch pha 90° giữa dòng điện I_A và I_B (xem hình 10.5b). Việc mắc tụ này tạo ra mômen khởi động lớn hơn động cơ tách pha bằng điện trở (hình 10.5c). Cuộn phụ này được ngắt ra bằng một công tắc ly tâm khi tốc độ của động cơ đạt khoảng 75% tốc độ đồng bộ. Khác với động cơ tách pha bằng điện trở, động cơ khởi động bằng tụ là động cơ có thể đảo chiều được. Để đảo chiều, động cơ phải tạm thời ngắt ra khỏi lưới điện và cho phép tốc độ động cơ giảm xuống tới tốc độ với hệ số trượt 20% (lớn hơn 4 lần hệ số trượt định mức khoảng 5%). Cùng lúc đó công tắc ly tâm được đóng vào cuộn dây phụ. Cả hai thao tác đồng thời này làm thay đổi chiều quay của động cơ. Chi phí của tụ điện làm tăng thêm giá thành và làm cho động cơ này đắt hơn động cơ tách pha. Tuy nhiên do tụ điện chỉ có dòng điện đi qua trong thời gian khởi động tương đối ngắn nên có thể dùng loại tụ điện phân xoay chiều rẻ tiền. Các động cơ này được ứng dụng trong các ứng dụng yêu cầu mômen khởi động cao, như máy nén, máy bơm, máy điều hoà không khí, các băng tải, các máy giặt và các tải khó khởi động khác.



Hình 10.5. Động cơ không đồng bộ khởi động bằng tụ

a) Sơ đồ nguyên lý; b) Đồ thị vectơ khi khởi động; c) Đặc tính mômen – tốc độ điển hình.

Trong thiết kế, giá trị điện kháng của tụ điện mắc nối tiếp với cuộn dây phụ để tạo ra mômen khởi động lớn có thể xác định như sau:

$$X_C = X_B + \frac{R_B R_A}{X_A + Z_A} \quad (10.29)$$

$$\text{Giá trị của tụ là: } C = \frac{1}{\omega X_C} \quad (10.30)$$

$$\text{hay } C = \frac{1}{\omega \left(X_B + \frac{R_B R_A}{X_A + Z_A} \right)} \quad (10.31)$$

Tuy nhiên động cơ có thiết kế tốt nhất là khi có được tỷ số mômen khởi động trên dòng khởi động là lớn nhất, chứ không phải chỉ có riêng mômen khởi động lớn nhất. Điện kháng của tụ khi đó được xác định:

$$X_C = X_B + \frac{-X_A R_B + \sqrt{R_B(R_B + R_A)} Z_A}{R_A} \quad (10.32)$$

$$\text{Giá trị của tụ là: } C = \frac{1}{\omega X_C} \quad (10.33)$$

10.4.3. Động cơ chạy bằng tụ

Động cơ điện dung tách pha bằng tụ còn được gọi là động cơ điện dung tách pha vĩnh cửu, động cơ có điện dung làm việc, động cơ có tụ làm việc hoặc đơn giản là động cơ điện dung bởi vì chúng được thiết kế để vận hành với cuộn dây phụ và tụ điện được mắc nối tiếp vĩnh cửu (hình vẽ 10.6a). Động cơ này đơn giản hơn động cơ khởi động bằng tụ vì nó không cần có công tắc ly tâm. Mômen, hiệu suất, và hệ số công suất của nó cũng cao hơn vì nó hoạt động như một động cơ hai pha. Động cơ này tạo ra mômen bằng phẳng, không đập mạch như các động cơ khác. Vì vậy, nó vận hành trơn tru và không gây tiếng ồn. Giá trị của tụ điện trong động cơ này được tính dựa trên đặc tính làm việc chứ không phải là đặc tính khởi động. Bởi vì dòng điện chạy qua nhánh có tụ khi khởi động có giá trị rất thấp nên động cơ điện dung có mômen khởi động rất nhỏ, (hình vẽ 10.6b). Việc đảo chiều của động cơ này không những có thể thực hiện được mà còn có thể thực hiện dễ dàng hơn so với các loại động cơ khác. Tốc độ của nó được điều khiển bằng cách thay đổi điện áp trên stato với nhiều phương pháp khác nhau.

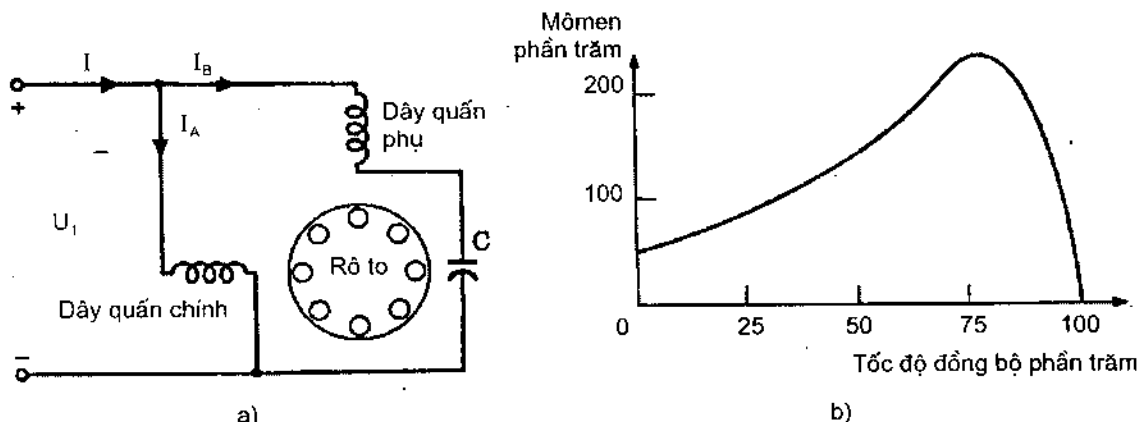
Động cơ chạy bằng tụ này được sử dụng trong các quạt điện, máy điều hoà không khí và tủ lạnh. Khi khởi động, hệ số trượt stato là 1 và $R_t = R_n$, mômen khởi động của động cơ chạy bằng tụ được xác định từ:

$$M_{kd} = \frac{2aI_R I_A (R_t + R_n)}{\omega_{th}} \sin(\varphi_B + \varphi_A) \quad (10.34)$$

hoặc giống như trên:

$$M_{kd} = KI_B I_A \sin \alpha$$

Ở đây, a là tỷ số vòng dây giữa cuộn dây phụ và cuộn dây chính, φ_B và φ_A theo thứ tự là góc tổng trở của cuộn dây phụ và cuộn dây chính.



Hình 10.6. Động cơ không đồng bộ chạy bằng tụ
a) Sơ đồ nguyên lý; b) Đặc tính mômen – tốc độ điển hình.

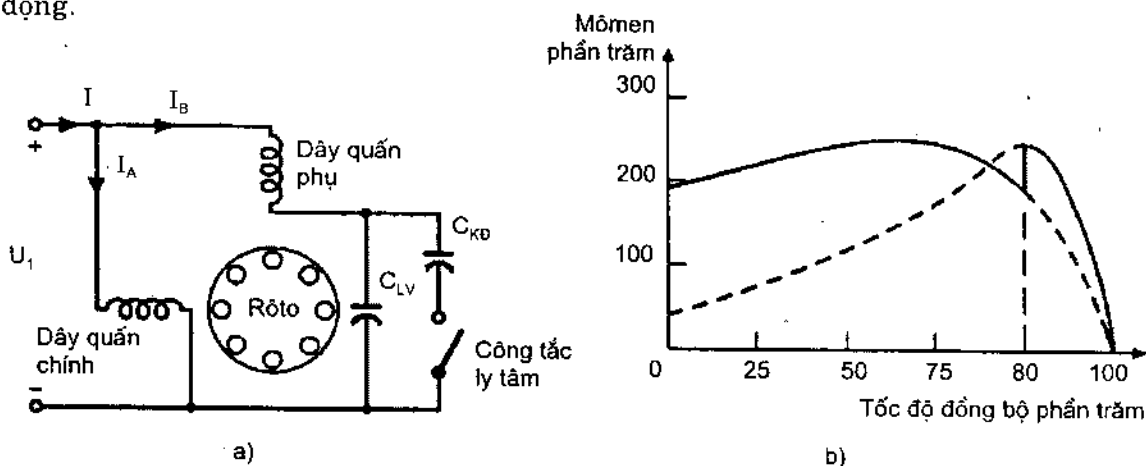
10.4.4. Động cơ có tụ khởi động và tụ làm việc

Động cơ có tụ khởi động và tụ làm việc cũng được gọi là động cơ có điện dung khởi động và làm việc, hay động cơ điện dung hai giá trị. Động cơ này kết hợp được cả mômen khởi động lớn của động cơ khởi động bằng tụ và chế độ làm việc tốt của động cơ chạy bằng tụ, (xem hình 10.7b). Điều này đạt được bằng cách sử dụng hai tụ điện (hình 10.7a). Tụ điện trong cuộn dây phụ và tụ điện C_{lv} thường được sử dụng loại tụ điện phân và được mắc song song với nhau khi khởi động. Vì tụ điện làm việc C_{lv} phải là loại hoạt động dài hạn nên động cơ này có giá thành đắt nhưng lại có đặc tính vận hành tốt nhất.

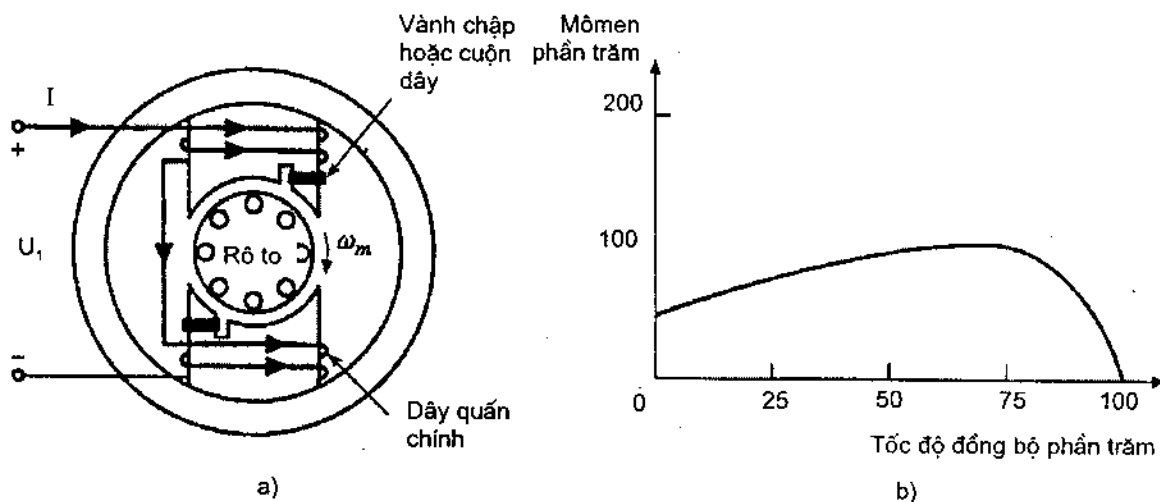
10.4.5. Động cơ xẻ cực

Động cơ xẻ cực được sử dụng rộng rãi trong ứng dụng mà yêu cầu công suất 1/20 mã lực hoặc nhỏ hơn. Động cơ xẻ cực còn có các tên gọi khác: động cơ cực từ xẻ rãnh, động cơ có vành lệch pha, động cơ cực bị chắn, động cơ có vành chấp, động cơ có vành ngắn mạch. Trên hình 10.8a, động cơ có dạng cực lõi với cuộn dây chính có một cuộn trên một cực và một rôto lồng sóc. Một phần của mỗi cực có vành chắn (vành chấp) hoặc cuộn dây. Vành chắn này đơn giản chỉ là một vành ngắn mạch bằng đồng (hay là một vòng dây cứng làm từ đồng) được quấn xung quanh phần mỏm cực nhỏ hơn của cực từ. Mục đích của nó là để làm trễ theo thời gian phân luồng từ thông đi qua nó với phần từ thông đi ra từ phần còn lại của bề mặt cực từ. Nói cách khác, dòng điện được cảm ứng trên vành chắn làm cho từ thông đi qua phần cực từ bị xẻ trễ pha so với luồng từ thông đi qua phần cực từ không bị xẻ. Do vậy luồng từ thông của phần không bị xẻ sẽ đạt giá trị cực đại trước từ thông của phần cực từ bị xẻ. Kết quả là từ trường trong máy giống như một từ trường quay chuyển động từ phần cực từ không bị xẻ sang phần cực từ bị xẻ, tạo cho động cơ một

mômen khởi động nhỏ. Động cơ xẻ cực có cấu tạo chắc chắn, rẻ, kích thước nhỏ và ít cần bảo dưỡng. Nó có mômen khởi động, hiệu suất và hệ số công suất nhỏ và được dùng trong máy quay đĩa, máy chiếu phim, các quạt nhỏ, và các máy bán hàng tự động.



Hình 10.7. Động cơ có tụ khởi động và tụ làm việc
a) Sơ đồ nguyên lý; b) Đặc tính mômen – tốc độ điển hình.



Hình 10.8. Động cơ không đồng bộ xẻ cực
a) Sơ đồ nguyên lý; b) Đặc tính mômen – tốc độ điển hình tiêu biểu.

Ví dụ 10.2

Cho một động cơ không đồng bộ một pha, hai cực, 120V, 50Hz có các thông số tổng trở khi rôto đứng yên được đo ở tần số định mức:

- 1) Cuộn dây chính: $Z_A = 1,6 + j4,2 \Omega$
- 2) Cuộn dây phụ: $Z_B = 3,2 + j6,5 \Omega$

Hãy xác định:

a) Giá trị của điện trở bên ngoài cần thiết mắc nối tiếp với cuộn dây phụ để có mômen khởi động cực đại nếu động cơ có kiểu tách pha bằng điện trở.

b) Giá trị của tụ điện cần thiết mắc nối tiếp với cuộn dây phụ để đạt được mômen khởi động cực đại nếu động cơ có kiểu khởi động bằng tụ.

c) Giá trị của tụ điện cần thiết cần mắc nối tiếp với cuộn dây phụ để có chỉ số mômen khởi động trên dòng khởi động đạt cực đại nếu động cơ có kiểu khởi động bằng tụ.

Lời giải:

a) Giá trị của điện trở bên ngoài cần thiết mắc nối tiếp với cuộn dây phụ ở bên ngoài được xác định từ công thức (10.26):

$$R_B = \frac{X_B}{X_A} (R_A + Z_A) = \frac{6,5}{4,2} (1,6 + 4,495) = 12,5 \Omega$$

trong đó: $Z_A = Z_A \angle \varphi_A = 4,495 \angle 69,15^\circ \Omega$

Do vậy giá trị của điện trở ngoài là:

$$R_p = 12,5 - 6,5 = 6 \Omega$$

b) Giá trị điện kháng của tụ điện cần thiết mắc nối tiếp với cuộn dây phụ tìm ra từ công thức (10.29):

$$X_C = X_B + \frac{R_B R_A}{X_A + Z_A} = 6,5 + \frac{3,2 \cdot 1,6}{4,2 + 4,495} = 6,7712 \Omega$$

Do vậy giá trị điện dung của tụ điện tìm được là:

$$C = \frac{1}{\omega X_C} = \frac{10^6}{2\pi \cdot 50 \cdot 6,7712} = 470,1 \mu F$$

c) Để có tỷ số mômen khởi động trên dòng khởi động là lớn nhất thì giá trị điện kháng của tụ điện có thể tính theo công thức (10.32):

$$\begin{aligned} X_C &= X_B + \frac{-X_A R_B + \sqrt{R_B (R_B + R_A)} \cdot Z_A}{R_A} \\ &= 6,5 + \frac{-4,2 \cdot 3,2 + \sqrt{3,2(3,2 + 1,6)} \cdot 4,495}{1,6} = 9,11 \Omega \end{aligned}$$

Từ đó giá trị điện dung của tụ là:

$$C = \frac{1}{\omega X_C} = \frac{1}{2\pi f X_C} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 9,11} = 349,04 \mu F$$

10.5. ĐỘNG CƠ VẠN NĂNG

Động cơ vạn năng là loại động cơ nối tiếp một pha mà có thể hoạt động được với cả dòng xoay chiều và dòng một chiều với đặc tính tương tự nhau khi mà cả lõi sắt stato và rôto đều được làm bằng các lá thép mỏng. Về cơ bản, động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp với stato được ghép bằng các lá thép mỏng và lõi sắt rôto không phải là các lá thép mỏng, tổn thất sắt sẽ rất lớn nếu động cơ được cấp nguồn

xoay chiều. Vì động cơ này có thể chạy ở cả nguồn xoay chiều (với tần số nhỏ hơn tần số thiết kế) và nguồn một chiều (tần số bằng không) nên nó thường được gọi là động cơ vạn năng. Ở đây, từ trường chính và từ trường phản ứng là trùng pha vì có cùng một dòng điện chạy qua từ trường chính và phản ứng. Do vậy, động cơ một chiều kích từ song song không thể vận hành với nguồn xoay chiều bởi từ trường kích từ song song có tính điện cảm cao còn phản ứng có tính trở cao. Cho nên phần cảm và phản ứng không cùng pha. Điện kháng cao trong cuộn dây phần cảm làm cho dòng điện phần cảm trễ pha so với dòng phản ứng một góc lớn làm cho mômen sinh ra rất nhỏ. Khi được cấp nguồn điện xoay chiều thì cả từ trường chính và từ trường phản ứng sẽ đảo chiều vào cùng một thời điểm nhưng mômen và chiều quay luôn luôn ở một chiều cố định. Giống như tất cả các động cơ kích từ nối tiếp, tốc độ không tải của động cơ vạn năng thường cao và thường nằm trong dải từ 1500 đến 20000 vòng/phút và bị giới hạn bởi thông gió và ma sát. Loại động cơ này thường được sử dụng trong dải công suất khoảng 1/20 mã lực hoặc nhỏ hơn, trong một số ứng dụng thương mại như dao cạo râu điện, dụng cụ cầm tay, máy khâu, các máy xay, máy hút bụi, máy sấy tóc cầm tay, máy khoan, cái bào soi, và máy mài cầm tay. Các ứng dụng này đòi hỏi động cơ có mômen khởi động tương đối cao và tốc độ phải vượt quá tốc độ đồng bộ 3600vòng/phút với tần số 60Hz. Chúng được thiết kế với điện áp 1,5 đến 250V. Vì vậy, động cơ vạn năng là lý tưởng nhất cho các ứng dụng này. Trong các ứng dụng trên, động cơ luôn luôn mang tải trực tiếp với một chút nguy cơ bị lồng tốc. Cách tốt nhất để điều khiển mômen và tốc độ cho động cơ loại này là thay đổi điện áp đầu vào bằng cách sử dụng các thiết bị bán dẫn như bộ chỉnh lưu silic, TRIAC.

Cũng có những động cơ xoay chiều nối tiếp một pha công suất lớn (dây công suất 500 mã lực) và được sử dụng trong các ứng dụng sức kéo như các đầu máy xe điện.

Khi có dòng kích từ một chiều thì mômen điện từ sinh ra và sức điện động của động cơ vạn năng được tính:

$$M_{dt} = K_u \Phi_{d(mc)} I_u \quad (10.35)$$

$$E_u = K_u \Phi_{d(mc)} \omega_{m(mc)} \quad (10.36)$$

Với giả thiết từ trường tuyến tính thì mômen điện từ và sức điện động tìm được theo công thức:

$$M_{dt} = K_u I_u^2 \quad (10.37)$$

$$E_u = K_u I_u \omega_{m(mc)} \quad (10.38)$$

Khi có dòng kích từ xoay chiều, mômen điện từ trung bình và giá trị hiệu dụng sức điện động của động cơ vạn năng là:

$$M_{dt} = K_u \Phi_{d(xc)} I_u \quad (10.39)$$

$$E_u = K_u \Phi_{d(xc)} \omega_{m(xc)} \quad (10.40)$$

trong đó $\Phi_{d(xc)}$ là giá trị hiệu dụng của từ thông trục d và I_u là giá trị hiệu dụng

của dòng điện động cơ. Nếu từ trường là tuyến tính, giá trị mômen điện từ trung bình và giá trị hiệu dụng của sức điện động có thể được biểu diễn như sau:

$$M_{dt} = KI_u^2 \quad (10.41)$$

$$E_u = KI_u \omega_{m(xc)} \quad (10.42)$$

Do công suất điện từ:

$$P_{dt(xc)} = E_u I_u \quad (10.43)$$

nên:
$$M_{dt} = \frac{P_{dt}}{\omega_{m(xc)}} = \frac{E_u I_u}{\omega_{m(xc)}} \quad (10.44)$$

Điện áp trên đầu cực khi có kích từ xoay chiều là:

$$U_1 = E_u + I_u Z_u + I_u Z_{nt} \quad (10.45)$$

trong đó:
$$Z_u = R_u + jX_u \quad (10.46)$$

$$Z_{nt} = R_{nt} + jX_{nt} \quad (10.47)$$

Do đó điện áp đầu vào là:

$$U_1 = E_u + I_u(R_u + jX_u) + I_u(R_{nt} + jX_{nt}) \quad (10.48)$$

hay:

$$U_1 = E_u + I_u(R_u + R_{nt}) + jI_u(X_u + X_{nt}) \quad (10.49)$$

Từ đó sức điện động có thể biểu diễn theo công thức:

$$E_u = U_1 - I_u(R_u + R_{nt}) - jI_u(X_u + X_{nt}) \quad (10.50)$$

Dựa trên giả thiết rằng dòng điện phản ứng khi có kích từ một chiều và giá trị hiệu dụng dòng điện phản ứng khi có kích từ xoay chiều là bằng nhau, sức điện động có thể biểu diễn dưới dạng :

$$\frac{E_{u(mc)}}{E_{u(xc)}} = \frac{K_u \Phi_{d(mc)} \omega_{m(mc)}}{K_u \Phi_{d(xc)} \omega_{m(xc)}} = \frac{\omega_{m(mc)}}{\omega_{m(xc)}} \quad (10.51)$$

Hơn nữa nếu hiện tượng bão hoà xảy ra khi động cơ được kích từ bằng dòng xoay chiều thì từ thông $\Phi_{d(xc)}$ sẽ nhỏ hơn từ thông khi có kích từ một chiều $\Phi_{d(mc)}$, cho nên tỷ số sức điện động:

$$\frac{E_{u(mc)}}{E_{u(xc)}} \cong \frac{1}{\cos \varphi} > 1,0 \quad (10.52)$$

luôn lớn hơn 1. Khi điện áp trên đầu cực, dòng điện phản ứng, và mômen là hằng số, thì tốc độ của động cơ khi có kích từ xoay chiều sẽ nhỏ hơn so với khi có kích từ một chiều. Tóm lại khi có kích từ xoay chiều thì tốc độ của động cơ chậm hơn, hệ số công suất nhỏ hơn, và mômen đập mạch cũng nhỏ hơn.

Ví dụ 10.3

Một động cơ vạn năng một pha, 120V, 50Hz, hoạt động ở tốc độ 1800 vòng/phút, dòng điện phản ứng là 0,5A khi được cấp bởi điện áp 120V một chiều. Động cơ này có điện trở và điện kháng tương ứng là 22Ω và 100Ω. Nếu động cơ được cấp bởi nguồn xoay chiều, hãy xác định các thông số sau:

- Tốc độ của động cơ khi động cơ được nối với nguồn xoay chiều.
- Hệ số công suất của động cơ khi động cơ được nối với nguồn điện xoay chiều.
- Mômen điện từ của động cơ khi được nối với nguồn điện xoay chiều.

Lời giải:

- Khi động cơ được cấp bởi nguồn điện một chiều:

$$E_{u(mc)} = U_1 - I_u R_u = 120 - 0,5.22 = 109V$$

Khi động cơ được cấp bởi nguồn điện xoay chiều:

$$E_{u(xc)} + I_u R_u = \sqrt{U_1^2 - (I_u X_u)^2}$$

$$\text{hay: } E_{u(xc)} = \sqrt{U_1^2 - (I_u X_u)^2} - I_u R_u = \sqrt{120^2 - (0,5.100)^2} - 0,5.22 = 98,09V$$

Bằng cách giả sử rằng từ thông dưới dòng một chiều và dòng xoay chiều như nhau thì ta có công thức: $\frac{E_{u(mc)}}{E_{u(xc)}} = \frac{n_{mc}}{n_{xc}}$

Do đó tốc độ của động cơ khi được nối với nguồn xoay chiều là:

$$n_{xc} = n_{mc} \frac{E_{u(xc)}}{E_{u(mc)}} = 1800 \frac{98,09}{109} = 1619,83 \text{ vòng/phút} = 27 \text{ vòng/giây}$$

- Hệ số công suất của động cơ tìm được là:

$$\cos \varphi = \frac{E_u + I_u R_u}{U_1} = \frac{98,09 - 0,5.22}{120} = 0,91$$

- Công suất điện từ của động cơ là:

$$P_{dt} = E_u I_u = 98,09.0,5 = 49W$$

Do vậy mômen điện từ của động cơ là:

$$M_{dt} = \frac{P_{dt}}{\omega_m} = \frac{P_{dt}}{2\pi n_m} = \frac{49}{2\pi.27} = 0,289 \text{ Nm}$$

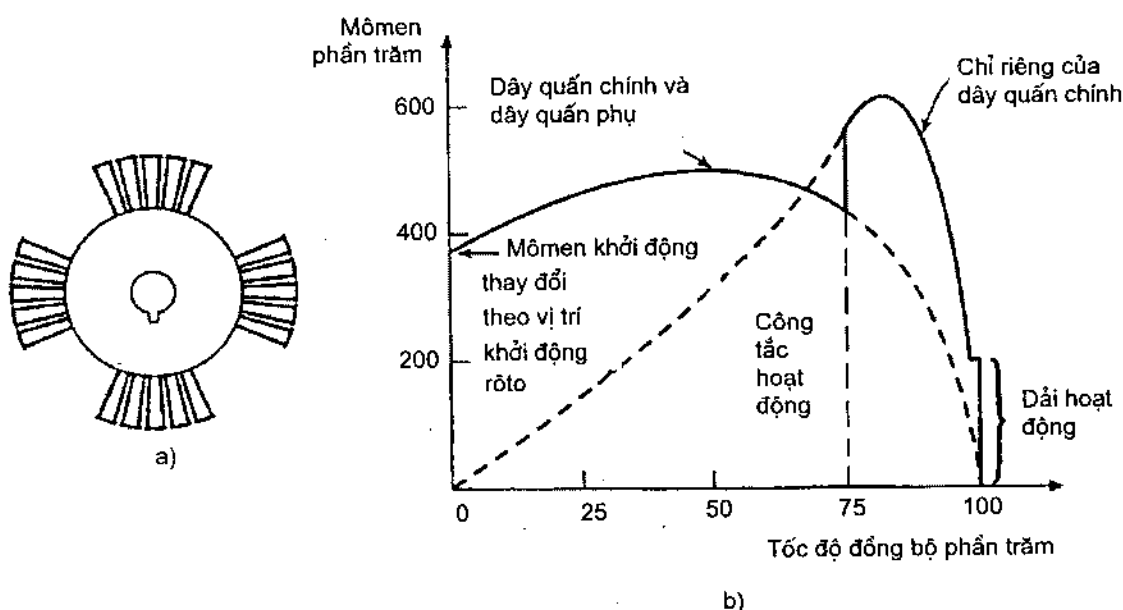
10.6. ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ MỘT PHA

Động cơ đồng bộ một pha được sử dụng trong các ứng dụng yêu cầu nghiêm ngặt về tốc độ. Chúng bao gồm động cơ từ trở, động cơ từ trễ, và động cơ bước. Động cơ từ trở và động cơ từ trễ được sử dụng trong các đồng hồ điện, thiết bị đo thời gian, và mâm xoay đĩa hát. Động cơ bước được sử dụng trong máy đánh chữ, máy in, ổ đĩa máy tính, máy ghi băng video và một số thiết bị điện khác.

10.6.1. Động cơ từ trở

Động cơ từ trở, hay động cơ phản kháng là một loại máy điện đồng bộ cực lỗi không có kích từ. Nó còn được gọi là động cơ không đồng bộ – đồng bộ cực lỗi một pha hay đơn giản là động cơ đồng bộ. Nguyên lý của loại này dựa trên mômen từ trở có khuynh hướng đưa rôto về thẳng hàng với cực stato gần nhất và xác định luôn

chiều quay. Mômen cung cấp cho rôto của động cơ tỷ lệ với $\sin 2\delta$, trong đó δ là góc độ điện giữa rôto và từ trường stato. Do đó mômen từ trở của động cơ lớn nhất khi góc giữa rôto và từ trường stato là 45° . Nói chung, một động cơ không đồng bộ bất kỳ cũng có thể biến đổi thành động cơ đồng bộ kiểu từ trở tự khởi động. Điều này có thể thực hiện được bằng cách thay đổi rôto sao cho các lá thép cán mỏng có dạng cực lồi như hình 10.9a. Phần nhô ra được tạo bằng cách bỏ bớt một số răng của rôto ở những phần thích hợp để tạo ra một cấu trúc rôto bốn cực. Cấu trúc này có thể sử dụng cho động cơ từ trở bốn cực. Từ trở của từ thông khe hở không khí sẽ lớn hơn rất nhiều ở chỗ không có răng rôto. Như thế, động cơ từ trở có thể khởi động như một động cơ không đồng bộ miễn là thanh dẫn lồng sóc và vòng ngắn mạch được đặt đúng vị trí. Động cơ này tăng tốc như một động cơ không đồng bộ và được kéo lên tốc độ đồng bộ bằng từ trường một pha xoay chiều đập mạch do có mômen từ trở tạo ra bởi cực từ lồi với khe hở không khí có từ trở nhỏ.



Hình 10.9. Động cơ từ trở

a) Hình dạng rôto; b) Đặc tính mômen – tốc độ điển hình.

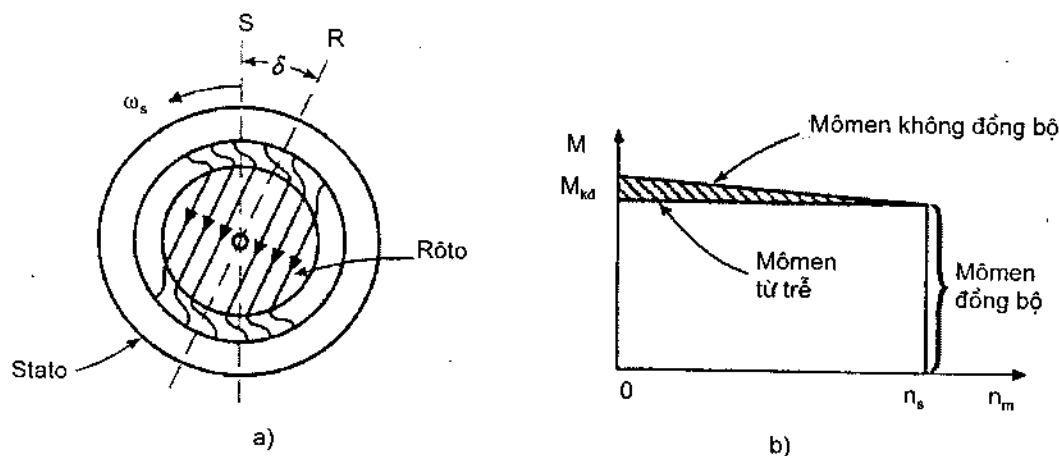
Tóm lại, mômen được tạo ra bởi vì rôto có khuynh hướng tự thẳng hàng với từ trường quay, do đó động cơ từ trở khởi động như một động cơ không đồng bộ, nhưng tiếp tục hoạt động như một động cơ đồng bộ.

Động cơ có hai dây quấn stato, gồm dây quấn chính và dây quấn phụ. Khi động cơ khởi động như động cơ không đồng bộ cả hai cuộn dây đều làm việc. Khi tốc độ xấp xỉ 75% tốc độ đồng bộ, một công tắc ly tâm sẽ ngắt cuộn dây phụ để tốc độ động cơ tăng gần đến tốc độ đồng bộ. Lúc này nhờ vào mômen từ trở mà rôto nhảy vào đồng bộ và tiếp tục quay ở tốc độ đồng bộ. Nếu tải của động cơ từ trở tăng lên nhiều thì động cơ sẽ trượt ra khỏi đồng bộ. Tuy nhiên, nó vẫn tiếp tục chạy với một hệ số trượt nào đó như động cơ không đồng bộ. Hình 10.9b cho biết đặc tính mômen – tốc độ của động cơ từ trở một pha điển hình. Giá trị của mômen khởi động phụ thuộc

vào vị trí của rôto không đối xứng so với cuộn dây kích từ. Bên cạnh đó, do không có kích từ một chiều trên rôto động cơ từ trở nên nó tạo ra mômen thấp hơn so với động cơ đồng bộ có kích từ với cùng kích thước. Mà kích thước của máy điện gần như tỷ lệ thuận với mômen, vì vậy động cơ từ trở có kích thước lớn hơn khoảng ba lần so với động cơ đồng bộ có cùng mômen và tốc độ.

10.6.2. Động cơ từ trở

Những động cơ này ứng dụng hiện tượng từ trở để tạo ra mômen cơ. Rôto của động cơ từ trở là một hình trụ nhẵn được làm từ vật liệu từ đặc biệt như thép cứng, crôm, hoặc côban và không có răng, không cấu tạo từ lá thép cán mỏng hoặc không có dây quấn. Dây quấn stato là loại dây quấn phân tán để tạo ra từ thông khe hở không khí hình sin. Cuộn dây stato cũng có thể là một hoặc ba pha. Trong động cơ một pha, dây quấn stato có kiểu điện dung tách pha vĩnh cửu (hình 10.6a). Cuộn dây stato được cấp điện sẽ tạo ra từ trường quay với tốc độ đồng bộ. Từ trường quay này từ hoá kim loại ở rôto và cảm ứng nên dòng điện xoáy. Nhờ vào từ trở, quá trình từ hoá rôto sẽ chậm hơn so với từ trường quay cảm ứng (hình 10.10a). Góc chậm pha δ tồn tại bởi vì vật liệu kim loại rôto có tổn hao từ trở lớn. Góc trễ của từ trường rôto với từ trường stato phụ thuộc vào tổn hao từ trở của rôto. Ở tốc độ đồng bộ, từ thông stato không quét qua rôto làm cho dòng xoáy biến mất và rôto hoạt động như một nam châm vĩnh cửu. Lúc này mômen tạo ra ở rôto tỷ lệ với góc δ giữa từ trường rôto và stato, góc này được quyết định bởi từ trở của động cơ. Cho nên một mômen không đổi (được gọi là mômen từ trở ở hình 10.10b) tồn tại từ khi tốc độ bằng 0 đến tốc độ đồng bộ. Như trong hình ta thấy, động cơ từ trở có rôto tròn và không ghép từ các lá thép cán mỏng, có mômen không đồng bộ được cộng thêm với mômen từ trở cho đến khi động cơ đạt được tốc độ đồng bộ. Động cơ từ trở tự khởi động và được sản xuất đến công suất 200W dùng cho những ứng dụng điều khiển tốc độ chính xác. Các ứng dụng đó là đồng hồ, máy ghi âm, đầu đĩa compact, và các cơ cấu chấp hành.



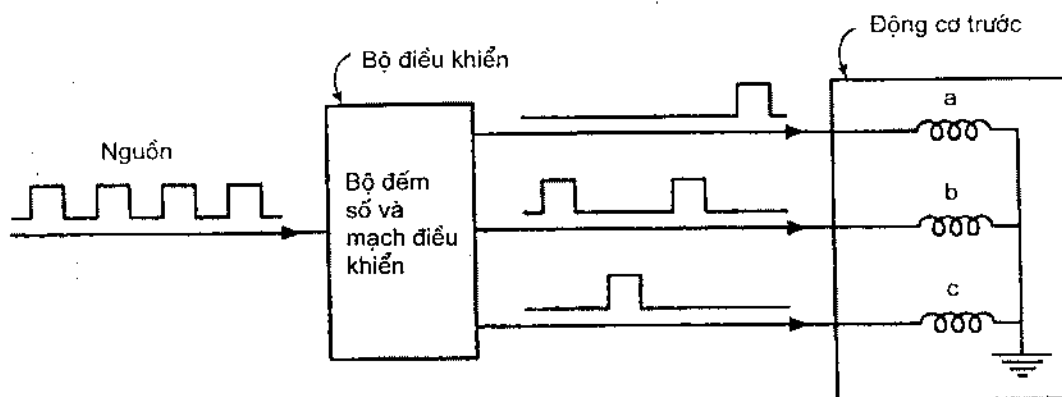
Hình 10.10. Động cơ từ trở

a) Stato và rôto;

b) Đặc tính mômen – tốc độ.

10.6.3. Động cơ bước

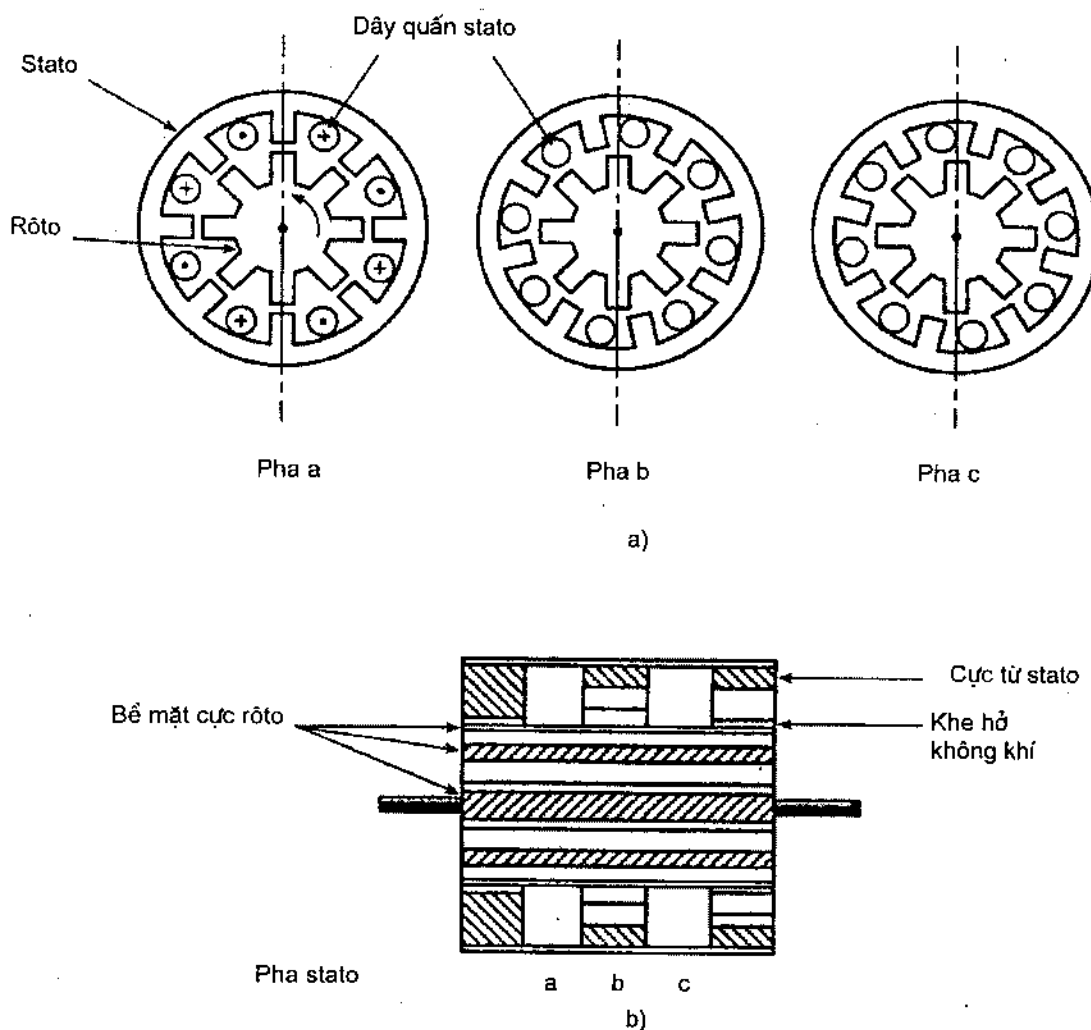
Về cơ bản, động cơ bước là loại động cơ xoay chiều được thiết kế để xoay đi một góc định trước đáp ứng theo tín hiệu số đầu vào dưới dạng xung. Các góc tiêu chuẩn thường là 1° ; 2° ; $2,5^\circ$; 5° ; $7,5^\circ$; 15° hoặc nhiều hơn cho mỗi xung điện. Động cơ bước thường được sử dụng trong những hệ thống điều khiển số, trong hệ thống đó động cơ nhận các lệnh vòng hở dưới dạng chuỗi xung và bộ điều khiển đặt tuần tự các xung tới cuộn dây động cơ để quay trục hoặc di chuyển một vật đi một khoảng nhất định. Chúng là những thiết bị rất tốt để điều khiển tốc độ động cơ hoặc vị trí điều khiển một cách chính xác mà không cần phản hồi nào. Trong những ứng dụng như thế, trục của từ trường động cơ nhảy từng bước quanh khe hở không khí với tốc độ đặt theo tần số xung. Rôto tự nghiêng theo hướng thẳng hàng với trục từ trường. Do đó rôto nhảy bước đồng bộ với chuyển động của từ trường. Vì thế động cơ loại này được gọi là động cơ bước. Động cơ có cấu tạo đơn giản và có thể được điều khiển để quay từng bước đều đặn theo cả hai hướng. Chúng được sử dụng ngày càng nhiều trong hệ thống điều khiển điện tử số bởi vì chúng không cần cảm biến vị trí hoặc hệ thống phản hồi để đầu ra đáp ứng theo lệnh đầu vào. Hình 10.11 minh họa dạng kinh điển ứng dụng động cơ bước trong điều khiển. Một chuỗi xung có f xung trên giây được cung cấp cho mạch điều khiển và đầu vào của bộ điều khiển được phân chia sao cho đầu ra gửi các thông tin một cách tuần tự đến một pha của cuộn dây. Nếu coi m là số pha và Z là số răng thì góc quay của rôto trên một xung gọi là bước của $\pi/2Z$ radian. Cũng theo đó, rôto quay được n bước trong 1 giây. Vì thế tốc độ góc là $2\pi n/km \text{ rad/s}$.



Hình 10.11. Hệ truyền động động cơ bước.

Động cơ bước phân loại theo kiểu động cơ được sử dụng. Nếu động cơ nam châm vĩnh cửu được sử dụng thì được gọi là động cơ bước nam châm vĩnh cửu. Nếu động cơ từ trở thay đổi được sử dụng, nó được gọi là động cơ bước từ trở thay đổi. Động cơ bước nam châm vĩnh cửu có quán tính lớn và như thế tăng tốc chậm hơn loại động cơ bước từ trở thay đổi. Ví dụ tốc độ bước tối đa của động cơ nam châm vĩnh cửu là 300 xung/giây, nhưng của động cơ từ trở biến đổi là 1200 xung/giây. Động cơ bước

nam châm vĩnh cửu tạo ra tỷ số mômen /dòng điện khởi động stato lớn hơn động cơ bước từ trở thay đổi. Cũng có loại là động cơ bước lai ghép có rôto với trục cực từ nam châm vĩnh cửu nằm ở giữa và răng sắt từ nằm ở phía ngoài. Động cơ bước lai ghép kết hợp tính chất của động cơ từ trở biến đổi và động cơ nam châm vĩnh cửu. Động cơ bước từ trở thay đổi có thể là loại một ngăn hoặc loại nhiều ngăn. Loại thứ hai có các bước cỡ nhỏ hơn. Động cơ của nó được phân đoạn dọc trục thành các khu vực cách từ được gọi là những ngăn chứa được kích từ bởi các cuộn dây riêng được gọi là pha. Mặc dù động cơ từ trở thay đổi có bảy ngăn và bảy pha cũng được sử dụng, nhưng loại ba pha được sử dụng phổ biến hơn.



Hình 10.12. Động cơ bước từ trở biến đổi với rôto tám cực, ba stato riêng biệt đặt dọc theo rôto.

Hình 10.12b miêu tả một động cơ bước từ trở thay đổi với rôto tám cực và ba stato tám cực riêng biệt xếp dọc theo rôto. Nếu cực pha a của stato được cấp năng lượng bởi một bộ gồm nhiều cuộn dây mắc nối tiếp với dòng i_a , cực từ rôto sẽ sắp xếp thẳng hàng theo cực từ stato của pha a. Trong hình 10.12a, pha b stato tương tự

pha a ngoại trừ việc cực từ của nó dịch đi 15° ngược theo chiều kim đồng hồ. Tương tự pha c dịch đi 15° ngược theo chiều kim đồng hồ so với pha b. Khi dòng i_a trong pha a được ngắt và pha b được kích hoạt, động cơ sẽ tạo ra mômen làm quay rôto đi 15° theo ngược chiều kim đồng hồ. Tương tự, khi dòng i_b trong pha b được ngắt và pha c được kích hoạt, rôto sẽ quay đi 15° theo chiều ngược chiều kim đồng hồ. Cuối cùng khi dòng i_c trong pha c được ngắt và pha a được kích hoạt, động cơ quay tiếp 15° theo chiều ngược chiều kim đồng hồ, hoàn thành một bước 45° quay theo chiều ngược chiều kim đồng hồ. Do vậy, thêm xung vào abc một cách tuần tự sẽ tạo ra thêm một bước chuyển động theo chiều ngược chiều kim đồng hồ. Đảo chiều thứ tự dòng điện xung của abc sẽ đảo chiều quay của rôto. Đối với động cơ n – ngăn, rôto hoặc stato (nhưng không thể cả hai) trên mỗi ngăn sẽ dịch chuyển đi $1/n$ lần góc bước cực. Động cơ bước nam châm vĩnh cửu đòi hỏi phải có hai pha và cực tính dòng điện là rất quan trọng. Động cơ bước lai ghép có sự thay đổi đáng kể so với động cơ bước từ trở biến đổi nhiều ngăn ở chỗ cấu trúc cực từ stato đặt dài liên tục dọc theo chiều dài rôto.

10.7. ĐỘNG CƠ DƯỚI ĐỒNG BỘ

Một động cơ dưới đồng bộ có rôto với bề mặt ngoài tròn và có răng rãnh như các rôto cực lồi nhiều cực khác. Ví dụ, một động cơ tiêu biểu loại này có thể có 16 răng hoặc 16 cực, với stato 16 cực từ trường ở stato sẽ quay bình thường với tốc độ đồng bộ 450 vòng/phút khi hoạt động ở tần số 50Hz. Động cơ khởi động như một động cơ từ trở. Ở tốc độ đồng bộ, các cực từ rôto được cảm ứng trên rôto từ trở và nằm ở vị trí cố định trên bề mặt của rôto khi rôto quay vào tốc độ đồng bộ với từ trường stato. Mômen từ trở chỉ có tác dụng khi rôto quay với tốc độ nhỏ hơn tốc độ đồng bộ. Các động cơ dưới đồng bộ này là những động cơ có thể tự khởi động và nó khởi động, tăng tốc với mômen từ trở giống như một động cơ đồng bộ từ trở. Mômen này không giống như mômen không đồng bộ của động cơ từ trở. Loại động cơ này có mômen khởi động lớn nhưng tốc độ thì lại nhỏ hơn so với động cơ phản kháng. Nếu một động cơ như vậy đang hoạt động ở tốc độ 450 vòng/phút mà bị tạm thời quá tải, nó sẽ mất đồng bộ. Khi tốc độ giảm đến điểm mômen cực đại thì động cơ sẽ quay vào tốc độ đồng bộ với tốc độ nhỏ hơn nhiều lần giá trị 225 vòng/phút. Chính vì lý do này mà động cơ loại này được gọi là động cơ dưới đồng bộ.

10.8. ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU NAM CHÂM VĨNH CỬU

Động điện nam châm vĩnh cửu là động cơ mà các cực của nó được làm bằng nam châm vĩnh cửu. Các máy điện nam châm vĩnh cửu chủ yếu được sử dụng theo nguyên lý máy điện một chiều nhưng đôi khi chúng hoạt động theo nguyên lý máy điện đồng bộ mà các dây quấn tạo từ trường quay được thay thế bởi nam châm vĩnh cửu. Động cơ điện xoay chiều nam châm vĩnh cửu hoạt động giống như động cơ bước

nam châm vĩnh cửu. Giống như ở động cơ bước, tần số của dòng kích từ quyết định tốc độ của động cơ và góc lệch giữa vị trí trục từ trường rôto và góc pha được kích hoạt sẽ quyết định tới mômen. Thông thường động cơ điện xoay chiều nam châm vĩnh cửu được gọi là động cơ không chổi than (không tiếp xúc) hoặc động cơ một chiều không chổi than.

Động cơ điện một chiều nam châm vĩnh cửu được sử dụng rộng rãi trong ô tô để chạy các máy điều hoà không khí, bộ gia nhiệt, tay gạt cửa kính, ghế ngồi, máy ghi âm, ăng ten radio. Trong gia đình chúng được dùng trong dao cạo râu điện, bàn chải đánh răng điện, máy xay thịt, máy hút bụi, dụng cụ bằng điện, động cơ nhỏ trong một số đồ chơi, máy xén cỏ và một số thiết bị sử dụng pin. Động cơ loại này còn được sử dụng như là bộ khởi động cho động cơ hoạt động ở ngoài trời. Trong máy tính, chúng được sử dụng làm các từ và máy quay đĩa. Chúng cũng được sử dụng trong một số các hệ thống điều khiển như là động cơ chấp hành một chiều, các máy quay băng. Trong những ứng dụng này, động cơ thường có công suất nhỏ hơn 1 mã lực bởi vì lý do về kinh tế. Tuy nhiên chúng cũng có thể được sản xuất với công suất lớn hơn 200 mã lực.

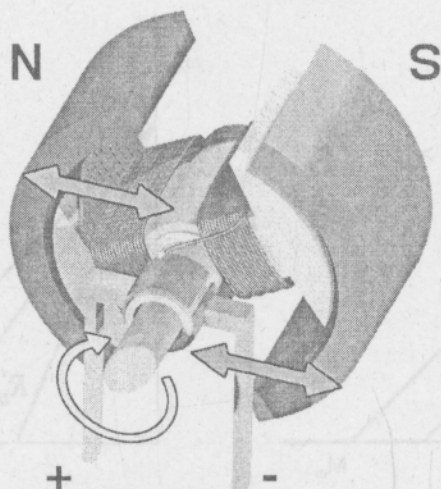
Vì không có cuộn dây sinh từ trường nên động cơ điện một chiều nam châm vĩnh cửu có stato nhẵn, trên stato có gắn các nam châm vĩnh cửu hình trụ. Như vậy, từ trường được tạo ra bởi nam châm vĩnh cửu. Rôto của động cơ này dạng phần ứng dây quấn. Nguồn điện một chiều được cấp trực tiếp cho dây dẫn phần ứng thông qua hệ thống vành trượt, chổi than.

Trong động cơ này, có ba loại nam châm vĩnh cửu là nam châm hợp kim Alnico, nam châm sứ (hoặc pherít), nam châm bằng đất hiếm (samarium – cobalt). Nam châm sứ thường được sử dụng cho loại công suất nhỏ hơn 1 mã lực, tốc độ thấp. Chúng là những động cơ kinh tế nhất trong các loại công suất nhỏ hơn 1 mã lực, và cũng rẻ hơn loại động cơ Alnico với công suất nhỏ hơn 10 mã lực. Còn loại bằng đất hiếm thì rất đắt, tuy nhiên chúng được chứng minh là có hiệu quả kinh tế cao nhất trong các loại động cơ rất nhỏ. Nam châm Alnico được sử dụng cho động cơ công suất rất lớn đến 200 mã lực. Ta cũng có thể sử dụng hợp chất đặc biệt của nam châm và vật liệu sắt từ để đạt được tính năng cao (mômen lớn, hiệu suất cao, kích thước nhỏ) với giá thành thấp.

Hình 10.13 thể hiện mặt cắt bên trong của động cơ điện một chiều nam châm vĩnh cửu. Một động cơ điện một chiều nam châm vĩnh cửu về cơ bản là động cơ một chiều kích từ song song với mạch kích từ được thay thế bằng nam châm vĩnh cửu. Vì từ thông của nam châm vĩnh cửu không thay đổi nên tốc độ của động cơ chỉ có thể được điều khiển bằng cách thay đổi điện áp phần ứng hoặc điện trở của mạch phần ứng. Do đó sơ đồ thay thế của động cơ điện một chiều nam châm vĩnh cửu bao gồm phần ứng nối tiếp với điện trở phần ứng R_a . Sức điện động được xác định từ:

$$E_u = K_u \Phi_d \omega_m$$

trong đó K_u là hằng số phần ứng, Φ_d là từ thông dưới mỗi cực từ.



Hình 10.13. Mặt cắt bên trong của động cơ điện một chiều nam châm vĩnh cửu.

Trong động cơ điện một chiều nam châm vĩnh cửu thì Φ_d là hằng số, do vậy:

$$E_u = K\omega_m \quad (10.53)$$

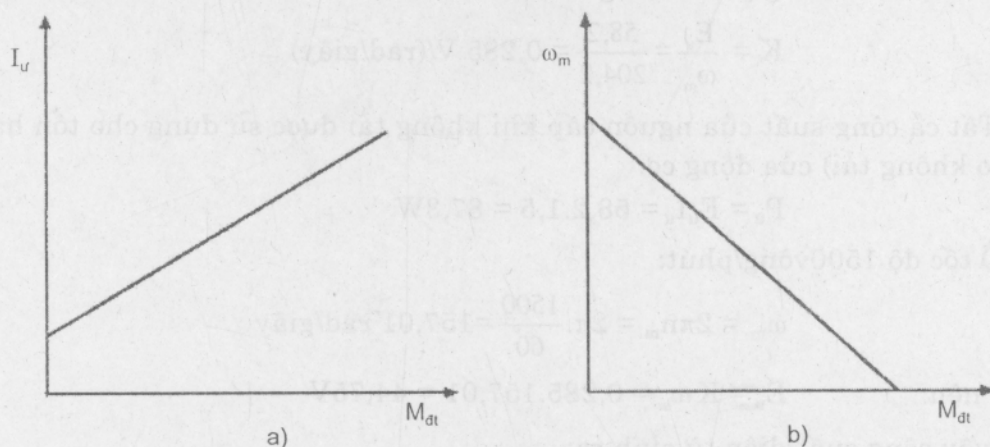
với:

$$K = K_u \Phi_d \quad (10.54)$$

K được gọi là hằng số mômen của động cơ, phụ thuộc vào hình dạng phần ứng và đặc tính của nam châm được sử dụng. Mômen điện từ cơ của động cơ được xác định từ công thức:

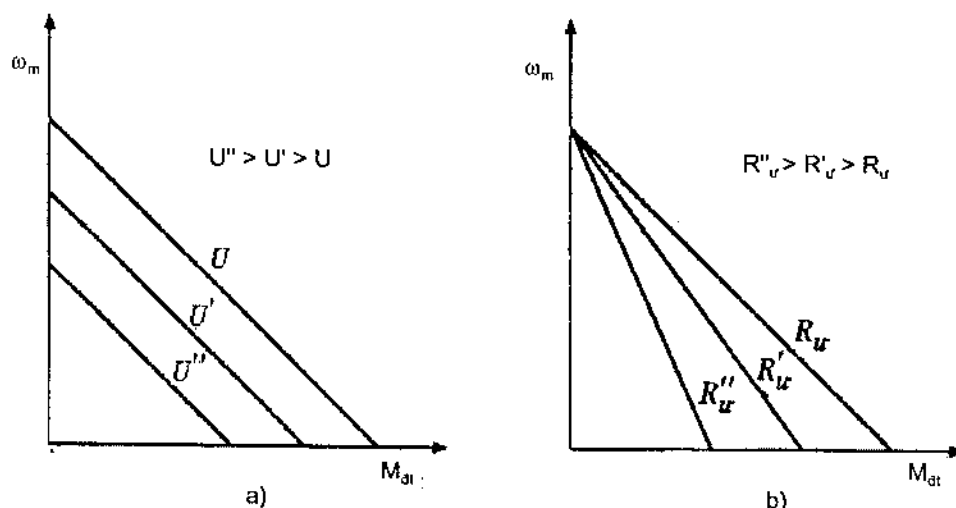
$$M_{dt} = \frac{E_u I_u}{\omega_m} = K I_u \quad (10.55)$$

Hình vẽ 10.14a và 10.14b chỉ ra đặc tính dòng điện – mômen và đặc tính tốc độ – mômen (đặc tính cơ) điển hình của động cơ một chiều nam châm vĩnh cửu. Khi thay đổi điện áp U_1 của động cơ, tốc độ không tải của động cơ thay đổi nhưng độ dốc của đường đặc tính vẫn giữ nguyên (hình 10.15a). Tuy nhiên khi thay đổi điện trở phần ứng thì đặc tính tốc độ – mômen thay đổi nhưng tốc độ không tải của động cơ ω_0 vẫn giữ nguyên (hình 10.15b).



Hình 10.14. Động cơ một chiều nam châm vĩnh cửu

a) Đặc tính dòng điện – mômen điển hình; b) Đặc tính tốc độ – mômen điển hình.



Hình 10.15. Động cơ điện một chiều nam châm vĩnh cửu

- a) Đặc tính tốc độ – mômen với điện áp nguồn khác nhau;
b) Đặc tính tốc độ – mômen khi điện trở mạch phản ứng khác nhau.

Ví dụ 10.4

Điện trở phản ứng của động cơ điện một chiều nam châm vĩnh cửu là $1,2\Omega$. Khi hoạt động với nguồn một chiều 60V thì tốc độ không tải của nó là 1950vòng/phút và dòng không tải là 1,5A. Hãy xác định các thông số sau:

- a) Hằng số mômen.
b) Tổn hao không tải.
c) Công suất đầu ra nếu động cơ quay với tốc độ 1500vòng/phút khi điện áp nguồn là 50V.

Lời giải:

- a) Sức điện động trong động cơ là:

$$E_u = U - I_u R_u = 60 - 1,5 \cdot 1,2 = 58,2V$$

- Ở tốc độ 1950 vòng/phút, hằng số mômen là:

$$K = \frac{E_u}{\omega_m} = \frac{58,2}{204,2} = 0,285 \text{ V/(rad/giây)}$$

- b) Tất cả công suất của nguồn cấp khi không tải được sử dụng cho tổn hao quay (tổn hao không tải) của động cơ:

$$P_0 = E_u I_u = 58,2 \cdot 1,5 = 87,3W$$

- c) Ở tốc độ 1500vòng/phút:

$$\omega_m = 2\pi n_m = 2\pi \cdot \frac{1500}{60} = 157,01 \text{ rad/giây}$$

cho nên: $E_u = K \omega_m = 0,285 \cdot 157,01 = 44,75V$

Do vậy công suất điện từ sinh ra:

$$E_{dt} = E_u I_u = 44,75 \cdot 4,38 = 196W$$

Vì tổn hao không tải gần như là không đổi nên công suất đưa ra trên trục động cơ là:

$$P_{ra} = P_{dt} - P_0 = 196 - 87,3 = 108,7W$$

hoặc tính theo mã lực là:

$$P_{ra} = \frac{108,7}{746} = 0,146hp$$

BÀI TẬP

10.1. Một động cơ không đồng bộ một pha, bốn cực, 120V, công suất 1/2 mã lực, có các thông số quy đổi về stato như sau:

$$R_1 = 1,9\Omega \quad R'_2 = 3,5\Omega$$

$$X_1 = 2,5\Omega \quad X'_2 = 2,5\Omega$$

$$X_{th} = 62\Omega$$

Tổn hao cơ là 35W và tổn hao phụ là 14W. Động cơ được hoạt động ở điện áp và tần số định mức với cuộn dây khởi động được hở mạch. Hệ số trượt là 4%, hãy xác định:

- Tốc độ quay của trục động cơ (vòng/phút);
- Tổng trở quay thuận và quay ngược;
- Dòng điện đầu vào;
- Hệ số công suất;
- Công suất đầu vào;
- Tổng công suất khe hở không khí;
- Công suất cơ sinh ra;
- Công suất đầu ra (trên trục động cơ);
- Mômen điện từ;
- Mômen đầu ra (trên trục động cơ);
- Hiệu suất của động cơ;

10.2. Một động cơ không đồng bộ một pha, bốn cực, 120V, 50Hz, công suất 1/4 mã lực, có các thông số quy đổi về stato như sau:

$$R_1 = 2,5\Omega \quad R'_2 = 3,8\Omega$$

$$X_1 = 2,2\Omega \quad X'_2 = 1,9\Omega$$

$$X_{th} = 59\Omega$$

Tổn hao sắt là 30W, tổn hao cơ là 10W và tổn hao phụ là 4W. Động cơ được hoạt động ở điện áp và tần số định mức với cuộn dây khởi động được hở mạch. Hệ số trượt là 5%, hãy xác định:

- Tổng trở quay thuận và quay ngược.
- Dòng điện đầu vào.
- Công suất đầu vào.
- Tổng công suất ở khe hở không khí.
- Mômen điện từ.
- Công suất cơ sinh ra.
- Công suất đầu ra (trên trục động cơ).
- Mômen đầu ra (trên trục động cơ).
- Hiệu suất động cơ.

10.3. Sử dụng các số liệu như đã cho ở bài 10.1 hãy xác định các thông số sau cho động cơ không đồng bộ một pha:

- a) Công suất ở khe hở không khí do từ trường quay thuận.
- b) Công suất ở khe hở không khí do từ trường quay ngược.
- c) Tổn hao đồng ở rôto do từ trường quay thuận.
- d) Tổn hao đồng ở rôto do từ trường quay ngược.
- e) Tổng tổn hao đồng rôto.

10.4. Sử dụng các thông số của bài 10.2 và xác định:

- a) Công suất ở khe hở không khí do từ trường quay thuận.
- b) Công suất ở khe hở không khí do từ trường quay ngược.
- c) Tổn hao đồng ở rôto do từ trường quay thuận.
- d) Tổn thất đồng ở rôto do từ trường quay ngược.
- e) Tổng tổn hao đồng rôto.

10.5. Hãy xác định mômen điện từ ở bài 10.1 nếu động cơ hoạt động ở hệ số trượt 4% và điện áp trên đầu cực là: a) 208 V; b) 240V.

10.6. Cho biết dòng điện trong cuộn dây chính và cuộn dây phụ của động cơ không đồng bộ một pha là: $i_A = \sqrt{2} I_A \cos \omega t$ và $i_B = \sqrt{2} I_B \cos(\omega t + \varphi_B)$ và các cuộn này được đặt ở vị trí vuông góc với nhau. Nếu số vòng dây tác dụng của cuộn chính và cuộn phụ là w_A và w_B , hãy xác định:

- a) Biểu thức toán học của sóng từ động quay stato.
- b) Độ lớn và góc pha của dòng điện cuộn dây phụ để tạo ra sự cân bằng hệ thống hai pha.

10.7. Dùng kết quả của ví dụ 10.2 và thành lập bảng so sánh mômen khởi động và dòng điện khởi động trong phần a), b), c) và thành lập theo hệ đơn vị tương đối của mômen khởi động mà không xét đến các thành phần ngoài của mạch phụ khi được cấp nguồn 220V ở tần số 50Hz.

10.8. Tổng trở của cuộn dây chính và cuộn dây phụ của một động cơ điện không đồng bộ một pha khởi động bằng tụ 120V, 60Hz là:

$$Z_A = 4,2 + j3,4\Omega \text{ và } Z_B = 9 + j3\Omega$$

Hãy xác định giá trị của tụ khởi động mà làm cho dòng điện trong cuộn chính và cuộn phụ vuông góc với nhau khi khởi động.

10.9. Điện trở phản ứng của một động cơ điện một chiều nam châm vĩnh cửu là $1,4\Omega$. Khi động cơ hoạt động ở nguồn điện một chiều 75V, tốc độ không tải của động cơ là 2200 vòng/phút và dòng điện không tải là 1,7A. Hãy xác định:

- a) Hằng số mômen.
- b) Tổn hao không tải.

Công suất đầu ra (mã lực) nếu động cơ chạy với tốc độ 1800 vòng/phút từ nguồn cấp 70V.

10.10. Hãy lựa chọn động cơ tốt nhất cho những ứng dụng sau và giải thích lý do: a) Máy khoan điện, b) Đồng hồ điện, c) Tủ lạnh, d) Máy hút bụi, e) Quạt gió điều hoà không khí, f) Máy nén điều hoà không khí, g) Máy khâu điện, h) Máy cạo râu điện, i) Bàn chải đánh răng điện.

10.11. Một động cơ điện một chiều nam châm vĩnh cửu hoạt động với từ thông 5 mWb, điện trở của phần ứng là $0,7\Omega$ và điện áp nguồn cấp là 30V. Nếu tải của động cơ là 2 Nm và hằng số phần ứng là 110, hãy xác định:

- a) Tốc độ quay của động cơ.
- b) Mômen điện từ của động cơ khi rôto bị khóa.

11.1. GIỚI THIỆU CHUNG

Trong quá trình khai thác sử dụng tài nguyên thiên nhiên phục vụ cho sự phát triển kinh tế xã hội, không thể không nói đến sự biến đổi năng lượng từ dạng này sang dạng khác. Trong công nghiệp, điện năng được sản xuất ra trên cơ sở biến đổi các nguồn năng lượng thiên nhiên như Thủy điện, Nhiệt điện, Điện nguyên tử, Phong điện... sau đó được đưa vào sử dụng và điện năng sau khi qua các thiết bị biến đổi (Thiết bị điện) lại được chuyển đổi thành các dạng năng lượng khác phục vụ sản xuất và đời sống như cung cấp cho các lò luyện thép, lò sấy nông lâm sản, bếp điện, bàn là... đó là quá trình biến đổi từ điện năng thành nhiệt năng. Điện năng đưa vào các động cơ điện sẽ được biến đổi thành cơ năng kéo các máy sản xuất tạo ra sản phẩm, đưa vào các bóng đèn nó sẽ được biến đổi thành quang năng phục vụ cho chiếu sáng nhân tạo hoặc gây các hiệu ứng quang phục vụ cho các dây chuyền sản xuất v.v...

Chúng ta cũng đều biết việc tăng trưởng kinh tế luôn gắn liền với sự tăng tiêu thụ năng lượng. Ở nước ta, trong giai đoạn từ 1991 – 1996, khi tốc độ tăng GDP cả nước hằng năm đạt trung bình 8,3% thì việc tiêu thụ năng lượng lại tăng bình quân tới 13%. Mức tiêu thụ năng lượng bình quân tăng nhanh hơn một phần là do tăng nhu cầu năng lượng phục vụ cho phát triển kinh tế song một phần còn do sự quản lý năng lượng kém hiệu quả, việc sử dụng năng lượng không hợp lý, sử dụng các thiết bị có hiệu suất thấp và các dây chuyền công nghệ lạc hậu.

Mục đích của việc tiết kiệm điện năng là giảm thiểu những tổn hao trong truyền tải, trong vận hành khai thác thiết bị điện hay nói đơn giản là giảm giá thành điện năng trong một đơn vị sản phẩm. Các biện pháp thường hay được áp dụng là :

- Lựa chọn thiết bị, đặc biệt là động cơ điện một cách hợp lý.
- Quy định chế độ vận hành phù hợp theo yêu cầu công nghệ.
- Thường xuyên kiểm tra và sửa chữa kịp thời các vị trí hư hỏng gây đình trệ sản xuất.
- Chọn sơ đồ cấp điện hợp lý.
- Chọn giờ làm việc hợp lý để tận dụng tối đa điện năng giá rẻ trong giờ thấp điểm và hạn chế sử dụng công suất lớn tại giờ cao điểm.
- Giáo dục ý thức tiết kiệm điện đến từng người lao động để họ thấu hiểu và thực hiện.
- Khi thiết kế cấp điện, chú ý sao cho trạm biến áp đặt càng gần trung tâm phụ tải càng tốt.

Tất cả những vấn đề nêu trên đều phụ thuộc vào hệ thống quản lý nói chung và hệ thống quản lý năng lượng nói riêng trong các xí nghiệp công nghiệp.

Nguồn tài nguyên không phải là vô tận, việc sử dụng năng lượng một cách hợp lý hay việc tiết kiệm năng lượng, tìm biện pháp đưa ra được phương án sử dụng năng lượng một cách tối ưu trong sinh hoạt cũng như trong sản xuất kinh doanh là một việc hết sức cần thiết và có ý nghĩa lớn trong sự phát triển chung của đất nước trên con đường hội nhập kinh tế quốc tế.

Chương này giới thiệu về ảnh hưởng của chất lượng điện năng – một trong những yếu tố gây nên tổn thất năng lượng lớn và một số giải pháp cơ bản nhằm tiết kiệm điện năng trong sử dụng vận hành thiết bị điện.

11.2. ẢNH HƯỞNG CỦA CHẤT LƯỢNG ĐIỆN NĂNG ĐẾN HIỆU SUẤT CỦA CÁC THIẾT BỊ ĐIỆN

11.2.1. Khái niệm về chất lượng điện năng

Thuật ngữ “chất lượng điện năng” dường như là một khái niệm rất khó có thể định nghĩa, vì vậy đi tìm câu trả lời chính xác cho câu hỏi chất lượng điện năng là gì? chất lượng điện năng là một vấn đề hay là một sản phẩm thương mại? điều đó phụ thuộc vào quan điểm của mỗi người. Do các yêu cầu của thực tế là các thiết bị điện ngày càng được sử dụng nhiều. Điện đã thành một sản phẩm kinh doanh thương mại có giá trị lớn nên các nhà cung cấp điện cũng như hộ sử dụng điện ngày càng quan tâm đến chất lượng điện năng hơn. Ngay từ khi khái niệm “chất lượng điện năng” được đưa ra đầu thập kỷ 80 của thế kỷ 20 lập tức nó đã trở thành một khái niệm gây tranh cãi, cho đến ngày nay thì còn rất nhiều các bất đồng về việc sử dụng khái niệm trên, về cách định nghĩa nó và việc áp dụng nó thế nào cho chính xác. Nguyên nhân chính là rất khó có thể định nghĩa một đại lượng vật lý kiểu năng lượng, và vì thế một số khái niệm khác đã được sử dụng để thay thế cho khái niệm này. Một trong các khái niệm này là “chất lượng điện áp”, nó được sử dụng rất nhiều trong các tài liệu của châu Âu và được hiểu là chất lượng của sản phẩm do nhà cung cấp phân phối cho hộ sử dụng. Trong chương 1, R.C.Dugan đã chính thức viết “chất lượng điện năng” = “chất lượng điện áp” và phân tích rằng hệ thống cung cấp điện chỉ có thể điều chỉnh chất lượng của điện áp chứ không thể điều chỉnh được dòng điện do các tải đặc biệt sinh ra. Khái niệm tiếp theo bổ sung cho khái niệm trên là “chất lượng dòng điện”, nó được định nghĩa là sự sai lệch của dạng sóng dòng điện với dòng điện sin lý tưởng. Vì vậy trong khi chất lượng điện áp xét đến cái mà nhà cung cấp điện đưa cho hộ sử dụng thì chất lượng dòng điện lại quan tâm đến cái mà hộ sử dụng nhận được từ hệ thống cung cấp. Một khái niệm tiếp theo là “chất lượng nguồn cung cấp” (quality of supply) nhưng khái niệm này cũng không được sử dụng nhiều. Khái niệm nữa là “chất lượng tiêu thụ” (quality of consumption), nhưng cũng giống trên, khái niệm này ít được dùng trong ngành công nghiệp điện cho nên không nên quan tâm nhiều đến nó. Trong các tiêu chuẩn, thuật ngữ “chất lượng điện năng” đã được chính thức sử dụng rất nhiều nơi. Ở Mỹ trong tiêu chuẩn của IEEE (Institute of Electric and

Electronic Engineers), một trong các tiêu chuẩn của SCC (Standard Coordinate Committees), cụ thể là SCC 22 đã chính thức chấp nhận thuật ngữ: Chất lượng điện năng. Mặc dù trong các tài liệu (tiêu chuẩn) của IEC (International Electrotechnical Commission), một tổ chức thiết lập các tiêu chuẩn về điện quốc tế, thuật ngữ “chất lượng điện năng” không hề xuất hiện chính thức, mãi cho đến năm 2002 trong một bản dự thảo tiêu chuẩn của IEC thuật ngữ “chất lượng điện năng” mới được sử dụng lần đầu tiên. Và cũng cần nhấn mạnh rằng IEC ngày càng chấp nhận thuật ngữ “chất lượng điện năng” hơn.

Để định nghĩa về “chất lượng điện năng”, đã có rất nhiều các định nghĩa, R.C. Dugan đã viết: Có rất nhiều định nghĩa khác nhau về chất lượng điện năng, điều này tùy thuộc vào vị trí của người đưa ra định nghĩa. Ví dụ như người cung cấp điện định nghĩa chất lượng điện năng là độ tin cậy và đưa ra các thống kê về độ tin cậy. Các nhà quản lý điện cũng đưa ra các tiêu chuẩn dựa trên quan điểm này. Nhưng chất lượng điện năng xét đến cùng là một vấn đề chi phối hệ sử dụng, và vị trí hệ sử dụng điện xét đến chiếm vị trí hàng đầu. Và vì thế R.C. Dugan định nghĩa chất lượng điện năng là bất kỳ một vấn đề điện năng nào cho biểu thị qua sai lệch của điện áp, dòng điện hay tần số làm cho các thiết bị của người sử dụng bị hỏng hoặc hoạt động sai. Barry W.Kennedy cho rằng, chất lượng điện năng có thể được định nghĩa theo hai quan điểm khác nhau tùy thuộc vào bạn đứng ở vị trí là người cung cấp hay người tiêu thụ điện, và đưa ra định nghĩa của Gerry Heydt về chất lượng điện năng “là biện pháp, sự phân tích, các cải thiện cho điện áp, thông thường là điện áp trên tải, để duy trì điện áp này ở dạng sin tại điện áp và tần số định mức”. Trong một tài liệu khác, Maura C.Ryan định nghĩa: Chất lượng điện năng là mức độ trong đó việc sử dụng và phân phối năng lượng điện đều tác động đến sự hoạt động của thiết bị điện. Bất kỳ một sự sai lệch nào so với biên độ tần số của dạng sóng điện áp hình sin lý tưởng đều xem như là các vấn đề chất lượng điện năng. Còn Kabelo Clifford Modipane cho rằng: Chất lượng điện năng là bất kỳ phản ứng không bình thường trên hệ thống điện xảy ra đối với dạng sóng của dòng điện hay/và điện áp, có tác động có hại đối với sự hoạt động bình thường của các thiết bị điện tử hay điện. Các cơ quan tiêu chuẩn hoá quốc tế cũng đã bắt đầu định nghĩa và phân loại hoá các hiện tượng liên quan đến chất lượng điện năng. Định nghĩa được đưa ra trong từ điển của IEEE, bắt nguồn từ IEEE Emerald Book, đã cho rằng: chất lượng điện năng là một khái niệm của việc nối nguồn và nối đất cho các thiết bị nhạy cảm mà theo cách đó là phù hợp cho việc hoạt động của các thiết bị đó. Vào năm 2000, IEC đã bắt đầu có bước khởi đầu trong khi định nghĩa về chất lượng điện năng, kết quả là đưa ra được một bản dự thảo và đề nghị việc định nghĩa chất lượng điện năng theo cách sau: Chất lượng điện năng là một bộ các thông số xác định các đặc tính của nguồn cung cấp khi phân phối cho người sử dụng ở các điều kiện hoạt động bình thường dưới dạng nguồn cung cấp hoạt động liên tục và các tính chất của điện áp (sự đối xứng, tần số, biên độ và dạng sóng). Tuy nhiên định nghĩa này gây ra rất nhiều sự hiểu nhầm, do vậy định nghĩa đã được

sửa lại là: Chất lượng điện năng là các tính chất điện tại một điểm cho trước trên một hệ thống điện, được đánh giá so sánh với một bộ các thông số kỹ thuật tham khảo (với một chú ý đi kèm là: trong một vài trường hợp, các thông số này có thể liên quan đến độ tương thích giữa điện năng được cung cấp trên mạng và các tải được kết nối với mạng đó). Tóm lại, thuật ngữ chất lượng điện năng vẫn còn là một chủ đề tranh cãi vì thế việc đưa ra được một định nghĩa thống nhất trên toàn thế giới vẫn là vấn đề của tương lai.

Chất lượng điện năng là một vấn đề có ý nghĩa chiến lược đối với toàn ngành điện, các nhân viên kỹ thuật vận hành, khai thác, bảo dưỡng, quản lý, các nhà chế tạo thiết bị vì các lý do sau đây:

- Tính chất cạnh tranh của nền kinh tế đòi hỏi điện năng phải được đảm bảo thường xuyên với chất lượng tốt.

- Việc sử dụng ngày càng rộng các phụ tải nhạy cảm với chất lượng điện như máy tính, thiết bị đo lường – điều khiển, hệ thống thông tin liên lạc đòi hỏi phải được cung cấp điện với chất lượng cao.

- Việc suy giảm chất lượng điện làm cho thiết bị vận hành với hiệu suất thấp, tuổi thọ bị giảm.

- Thị trường điện là thị trường mở tự do, các xí nghiệp có khả năng lựa chọn các nhà cung cấp điện có chất lượng cao hơn.

Ở Mỹ đã triển khai các chương trình kiểu như: Đề xuất cho sự phát triển của an toàn, tin cậy, chất lượng và sẵn có (Proposal for Development of Security, Reliability, Quality and Availability SRQA), hay mô hình tối ưu cấu trúc hệ thống năng lượng cho nền kinh tế số (Modeling for Optimizing Power System Configurations for Digital Economy). Ở Việt Nam có: “Chương trình mục tiêu quốc gia về sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả” với mục đích là “vừa có các hoạt động khuyến khích, thúc đẩy, vừa có những biện pháp quản lý bắt buộc, nhằm nhanh chóng tạo chuyển biến, thực hiện đồng bộ trong toàn xã hội, đi dần từ các bước nâng cao nhận thức, thu hút sự quan tâm, chuyển thành nhu cầu và thúc đẩy các hoạt động về sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả”.

11.2.2. Phân loại các yếu tố chất lượng điện năng

Khởi đầu từ cách phân loại các yếu tố chất lượng điện năng của IEC, Ủy ban hợp tác các tiêu chuẩn 22 của IEEE (IEEE SCC22) đã phát triển các thực tế được khuyến nghị cho việc giám sát chất lượng điện năng được trình bày trong IEC. IEEE đã phân loại các yếu tố chất lượng điện năng dựa trên tần số, khoảng thời gian tồn tại và biên độ của của mỗi yếu tố. Trên cơ sở đó, IEEE đã thành lập được bảng tổng phân loại và tính chất của các hiện tượng điện từ của hệ thống điện, bảng này đưa ra các thông tin tuân theo tần số, khoảng thời gian, biên độ tương ứng với các hiện tượng điện từ của mỗi yếu tố được phân loại. Hiện nay trên thế giới rất nhiều cơ quan quản lý điện, tiêu chuẩn hay các hãng sản xuất sử dụng bảng phân loại yếu tố chất lượng điện năng IEEE, ví dụ như Schneider, Siemens...

BẢNG 11.1. PHÂN LOẠI VÀ TÍNH CHẤT CỦA CÁC HIỆN TƯỢNG ĐIỆN TỬ HỆ THỐNG ĐIỆN

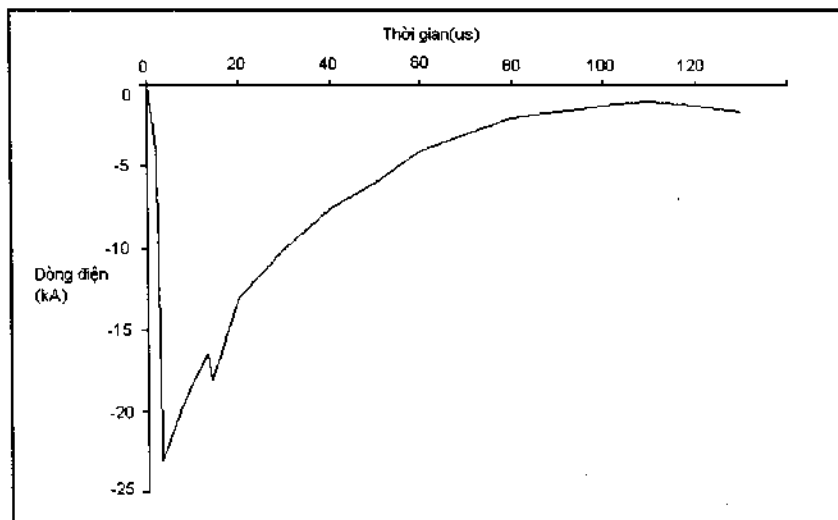
Phân loại	Tần số điển hình	Khoảng thời gian điển hình	Biên độ điện áp điển hình
1. Phi tuyến			
1.1. Xung			
1.1.1. Nano giây	5 – ns tăng	< 50 ns	
1.1.2. Micro giây	1 – μ s tăng	50 ns – 1ms	
1.1.3. Mili giây	0,1 – ms tăng	> 1ms	
1.2. Dao động			
1.2.1. Tần số thấp	< 5kHz	0,3 – 50ms	0 – 4 pu
1.2.2. Tần số trung bình	5 – 500kHz	20 μ s	0 – 8 pu
1.2.3. Tần số cao	0,5 – 5 MHz	5 μ s	0 – 4 pu
2. Các biến đổi thời gian ngắn			
2.1. Tức thời (Instantaneous)			
2.1.1. Ngắt		0,5 – 30 chu kỳ	< 0,1 pu
2.1.2. Lỡm		0,5 – 30 chu kỳ	0,1 – 0,9 pu
2.1.3. Lỗi		0,5 – 30 chu kỳ	1,1 – 1,8 pu
2.2. Thoáng qua (Mômentary)			
2.2.1. Ngắt		30 chu kỳ – 3 s	< 0,1 pu
2.2.2. Lỡm		30 chu kỳ – 3 s	0,1 – 0,9 pu
2.2.3. Lỗi		30 chu kỳ – 3 s	1,1 – 1,4 pu
2.3. Tạm thời (Temporary)			
2.3.1. Ngắt		3s – 1 phút	< 0,1pu
2.3.2. Lỡm		3s – 1 phút	0,1 – 0,9pu
2.3.3. Lỗi		3s – 1 phút	1,1–1,2pu
3. Các biến đổi thời gian dài			
3.1. Ngắt duy trì		> 1 phút	0,0pu
3.2. Dưới điện áp		> 1 phút	0,8–0,9pu
3.3. Quá điện áp		> 1 phút	1,1 – 1,2pu
4. Mất cân bằng điện áp		Ổn định	0,5 – 2%
5. Méo dạng sóng			
5.1. Khoảng một chiều		Ổn định	0 – 0,1%
5.2. Điều hoà	0 – 100 th điều hoà	Ổn định	0 – 20%
5.3. Các nội điều hoà	0 – 6kHz	Ổn định	0 – 2%
5.4. Notching		Ổn định	
5.5. Nhiễu	Bảng tần rộng	Ổn định	0 – 1%
6. Dao động điện áp	< 25Hz	Liên tiếp	0,1 – 7%
7. Biến đổi tần số		< 10s	
Chú ý: s = giây, ns = nano giây, μ s = micro giây, ms = mili giây, kHz = kilohertz, MHz = megahertz, pu (per unit) đơn vị tương đối.			

11.2.3. Phi tuyến

Phi tuyến là các nhiễu mà có thời gian kéo dài lớn hơn ba chu kỳ (50Hz – 60ms). Các nhiễu này xuất phát từ rất nhiều nguyên nhân: ví dụ đóng cắt tụ điện, phóng điện trong đèn ballast, chúng có thể được xếp vào các loại nhiễu xung và nhiễu dao động. Các nhiễu xung xuất hiện trong khoảng thời gian nhỏ hơn 1ms, đạt giá trị đỉnh và từ giá trị đỉnh xuống rất nhanh. Các dao động phi tuyến nói chung là có thời gian tồn tại nhỏ hơn một chu kỳ dao động (tần số của nguồn kích thích) và thường có tần số dao động trên 5kHz. Thuật ngữ phi tuyến đã được sử dụng trong phân tích các biến đổi hệ thống điện năng để chỉ ra một sự kiện không theo mong muốn hoặc mang tính chất tức thời tự nhiên. Phi tuyến có thể được phân loại thành hai dạng.

11.2.3.1. Xung phi tuyến

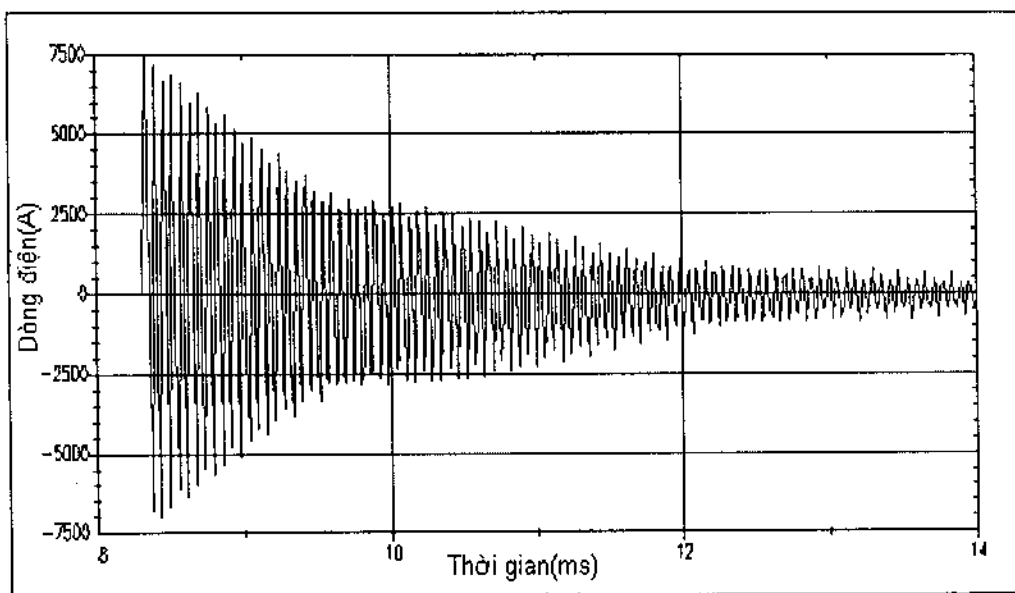
Xung phi tuyến là một sự thay đổi đột nhiên trong điều kiện làm việc ổn định của điện áp hoặc dòng điện hay cả hai mà sự thay đổi này không làm thay đổi giá trị cực tính của điện áp hay dòng điện (Khởi đầu điện áp hay dòng điện có thể là âm hay dương).



Hình 11.1. Phi tuyến xung dòng điện do sét đánh.

11.2.3.2. Dao động phi tuyến

Dao động phi tuyến là sự thay đổi đột nhiên trong các điều kiện ổn định của điện áp và dòng điện hoặc cả hai mà sự thay đổi này làm thay đổi chiều cực tính của điện áp hay dòng điện bao gồm cả hai giá trị âm và dương. Tùy theo tần số dao động mà chúng được phân loại vào tần số thấp ($f_{dd} < 5\text{kHz}$), trung bình ($5\text{kHz} \leq f_{dd} < 500\text{kHz}$) và tần số cao ($500\text{kHz} \leq f_{dd} < 5\text{MHz}$).



Hình 11.2. Dòng dao động phi tuyến.

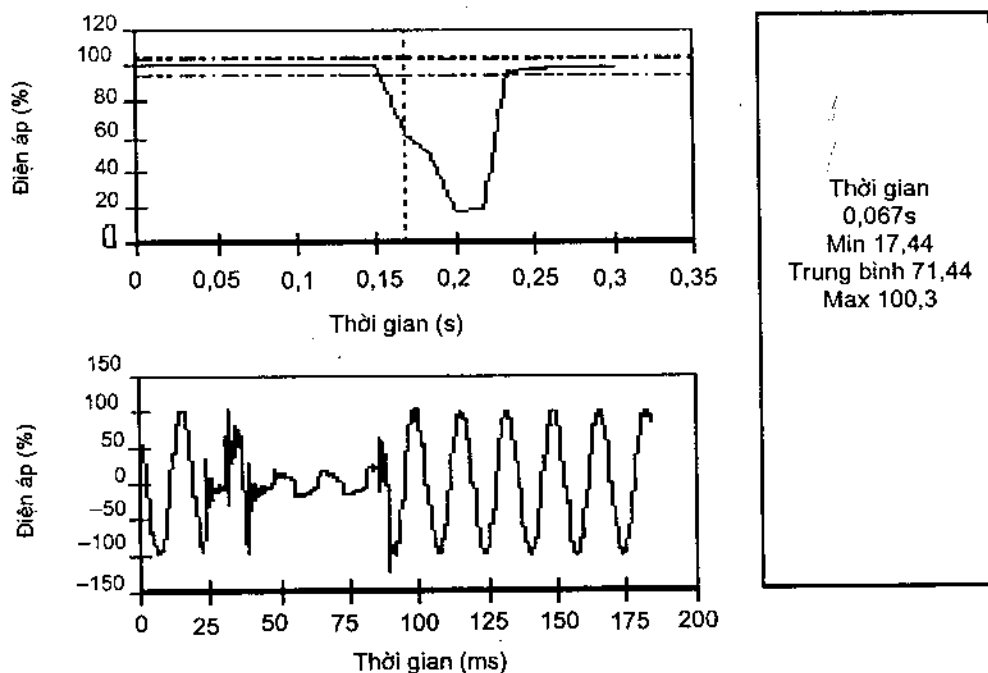
11.2.4. Các biến thiên điện áp trong thời gian ngắn

Các biến đổi này bao gồm các loại ngắt thời gian ngắn, điện áp lồm và điện áp lỗi được xếp trong tiêu chuẩn IEC. Mỗi loại khác nhau có thể được xếp loại vào trường hợp tức thời (instaneous), thoáng qua (momentary), tạm thời (temporary), điều này phụ thuộc vào khoảng thời gian tồn tại của chúng. Biến đổi điện áp trong thời gian ngắn được chia thành ba loại khác nhau: tức thời $0,5 \leq t < 30$ chu kỳ (600ms), thoáng qua $30 \text{ chu kỳ} \leq t < 3\text{s}$, tạm thời $3\text{s} \leq t < 1\text{phút}$.

11.2.4.1. Điện áp lồm

Thuật ngữ lồm điện áp (Sag – Dip) đã được sử dụng trong nhiều năm để mô tả độ suy giảm của điện áp trong một khoảng thời gian nào đấy. Mặc dù lồm điện áp không được chính thức định nghĩa, nhưng các nhà phân phối điện năng ngày càng sử dụng nhiều thuật ngữ này, các nhà sản xuất thiết bị và hộ tiêu dùng tương tự cũng chấp nhận và sử dụng. Điện áp lồm được hiểu là mức suy giảm điện áp trong khoảng 10% đến 90% giá trị hiệu dụng định mức trong khoảng thời gian từ nửa chu kỳ (50Hz – 10ms) đến một phút.

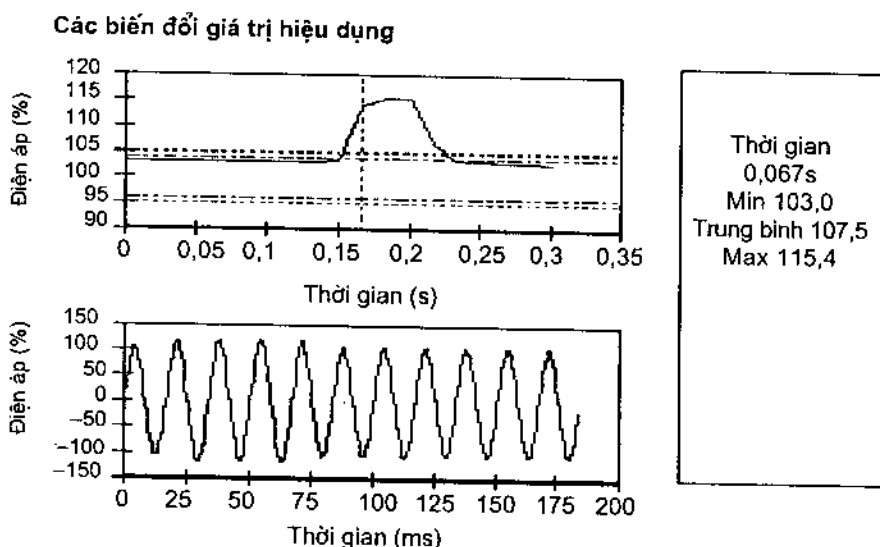
Các biến đổi giá trị hiệu dụng



Hình 11.3. Hình biểu diễn điện áp lồm gây ra bởi lỗi chạm đất một pha.

11.2.4.2. Điện áp lỗi

Được định nghĩa là sự tăng của điện áp trong khoảng 1,1 đến 1,8 lần giá trị hiệu dụng điện áp định mức tại tần số công nghiệp (50Hz – 60Hz) và tồn tại trong khoảng thời gian từ 0,5 chu kỳ (10ms – 50Hz) cho đến một phút.



Hình 11.4. Hình biểu diễn điện áp lỗi gây ra bởi lỗi chạm đất một pha.

11.2.4.3. Ngắt

Xuất hiện khi điện áp nguồn cung cấp giảm xuống dưới 10% giá trị định mức trong khoảng thời gian không vượt quá một phút. Nó là kết quả của các sự cố trong hệ thống, các sự cố của thiết bị vận hành và các điều khiển không chuẩn.

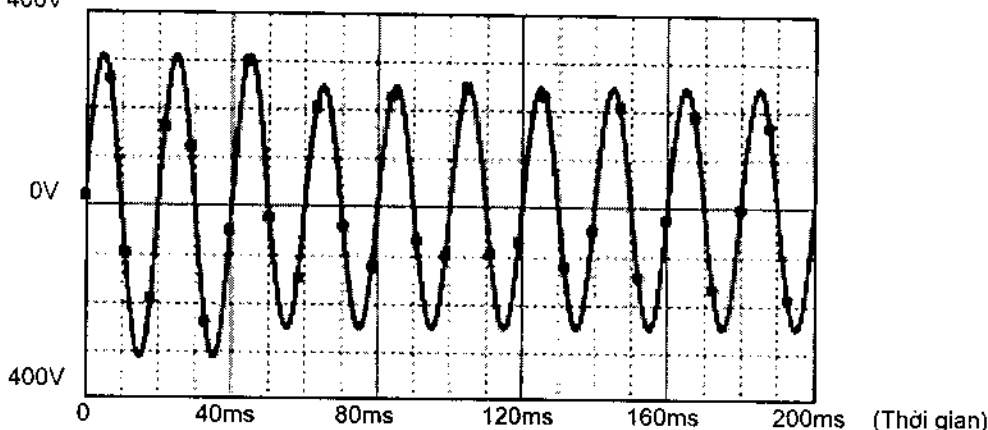
11.2.5. Các biến thiên điện áp trong thời gian dài

Là sự quá điện áp, dưới điện áp, hay trạng thái duy trì ngắt ở điều kiện làm việc ổn định. Các ảnh hưởng này có khoảng thời gian xuất hiện trên một phút.

11.2.5.1. Dưới điện áp

Là sự suy giảm điện áp bên dưới 90% điện áp hiệu dụng định mức và thời gian tồn tại của nó phải lớn hơn một phút. Dưới điện áp đôi khi được gọi là “Brownout” mặc dù thuật ngữ này không được định nghĩa một cách rõ ràng. Brownout thường được các nhà cung cấp điện năng sử dụng khi họ cố tình giảm điện áp hệ thống xuống cho phù hợp với nhu cầu sử dụng điện cao điểm hoặc một lý do đáng quan tâm nào đó.

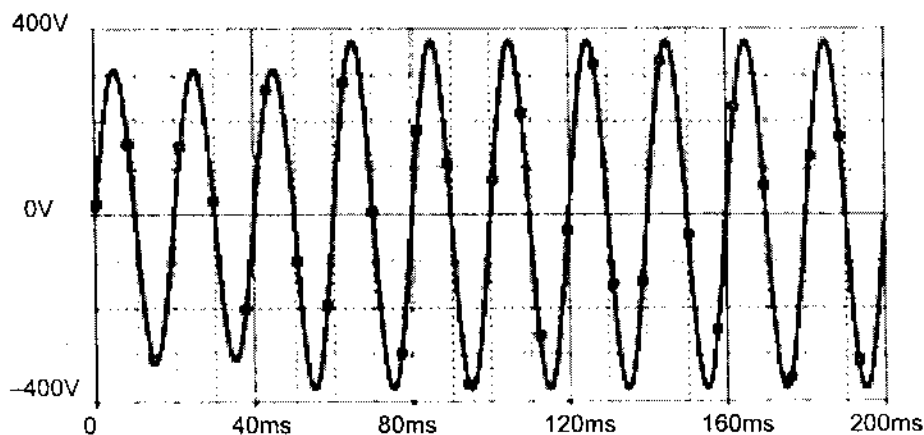
(Điện áp) 400V



Hình 11.5. Đồ thị minh họa dạng sóng của dưới điện áp.

11.2.5.2. Quá điện áp

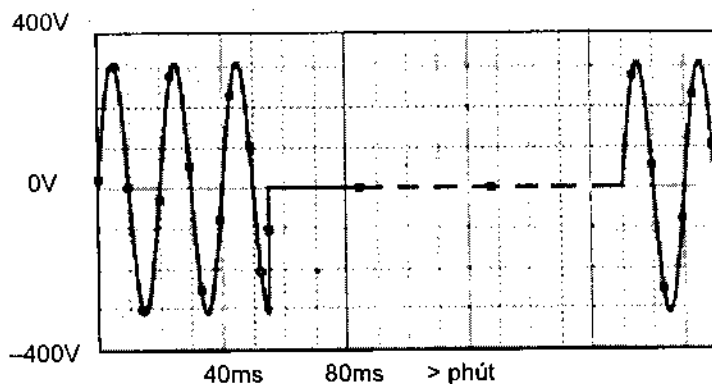
Là hiện tượng điện áp đặt vào thiết bị có giá trị vượt quá 110% giá trị điện áp hiệu dụng định mức trong khoảng thời gian lớn hơn 1 phút.



Hình 11.6. Dạng sóng quá điện áp.

11.2.5.3. Ngắt duy trì

Khi điện áp của nguồn cung cấp bằng không trong khoảng thời gian lớn hơn một phút thì được gọi là ngắt duy trì. Nói chung các ngắt điện áp kéo dài quá một phút thì thường là kéo dài vĩnh viễn do đó cần có sự tác động của người sửa chữa và vận hành để phục hồi lại hệ thống. Tuy nhiên ngắt duy trì phải được hiểu là các hiện tượng của hệ thống điện năng và chúng không hề có sự liên hệ nào với tình trạng mất điện của lưới.



Hình 11.7. Dạng sóng ngắt duy trì.

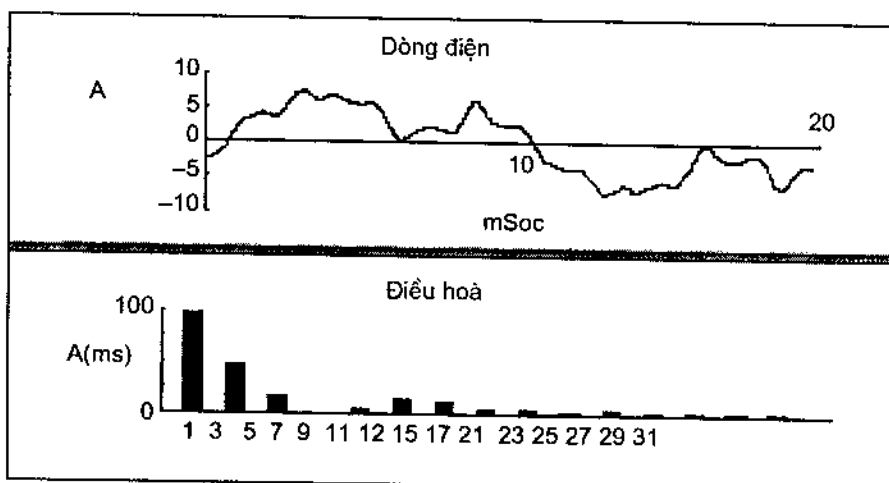
11.2.6. Méo dạng sóng

Được định nghĩa là sự sai lệch ổn định so với dạng sóng tần số lý tưởng của điện năng, được xác định bằng cách phân tích phổ tần số của sự sai lệch. Méo dạng sóng được xếp vào năm loại cơ bản:

11.2.6.1. Khoảng một chiều

Sự xuất hiện của dòng điện hay điện áp một chiều trong mạng điện xoay chiều

được gọi là khoảng một chiều. Khoảng một chiều xuất hiện do nhiễu từ trường trái đất hoặc do tác động của chỉnh lưu nửa chu kỳ. Các điều hoà (hay sóng hài): là các dòng điện hay điện áp có tần số bằng số nguyên lần tần số của nguồn cung cấp (thường được gọi là tần số sóng cơ bản, thông thường là 50Hz, 60Hz). Các dòng điện, điện áp bị méo có thể được phân tích thành tổng của sóng có tần số cơ bản và các điều hoà.



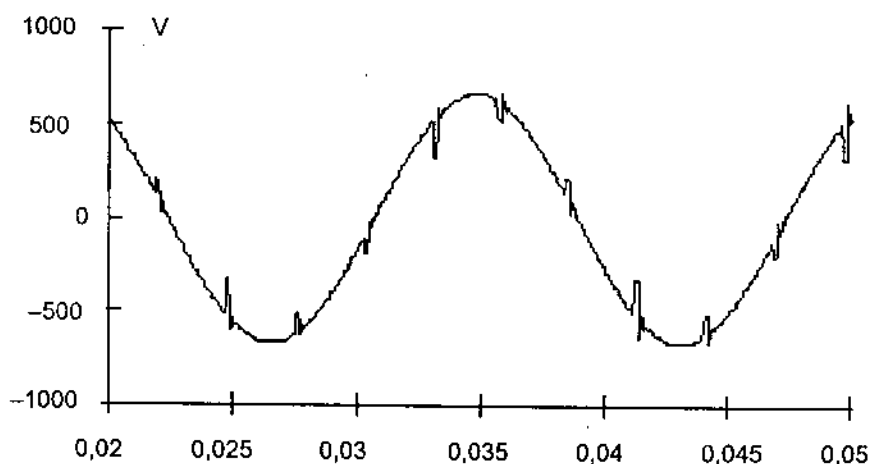
Hình 11.8. Phân tích sóng điều hoà của dòng điện.

11.2.6.2. Nội điều hoà

Các dòng điện hay điện áp chứa các thành phần tần số không phải là số nguyên lần tần số cơ bản (50 – 60Hz) được gọi là các nội điều hoà. Chúng dường như là các tần số rời rạc hay là các phổ tần số mở rộng.

11.2.6.3. Notching

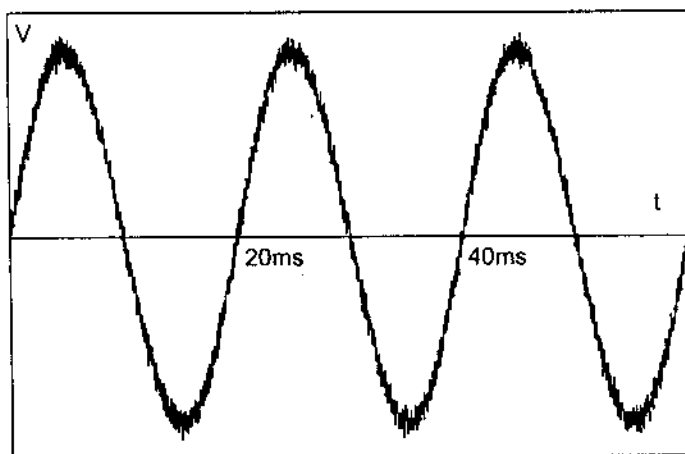
Là các nhiễu điện áp tuần hoàn xuất hiện trong các thiết bị điện tử công suất khi dòng điện đảo mạch từ pha này sang pha khác. Khi notching xuất hiện trong mạch, nó có thể được nhận dạng thông qua phân tích phổ tần số của điện áp chịu tác động.



Hình 11.9. Notching điện áp gây ra bởi bộ biến đổi ba pha.

11.2.6.4. Nhiều

Được định nghĩa là các tín hiệu điện không mong muốn với phổ tần rất rộng nhưng nhỏ hơn 200kHz, được xếp chồng lên điện áp hay dòng điện của hệ thống trong các đường dây pha, đường dây trung tính hay các đường dây tín hiệu.



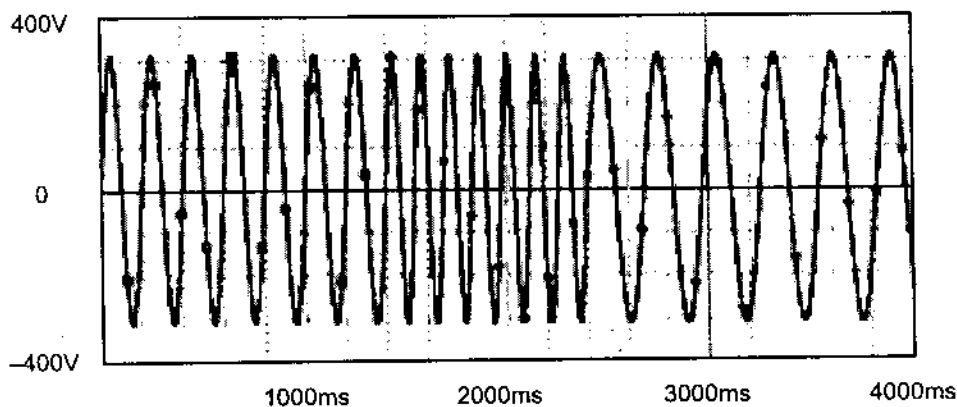
Hình 11.10. Dạng sóng điện áp chứa nhiễu.

11.2.7. Dao động điện áp

Dao động điện áp: là các biến đổi có hệ thống của điện áp hay là một chuỗi thay đổi các điện áp ngẫu nhiên, nhưng biên độ của các thay đổi điện áp thay đổi này thường là không vượt quá vùng giới hạn đã được xác định theo tiêu chuẩn ANSI (C 84.1) là $0,9 \div 1,1$ giá trị tương đối (pu).

11.2.8. Các biến đổi tần số

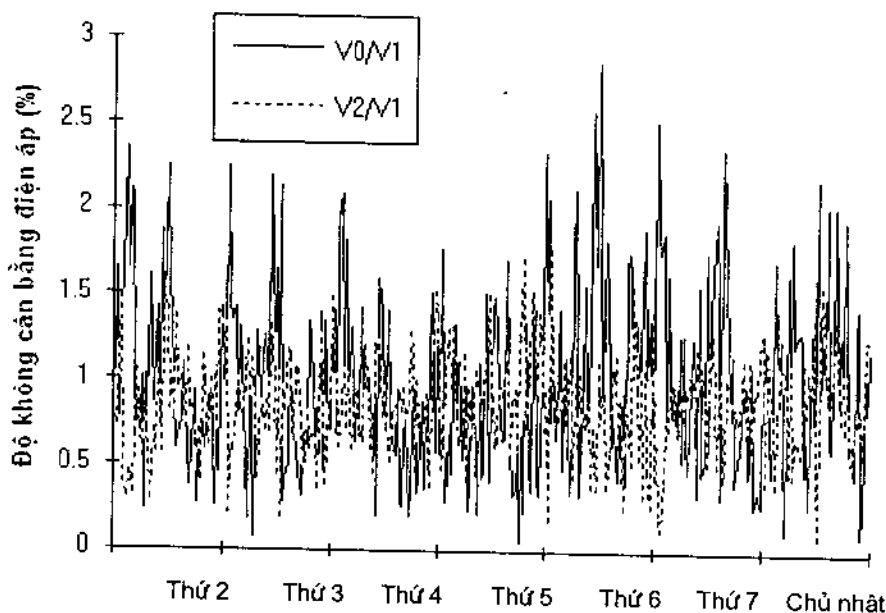
Các biến đổi tần số được định nghĩa là sự sai lệch tần số cơ bản hệ thống điện khỏi giá trị định mức được xác định của nó (thường là 50Hz – 60Hz) trong khoảng thời gian $<10s$.



Hình 11.11. Dạng sóng của biến đổi tần số.

11.2.9. Mất cân bằng điện áp

Trong phụ lục D của tiêu chuẩn ANSI (ANSI Std C84. – 1989) mất cân bằng điện áp được xác định là tỷ lệ phần trăm giữa độ lệch lớn nhất khỏi giá trị hiệu dụng của điện ba pha chia cho giá trị hiệu dụng của điện áp ba pha đó.



Hình 11.12. Xu hướng không cân bằng điện áp ở một bộ nguồn khu dân cư.

Với một số khái niệm cơ bản ở trên, chúng ta đã nhận thức được sự ảnh hưởng của chất lượng điện năng đến sự làm việc và hiệu suất của các thiết bị điện. Sóng hài phát sinh trong lưới điện cũng gây ảnh hưởng trực tiếp đến kết quả đo trong quá trình kiểm toán năng lượng. Do đó, thiết bị đo và đánh giá được chất lượng điện năng để có biện pháp nâng cao chất lượng điện cũng đóng một vai trò vô cùng quan trọng trong kiểm toán năng lượng.

11.3. BÙ HỆ SỐ CÔNG SUẤT

11.3.1. Khái niệm về hệ số công suất

Hệ số công suất $\cos\phi$ là một chỉ tiêu năng lượng quan trọng. Nó đánh giá mức độ sử dụng công suất hữu ích trên tổng công suất mà nguồn cần cung cấp.

Chúng ta đều biết các công thức sau đây:

$$\text{Công suất toàn phần : } S = UI$$

$$\text{Công suất tác dụng : } P = UI \cos\phi$$

$$\text{Công suất phản kháng : } Q = UI \sin\phi$$

và

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Để nhận thấy rằng với cùng một điện áp, nếu cùng một công suất hữu công thì khi $\cos\varphi$ tăng cao dòng điện sẽ giảm xuống. Việc nâng cao hệ số $\cos\varphi$ được gọi là bù công suất phản kháng.

Về mặt thiết bị thì động cơ điện là những thiết bị tiêu thụ điện chính. ngoài ra còn các thiết bị khác như máy hàn điện, máy biến áp, hệ thống chiếu sáng v.v... Hầu hết các thiết bị điện trên đều tiêu thụ cả công suất tác dụng (công suất hữu công) và công suất phản kháng (công suất vô công). Nhiều tài liệu thống kê cho thấy các động cơ điện tiêu thụ khoảng 70% công suất phản kháng từ lưới; máy biến áp tiêu thụ khoảng 20% công suất phản kháng. Mức độ tiêu thụ công suất phản kháng còn phụ thuộc vào chế độ vận hành của thiết bị như đầy tải hay non tải quyết định. Khi thiết bị vận hành non tải thì hệ số công suất $\cos\varphi$ thấp hơn so với chế độ tải gần định mức.

Sự tiêu thụ công suất phản kháng lớn sẽ gây ra hàng loạt các hậu quả xấu như làm cho tổn thất điện năng trong lưới điện tăng lên. Sụt áp trên đường dây lớn khiến điện áp cuối nguồn cung cấp cho phụ tải yếu, làm cho các phụ tải (nhất là các động cơ điện) làm việc khó khăn hơn và hiệu suất kém. Khả năng truyền tải của đường dây bị giảm do dòng điện lớn, vì vậy nhà máy điện phải phát tăng công suất lên mới đáp ứng được nhu cầu phụ tải và khiến lượng nhiên liệu tiêu hao cho sản xuất điện tăng lên, nên phải tăng chi phí đầu tư cho hệ thống truyền tải.

Để khuyến khích sản xuất và tiết kiệm điện năng, nhà nước đã ban hành Nghị định số 105/2005/NĐ-CP ngày 17 ngày 8 năm 2005 quy định chi tiết và hướng dẫn thi hành một số điều của Luật Điện lực và Thông tư 07/2006/TT-BCN ngày 27 tháng 10 năm 2006 của Bộ Công nghiệp hướng dẫn chi tiết về mua, bán công suất phản kháng. Theo đó tiền mua công suất phản kháng mà doanh nghiệp phải trả là số tiền để bù đắp các khoản chi phí mà bên bán điện phải đầu tư thêm nguồn công suất phản kháng hoặc thay đổi phương thức vận hành lưới điện do bên mua điện sử dụng quá lượng công suất phản kháng quy định. Số tiền mua công suất phản kháng được tính theo công thức sau:

Trong đó : $T_q = T_n \times k\%$

T_q : Tiền mua công suất phản kháng (chưa có thuế giá trị gia tăng);

T_n : Tiền mua điện năng tác dụng (chưa có thuế giá trị gia tăng);

k : Hệ số bù đắp chi phí do bên mua điện sử dụng quá lượng công suất phản kháng quy định (%).

Hệ số k được tính theo bảng sau:

Hệ số công suất trung bình (Cosφ)	k (%)	Hệ số công suất trung bình (Cosφ)	k (%)
0,85	0	0,71	19,72
0,84	1,19	0,70	21,43
0,83	2,41	0,69	23,19
0,82	3,66	0,68	25,00
0,81	4,94	0,67	26,87
0,80	6,25	0,66	28,79
0,79	7,59	0,65	30,77
0,78	8,97	0,64	32,81
0,77	10,39	0,63	34,92
0,76	11,84	0,62	37,10
0,75	13,33	0,61	39,34
0,74	14,86	0,60	41,67
0,73	16,44	dưới 0,60	44,07
0,72	18,06		

Hệ số công suất trung bình được tính bằng lượng điện năng ghi được tại công tơ đếm điện năng tác dụng và điện năng phản kháng trong một kỳ ghi chỉ số công tơ.

Hệ số công suất trung bình (cosφ) được xác định như sau:

$$\text{Cos}\varphi = \frac{A_p}{\sqrt{A_p^2 + A_q^2}}$$

Trong đó:

A_p : Điện năng tác dụng trong một chu kỳ ghi chỉ số công tơ (kWh);

A_q : Điện năng phản kháng trong một chu kỳ ghi chỉ số công tơ tương ứng (kVARh).

11.3.2 Các biện pháp nâng cao hệ số công suất

Như trên đã nói, trong các xí nghiệp công nghiệp thì các động cơ điện mà chủ yếu là các động cơ không đồng bộ, các máy biến áp, máy hàn điện, hệ thống chiếu sáng bằng đèn huỳnh quang với chấn lưu điện từ v.v... là các thiết bị tiêu thụ công suất phản kháng lớn. Muốn nâng cao hệ số công suất cosφ có rất nhiều giải pháp trong đó có những giải pháp đơn giản, dễ thực hiện thường gặp trong quá trình vận hành các thiết bị tiêu thụ điện, những giải pháp đó gọi là giải pháp **Bù tự nhiên**. Trong những trường hợp bù tự nhiên chưa đảm bảo ta phải thực hiện **Bù nhân tạo** bằng các thiết bị bù.

11.3.2.1 Bù tự nhiên

Các phương pháp bù tự nhiên cơ bản là :

1. Chọn chính xác công suất động cơ

Đây là vấn đề cần được quan tâm và lưu ý đặc biệt trong quá trình thiết kế mới các dây chuyền sản xuất. Muốn chọn động cơ chính xác phải biết rõ công suất phụ tải cơ khí, mômen khởi động cần thiết và các yếu tố liên quan khác. Nếu chọn công suất động cơ quá lớn sẽ làm cho hệ số công suất cosφ giảm thấp hoặc chọn công suất nhỏ hơn có thể dẫn tới hiệu suất kém. Nếu trong quá trình vận hành mà động cơ làm việc

quá non tải hoặc quá tải đều nên tính toán lại một cách cụ thể để lên phương án thay động cơ khác cho phù hợp.

Ví dụ 11.1:

Một máy bơm ly tâm lắp động cơ không đồng bộ công suất 55kW; điện áp 380V; hiệu suất định mức $\eta = 0,87$ và $\cos\varphi = 0,9$; $Q = 25\text{kVar}$.

Trong quá trình vận hành nhận thấy công suất thực tế chỉ 30kW và $\cos\varphi = 0,87$. Máy bơm làm việc 4000 giờ/năm và giá điện phải trả là 1000đ/kWh.

Nếu ta thay động cơ trên bằng động cơ 33kW với cùng cấp điện áp 380V, $\cos\varphi = 0,9$; $\eta = 0,9$; $I_0 = 21\text{A}$; $P_0 = 500\text{W}$ thì công suất và số tiền tiết kiệm được là bao nhiêu?

Lời giải: Hệ số tải của động cơ mới thay:

$$\beta = \frac{P}{P_{dm}} = \frac{30}{33} = 0,9$$

Coi như hiệu suất không đổi trong dải công suất sử dụng này.

Công suất phản kháng mà động cơ 33 kW tiêu thụ:

$$Q_2 = Q_0 + \beta^2 (Q_{dm} - Q_0)$$

Trong đó: $+ Q_0$ – Công suất phản kháng tiêu thụ khi chạy không tải:

$$Q_0 = \sqrt{S_0^2 - P_0^2} = \sqrt{(\sqrt{3}I_0 U)^2 - P_0^2}$$

$$= \sqrt{(\sqrt{3} \cdot 21 \cdot 380)^2 - 500^2} = 13,8\text{kVar}$$

$+ Q_{dm}$ – Công suất phản kháng định mức của động cơ:

$$Q_{dm} = \frac{P_{dm}}{\eta} \tan\varphi = \frac{33\text{kW} \cdot 0,484}{0,9} = 17,75\text{kVar}$$

$$Q_2 = 13,8\text{kVar} + 0,9^2 (17,75 - 13,8) = 17\text{kVar}$$

Sau khi thay động cơ mới thì công suất tác dụng giảm được:

$$\Delta P^* = P \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_2 \cdot \eta_1} = 30 \frac{0,9 - 0,87}{0,9 \cdot 0,87} = 1,15\text{kW}$$

Tổng công suất tác dụng tiết kiệm được:

$$\Delta P = \Delta P^* + k(Q_1 - Q_2) = 1,15\text{kW} + 0,1 (25 - 17,75) = 1,875\text{kW}.$$

Nếu một năm vận hành 4000 giờ thì lượng điện năng tiết kiệm được là:

$$\Delta W = \Delta P \cdot 4000 = 1,875 \cdot 4000 = 7500\text{kWh}$$

Và số tiền là: $7500\text{kWh} \cdot 1000\text{đ/kWh} = 7500000$ đồng.

Nếu tính giá bán động cơ cũ và giá mua động cơ mới là như nhau thì với lượng điện năng tiết kiệm như trên thì thay đổi là cần thiết.

2. Hạn chế thời gian chạy máy không tải

Ở nhiều thiết bị, thời gian nghỉ giữa hai chu kỳ làm việc của động cơ quá dài. Điều đó cũng là nguyên nhân dẫn đến trị số $\cos\varphi$ của thiết bị và của toàn nhà máy xuống

thấp. Thực tế cho thấy nếu thời gian nghỉ giữa hai chu kỳ làm việc lớn hơn 10 giây thì có thể áp dụng biện pháp ngắt động cơ ra khỏi lưới điện lúc chạy không tải. Điện năng tiết kiệm được do sự cắt điện lúc chạy không tải được xác định theo công thức:

$$W_P = k_{hp} \frac{z \cdot P_{dm} \cdot T_{ng}}{3600} \quad (\text{kWh})$$

$$W_Q = k_{hq} \frac{z \cdot P_{dm} \cdot T_{ng}}{3600} \quad (\text{kVArh})$$

Trong đó : z – số chu kỳ làm việc trong một giờ

P_{dm} – Công suất định mức của động cơ

T_{ng} – Thời gian nghỉ trong một chu kỳ

k_{hp} và k_{hq} – Hệ số hiệu quả tính theo công suất không tải và hệ số $\cos\phi$ của động cơ.

3. Giảm điện áp đặt vào động cơ khi vận hành non tải

Lượng công suất phản kháng tiêu hao tỷ lệ thuận với điện áp đặt vào stato động cơ có nghĩa là nếu đặt một điện áp thấp hơn vào stato động cơ thì lượng tiêu hao công suất phản kháng sẽ giảm. Biện pháp này chỉ nên áp dụng khi động cơ vận hành non tải và mômen khởi động không yêu cầu lớn.

Nếu phát hiện tất cả các động cơ trong phân xưởng đều vận hành non tải thì có thể hạ điện áp tổng thể từ đầu nguồn tức là từ trạm biến áp.

4. Nâng cao chất lượng sửa chữa động cơ

Đây là một biện pháp tốt để tiết kiệm năng lượng. Nếu sau khi sửa chữa mà không khôi phục được các thông số ban đầu thì khi vận hành động cơ sẽ tiêu thụ công suất phản kháng nhiều hơn đặc biệt là làm rộng khe hở không khí của động cơ không đồng bộ hoặc các pha sau sửa chữa không đối xứng đều làm cho việc tiêu thụ công suất phản kháng tăng lên. Do đó việc nâng cao chất lượng sửa chữa động cơ điện cũng là một giải pháp tiết kiệm năng lượng.

5. Thực hiện vận hành hợp lý các trạm biến áp trong xí nghiệp

Cần phải phân tích kỹ lưỡng tình trạng làm việc và biểu đồ phụ tải của từng máy biến áp trong thời gian sản xuất. Trên cơ sở đó đưa ra phương án phân phối phụ tải hợp lý cho các máy biến áp tại những thời điểm khác nhau của sản xuất để nâng cao tối đa hiệu suất sử dụng máy biến áp và tăng hệ số công suất $\cos\phi$. Việc cân nhắc các yếu tố phụ tải có thể cho phép loại trừ một hoặc một số máy biến áp ra khỏi lưới hoặc hạ thấp điện áp đầu máy khi nhiều thiết bị vận hành non tải để nâng cao hệ số công suất cho toàn xí nghiệp.

6. Thay thế các động cơ không đồng bộ thông thường bằng các động cơ hiệu suất cao

Cần phải tính toán một cách cụ thể và chính xác. Về lâu dài, động cơ hiệu suất cao chiếm ưu thế về tiết kiệm năng lượng. Trong điều kiện vốn đầu tư cho phép thì nên thay thế các động cơ hiệu suất thấp bằng các động cơ hiệu suất cao.

11.3.2.2. Bù nhân tạo

Như đã trình bày ở trên, khi các giải pháp bù tự nhiên chưa đạt được hệ số công suất cần thiết thì cần phải đưa ra phương án bù nhân tạo. Do bù có nhiều tác dụng lớn như giảm tổn thất đường dây do dòng điện được giảm thấp mà tổn thất đường dây tỷ lệ với bình phương của cường độ dòng điện, do đó giảm chi phí đầu tư như hệ thống đường dây, trạm biến áp... Do cosφ tăng, dòng điện sẽ giảm nên chi phí cho việc truyền tải sẽ giảm xuống, đồng thời tăng được khả năng sử dụng công suất nguồn.

Các phương pháp bù nhân tạo:

Với những lý do trên nhận thấy rằng bù nhân tạo là hết sức cần thiết. Các phương pháp bù nhân tạo hiện đang sử dụng là dùng máy bù đồng bộ và bù bằng hệ thống tụ bù tĩnh.

1. Bù bằng máy bù đồng bộ

Máy bù đồng bộ thực chất là một động cơ đồng bộ không mang tải. Người ta điều chỉnh dòng điện kích từ để nó có thể phát ra công suất phản kháng cung cấp cho phụ tải thay cho việc cấp công suất phản kháng từ lưới (tham khảo chương 8).

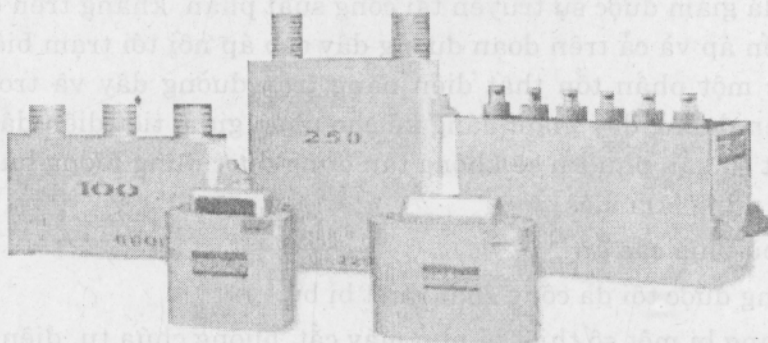
Do là máy điện quay nên vận hành phức tạp. Bản thân máy đã tiêu thụ một lượng công suất tác dụng khá lớn nên hiện nay ít được sử dụng. Các máy bù trước kia nay đã được thay thế bằng các bộ tụ bù tĩnh với giá thành rẻ hơn.

2. Bù bằng tụ bù tĩnh

Đó là các bộ tụ điện có dung lượng lớn được chế tạo sẵn theo từng cấp công suất và nối vào lưới điện.

Ưu điểm nổi bật của việc bù bằng tụ là lắp đặt, vận hành, bảo quản thuận tiện do không có phần quay. Bản thân tụ điện tiêu thụ công suất tác dụng rất ít nên hiệu quả kinh tế cao. Trọng lượng của các bộ tụ nhỏ nên có thể lắp đặt dễ dàng trong các tủ điện.

Tuy nhiên, bù bằng tụ cũng có nhược điểm là thời gian sử dụng ngắn (khoảng 10 năm). Khi bị sự cố không sửa lại được và dòng điện lúc đóng cắt tụ rất lớn.



Hình 11.13. Một số dạng tụ bù tĩnh.

Do những ưu điểm nổi trội và công nghệ mới cho phép kéo dài tuổi thọ của các bộ tụ điện dài hơn nên hiện nay trong các xí nghiệp đều sử dụng các bộ tụ bù tĩnh để bù hệ số công suất. Tuy nhiên, để đạt hiệu quả cao thì khi thiết kế hệ thống bù cần phải lưu ý các vấn đề sau:

a) Tính được công suất bù hợp lý

Dưới đây là một số công thức tính toán dung lượng bù:

Công thức 1:

$$Q_{bù} = P_{30} (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) \alpha$$

Trong đó :

P_{30} – Công suất tính toán cực đại 30 phút;

φ_1, φ_2 – Góc lệch pha trước và sau khi bù;

α – Hệ số ($\alpha = 0,7 - 0,9$) tính đến thời điểm đầu tư.

Công thức 2:

$$Q_{bù} = [P (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) \alpha] / T$$

Trong đó:

P – Điện năng tiêu thụ trong tháng dùng nhiều nhất (kWh);

T – Số giờ làm việc trong tháng của xí nghiệp;

φ_1, φ_2 – Góc lệch pha trước và sau khi bù;

α – Hệ số ($\alpha = 0,7 - 0,9$).

Nếu sản xuất ổn định có thể sử dụng công thức:

$$Q_{bù} = P (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) \alpha$$

(P – Công suất tiêu thụ trung bình trong 1 giờ)

Trong trường hợp tính toán gần đúng có thể coi $\alpha = 1$. Khi đó dung lượng bù được tính theo công thức sau:

$$Q_{bù} = P (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) \alpha$$

b) Chọn vị trí đặt tụ bù hợp lý sẽ giảm được tổn thất đường dây và nâng cao hiệu suất thiết bị điện.

Ở các xí nghiệp công nghiệp đều có 2 cấp điện áp (thường cao áp là 22kV và hạ áp là 400/230V). Vậy nên đặt tụ bù tại vị trí nào sẽ mang lại hiệu quả kinh tế hơn.

• **Đặt tụ bù ở phụ tải phía hạ áp**

Ưu điểm là giảm được sự truyền tải công suất phản kháng trên đường dây hạ áp, trong máy biến áp và cả trên đoạn đường dây cao áp nối tới trạm biến áp. Kết quả là nó giảm được một phần tổn thất điện năng trên đường dây và trong máy biến áp. Dòng điện trên đường dây giảm đáng kể cho phép giảm tiết diện dây dẫn (cáp điện). Tuy nhiên đặt tụ gần phụ tải sẽ không tận dụng được dung lượng bù khi phụ tải hoặc nhóm phụ tải dừng làm việc.

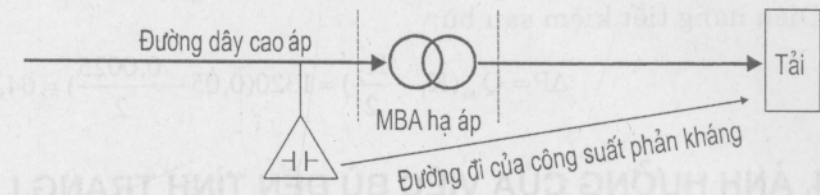
• **Đặt tụ bù phía cao áp**

+ Tận dụng được tối đa công suất thiết bị bù.

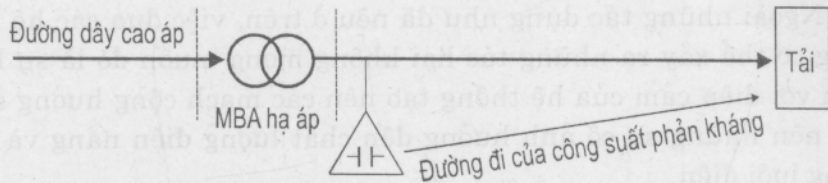
+ Phải trang bị một số thiết bị như máy cắt, buồng chứa tụ, điện trở phóng điện... giá thành sẽ cao.

+ Không giảm được tổn thất đường dây phía hạ áp.

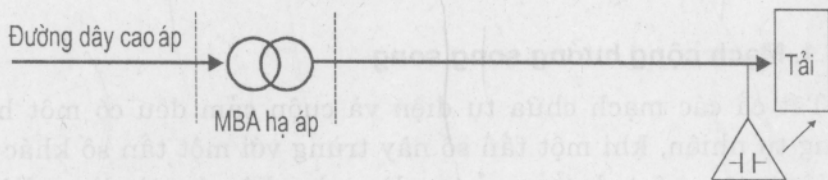
Bù phía cao áp



Bù tập trung sau
MBA hạ áp



Bù tập trung đầu
phụ tải



Hình 11.14. Vị trí đặt thiết bị bù.

Tụ bù có thể được nối theo hình sao hoặc hình tam giác:

$$\text{Tụ nối hình } \Delta : C = \frac{Q_{\text{bù}}}{3.2\pi f U_{\text{dây}}^2} 10^3$$

$$\text{Tụ nối hình Y : } C = \frac{Q_{\text{bù}}}{2\pi f U_{\text{dây}}^2} 10^3$$

Trị số tụ nối hình Y sẽ lớn hơn gấp 3 lần so với nối Δ tuy nhiên điện áp tụ cần cao hơn $\sqrt{3}$ lần.

Công suất điện tiết kiệm được sau khi bù:

$$\Delta P = Q_{\text{bù}} \left(K_1 - \frac{K_2}{2} \right)$$

Trong đó :

$Q_{\text{bù}}$: Công suất phản kháng đã bù;

K_1 : Trị số đương lượng kinh tế của công suất phản kháng;

K_2 : Tổn hao công suất tác dụng của một đơn vị dung lượng thiết bị bù;

$K_2\%$ (Tụ điện tĩnh) = 0,25 – 0,5.

Ví dụ 11.2: Một xí nghiệp có hệ số $\cos\varphi$ trung bình là 0,75. Phụ tải $P_{30} = 3000\text{kW}$. Yêu cầu nâng hệ số $\cos\varphi$ lên 0,96. Xác định dung lượng bù và công suất tiết kiệm sau bù.

Lời giải: Ta có:

$$\cos\varphi_1 = 0,75 \rightarrow \text{tg}\varphi_1 = 0,88$$

$$\cos\varphi_2 = 0,96 \rightarrow \text{tg}\varphi_2 = 0,33$$

Dung lượng tụ bù:

$$Q_{\text{bù}} = P_{30} (\text{tg}\varphi_1 - \text{tg}\varphi_2) = 3000 (0,88 - 0,33) = 1650\text{kVAR}$$

Điện năng tiết kiệm sau bù:

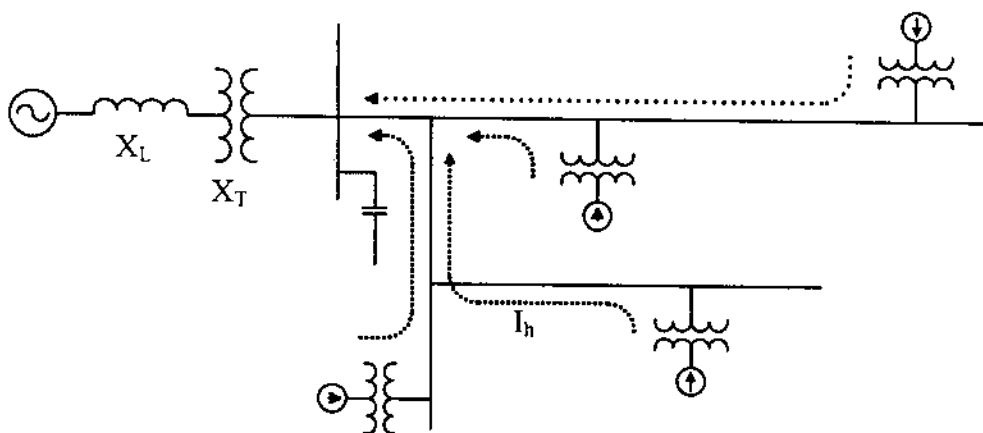
$$\Delta P = Q_{\text{bù}} \left(K_1 - \frac{K_2}{2} \right) = 1320 \left(0,05 - \frac{0,0025}{2} \right) = 64,35 \text{ kW}$$

11.4. ẢNH HƯỞNG CỦA VIỆC BÙ ĐẾN TÌNH TRẠNG LƯỚI ĐIỆN

Ngoài những tác dụng như đã nêu ở trên, việc đưa các hệ thống tụ vào lưới điện cũng có thể xảy ra những tác hại không mong muốn đó là sự kết hợp giữa các bộ tụ điện với điện cảm của hệ thống tạo nên các mạch cộng hưởng song song hay nối tiếp gây nên những sự cố ảnh hưởng đến chất lượng điện năng và các thiết bị vận hành trong lưới điện.

11.4.1. Mạch cộng hưởng song song

Tất cả các mạch chứa tụ điện và cuộn cảm đều có một hay nhiều tần số cộng hưởng tự nhiên, khi một tần số này trùng với một tần số khác của hệ thống điện, sẽ có hiện tượng cộng hưởng xảy ra làm cho điện áp và dòng điện luôn ở mức rất cao. Đây chính là vấn đề cần quan tâm bậc nhất của điều hoà trên hệ thống điện.



Hình 11.15. Hệ thống với các tiềm năng cộng hưởng song song.

Hiện tượng cộng hưởng song song xảy ra khi dung kháng của tụ điện loại trừ giá trị điện kháng (mang tính chất cảm) của hệ thống. Bậc điều hoà được tính toán như sau:

$$h_r = \sqrt{\frac{X_c}{X_{sc}}} = \sqrt{\frac{S_{sc}}{S_{VAR-C}}} = \sqrt{\frac{S_{ix} \cdot 100}{S_{VAR-C} \cdot u_n (\%)}}$$

Trong đó: X_c – Là dung kháng của tụ điện.

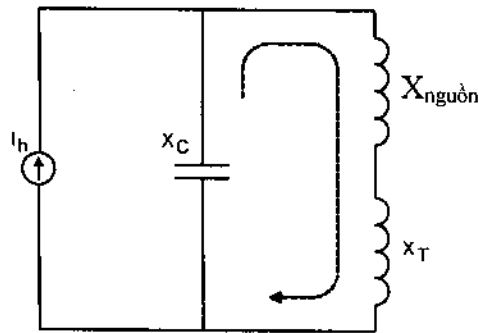
X_{sc} – Là điện kháng ngắn mạch của hệ thống.

S_{sc} – Dung lượng ngắn mạch của hệ thống.

S_{VAR-C} – Công suất phản kháng của tụ.

S_{ix} – Dung lượng của máy biến áp.

u_n – Điện áp ngắn mạch phần trăm máy biến áp.



Hình 11.16. Sơ đồ thay thế đơn giản của mạch cộng hưởng song song.

Tổng trở của mạch:

$$Z_p = \frac{(-jX_C)(jX_{Leq} + R)}{-jX_C + jX_{Leq} + R}$$

Khi có cộng hưởng tức là $X_C = X_{Leq}$

+ Tổng trở cộng hưởng :

$$Z_p = \frac{(-jX_C)(jX_{Leq} + R)}{-jX_C + jX_{Leq} + R} = \frac{X_{Leq}^2}{R} = \frac{X_C^2}{R}$$

bỏ qua bậc vô cùng bé của điện trở, đặt $X_{Leq}/R = X_C/R = Q$

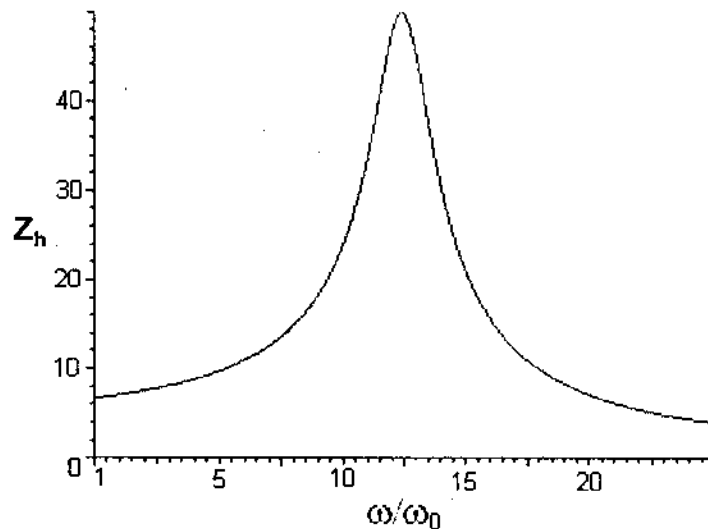
$$Z_p = Q \cdot X_{Leq} = Q \cdot X_C$$

+ Điện áp sinh ra do dòng cộng hưởng:

$$U_p = Z_p \cdot I_h = Q \cdot X_{Leq} \cdot I_{dh}$$

+ Dòng cộng hưởng là:

$$I_h = Q \cdot I_{dh}$$

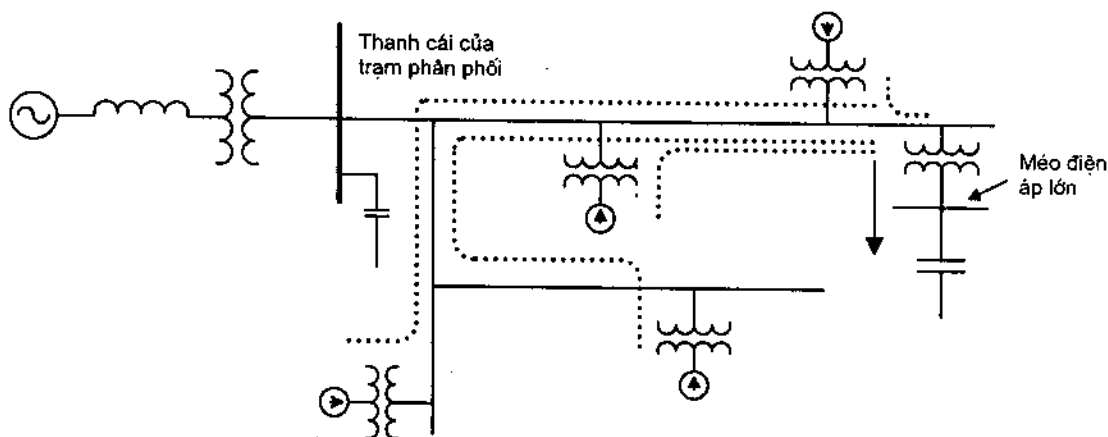


Hình 11.17. Đáp ứng tần số hệ thống.

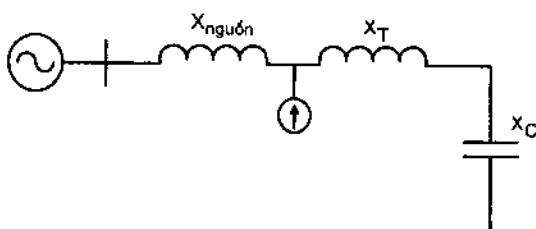
Như vậy dòng cộng hưởng gấp Q lần giá trị dòng điều hoà, mà giá trị Q thường rất lớn nên dòng điện cộng hưởng có thể lớn gây ra các hư hỏng cho các thiết bị điện. Q thường được gọi là hệ số chất lượng.

11.4.2. Cộng hưởng nối tiếp

Có một vài trường hợp mà trong đó tụ điện và điện cảm của máy biến áp hay của đường dây phân phối được nối nối tiếp đối với nguồn dòng điều hoà. Nếu đáp ứng tần số cộng hưởng do tụ và điện cảm hệ thống này tạo ra trùng với một tần số điều hoà của tải phi tuyến thì sự dao động cộng hưởng này sẽ thu hút phần lớn dòng điều hoà được phát đi trong hệ thống phân phối điện.



Hình 11.18. Hệ thống với các tiềm năng cộng hưởng nối tiếp.



Hình 11.19. Sơ đồ thay thế đơn giản của mạch cộng hưởng nối tiếp.

Tụ điện nâng cao hệ số công suất thiết lập nên một mạch LC nối tiếp với cả biến áp và các nguồn điều hoà. Mạch tương đương đơn giản, trong đó nguồn điều hoà trong hình vẽ 11.19 đưa ra tổng các điều hoà được sinh ra bởi các tải khác. Có thể tính được số bậc của tần số cộng hưởng nối tiếp:

$$h_s = \sqrt{\frac{X_C}{X_T}}$$

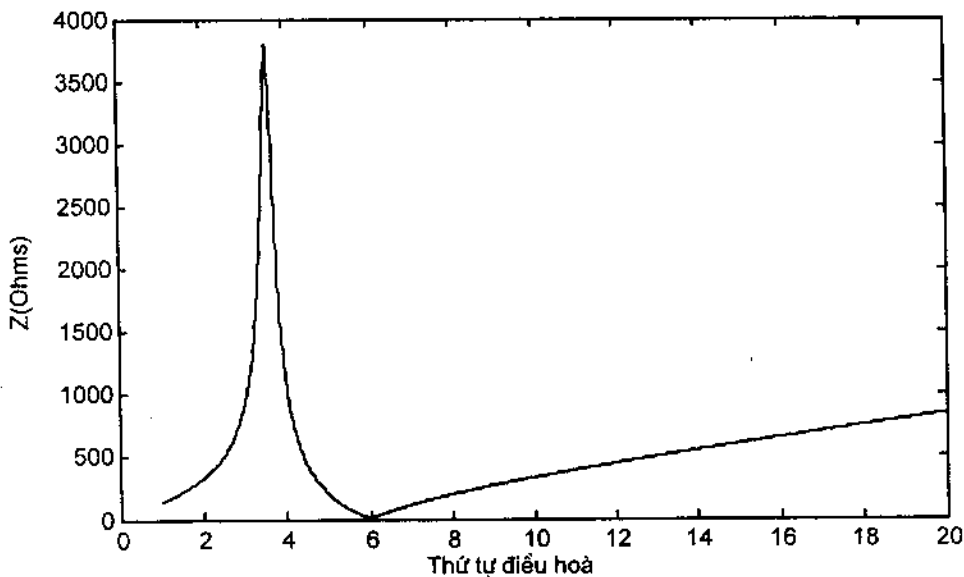
Rất nhiều hệ thống chứa các tiềm năng xảy ra cộng hưởng nối tiếp và cộng hưởng song song do kết cấu của mạch điện, một trong các cộng hưởng đó được thể hiện ở hình 11-20, cộng hưởng được thực hiện khi có sự tổ hợp song song giữa $X_{nguồn}$ và X_T nối tiếp với X_C . Khi đó tần số cộng hưởng song song là:

$$h_p = \sqrt{\frac{X_C}{X_T + X_{nguồn}}}$$

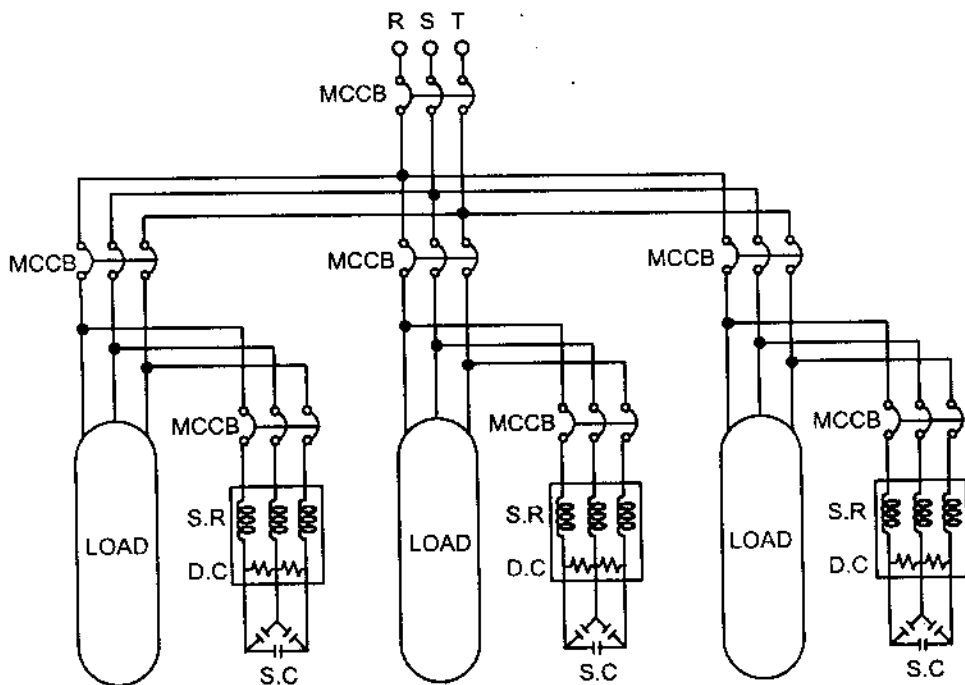
Thông thường các tụ bù được thiết kế để bù công suất phản kháng tăng giá trị hệ

số công suất, nhưng các tính toán cho tụ bù đều được tính ở tần số hoạt động của lưới điện, không tính đến trong lưới điện còn tồn tại các điều hoà với các tần số khác và các điều hoà sẽ là nguyên nhân của một số hư hại cho dây tụ :

- Các điện áp điều hoà làm tăng giá trị công suất phản kháng.



Hình 11.20. Đáp ứng tần số của mạch cộng hưởng nối tiếp.



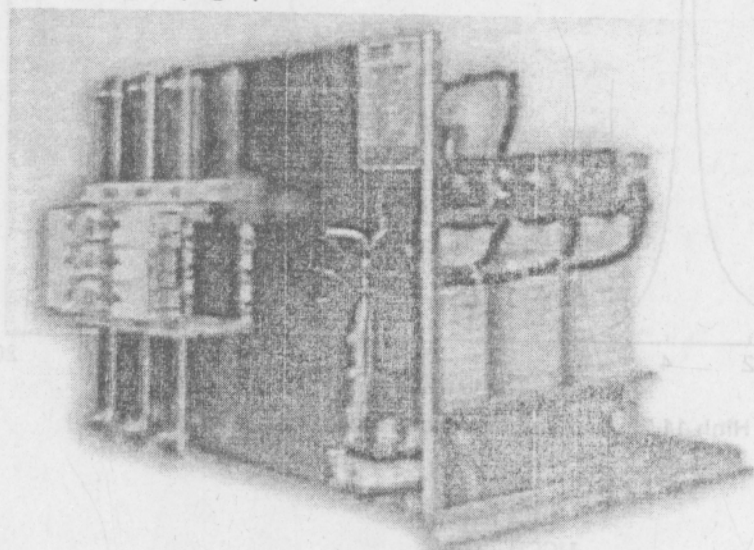
Hình 11.21. Sơ đồ nối tụ bù hệ số công suất có cuộn kháng nối tiếp.

- Các điện áp điều hoà làm tăng nhiệt cho các tụ bù, sự tăng nhiệt này kéo theo tổn hao điện môi cho tụ điện. Đến một mức nào đó các điều hoà trong lưới điện sẽ phá hỏng điện môi hoặc tăng quá mức công suất phản kháng dẫn đến hỏng dây tụ bù.

– Các điện áp điều hoà là một trong các nguyên nhân chính làm cho tuổi thọ của tụ bù giảm xuống do các điều hoà còn góp phần tạo ra độ quá điện áp, điều này dẫn đến tụ bị phát nóng và nhanh hỏng cách điện.

– Hiện tượng cộng hưởng có thể xuất hiện nếu giá trị của một tần số dòng điều hoà trùng với tần số cộng hưởng của trở kháng đường dây và điện dung của tụ bù, kết quả là biên độ tần số cộng hưởng sẽ được khuếch đại làm hỏng dây tụ bù.

Để hạn chế việc tạo nên các mạch cộng hưởng khi đóng các tụ điện trực tiếp vào lưới, người ta thường mắc nối tiếp với tụ điện một điện kháng tuyến tính với dung lượng khoảng 6% dung lượng tụ.



Hình 11.22. Bộ tụ bù có lắp cuộn kháng nối tiếp

11.5. MỘT SỐ LỖI THƯỜNG GẶP KHI LẮP ĐẶT THIẾT BỊ BÙ

Trong thực tiễn, chỉ số $\cos\phi$ luôn được các doanh nghiệp chú ý bởi nó ảnh hưởng trực tiếp đến kinh tế doanh nghiệp. Nếu doanh nghiệp nào có hệ số $\cos\phi$ thấp sẽ phải nộp tiền mua công suất vô công. Tuy nhiên việc nâng cao hệ số công suất tại các doanh nghiệp còn nhiều bất cập do chưa tính đến các yếu tố khác như hiện tượng cộng hưởng gây hư hỏng bộ tụ và các thiết bị điện, hiện tượng sóng hài phát tán ra lưới làm tăng tổn hao v.v... Sau đây là một số lỗi cụ thể mà doanh nghiệp hay mắc phải.

11.5.1. Thiết bị bù đặt xa phụ tải cần bù

Thông thường thiết bị bù thường đặt tại trạm biến áp mà máy biến áp đặt khá xa phụ tải dẫn đến hiệu quả bù thấp và không giảm được tổn thất trên đường dây dài từ trạm biến áp tới phụ tải.

Do đặt ngoài trời nên các thiết bị điều khiển rất mau hư hỏng và không được kiểm soát nên hiệu quả bù không cao. Không phát hiện và thay thế kịp thời các bộ tụ hư hỏng làm tiêu thụ công suất tác dụng lớn.

Giải pháp: Nên đặt tụ bù về gần phụ tải hơn và có biện pháp giám sát thiết bị bù.

11.5.2. Các bộ tụ bù thường lắp đặt tụ nền

Tụ này luôn thường trực ngay cả khi không có phụ tải hoạt động. Nó làm tăng điện áp đầu máy biến áp và làm già hoá tụ rất nhanh nhất là vào giờ thấp điểm khi các thiết bị ngừng hoạt động. Các tụ này sẽ tiêu thụ công suất lớn gây lãng phí điện năng

Giải pháp :

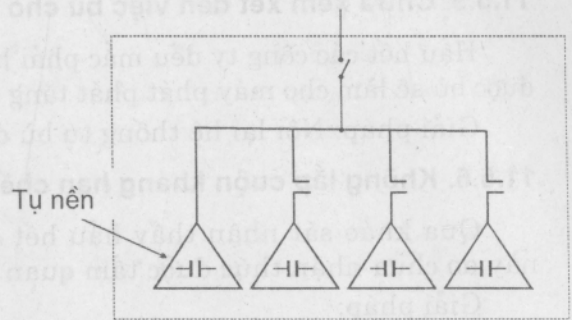
* Không lắp tụ nền, tất cả tụ bù đều được điều khiển qua thiết bị giám sát cos ϕ của tải.

* Cần có biện pháp giám sát tiêu thụ điện của hệ thống tụ bù.

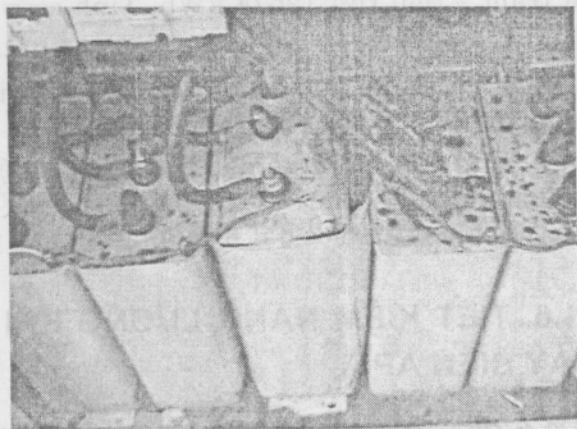
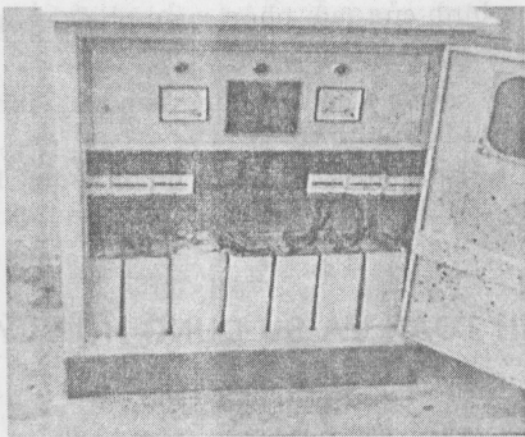
Có thể đặt công tơ theo dõi tiêu thụ điện hoặc thường kiểm tra sự phát nhiệt của tụ.

* Khi phát hiện tụ tiêu thụ điện lớn nên cắt bỏ và thay thế ngay tụ mới.

Các tụ đã bị già hoá sẽ tiêu thụ công suất ngày càng tăng, vì vậy phải loại bỏ kịp thời.



Hình 11.23. Tụ nền thường xuyên xuyên đóng vào lưới.



Hình 11.24. Sự cố tại trạm tụ bù do không được giám sát

11.5.3. Điện áp tụ chọn thấp so với mức tăng áp của trạm biến áp

Do điện áp cao hơn so với điện áp định mức nên làm giảm tuổi thọ của tụ điện. Tụ bù hạ thế thường có cấp điện áp 400V, 415 và 440V. Nếu chọn loại tụ có cấp điện áp 400V sẽ rất nhanh bị già hoá và tiêu thụ năng lượng.

Giải pháp: Nên chọn tụ có cấp điện áp cao (415V hoặc 440V) thay vì lắp các tụ có điện áp 400V.

11.5.4. Chưa tính toán đến việc bù trực tiếp cho các phụ tải lớn

Các động cơ không đồng bộ công suất lớn và làm việc non tải thường có hệ số cos ϕ thấp. Bù trực tiếp tại đầu động cơ sẽ rất có lợi ngay cả khi động cơ khởi động.

Giải pháp: Cân nhắc, tính toán đến việc bù trực tiếp cho từng phụ tải lớn.

Giải pháp này phải xem xét trên quy mô tổng thể của hệ thống cấp điện trong xí nghiệp.

11.5.5. Chưa xem xét đến việc bù cho tải khi máy phát dự phòng làm việc

Hầu hết các công ty đều mắc phải hiện tượng này. Khi chạy máy phát mà tải không được bù sẽ làm cho máy phát phát tăng công suất và tiêu thụ nhiên liệu hơn.

Giải pháp: Nối lại hệ thống tụ bù để có thể bù được khi máy phát điện làm việc.

11.5.6. Không lắp cuộn kháng hạn chế cộng hưởng

Qua khảo sát nhận thấy hầu hết các doanh nghiệp đều không thực hiện vấn đề này do chưa nhận thức được tầm quan trọng của cuộn kháng nối tiếp với tụ điện.

Giải pháp:

Nối tiếp cuộn kháng tuyến tính với tụ điện.

Bài tập

Một nhà máy dùng 2 trạm biến áp cung cấp cho 2 phân xưởng chế biến riêng. Trạm thứ nhất có dung lượng 630kVA, $U_{n1} = 4\%$ và trạm thứ 2 có dung lượng 1000kVA; $U_{n2} = 5.5\%$. Cả hai có cùng tổ nối dây và cấp điện áp và được đặt gần nhau tại trạm ở khu vực giữa của 2 xưởng. Trong quá trình kiểm toán đo được dòng điện và điện áp hạ thế trung bình của 2 máy $I_{21} = 750A$, $U_{21} = 395V$; $I_{22} = 1000A$, $U_{22} = 398V$.

- Theo dõi công tơ mắc ở phía hạ thế trong 24 giờ thấy trạm 1 tiêu thụ 9120 kWh và trạm 2 tiêu thụ 12574 kWh. Tính $\cos\varphi$ trung bình của mỗi phân xưởng biết rằng phụ tải phân bố đều trong các giờ sản xuất.

- Tính dung lượng tụ bù cần thiết để nâng hệ số $\cos\varphi$ của 2 xưởng lên 0,9. Tính lượng điện năng tiết kiệm được sau khi lắp đặt thiết bị bù.

- Khi tiến hành đo đặc nhận thấy điện áp tại tủ điện tổng trong phân xưởng 1 điện áp là 386V, điện áp ở xưởng 2 là 382V. Tính tổn thất đường dây trước và sau khi lắp tụ bù nếu tụ được đặt ở tủ tổng tại mỗi phân xưởng.

11.6. TIẾT KIỆM NĂNG LƯỢNG KHI TÍNH TOÁN VÀ SỬ DỤNG HỢP LÝ MÁY BIẾN ÁP

11.6.1. Chọn dung lượng máy biến áp hợp lý sẽ tiết kiệm năng lượng

Ta đã biết, tổn hao trong máy biến áp chủ yếu là tổn hao sắt và tổn hao đồng còn gọi là tổn hao không đổi và tổn hao biến đổi. Lý do gọi như vậy là vì tổn hao sắt gần như không thay đổi trong suốt thời gian máy làm việc trừ khi có sự thay đổi điện áp đầu vào. Tổn hao này tuy nhỏ song máy lại luôn luôn nối với lưới điện cả khi máy cung cấp điện cho phụ tải lẫn khi không cung cấp điện. Chính vì vậy việc chọn dung lượng máy hợp lý cũng hạn chế được tổn hao trên. Mặt khác tổn hao đồng lại luôn luôn biến đổi theo trị số dòng điện tải. Chúng ta đã biết rằng máy chỉ đạt hiệu suất cao nhất khi tổn hao đồng bằng tổn hao sắt. Vì vậy chọn dung lượng máy biến áp hợp lý sẽ cho ta hệ số tải tối ưu và đưa máy vào vùng làm việc với hiệu suất cao nhất. Tuy nhiên, việc lựa chọn chính xác dung lượng máy phải dựa trên điều kiện sản xuất thực tế để tính toán cho phù hợp.

11.6.2. Phân phối tải phù hợp giữa các máy biến áp

Một số nhà máy sử dụng nhiều máy biến áp hoạt động phân phối cho các hệ thống phụ tải độc lập nên có thể có những máy chạy không tải hoặc quá non tải trong khi máy khác lại vận hành tới hạn hoặc thậm chí quá tải.

Giải pháp:

- Ghép phụ tải tại những máy quá non tải hoặc ít vận hành sang máy khác còn thừa dung lượng.
- Tháo bỏ những máy không cần thiết ra khỏi lưới điện.
- Cho các MBA làm việc song song nếu đủ điều kiện và đã tính toán về hiệu quả kinh tế kỹ thuật.

11.6.2.1. Điều chỉnh điện áp ra của máy biến áp phù hợp với tình trạng làm việc của phụ tải

Tổn hao sắt trong các thiết bị điện tỷ lệ với bình phương của điện áp:

$$P_{Fe} = P_{1/50} B^2 (f/50)\beta$$

$$E = 4,44.f.w.B.T$$

P_{Fe} : Tổn hao sắt; B – Mật độ từ cảm trong lõi thép; f – Tần số, w – Số vòng dây; T – Tiết diện lõi thép; β – Hệ số phụ thuộc tính năng của thép; E – Sức điện động hay điện áp đặt vào thiết bị.

Nếu các động cơ làm việc non tải, nên điều chỉnh điện áp xuống thấp để nâng cao hệ số cos ϕ .

Giải pháp: Giảm điện áp hợp lý sẽ giảm tổn hao sắt trong các thiết bị điện:

+ Muốn điều chỉnh điện áp phải liên hệ với điện lực cơ sở.

+ Máy biến áp phân phối thường có 5 cấp điều chỉnh là 0, $\pm 2,5\%$ và $\pm 5\%$.

+ Núm điều chỉnh đặt phía trên mặt máy hoặc mặt bên của máy. Sau khi điều chỉnh phải kiểm tra thông mạch tiếp điểm của chuyển mạch.

11.6.2.2. Trạm biến áp đặt gần các thiết bị động lực sẽ giảm được tổn hao trên đường dây

Dễ nhận thấy rằng, nếu đường dây càng dài thì điện trở càng lớn và tất nhiên tổn thất đường dây sẽ tăng. Do đó phải xem xét vị trí đặt trạm biến áp hợp lý sao cho càng gần trung tâm phụ tải càng tốt. Tất nhiên cũng phải xem xét thêm các khía cạnh khác như mặt bằng, an toàn v.v...

11.6.2.3. Không nên sử dụng ổn áp cho mạch động lực khi dao động điện áp xảy ra với tần suất không lớn

Có nhiều doanh nghiệp do quá lo sự biến đổi điện áp nên đã sử dụng các thiết bị ổn áp công suất lớn theo nguyên lý điều áp cảm ứng. Thiết bị này không có khả năng tác động nhanh nên chỉ phù hợp cho những khu vực điện áp rất thấp trong thời gian khá dài. Nếu sự dao động điện áp không lớn hoặc tần suất thay đổi nhanh thì thiết bị ổn áp không đáp ứng được mà có thể gây nên tổn thất lớn và làm cho hệ số công suất toàn mạch điện giảm xuống.

Ví dụ 11.3: Một nhà máy lắp đặt 1 trạm biến áp có các thông số sau:

$$S = 1250\text{kVA}; U = 22/0,4\text{kV}; f = 50\text{Hz}; Y\Delta 11$$

$$P_o = 1720\text{W}; P_n = 12910\text{W}; I_o\% = 1,2; U_n\% = 5,5\%.$$

Khi máy vận hành thường xuyên đo được dòng tải từ 700 – 800A. Có ý kiến cho rằng máy chạy non tải cần thay thế bằng máy có công suất thấp hơn như sau:

$$S = 630\text{kVA}; U = 22/0,4\text{kV}; f = 50\text{Hz}; Y\Delta 11$$

$$P_o = 1150\text{W}; P_n = 6040\text{W}; i_o\% = 1,4; U_n\% = 5\%.$$

Hãy cho biết về mặt tiết kiệm năng lượng thì có nên thay đổi không? Vì sao.

Hãy tính dòng điện tải để máy biến áp đạt hiệu suất cao nhất.

Lời giải:

+ Dòng điện định mức của máy 1250kVA là:

$$I_{2dm} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_2} = \frac{1250000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 1804A$$

+ Hệ số tải của MBA:

$$\beta = \frac{I_2}{I_{2dm}} = \frac{700 \div 800}{1804} = 0,388 \div 0,443$$

+ Tổn hao đồng của MBA ở tải thực tế:

$$P_{Cu} = \beta^2 p_n = 0,388^2 \cdot 12910 + 0,443^2 \cdot 12910 = 1943,5 + 2533,5W$$

+ Tổng tổn hao của máy 1250kVA ở tải thực tế:

$$P_{\Sigma} = P_{Fe} + P_{Cu} = P_0 + p_{Cu} = 1720 + (1943,5 + 2533,5)$$

$$p_{\Sigma} = (3663,5 + 4253,5)W$$

Với máy 630kVA

+ Dòng điện thứ cấp định mức:

$$I_{2dm} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_2} = \frac{630000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 909A$$

+ Hệ số tải của MBA

$$\beta = \frac{I_2}{I_{2dm}} = \frac{700 \div 800}{909} = 0,77 \div 0,88$$

+ Tổn hao đồng của MBA ở tải thực tế:

$$P_{Cu} = \beta^2 p_n = 0,77^2 \cdot 6040 + 0,88^2 \cdot 6040 = 3581 + 4677W$$

+ Tổng tổn hao của máy 630kVA ở tải thực tế

$$P_{\Sigma} = P_{Fe} + P_{Cu} = P_0 + p_{Cu} = 1150 + (3581 + 4677)$$

$$p_{\Sigma} = (4731 + 5827)W$$

Kết luận:

- Nếu thay máy 1250kVA hiện tại bằng máy 630kVA sẽ không kinh tế về mặt tiết kiệm điện năng.

- MBA 1250kVA sẽ đạt hiệu suất cao nhất khi tổn hao sắt bằng tổn hao đồng nghĩa là:

$$\beta^2 p_n = P_0 \quad \text{hay} \quad \beta = \sqrt{\frac{P_0}{p_n}} = \sqrt{\frac{1150}{6040}} = 0,436$$

$$I_2 = \beta I_{2dm} = 0,436 \cdot 1804 = 786,5A$$

Ví dụ 11.4: Cho 3 MBA có các thông số sau

Thông số	S kVA	U1/U2 kV	f Hz	Tổ nối dây	Un
Máy 1	400	22/0,4	50	Yy-6	5%
Máy 2	630	22/0,4	50	Yy-6	5,5%
Máy 3	1000	22/0,4	50	Yy-6	6%

Cho 3 MBA trên làm việc song song cung cấp cho tải 1900kVA . Tính dung lượng và dòng điện của mỗi máy cung cấp cho tải.

Lời giải:

$$\sum \frac{S_{dmi}}{u_{ni} \%} = \frac{400}{5} + \frac{630}{5,5} + \frac{1000}{6} = 316,2$$

$$\beta_1 = \frac{S}{u_{n1} \% \cdot \sum \frac{S_{dmi}}{u_{ni}}} = \frac{1900}{5,361,2} = 1,05 \Rightarrow S_1 = \beta_1 S_{1dm} = 420 \text{ kVA}$$

$$\beta_3 = \frac{1900}{6,361,2} = 0,876 \Rightarrow S_3 = \beta_3 S_{3dm} = 876 \text{ kVA}$$

$$\beta_2 = \frac{1900}{5,5,361,2} = 0,956 \Rightarrow S_2 = \beta_2 S_{2dm} = 602,2 \text{ kVA}$$

Dòng điện mỗi máy:

$$I_{1dm} = \frac{S_{1dm}}{\sqrt{3}U_{1dm}} = \frac{400 \cdot 10^3}{\sqrt{3}400} = 577,3 \text{ A} \Rightarrow I_1 = \beta_1 I_{1dm} = 1,05 \cdot 577,3 = 606 \text{ A}$$

$$I_{2dm} = \frac{S_{2dm}}{\sqrt{3}U_{1dm}} = \frac{630 \cdot 10^3}{\sqrt{3}400} = 909,3 \text{ A} \Rightarrow I_2 = \beta_2 I_{1dm} = 0,956 \cdot 909,3 = 869,3 \text{ A}$$

$$I_{3dm} = \frac{S_{3dm}}{\sqrt{3}U_{1dm}} = \frac{1000 \cdot 10^3}{\sqrt{3}400} = 1443 \text{ A} \Rightarrow I_3 = \beta_3 I_{3dm} = 0,876 \cdot 1443 = 1264 \text{ A}$$

Ví dụ 11.5: Một nhà máy dùng 2 trạm biến áp có cùng tổ nối dây, cùng tần số 50Hz và có các thông số khác như sau:

Thông số	S kVA	U1/U2 kV	P ₀	P _n	Un
Máy 1	500	22/0,4	950	7000	4,5%
Máy 2	800	22/0,4	1300	10500	5,5%

Hai máy biến áp đặt cùng vị trí và cung cấp điện cho 2 phân xưởng chế biến độc lập với nhau. Khi kiểm toán đo được dòng điện hạ thế máy 1 là 420A và máy 2 là 600A, điện áp 400V và làm việc khá ổn định.

1. Có 3 ý kiến như sau:

- Bỏ máy 1, dồn tải sang máy 2.
- Cho 2 máy vận hành song song với nhau.
- Cứ để nguyên hiện trạng.

Anh chị hãy cho biết phương án nào lợi về mặt năng lượng hơn.

2. Tính xem hai máy đạt hiệu suất cao nhất ở dòng tải là bao nhiêu?

Lời giải:

1. Nếu bỏ máy 1 dồn tải sang máy 2 ta có:

Dòng điện máy 2 là :

$$I'_2 = I_1 + I_2 = 1020 \text{ A}$$

$$\text{Hệ số tải của máy 2 lúc này là: } \beta_2 = \frac{I'_2}{I_{2dm}} = \frac{1020}{1155} = 0,97$$

$$\text{Tổn hao đồng của máy 2: } p_{Cu} = \beta^2 \cdot p_{ndm} = 0,97^2 \cdot 10500 = 9879,5 \text{ W}$$

Tổng tổn hao máy 2: $p_z = p_{Fe} + p_{Cu} = P_0 + p_{Cu} = 1300 + 9879,5 = 11179,5W$

2. Nếu 2 máy làm việc song song

$$S = \sqrt{3}U(I_1 + I_2) = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 1020 = 706,67kVA$$

Tải chung của 2 máy:

$$\sum \frac{S_{dmi}}{u_{ni} \%} = \frac{500}{4,5} + \frac{800}{5,5} = 256,56$$

$$\beta_1 = \frac{S}{u_{n1} \% \cdot \sum \frac{S_{dmi}}{u_{ni} \%}} = \frac{706,67}{4,5 \cdot 256,56} = 0,61 \Rightarrow S_1 = \beta_1 S_{1dm} = 306kVA$$

$$\beta_2 = \frac{S}{u_{n1} \% \cdot \sum \frac{S_{dmi}}{u_{ni} \%}} = \frac{706,67}{5,5 \cdot 256,56} = 0,5 \Rightarrow S_2 = \beta_2 S_{2dm} = 400kVA$$

Tổn hao đồng máy 1:

$$p_{Cu1} = \beta_1^2 \cdot p_{n1} = 0,61^2 \cdot 7000 = 2605W$$

Tổn hao đồng máy 2:

$$p_{Cu2} = \beta_2^2 \cdot p_{n2} = 0,5^2 \cdot 10500 = 2625W$$

Tổng tổn hao hai máy:

$$p_z = \sum p_0 + \sum p_{Cu} = 950 + 1300 + 2605 + 2625 = 7480W$$

3. Nếu 2 máy làm việc độc lập

Hệ số tải máy 1:

$$\beta_1 = \frac{I_1}{I_{1dm}} = \frac{420}{722} = 0,58$$

Tổn hao đồng máy 1:

$$p_{Cu1} = \beta_1^2 \cdot p_{n1} = 0,58^2 \cdot 7000 = 2355W$$

Hệ số tải máy 2:

$$\beta_2 = \frac{I_2}{I_{2dm}} = \frac{600}{1155} = 0,52$$

Tổn hao đồng máy 2:

$$p_{Cu2} = \beta_2^2 \cdot p_{n2} = 0,52^2 \cdot 10500 = 2839W$$

Tổng tổn hao của 2 máy:

$$p_z = \sum p_0 + \sum p_{Cu} = 950 + 1300 + 2355 + 2839 = 7444W$$

Kết luận: như vậy để 2 máy làm việc độc lập là kinh tế nhất.

11.7. TIẾT KIỆM NĂNG LƯỢNG KHI TÍNH TOÁN VÀ SỬ DỤNG HỢP LÝ ĐỘNG CƠ

1. Chọn động cơ chính xác về công suất, tốc độ và tần số.

Công suất động cơ được chọn phải phù hợp với phụ tải cần sử dụng. Tần số không chính xác có thể tăng tổn hao không tải lên tới 1,44 lần.

2. Chọn động cơ hiệu suất cao sẽ tiết kiệm về kinh tế.
3. Chọn phương án khởi động thích hợp.
4. Tránh tình trạng để động cơ vận hành không tải hoặc quá non tải sẽ làm cho hệ số công suất và hiệu suất thấp.

Các biện pháp nâng cao hệ số $\cos\phi$ cho động cơ không đồng bộ:

- Chọn công suất động cơ chính xác.
- Hạn chế thời gian chạy không tải hoặc non tải của các động cơ không đồng bộ.
- Giảm điện áp đặt vào động cơ nếu động cơ vận hành non tải.
- Nâng cao chất lượng sửa chữa động cơ.
- Bù công suất phản kháng bằng các thiết bị bù như tụ điện.

Ví dụ 11.6: Một động cơ kéo bơm ly tâm có các số liệu:

$$P_{dm1} = 60\text{kW} ; U = 380\text{V} ; \eta_1 = 0,92 ; \cos\phi_1 = 0,91$$

Khi làm việc thực tế thấy:

$$P = 30\text{kW} ; \cos\phi = 0,81 ; \eta_{H2} = 0,92 ; Q = 23,6$$

Thời gian làm việc 4000 giờ/năm, giá điện 1000 đồng/kWh.

Hệ số động lượng $K = 0,1$

Ta thay thế động cơ này bằng động cơ:

$$P = 33\text{kW} ; \cos\phi = 0,86\eta = 0,87 ; U = 380\text{V} ; I_0 = 25\text{A}$$

Lời giải: Xác định hiệu quả kinh tế trong trường hợp này:

Hệ số phụ tải của động cơ mới thay là:

Coi $\eta_{H2} = \eta_2$

Công suất phản kháng động cơ mới tiêu thụ:

$$Q_2 = Q_0 + \beta_2(Q_{dm} - Q_0) (*)$$

Q_0 – Tổn hao công suất phản kháng khi chạy không tải

Q_{dm} – Công suất phản kháng định mức của động cơ

Thay vào (*) ta có:

$$Q_2 = 16,4 + 0,92(22,38 - 16,4) = 21,24 \text{ kVar}$$

Sau khi thay động cơ mới, tổng công suất tác dụng giảm được:

$$\Delta P = \Delta P_a + K(Q_1 - Q_2) = 1,87 + 0,1.(25,6 - 21,24) = 2,306 \text{ kW}$$

Điện năng tiết kiệm trong một năm:

$$\Delta W = 2,306.4000 = 9224 \text{ kWh}$$

Số tiền tiết kiệm một năm: $9224.1000 = 9224000$ đồng

11.8. KIỂM TOÁN NĂNG LƯỢNG

Kiểm toán năng lượng là việc xem xét, kiểm tra xác định mức độ tiêu thụ năng lượng (điện, dầu, than,...) tại một nhà máy hay một cơ sở sản xuất trong một giai đoạn, để đánh giá mức độ phù hợp giữa các thông tin về năng lượng có thể định lượng được với các chuẩn mực đã được thiết lập.

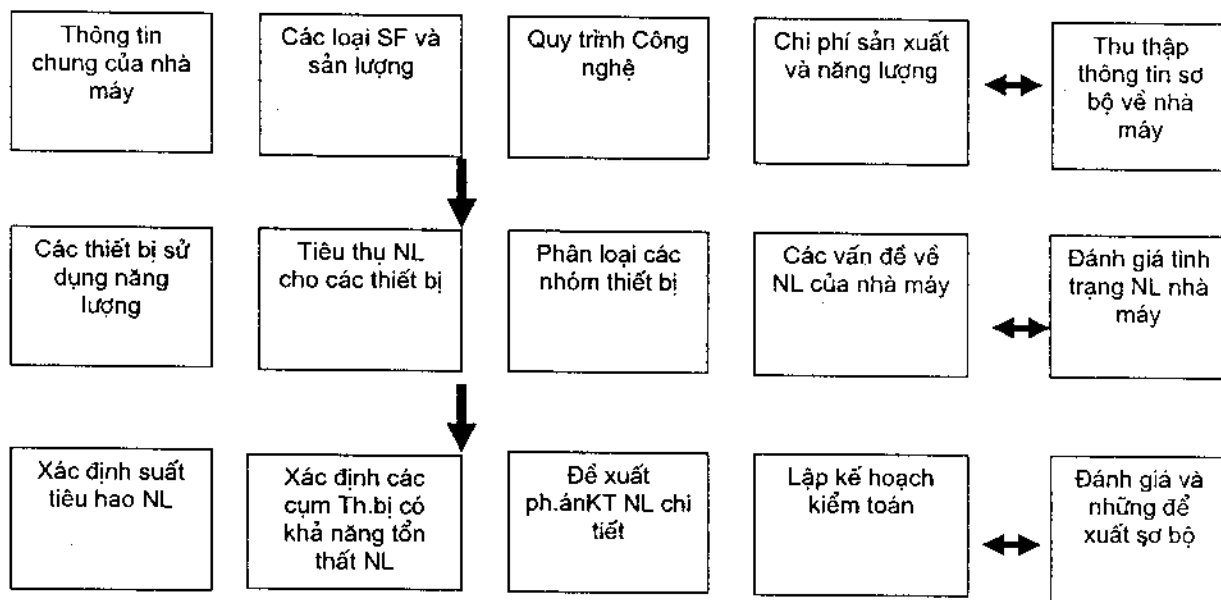
Từ đó đánh giá được mức độ tiêu hao năng lượng trên một đơn vị sản phẩm cũng như tình trạng sử dụng năng lượng thực tế của dây truyền công nghệ.

So sánh với các chuẩn mực và đề xuất các phương án cải thiện tình hình sử dụng năng lượng tại đơn vị nhằm giảm chi phí năng lượng, nâng cao hiệu quả sản xuất.

Kiểm toán năng lượng được phân ra làm 2 bước :

- Kiểm toán sơ bộ.
- Kiểm toán chi tiết.

11.8.1. Kiểm toán sơ bộ



Hình 11.25. Sơ đồ các bước kiểm toán sơ bộ chính.

11.8.1.1. Thu thập thông tin sơ bộ về nhà máy

Các sản phẩm chính của nhà máy sản lượng (tôm đông lạnh, cá filê...). Năng suất thiết kế.

Tìm hiểu quy trình công nghệ sản xuất các sản phẩm của nhà máy. Sơ đồ mặt bằng nhà máy.

Chi phí năng lượng của nhà máy: điện, dầu, nước (các số liệu lấy thật chi tiết trong 1 – 2 năm trở lại).

Xác định các thiết bị tiêu thụ năng lượng chính trong nhà máy: Thiết bị cấp đông, kho bảo quản, hệ thống điều hoà, lò hơi... và các thiết bị sử dụng năng lượng khác.

11.8.1.2. Đánh giá sơ bộ tình trạng sử dụng năng lượng

Phân loại các thiết bị sử dụng năng lượng theo mức độ tiêu thụ (nếu có số liệu theo dõi từng thiết bị thì lấy các số liệu đó, nếu không có thì có thể căn cứ vào công suất thiết kế và thời gian hoạt động của thiết bị, hoặc các đồng hồ đo hiện có để xác định).

Tìm hiểu qua cán bộ trực tiếp vận hành các nhóm thiết bị tiêu thụ năng lượng chủ yếu để xác định các bất hợp lý về năng lượng.

Bước 1, 2 thường được tiến hành thông qua phiếu điều tra.

11.8.1.3. Đánh giá sơ bộ tình hình năng lượng nhà máy

Xác định các suất tiêu hao năng lượng (STHNL) trên sản phẩm (kWh/tấn (kg) sản phẩm, lít dầu/tấn(kg) sản phẩm)... Xây dựng các biểu đồ...

Xây dựng biểu đồ chi phí năng lượng theo nhóm thiết bị.

Ví dụ sau khi đánh giá sơ bộ trong nhà máy thủy sản có sự phân bố năng lượng như sau:

– Thiết bị đông lạnh 32%.

– Thiết bị sản xuất đá 22%.

– Kho lạnh 21%.

– Sản xuất nước lạnh 6%.

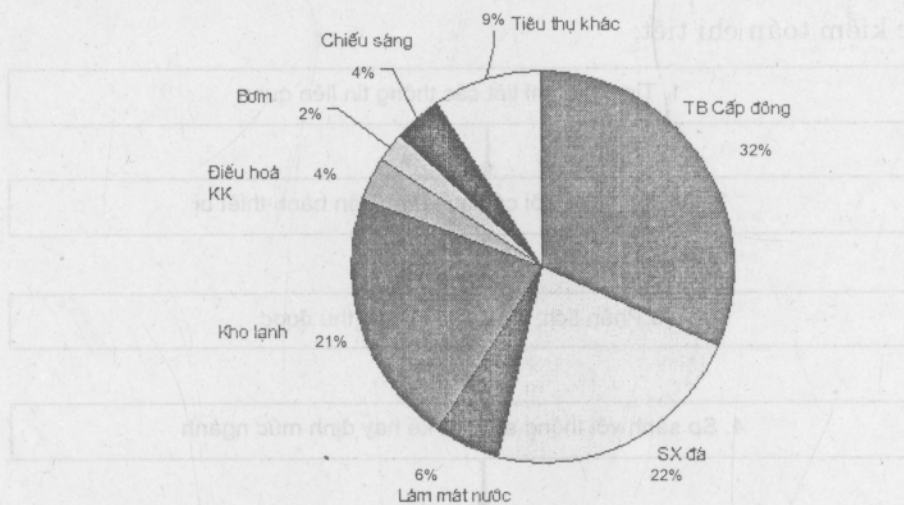
– Bơm 2%.

– Điều hoà không khí 4%.

– Chiếu sáng 4%.

– Thử khác 9%.

Từ các thông số này xây dựng biểu đồ chi phí năng lượng theo nhóm thiết bị như sau:



Hình 11.26. Biểu đồ chi phí năng lượng theo nhóm thiết bị.

Xác định những nhóm tiêu thụ năng lượng chính, lấy làm mục tiêu cho kiểm toán chi tiết.

Đưa ra các nhận xét sơ bộ về tình trạng sử dụng năng lượng qua so sánh suất tiêu hao điện, dầu, nước với định mức (hoặc một số nhà máy điển hình đã áp dụng biện pháp tiết kiệm năng lượng (TKNL).

Đưa ra một vài biện pháp đơn giản chủ yếu mang tính quản lý như, cần phải có cán bộ chuyên trách theo dõi tiêu thụ NL của XN. Nên lắp các đồng hồ đo điện cho các thiết bị có công suất lớn. Không nên vận hành các thiết bị một cách tùy tiện ở giờ cao điểm...

Lập kế hoạch thời gian biểu kiểm toán chi tiết.

11.8.2. Kiểm toán chi tiết

Xác định thời gian, những nhóm thiết bị nào cần kiểm toán chi tiết.

Xác định các thông số nào cần đo, phương pháp đo, thiết bị đo đặc cần thiết. Thời gian chạy thử nghiệm.

Xác định nhân công, phân chia nhiệm vụ theo các nhóm.

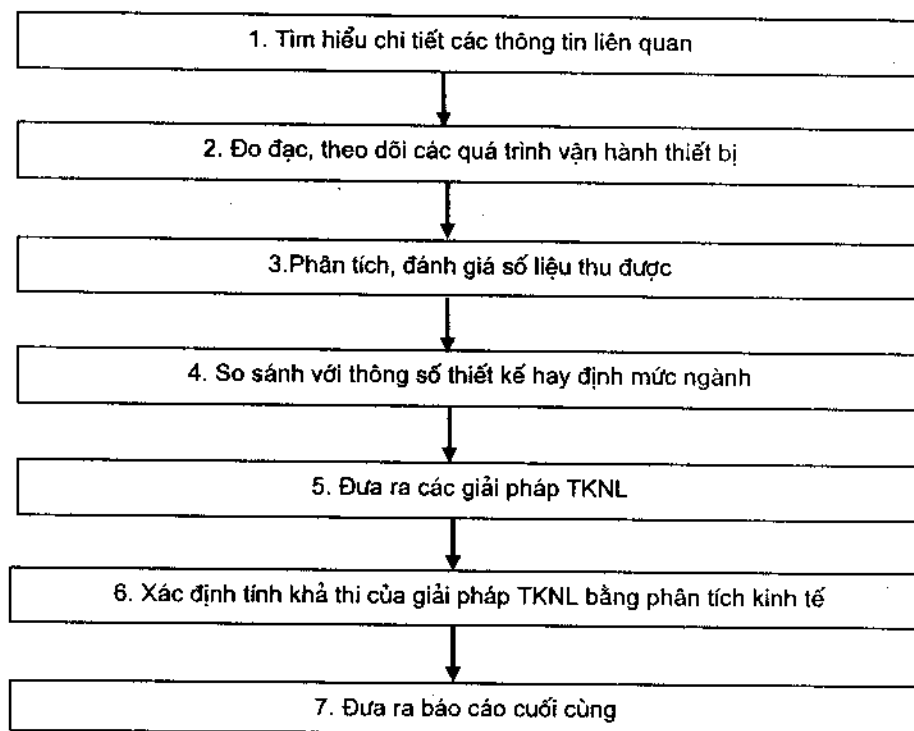
Gồm các đo đạc thử nghiệm và đánh giá cụ thể các khâu tiêu thụ nhiều năng lượng đã xác định trong kiểm toán sơ bộ tính toán, đưa ra nhận xét, đề xuất các phương án chi tiết, từ cấp độ thấp tới cao, tính toán hiệu quả kinh tế kỹ thuật, lựa chọn phương án thực hiện.

Phụ thuộc vào mức độ phức tạp của nhà máy mà quá trình có thể kéo dài vài tuần tới vài tháng và có thể chia ra làm một vài nhóm kiểm toán con theo các cụm thiết bị.

Lưu ý phải đo đầy đủ các thông số ở các dải công suất và điều kiện làm việc khác nhau.

Các thông số đo: áp suất bay hơi/ngưng tụ. Nhiệt độ buồng cấp đông/kho lạnh, độ ẩm tương đối, nhiệt độ sản phẩm, nhiệt độ bề mặt vách.... Công suất điện tiêu thụ ứng với các phụ tải khác nhau của thiết bị.

Các bước kiểm toán chi tiết:



11.8.2.1. Tìm hiểu thông tin chi tiết thiết bị

Tìm hiểu các thông tin chi tiết về cụm thiết bị cần kiểm toán chi tiết: sơ đồ thiết bị, các thông số thiết kế, các đồng hồ theo dõi tình trạng hoạt động, có thể có ngay được những thông số gì (với thiết bị lạnh các thiết bị đo chính bao gồm: công tơ, nhiệt kế xác định nhiệt độ bay hơi, ngưng tụ, áp kế đo áp suất hút, áp suất đẩy...)

Xác định những thiết bị đo, điểm đo dùng để xác định các thông số cần thiết còn lại.

11.8.2.2. Đo đạc các số liệu

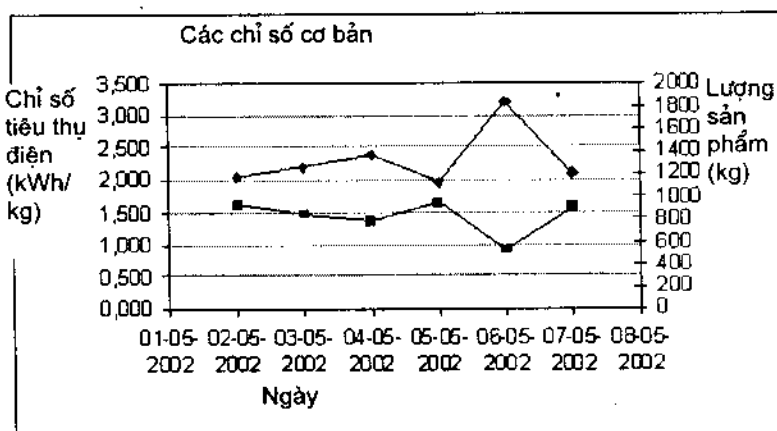
Đo các số liệu cần thiết, với tần suất tùy thuộc vào các thiết bị.

Các thông số cần xác định đối với xí nghiệp công nghiệp thường là: Dòng điện, điện áp, nhiệt độ, áp suất, lưu lượng môi chất (nước, nước muối...), tốc độ không khí, độ ẩm không khí đối với hệ thống lạnh và thiết bị phụ. Phân tích thành phần khối, nhiệt độ buồng lửa, lưu lượng nước cấp, độ TDS của nước xả lò, nhiệt độ bề mặt đối với lò hơi và mạng hơi, hệ thống trạm biến áp, đường dây, tụ bù, chiếu sáng, máy phát điện dự phòng v.v...

Xác định các chế độ chạy thử nghiệm cần thiết để có thể đánh giá được đầy đủ mức độ tiêu thụ năng lượng của thiết bị (chú ý thử nghiệm phải bao quát được toàn dải công suất thiết bị thì kết quả mới tin cậy).

Bảng 2.2. Ví dụ đo đạc các số liệu cho băng chuyền cấp đông

Ngày	Chỉ số đồng hồ [kWh]	Lượng điện tiêu thụ [kWh]	Lượng sản phẩm [kg]	Suất tiêu hao điện [kWh/kg]	Giá trị trung bình [kWh/kg]	Mức dao động theo ngày [%]
1/5-02	189,769				2.305	
2/5-02	191,659	1,890	921	2.052	2.305	-11
3/5-02	193,525	1,866	854	2.208	2.305	-4
4/5-02	195,416	1,891	789	2.397	2.305	4
5/5-02	197,260	1,844	942	1.958	2.305	-15
6/5-02	198,927	1,667	521	3.200	2.305	39
7/5-02	200,822	1,895	902	2.101	2.305	-9



Hình 11.27. Suất tiêu thụ điện theo sản lượng.

Phân tích số liệu thu được

Mục đích : đưa ra được mức tiêu thụ và tổn hao năng lượng trong thiết bị. So sánh các số liệu thu được với các thông số tiêu thụ năng lượng định mức hoặc so sánh với tiêu chuẩn ngành hoặc các doanh nghiệp có thiết bị tương tự.

Đưa ra các đề xuất thực hiện các giải pháp tiết kiệm năng lượng

Trên cơ sở phân tích số liệu thu thập được từ kiểm toán chi tiết, độ kiểm toán có nhiệm vụ đưa ra các tiềm năng tiết kiệm năng lượng và các giải pháp thực hiện trên cơ sở phân tích hiệu quả kinh tế của việc đầu tư và các hiệu quả khác.

Thực hiện các giải pháp nhằm tiết kiệm năng lượng

Sau khi đã phân tích về lợi ích kinh tế và các lợi ích khác của các giải pháp tiết kiệm năng lượng, cần có sự đầu tư cụ thể, có trọng tâm vào việc thực hiện các giải pháp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tài liệu tiếng Việt:

- [1]. Phạm Văn Bình - Lê Văn Doanh (2002), *Máy biến áp, lý thuyết vận hành, bảo dưỡng, thử nghiệm*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [2]. Lê Văn Doanh, Nguyễn Thế Công, Trần Văn Thịnh (2005), *Điện tử công suất lý thuyết - thiết kế - ứng dụng, tập 2*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [3]. Đặng Văn Đào, Lê Văn Doanh (1997), *Kỹ thuật điện*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [4]. Vũ Gia Hanh, Trần Khánh Hà, Phan Tử Thụ, Nguyễn Văn Sáu, (2001) *Máy điện 1, 2* Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [5]. Nguyễn Bình Thành - Lê Văn Bảng - Phương Xuân Nhân - Nguyễn Thế Thắng (1972), *Cơ sở lý thuyết mạch tập III , quyển 2*, Nhà xuất bản Đại học và Trung học chuyên nghiệp, Hà Nội.
- [6]. Nguyễn Xuân Phú (2002), *Sử dụng hợp lý tiết kiệm và hiệu quả điện năng trong sản xuất & sinh hoạt*, Nhà xuất bản Đại học và Trung học chuyên nghiệp, Hà Nội.
- [7]. Chính phủ (2003), *Nghị định về sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả*.
- [8]. Bộ Công nghiệp (2006), *Chương trình mục tiêu quốc gia về Sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả*.

Tài liệu tiếng Anh:

- [9]. Barry W.Kennedy (2000), *Power Quality Primer*, McGraw-Hill.
- [10]. Doktoringenieur (2004), *Power Quality Studies in Distribution Systems Involving Spectral Decomposition*, genehmigt durch die Fakult#t Elektrotechnik und Informationstechnik der Otto-von-Guericke-Universit#t Magdeburg.
- [11]. Roger C.Dugan, Mark F. McGranaghan, and Wayne H. Beaty (2005), *Electrical Power Systems Quality*, Product Line: McGraw-Hill.
- [12]. Ontario Hydro (1996), *Power Quality Reference Guide 6th edition*, Canada.
- [13]. Kabelo Clifford Modipane (2005), *An Investigation of the Effects of Voltage and Current Harmonics on an Electrical Distribution Island*, University of Johannesburg.
- [14]. Philippe Ferracci (2001), *Power Quality*, Cahier technique no. 199, Schneider Electric.
- [15]. Mike Mehrdad, E.K.Stanek, A.S. Jannati, *Influence of Voltage and Current Harmonics on Behavior of Electric Devices*.
- [16]. Turan Gonen (1998), *Electrical machines*, Power International Press, carmichael, California.

MỤC LỤC

Lời nói đầu	3
-------------------	---

Chương 7. ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

7.1. Giới thiệu	5
7.2. Cấu tạo của động cơ không đồng bộ	7
7.3. Khái niệm từ trường quay	10
7.3.1. Phương pháp đồ thị	10
7.3.2. Phương pháp giải tích	12
7.4. Điện áp cảm ứng	14
7.5. Định nghĩa hệ số trượt rôto	15
7.6. Ảnh hưởng của hệ số trượt tới tần số và độ lớn của điện áp cảm ứng trên rôto	17
7.7. Mạch điện tương đương của động cơ KĐB	19
7.7.1. Mô hình mạch điện stato	19
7.7.2. Mô hình mạch điện rôto	19
7.7.3. Mạch điện thay thế đầy đủ	21
7.7.4. Mạch điện thay thế gần đúng	22
7.8. Công thức tính toán	23
7.9. Mạch điện thay thế khi khởi động	27
7.10. Dùng mạch điện thay thế Thévenin để xác định công suất và mômen	29
7.11. Đặc tính làm việc của động cơ KĐB	32
7.12. Điều khiển đặc tính động cơ bằng cách thiết kế lồng sóc	37
7.13. Khởi động động cơ KĐB	39
7.13.1. Phương pháp khởi động trực tiếp	39
7.13.2. Giảm điện áp khởi động	40
7.13.3. Khởi động bằng các điện trở, điện kháng	42
7.14. Điều chỉnh tốc độ	46
7.14.1. Phương pháp thay đổi số đôi cực	46
7.14.2. Phương pháp biến đổi tần số	46
7.14.3. Phương pháp thay đổi điện áp	46
7.14.4. Phương pháp biến đổi điện trở phụ của rôto	47
7.14.5. Phương pháp thay đổi hệ số trượt	47
7.14.6. Phương pháp điều khiển tốc độ bằng công tắc không tiếp điểm (pha xung)	47
7.15. Thí nghiệm xác định các thông số của mạch điện	47
7.15.1. Thí nghiệm không tải	47
7.15.2. Thí nghiệm một chiều	48
7.15.3. Thí nghiệm ngắn mạch	48

Chương 8. MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

8.1. Giới thiệu chung	57
8.2. Cấu tạo của máy điện đồng bộ	57
8.3. Kích từ trong máy điện đồng bộ	59
8.4. Dây quấn stato	61
8.5. Tốc độ đồng bộ	64
8.6. Máy phát điện đồng bộ	65
8.7. Mạch điện thay thế	68
8.8. Động cơ đồng bộ	73
8.9. Đặc tính mômen và công suất của máy điện đồng bộ	74
8.10. Độ cứng của máy điện đồng bộ	77
8.11. Ảnh hưởng của sự thay đổi kích từ	78

8.11.1. Máy điện đồng bộ làm việc với hệ thống lớn	78
8.11.2. Máy phát đồng bộ làm việc độc lập.....	81
8.12. Sử dụng cuộn dây cảm ứng để hạn chế dao động khi tải thay đổi	82
8.13. Khởi động động cơ đồng bộ	82
8.14. Động cơ đồng bộ hoạt động ở chế độ máy bù đồng bộ.....	83
8.15. Động cơ đồng bộ hoạt động như bộ điện kháng đồng bộ	83
8.16. Thí nghiệm xác định tham số mạch điện thay thế.....	85
8.16.1. Thí nghiệm không tải	85
8.16.2. Thí nghiệm ngắn mạch	85
8.16.3. Thí nghiệm một chiều.....	86
8.16.4. Điện kháng đồng bộ chưa bão hoà	86
8.16.5. Điện kháng đồng bộ bão hoà.....	86
8.16.6. Tỷ số ngắn mạch	87
8.17. Đường cong dung lượng của máy điện đồng bộ	89
8.18. Máy phát điện đồng bộ làm việc song song	90
8.19. Máy điện đồng bộ rôto cực lõi.....	91

Chương 9. MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

9.1. Giới thiệu chung.....	99
9.2. Đặc điểm cấu tạo.....	99
9.3. Khái quát dây quấn phân ứng	102
9.4. Máy điện một chiều cơ bản	103
9.5. Điện áp phản ứng.....	104
9.6. Các phương pháp kích từ	107
9.7. Phản ứng phản ứng	108
9.8. Chuyển mạch.....	110
9.9. Dây quấn bù	113
9.10. Đường cong từ hoá	113
9.11. Máy phát điện một chiều	116
9.12. Máy phát điện kích từ độc lập.....	116
9.13. Máy phát điện kích từ song song.....	117
9.14. Máy phát điện kích từ nối tiếp.....	120
9.15. Máy phát điện kích từ hỗn hợp	120
9.16. Độ biến đổi điện áp.....	121
9.17. Công suất điện từ.....	124
9.18. Mômen điện từ	126
9.19. Giảm tổn hao năng lượng và hiệu suất.....	126
9.20. Đặc tính động cơ một chiều	129
9.20.1. Điều chỉnh tốc độ	129
9.20.2. Đặc tính tốc độ – dòng điện.....	130
9.20.3. Đặc tính cơ.....	131
9.20.4. Đặc tính mômen – dòng điện.....	132
9.20.5. Đặc tính sức điện động – dòng điện.....	132
9.21. Điều khiển động cơ một chiều.....	136
9.22. Khởi động động cơ một chiều.....	139
9.23. Hãm động cơ một chiều	144

Chương 10. ĐỘNG CƠ MỘT PHA VÀ ĐỘNG CƠ ĐẶC BIỆT

10.1. Giới thiệu chung.....	149
10.2. Động cơ không đồng bộ một pha	149
10.2.1. Mạch điện thay thế	151
10.2.2. Phân tích quá trình hoạt động.....	151

10.3. Khởi động động cơ không đồng bộ một pha	153
10.4. Phân loại động cơ không đồng bộ một pha	157
10.4.1. Động cơ tách pha	157
10.4.2. Động cơ khởi động bằng tụ	158
10.4.3. Động cơ chạy bằng tụ	160
10.4.4. Động cơ có tụ khởi động và tụ làm việc	161
10.4.5. Động cơ xẻ cực	161
10.5. Động cơ vạn năng	163
10.6. Động cơ đồng bộ một pha	166
10.6.1. Động cơ từ trở	166
10.6.2. Động cơ từ trễ	168
10.6.2. Động cơ bước	169
10.7. Động cơ dưới đồng bộ	171
10.8. Động cơ điện một chiều nam châm vĩnh cửu	171

Chương 11. TIẾT KIỆM ĐIỆN NĂNG TRONG VẬN HÀNH THIẾT BỊ ĐIỆN

11.1. Giới thiệu chung	177
11.2. Ảnh hưởng của chất lượng điện năng đến hiệu suất của các thiết bị điện	178
11.2.1. Khái niệm về chất lượng điện năng	178
11.2.2. Phân loại các yếu tố chất lượng điện năng	180
11.2.3. Phi tuyến	181
11.2.4. Các biến thiên điện áp trong thời gian ngắn	183
11.2.5. Các biến thiên điện áp trong thời gian dài	184
11.2.6. Méo dạng sóng	185
11.2.7. Dao động điện áp	187
11.2.8. Các biến đổi tần số	187
11.2.9. Mất cân bằng điện áp	188
11.3. Bù hệ công suất	188
11.3.1. Bù hệ số công suất	188
11.3.2. Khái niệm về hệ số công suất	188
11.4. Ảnh hưởng của việc bù đến tình trạng lưới điện	196
11.4.1. Mạch cộng hưởng song song	196
11.4.2. Mạch cộng hưởng nối tiếp	198
11.5. Một số lỗi thường gặp khi lắp đặt thiết bị bù	200
11.5.1. Thiết bị bù đặt xa phụ tải cần bù	200
11.5.2. Các bộ tụ bù thường lắp đặt tụ nền	201
11.5.3. Điện áp tụ chọn thấp so với mức tăng áp của trạm biến áp	201
11.5.4. Chưa tính toán đến việc bù trực tiếp cho các phụ tải lớn	201
11.5.5. Chưa xem xét đến việc bù cho tải khi máy phát dự phòng làm việc	202
11.5.6. Không lắp cuộn kháng hạn chế cộng hưởng	202
11.6. Tiết kiệm năng lượng khi tính toán và sử dụng hợp lý máy biến áp	202
11.6.1. Chọn dung lượng máy biến áp hợp lý sẽ tiết kiệm năng lượng	202
11.6.2. Phân phối tải phù hợp giữa các máy biến áp	202
11.7. Tiết kiệm năng lượng khi tính toán và sử dụng hợp lý động cơ	206
11.8. Kiểm toán năng lượng	207
11.8.1. Kiểm toán sơ bộ	208
11.8.2. Kiểm toán chi tiết	209
Tài liệu tham khảo	212
Mục lục	212

Chịu trách nhiệm xuất bản:

Chủ tịch HĐQT kiêm Tổng Giám đốc NGÔ TRẦN ÁI
Phó Tổng Giám đốc kiêm Tổng biên tập NGUYỄN QUÝ THAO

Tổ chức bản thảo và chịu trách nhiệm nội dung:

Chủ tịch HĐQT kiêm Giám đốc CTCP Sách DH-DN
TRẦN NHẬT TÂN

Biên tập và sửa bản in:

NGUYỄN DUY MẠNH

Trình bày bìa:

NGUYỄN VĂN HIẾN

Chế bản:

ĐINH XUÂN DŨNG

MÁY ĐIỆN – TẬP HAI

Mã số: 7B667y8 – DAI

In 1.500 bản (QĐ: 06), khổ 19 x 27 cm, tại Công ty In – Thương mại TTXVN.

Địa chỉ : Số 70/342 Khương Đình – Hạ Đình – Thanh Xuân – Hà Nội.

Số ĐKKH xuất bản : 04 – 2008/CXB/214 – 1999/GD.

In xong và nộp lưu chiểu tháng 1 năm 2008.



CÔNG TY CỔ PHẦN SÁCH ĐẠI HỌC - DẠY NGHỀ
HEVOBCO
25 HÀN THUYỀN – HÀ NỘI
Website : www.hevobco.com.vn



VƯƠNG MIỆN KIM CƯƠNG
CHẤT LƯỢNG QUỐC TẾ

TÌM ĐỌC SÁCH THAM KHẢO KỸ THUẬT CỦA NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

1. Sửa chữa Điện xí nghiệp - Điện tử công nghiệp
Trần Nhật Tân
2. Giáo trình Kỹ thuật lắp đặt và vận hành trạm biến áp
Phan Đăng Khải
3. Giáo trình Kỹ thuật điện
Nguyễn Văn Chất
4. Bài tập Kỹ thuật điện
Đặng Văn Đào
5. Sửa chữa và quấn lại động cơ điện
Bùi Văn Yên
6. Hỏi đáp về Điện - Điện tử dân dụng
Bùi Văn Yên
7. Công nghệ chế tạo thiết bị điện
Nguyễn Đức Sỹ
8. Cơ sở lý thuyết tính toán và thiết kế hệ thống cung cấp điện
Phan Đăng Khải
9. Máy điện 1
Bùi Đức Hùng – Triệu Việt Linh
10. Máy điện 2
Bùi Đức Hùng – Triệu Việt Linh
11. Giáo trình Vận hành và sửa chữa thiết bị điện
Nguyễn Đức Sỹ
12. Giáo trình Lưới điện
Trần Bách

Bạn đọc có thể mua tại các Công ty Sách - Thiết bị trường học ở các địa phương hoặc các Cửa hàng sách của Nhà xuất bản Giáo dục :

Tại Hà Nội : 25 Hàn Thuyên ; 187B Giảng Võ ; 232 Tây Sơn ; 23 Tràng Tiền ;

Tại Đà Nẵng : Số 15 Nguyễn Chí Thanh ; Số 62 Nguyễn Chí Thanh ;

Tại Thành phố Hồ Chí Minh : Cửa hàng 451B - 453, Hai Bà Trưng, Quận 3 ;
240 Trần Bình Trọng - Quận 5.

Tại Thành phố Cần Thơ : Số 5/5, đường 30/4 ;

Website : www.nxbgd.com.vn



8 934980 859049



Giá: 31.000 đ