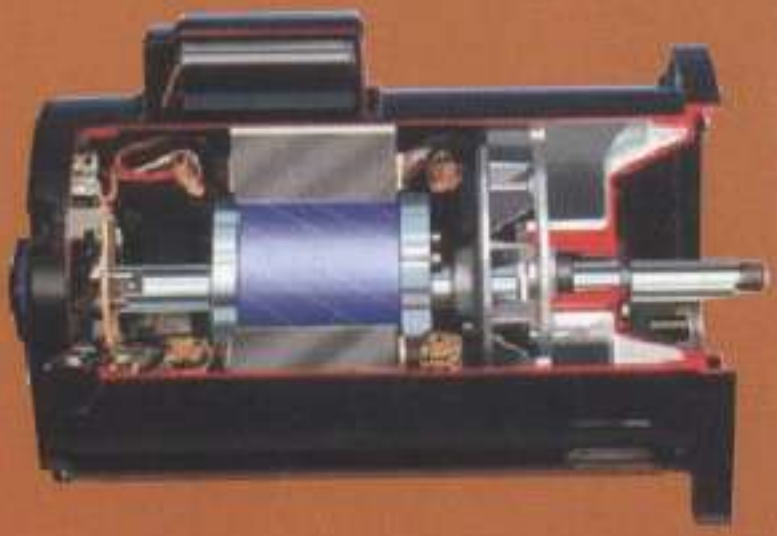
VỤ TRUNG HỌC CHUYÊN NGHIỆP - DẠY NGHỀ

GIÁO TRÌNH
MÁY ĐIỆN

SÁCH DÙNG CHO CÁC TRƯỜNG ĐÀO TẠO HỆ TRUNG HỌC CHUYÊN NGHIỆP



ường CĐ
g nghệ ĐN
21.31
112Đ
Đ

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

ĐẶNG VĂN ĐÀO - TRẦN KHÁNH HÀ - NGUYỄN HỒNG THANH

GIÁO TRÌNH

MÁY ĐIỆN

Sách dùng cho các trường đào tạo hệ Trung học chuyên nghiệp

(Tái bản lần thứ sáu)

621.31
M112Đ
3b
1Đ.

TRƯỜNG CAO ĐẲNG
KỸ THUẬT CÔNG NGHỆ ĐỒNG NAI
THƯ VIỆN
Số ĐKCB: 4057 ... 07 ... 5 ... /20 09

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

Lời giới thiệu

Việc tổ chức biên soạn và xuất bản một số giáo trình phục vụ cho đào tạo các chuyên ngành Điện – Điện tử, Cơ khí – Động lực ở các trường THCN – DN là một sự cố gắng lớn của Vụ Trung học chuyên nghiệp – Dạy nghề và Nhà xuất bản Giáo dục nhằm từng bước thống nhất nội dung dạy và học ở các trường THCN trên toàn quốc.

Nội dung của giáo trình đã được xây dựng trên cơ sở kế thừa những nội dung được giảng dạy ở các trường, kết hợp với những nội dung mới nhằm đáp ứng yêu cầu nâng cao chất lượng đào tạo phục vụ sự nghiệp công nghiệp hóa, hiện đại hóa. Đề cương của giáo trình đã được Vụ Trung học chuyên nghiệp – Dạy nghề tham khảo ý kiến của một số trường như : Trường Cao đẳng kĩ thuật Hà Nội, Trường TH Việt – Hung, Trường TH Công nghiệp II, Trường TH Công nghiệp III v.v... và đã nhận được nhiều ý kiến thiết thực, giúp cho tác giả biên soạn phù hợp hơn.

Giáo trình do các nhà giáo có nhiều kinh nghiệm giảng dạy ở các trường Đại học, Cao đẳng, THCN biên soạn. Giáo trình được biên soạn ngắn gọn, dễ hiểu, bổ sung nhiều kiến thức mới và biên soạn theo quan điểm mở, nghĩa là, đề cập những nội dung cơ bản, cốt yếu để tùy theo tính chất của các ngành nghề đào tạo mà nhà trường tự điều chỉnh cho thích hợp và không trái với quy định của chương trình khung đào tạo THCN.

Tuy các tác giả đã có nhiều cố gắng khi biên soạn, nhưng giáo trình chắc không tránh khỏi những khiếm khuyết. Vụ Trung học chuyên nghiệp – Dạy nghề đề nghị các trường sử dụng những giáo trình xuất bản lần này để bổ sung cho nguồn giáo trình đang rất thiếu hiện nay, nhằm phục vụ cho việc dạy và học của các trường đạt chất lượng cao hơn. Các giáo trình này cũng rất bổ ích đối với đội ngũ kĩ thuật viên, công nhân kĩ thuật để nâng cao kiến thức và tay nghề cho mình.

Hy vọng nhận được sự góp ý của các trường và bạn đọc để những giáo trình được biên soạn tiếp hoặc lần tái bản sau có chất lượng tốt hơn. Mọi góp ý xin gửi về NXB Giáo dục – 81 Trần Hưng Đạo – Hà Nội.

VỤ THCN – DN

Mở đầu

Giáo trình Máy điện được biên soạn đề cương do vụ THCN – DN, Bộ Giáo dục & Đào tạo xây dựng và thông qua. Nội dung được biên soạn theo tinh thần ngắn gọn, dễ hiểu. Các kiến thức trong toàn bộ giáo trình có mối liên hệ lôgíc chặt chẽ. Tuy vậy, giáo trình cũng chỉ là một phần trong nội dung của chuyên ngành đào tạo cho nên người dạy, người học cần tham khảo thêm các giáo trình có liên quan đối với ngành học để việc sử dụng giáo trình có hiệu quả hơn.

Khi biên soạn giáo trình, chúng tôi đã cố gắng cập nhật những kiến thức mới có liên quan đến môn học và phù hợp với đối tượng sử dụng cũng như cố gắng gắn những nội dung lí thuyết với những vấn đề thực tế thường gặp trong sản xuất, đời sống để giáo trình có tính thực tiễn cao.

Nội dung của giáo trình được biên soạn với dung lượng 60 tiết, gồm :

Khái niệm chung về máy điện; *Chương 1.* Máy biến áp; *Chương 2.*Máy điện không đồng bộ; *Chương 3.* Máy điện đồng bộ; *Chương 4.* Máy điện một chiều; *Chương 5.* Dây quấn máy điện; *Chương 6.* Các chế độ làm việc và các dạng khác của máy điện không đồng bộ.

Trong quá trình sử dụng, tùy theo yêu cầu cụ thể có thể điều chỉnh số tiết trong mỗi chương. Trong giáo trình, chúng tôi không đề ra nội dung thực tập của từng chương, vì trang thiết bị phục vụ cho thực tập của các trường không đồng nhất. Vì vậy, căn cứ vào trang thiết bị đã có của từng trường và khả năng tổ chức cho học sinh thực tập ở các xí nghiệp bên ngoài mà trường xây dựng thời lượng và nội dung thực tập cụ thể – Thời lượng thực tập tối thiểu nói chung cũng không ít hơn thời lượng học lí thuyết của mỗi môn.

Giáo trình được biên soạn cho đối tượng là học sinh THCN, Công nhân lành nghề bậc 3/7 và nó cũng là tài liệu tham khảo bổ ích cho sinh viên Cao đẳng kĩ thuật cũng như Kĩ thuật viên đang làm việc ở các cơ sở kinh tế của nhiều lĩnh vực khác nhau.

Mặc dù đã cố gắng nhưng chắc chắn không tránh khỏi hết khiếm khuyết. Rất mong nhận được ý kiến đóng góp của người sử dụng để lần tái bản sau được hoàn chỉnh hơn. Mọi góp ý xin được gửi về Nhà XBGD – 81 Trần Hưng Đạo, Hà Nội.

TÁC GIẢ

KHÁI NIỆM CHUNG VỀ MÁY ĐIỆN

K.1. ĐỊNH NGHĨA VÀ PHÂN LOẠI

K.1.1. Định nghĩa

Máy điện là thiết bị điện từ, nguyên lý làm việc dựa vào hiện tượng cảm ứng điện từ. Về cấu tạo máy điện gồm mạch từ (lõi thép) và mạch điện (các dây quấn), dùng để biến đổi dạng năng lượng như cơ năng thành điện năng (máy phát điện) hoặc ngược lại biến đổi điện năng thành cơ năng (động cơ điện), hoặc dùng để biến đổi thông số điện như biến đổi điện áp, dòng điện, tần số, số pha v.v..

Máy điện là máy thường gặp nhiều trong các ngành kinh tế như công nghiệp, giao thông vận tải... và trong các dụng cụ sinh hoạt gia đình.

K.1.2. Phân loại

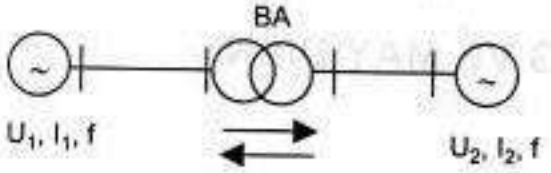
Máy điện có nhiều loại được phân loại theo nhiều cách khác nhau, ví dụ phân loại theo công suất, theo cấu tạo, theo chức năng, theo loại dòng điện (xoay chiều, một chiều), theo nguyên lí làm việc v.v.. Trong giáo trình này ta phân loại dựa vào nguyên lý biến đổi năng lượng như sau:

a) Máy điện tĩnh

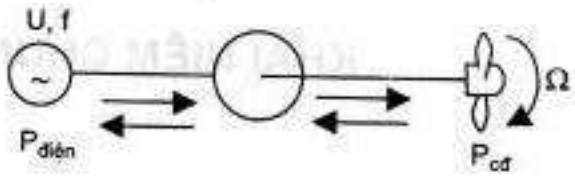
Máy điện tĩnh thường gặp là máy biến áp. Máy điện tĩnh làm việc dựa trên hiện tượng cảm ứng điện từ do sự biến thiên từ thông giữa các cuộn dây không có chuyển động tương đối với nhau.

Máy điện tĩnh thường dùng để biến đổi thông số điện năng . Do tính chất thuận nghịch của các quy luật cảm ứng điện từ, quá trình biến đổi có tính thuận nghịch, ví dụ máy biến áp biến đổi điện năng có thông số: U_1, I_1, f, thành điện năng có thông số U_2, I_2, f, hoặc ngược lại biến đổi hệ thống điện U_2, I_2, f thành hệ thống điện U_1, I_1, f, (hình K-1).

b) Máy điện có phần động (quay hoặc chuyển động thẳng)



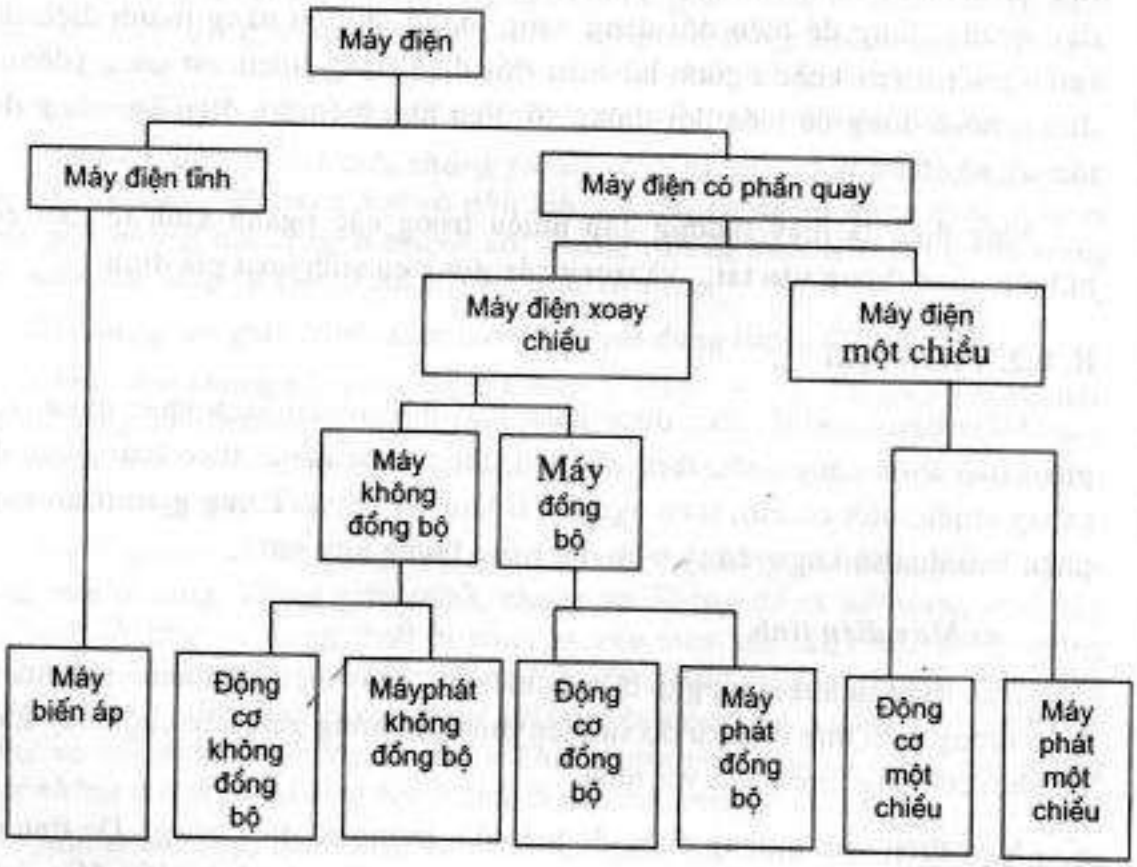
Hình K-1



Hình K-2

Nguyên lý làm việc dựa vào hiện tượng cảm ứng điện từ, lực điện từ, do từ trường và dòng điện của các cuộn dây có chuyển động tương đối với nhau gây ra.

Loại máy điện này thường dùng để biến đổi dạng năng lượng, ví dụ biến đổi điện năng thành cơ năng (động cơ điện) hoặc biến đổi cơ năng thành điện



Hình - K3

năng (máy phát điện). Quá trình biến đổi có tính thuận nghịch (hình K-2) nghĩa là máy điện có thể làm việc ở chế độ máy phát điện hoặc động cơ điện.

Trên hình K-3 vẽ sơ đồ phân loại máy điện thông dụng thường gặp.

K.2. CÁC ĐỊNH LUẬT ĐIỆN TỪ CƠ BẢN DÙNG TRONG MÁY ĐIỆN

Nguyên lý làm việc của tất cả các máy điện đều dựa trên cơ sở hai định luật cảm ứng điện từ và lực điện từ. Khi tính toán mạch điện từ người ta sử dụng định luật dòng điện toàn phần.

K.2.1. Định luật cảm ứng điện từ

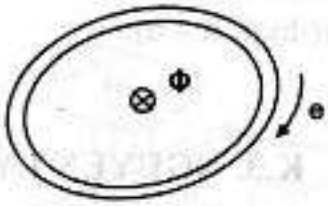
a) Trường hợp từ thông Φ biến thiên xuyên qua vòng dây.

Khi từ thông Φ biến thiên xuyên qua vòng dây dẫn, trong vòng dây sẽ cảm ứng sức điện động. Nếu chọn chiều sức điện động cảm ứng phù hợp với chiều của từ thông theo quy tắc vặn nút chai (hình K-4), sức điện động cảm ứng trong một vòng dây, được viết theo công thức Mácxoen như sau:

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} \qquad (K.1)$$

Dấu ⊗ trên hình K.4 chỉ chiều từ thông đi từ ngoài vào trong giấy. Nếu cuộn dây có w vòng, sức điện động cảm ứng của cuộn dây sẽ là:

$$e = -\frac{wd\Phi}{dt} = -\frac{d\psi}{dt} \qquad (K.2)$$



Hình K - 4

Trong đó: $\psi = w\Phi$ gọi là từ thông móc vòng của cuộn dây.

Trong các công thức (K.1), (K.2) từ thông đo bằng Wb (vebe), sức điện động đo bằng V.

b) Trường hợp thanh dẫn chuyển động trong từ trường.

Khi thanh dẫn chuyển động thẳng vuông góc với đường sức từ trường (đó là trường hợp thường gặp trong máy phát điện), trong thanh dẫn sẽ cảm ứng sức điện động e, có trị số là:

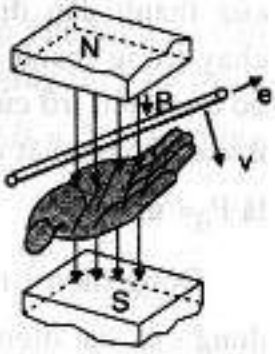
$$e = Blv \qquad (K.3)$$

Trong đó: B- từ cảm đo bằng T (tesla).

l- chiều dài hiệu dụng của thanh dẫn (phần thanh dẫn nằm trong từ trường) đo bằng m.

v- tốc độ thanh dẫn đo bằng m/s.

Chiều của sức điện động cảm ứng được xác định theo quy tắc bàn tay phải(hình K - 5).



Hình K - 5

K.2.2. Định luật lực điện từ

Khi thanh dẫn mang dòng điện đặt thẳng góc với đường sức từ trường (đó là trường hợp thường gặp trong động cơ điện), thanh dẫn sẽ chịu một lực điện từ tác dụng vuông góc có trị số là:

F_{dt}=Bil (K.4)

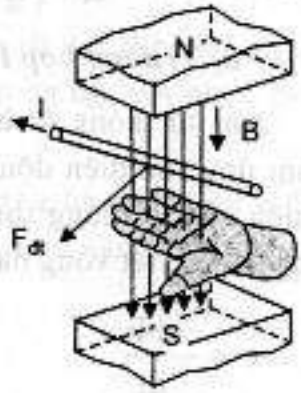
Trong đó: B- từ cảm đo bằng T

i- dòng điện đo bằng A(ampe)

l- chiều dài hiệu dụng thanh dẫn đo bằng m(mét)

F_{dt}- lực điện từ đo bằng N (niutơn)

Chiều lực điện từ xác định theo quy tắc bàn tay trái(hình K - 6).



Hình K - 6

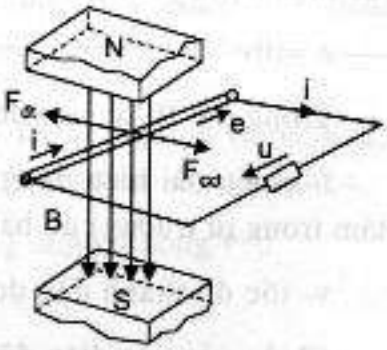
K.3. NGUYÊN LÝ MÁY PHÁT ĐIỆN VÀ ĐỘNG CƠ ĐIỆN. TÍNH THUẬN NGHỊCH CỦA MÁY ĐIỆN

Máy điện có tính thuận nghịch, nghĩa là có thể làm việc ở chế độ máy phát điện hoặc động cơ điện.

K.3.1. Chế độ máy phát điện

Cho cơ năng của động cơ sơ cấp tác dụng vào thanh dẫn một lực cơ học $F_{cơ}$ thanh dẫn sẽ chuyển động với tốc độ v trong từ trường của nam châm N- S (hình K-7) trong thanh dẫn sẽ cảm ứng sức điện động e. Nếu nối vào hai cực của thanh dẫn điện trở R của tải, dòng điện i chạy trong thanh dẫn cung cấp điện cho tải. Nếu bỏ qua điện trở của thanh dẫn, điện áp đặt vào tải u = e. Công suất điện máy phát cung cấp cho tải là P_d= ui = ei.

Dòng điện i nằm trong từ trường sẽ chịu tác dụng của lực điện từ F_{dt} = Bil có chiều như hình K - 7.



Hình K - 7

Khi máy quay với tốc độ không đổi lực điện từ sẽ cân bằng với lực cơ của động cơ sơ cấp:

$F_{cơ} = F_{đt}$

Nhân 2 vế với v ta có:

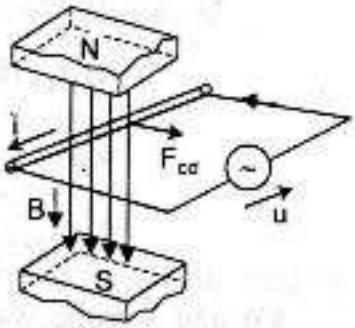
$F_{cơ}v = F_{đt}v = Bilv = ei$

Như vậy công suất cơ của động cơ sơ cấp $P_{cơ} = F_{cơ}v$ đã được biến đổi thành công suất điện $P_đ = ei$ nghĩa là cơ năng biến thành điện năng.

K.3.2.Chế độ động cơ điện

Cung cấp điện cho máy phát điện, điện áp U của nguồn điện sẽ gây ra dòng điện i trong thanh dẫn. Dưới tác dụng của từ trường sẽ có lực điện từ $F_{đt} = Bil$ tác dụng lên thanh dẫn làm thanh dẫn chuyển động với tốc độ v có chiều như hình K8.

Như vậy công suất điện $P_đ = ui$ đưa vào động cơ đã được biến thành công suất cơ $P_{cơ} = F_{đt}v$ trên trục động cơ. Điện năng đã được biến đổi thành cơ năng. Ta nhận thấy cùng một thiết bị điện từ tùy theo năng lượng đưa vào mà máy điện có thể làm việc ở chế độ động cơ hoặc máy phát điện. Mọi loại máy điện đều có tính chất thuận nghịch.



Hình K - 8

K.4. ĐỊNH LUẬT MẠCH TỪ. TÍNH TOÁN MẠCH TỪ

K.4.1.Định luật mạch từ

Lõi thép của máy điện là mạch từ. Mạch từ là mạch khép kín dùng để dẫn từ thông. Hình K-9 là mạch từ đơn giản: mạch từ đồng nhất bằng thép kỹ thuật điện và có một dây quấn. Định luật dòng điện toàn phần $\oint_l Hdl = \sum i$ áp dụng vào mạch từ hình K-9 được viết như sau:

$Hl = wi$

Trong đó:

H - cường độ từ trường trong mạch từ đo bằng A/m;

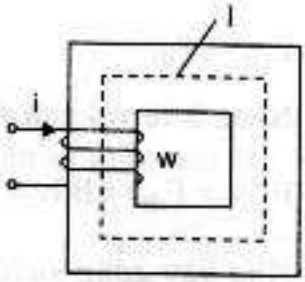
l - chiều dài trung bình của mạch từ đo bằng m;

w - số vòng dây của cuộn dây;

Dòng điện i tạo ra từ thông cho mạch từ, gọi là dòng điện từ hóa.

Tích số wi được gọi là sức từ động.

Hl được gọi là từ áp rơi trong mạch từ.



Hình K - 9. Mạch từ đơn giản

Đối với mạch từ gồm nhiều cuộn dây và nhiều đoạn khác nhau (các đoạn làm bằng vật liệu khác nhau, hoặc tiết diện khác nhau), ví dụ hình K-10 thì định luật mạch từ viết là:

$$H_1l_1 + H_2l_2 = w_1i_1 - w_2i_2$$

Trong đó: H_1, H_2 - tương ứng cường độ từ trường trong đoạn 1,2;

l_1 , l_2 - chiều dài trung bình đoạn 1,2;

H_1l_1, H_2l_2 gọi là từ áp đoạn 1,2;

w_1i_1, w_2i_2- sức từ động dây quấn 1,2;

S_1, S_2, - tiết diện đoạn 1,2.

Có dấu – trước w_2i_2 vì chiều dòng điện i_2 không phù hợp với chiều từ thông Φ đã chọn theo quy tắc vặn nút chai.

Một cách tổng quát đối với mạch từ có n đoạn và m cuộn dây định luật mạch từ được viết:

$$\sum_{k=1}^{n} H_k l_k = \sum_{j=1}^{m} w_j i_j$$

trong đó: dòng điện i_j nào có chiều phù hợp với chiều ϕ đã chọn theo quy tắc vặn nút chai sẽ mang dấu dương, không phù hợp sẽ mang dấu âm.

k- chỉ số tên đoạn mạch từ.

j - chỉ số tên cuộn dây dòng điện.

K.4.2.Tính toán mạch từ

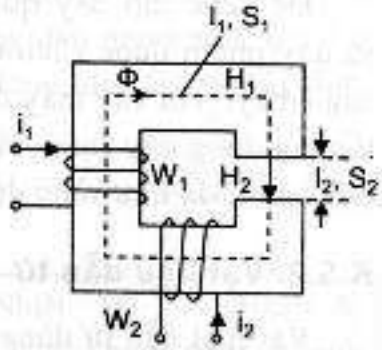
Việc tính toán mạch từ thường thể hiện trong hai loại bài toán:

Bài toán thuận: Cho biết từ thông, tính dòng điện từ hóa (hoặc số vòng dây) để sinh ra từ thông ấy.

Việcgiải bài toán này thường tiến hành như sau.

Ví dụ: Cho mạch từ không phân nhánh như hình K-10, từ thông ở các đoạn đều giống nhau, do đó từ cảm của mỗi đoạn mạch ấy là:

$$B_1 = \frac{\Phi}{S_1} \quad , \quad B_2 = \frac{\Phi}{S_2}$$



Hình K - 10

S_1 , S_2 - tiết diện đoạn mạch từ 1, 2.

Từ trị số từ cảm B ở từng đoạn mạch , ta tính cường độ từ trường H tương ứng với mỗi đoạn mạch ấy như sau:

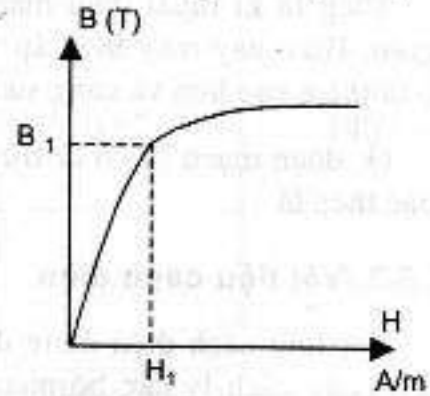
Đối với đoạn mạch 2 là khe hở không khí, từ trị số từ cảm B_2 , ta tính cường độ từ trường H_2 như sau:

$$H_2 = \frac{B_2}{\mu_0} \quad \text{trong đó } \mu_0 = 4\pi.\ 10^{-7}\ \text{H/m}.$$

Đối với đoạn mạch từ là vật liệu sắt từ (đoạn 1), ta phải tra đường cong từ hóa B=f(H) trên hình K-11 (hoặc bảng) đối với các loại thép. Từ trị số B_1 ta tra ra trị số H_1 tương ứng. Sau đó ta tìm tổng $\Sigma H_k l_k = H_1 l_1 + H_2 l_2$.

Từ đó ta tính ra được dòng điện từ hóa (hoặc số vòng dây).

Bài toán ngược: Cho biết dòng điện, cần tính từ thông. Loại bài toán này phức tạp hơn, thường dùng phương pháp dò hoặc các phương pháp dùng cho mạch phi tuyến.



Hình K - 11. Đường cong từ hoá

K.5. CÁC VẬT LIỆU CHẾ TẠO MÁY ĐIỆN

Vật liệu chế tạo máy điện gồm : vật liệu dẫn điện, vật liệu dẫn từ, vật liệu cách điện và vật liệu kết cấu.

K.5.1. Vật liệu dẫn điện

Vật liệu dẫn điện dùng để chế tạo các bộ phận dẫn điện. Vật liệu dẫn điện dùng trong máy điện tốt nhất là đồng vì chúng không đắt lắm và có điện trở suất nhỏ. Ngoài ra, người ta còn dùng nhôm và các hợp kim khác như đồng thau, đồng phốt pho.

Để chế tạo dây quấn ta thường dùng đồng, đôi khi nhôm. Dây đồng và dây nhôm được cách điện bằng sợi vải, sợi thủy tinh, giấy nhựa hóa học, sơn êmay. Với các máy điện công suất nhỏ và trung bình, điện áp dưới 700V thường dùng dây êmay vì lớp cách điện mỏng, đạt độ bền yêu cầu đối với các bộ phận khác như vành đổi chiều, lồng sóc hoặc vành trượt.

K.5.2. Vật liệu dẫn từ

Vật liệu dẫn từ dùng để chế tạo các bộ phận của mạch từ, người ta dùng các vật liệu sắt từ để làm mạch từ như : thép lá kỹ thuật điện, thép lá thường, thép đúc, thép rèn. Gang ít khi được dùng, vì dẫn từ không tốt lắm.

Ở đoạn mạch từ có từ thông biến đổi với tần số 50 Hz thường dùng thép lá kỹ thuật điện dày 0,35-0,5 mm, trong thành phần thép có từ 2-5% Si (để tăng điện trở của thép, giảm dòng điện xoáy). Ở tần số cao hơn, dùng thép lá kỹ thuật điện dày 0,1- 0,2 mm. Tổn hao công suất trong thép lá do hiện tượng từ trễ và dòng điện xoáy được đặc trưng bằng suất tổn hao.

Thép lá kĩ thuật điện được chế tạo bằng phương pháp cán nóng và cán nguội. Hiện nay máy biến áp và máy điện thường dùng thép cán nguội vì có độ từ thẩm cao hơn và công suất tổn hao nhỏ hơn loại cán nóng.

Ở đoạn mạch từ có từ trường không đổi, thường dùng thép đúc, thép rèn hoặc thép lá.

K.5.3. Vật liệu cách điện

Vật liệu cách điện dùng để cách ly các bộ phận dẫn điện và không dẫn điện hoặc cách ly các bộ phận dẫn điện với nhau. Trong máy điện, vật liệu cách điện phải có cường độ cách điện cao, chịu nhiệt tốt, tản nhiệt tốt, chống ẩm và bền về cơ học. Độ bền vững về nhiệt của chất cách điện bọc dây dẫn quyết định nhiệt độ cho phép của dây dẫn và do đó quyết định tải của nó. Nếu tính năng của vật liệu cách điện cao thì lớp cách điện mỏng và kích thước máy giảm.

Chất cách điện chủ yếu ở thể rắn, gồm 4 nhóm:

- Chất hữu cơ thiên nhiên như giấy, vải lụa

- Chất vô cơ như amiăng, mica, sợi thuỷ tinh

- Các chất tổng hợp

- Các loại men, sơn cách điện

Chất cách điện tốt nhất là mica, song tương đối đắt nên chỉ dùng trong các máy điện có điện áp cao. Thông thường dùng các vật liệu có sợi như giấy, vải, sợi v.v.. Chúng có độ bền cơ tốt, mềm, rẻ tiền nhưng dẫn nhiệt xấu, hút ẩm, cách điện kém. Do đó dây dẫn cách điện sợi phải được sấy tẩm để cải thiện tính năng của vật liệu cách điện.

Căn cứ vào độ bền nhiệt, vật liệu cách điện được chia ra nhiều loại cấp cách điện sau:

Cấp cách điện	Vật liệu	Nhiệt độ giới hạn cho phép vật liệu, (^{0}C)	Nhiệt độ trung bình cho phép dây quấn, (^{0}C)
A	Sợi xenlulô, bông hoặc tơ tẩm trong vật liệu hữu cơ lỏng.	105	100
E	Vài loại màng tổng hợp.	120	115
B	Amiăng, sợi thuỷ tinh có chất kết dính và vật liệu gốc mica	130	120
F	Amiăng, vật liệu gốc mica, sợi thuỷ tinh có chất kết dính và tẩm tổng hợp.	155	140
H	Vật liệu gốc mica, amiăng sợi thuỷ tinh phối hợp chất kết dính và tẩm silíc hữu cơ	180	165

Ngoài ra còn có chất cách điện ở thể khí (không khí, hydro) hoặc thể lỏng (dầu máy biến áp).

K.5.4. Vật liệu kết cấu

Vật liệu kết cấu là vật liệu để chế tạo các chi tiết chịu các tác động cơ học như trục, ổ trục, vỏ máy, nắp máy. Trong máy điện, các vật liệu kết cấu thường là gang, thép lá, thép rèn, kim loại màu và hợp kim của chúng, các chất dẻo.

K.6. PHÁT NÓNG VÀ LÀM MÁT MÁY ĐIỆN

Trong quá trình làm việc có tổn hao công suất. Tổn hao trong máy điện gồm tổn hao sắt từ (do hiện tượng từ trễ và dòng xoáy) trong thép, tổn hao đồng trong điện trở dây quấn và tổn hao do ma sát (ở máy điện quay). Tất cả tổn hao năng lượng đều biến thành nhiệt năng làm nóng máy điện.

Để làm mát máy điện, phải có biện pháp tản nhiệt ra môi trường xung quanh. Sự tản nhiệt không những phụ thuộc vào bề mặt làm mát của máy mà còn phụ thuộc vào sự đối lưu của không khí xung quanh hoặc của môi trường làm mát khác như dầu máy biến áp v.v.. Thường vỏ máy điện được chế tạo có các cánh tản nhiệt và máy điện có hệ thống quạt gió để làm mát.

Kích thước của máy, phương pháp làm mát, phải được tính toán và lựa chọn để cho độ tăng nhiệt của vật liệu cách điện trong máy không vượt quá độ tăng nhiệt cho phép, đảm bảo cho vật liệu cách điện làm việc lâu dài khoảng 20 năm.

Khi máy điện làm việc ở chế độ định mức, độ tăng nhiệt của các phần tử không vượt quá độ tăng nhiệt cho phép. Khi máy quá tải, độ tăng nhiệt sẽ vượt quá nhiệt độ cho phép, vì thế không cho phép quá tải lâu dài.

BẢNG TÓM TẮT KHÁI NIỆM CHUNG VỀ MÁY ĐIỆN

Đại lượng	Biểu thức
Sức điện động cuộn dây e	$e = -\frac{wd\Phi}{dt} = -\frac{d\psi}{dt}$
Từ thông móc vòng	$\psi = w\phi$
Sức điện động thanh dẫn e	$e = Blv$
Lực điện từ F_{dt}	$F_{dt} = Bil$
Từ áp	Hl
Sức từ động	wi
Định luật mạch từ	$\sum_{k=1}^{n} H_k l_k = \sum_{j=1}^{m} w_j i_j$

CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Các bộ phận cơ bản của máy điện là gì? Chức năng của các bộ phận ấy.

2. Giải thích ứng dụng của định luật cảm ứng điện từ và lực điện từ trong máy điện.

3. Giải thích nguyên lý thuận nghịch của máy điện.

4. Định luật mạch từ và phương pháp tính mạch từ.

5. Các vật liệu chính chế tạo máy điện là gì.

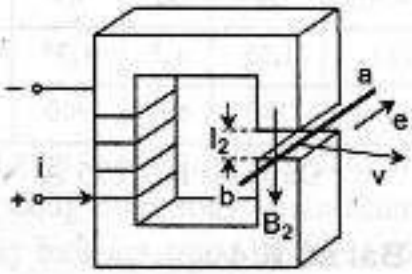
MỘT SỐ BÀI GIẢI MẪU VẬN DỤNG KIẾN THỨC ĐÃ HỌC

Bài số K.1

Một thanh dẫn ab có chiều dài l nằm trong khe hở của một nam châm điện. Cho thanh dẫn chuyển động thẳng góc với từ trường với tốc độ v. Xác định trị số và chiều sức điện động cảm ứng e.

Bài giải

Từ cảm B_2 trong khe hở : $B_2 = \dfrac{\mu_0 wi}{l_2}$



Hình K - 12

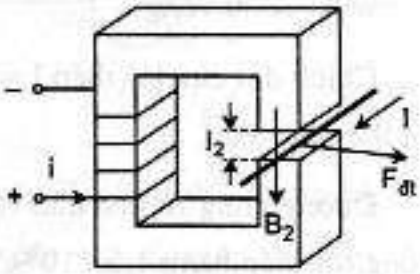
Chiều của từ cảm B_2 được xác định theo quy tắc vặn nút chai. Trị số sức điện động cảm ứng trong thanh dẫn là:

$$e = B_2 lv = \frac{\mu_0 wilv}{l_2}$$

Áp dụng quy tắc bàn tay phải chiều sđđ e từ b đến a (hình K - 12).

Bài số K.2

Một thanh dẫn ab có chiều dài l nằm trong khe hở của nam châm điện . Xác định trị số và chiều của lực điện từ tác dụng lên thanh dẫn khi thanh dẫn mang dòng điện I.



Hình K - 13

Bài giải

Trị số của lực điện từ là

$$F_{dt} = B_2 I.l = \mu_0 \frac{wi}{l_2} I.l$$

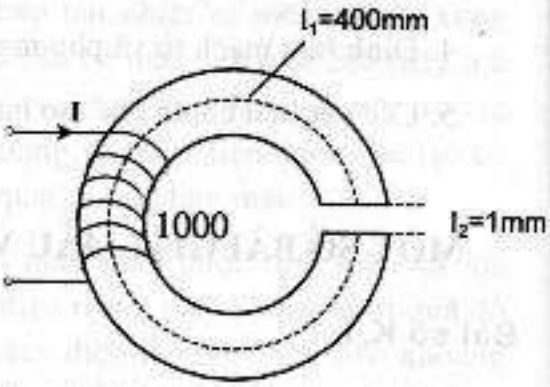
Áp dụng quy tắc bàn tay trái xác định được chiều của F_{dt} như hình K - 13.

BÀI TẬP HỌC SINH TỰ LÀM

Bài số K.3

Một mạch từ (hình K - 14). Đường cong từ hoá B = f(H) của vật liệu cho ở bảng sau. Biết từ cảm trong khe hở B_2 = 1,3 T và cuộn dây có 1000 vòng.

Tính dòng điện trong cuộn dây.



Hình K - 14

B(T)	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2
H (A/m)	52	58	65	76	90	110	132	165	220	300
B(T)	1,25	1,3	1,35	1,4	1,45	1,5	1,55	1,6	1,65	1,7
H (A/m)	380	600	900	1200	2000	3000	4500	6000	10000	14000

Đáp số : I=1,275 A

Bài số K.4

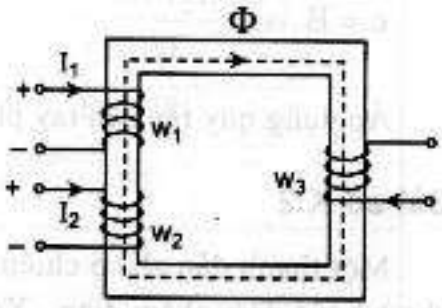
Mạch từ hình K - 15 gồm 3 cuộn dây

w_1 = 2000 vòng ; I_1 = 0,5 A

w_2 = 400 vòng ; I_2 = 1 A

w_3= 1000 vòng.

Chiều dài của lõi thép l = 0,5m. Tiết diện lõi thép S = 10^{-3} m^2



Hình K - 15

Đường cong từ hoá của vật liệu B = f(H) cho ở bai K.3. Cho biết từ thông trong lõi thép bằng 1,5 . 10^{-3} Wb. Xác định dòng điện I_3.

Đáp số : I_3 = 0,9 A

Chương I

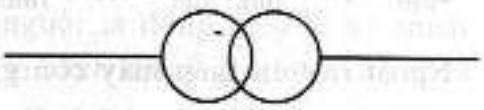
MÁY BIẾN ÁP

1.1.KHÁI NIỆM CHUNG

Để biến đổi điện áp của dòng điện xoay chiều từ điện áp cao xuống điện áp thấp, hoặc ngược lại từ điện áp thấp lên điện áp cao, ta dùng máy biến áp. Ngày nay do việc sử dụng điện năng phát triển rất rộng rãi, nên có những loại máy biến áp khác nhau: máy biến áp một pha, ba pha, hai dây quấn, ba dây quấn v.v... nhưng chúng dựa trên cũng một nguyên lý, đó là nguyên lý cảm ứng điện từ.

1.1.1.Định nghĩa

Máy biến áp là một thiết bị điện từ tĩnh, làm việc theo nguyên lý cảm ứng điện từ, dùng để biến đổi điện áp của hệ thống dòng điện xoay chiều nhưng vẫn giữ nguyên tần số. Hệ thống điện đầu vào máy biến áp(trước lúc biến đổi) có: điện áp U_1, dòng điện I_1, tần số f. Hệ thống điện đầu ra của máy biến áp (sau khi biến đổi) có: điện áp U_2, dòng điện I_2, và tần số f. Trong các bản vẽ, máy biến áp được ký hiệu như hình 1-1.



Hình 1 - 1

Đầu vào của máy biến áp nối với nguồn điện, được gọi là sơ cấp. Đầu ra nối với tải gọi là thứ cấp. Các đại lượng, các thông số sơ cấp trong ký hiệu có ghi chỉ số 1: Số vòng dây sơ cấp w_1, điện áp sơ cấp U_1, dòng điện sơ cấp I_1, công suất sơ cấp P_1. Các đại lượng và các thông số thứ cấp có chỉ số 2: Số vòng dây thứ cấp w_2, điện áp thứ cấp U_2, dòng điện thứ cấp I_2, công suất thứ cấp P_2.

TRƯỜNG CAO ĐẲNG
KỸ THUẬT CÔNG NGHỆ ĐỒNG NAI
THƯ VIỆN
Số ĐKCB:...../...../20.....

Nếu điện áp thứ cấp lớn hơn sơ cấp là máy biến áp tăng áp. Nếu điện áp thứ cấp nhỏ hơn điện áp sơ cấp gọi là máy biến áp giảm áp.

1.1.2. Các đại lượng định mức

Các đại lượng định mức của máy biến áp do xưởng chế tạo máy biến áp qui định để cho máy có khả năng làm việc lâu dài và tốt nhất. Ba đại lượng định mức cơ bản là:

a) Điện áp định mức. Điện áp sơ cấp định mức ký hiệu U_{1dm}, là điện áp qui định cho dây quấn sơ cấp. Điện áp thứ cấp định mức ký hiệu U_{2dm}, là điện áp giữa các cực của dây quấn thứ cấp, khi dây quấn thứ cấp hở mạch và điện áp đặt vào dây quấn sơ cấp là định mức. Người ta qui ước, với máy biến áp một pha điện áp định mức là điện áp pha, với máy biến áp 3 pha là điện áp dây. Đơn vị điện áp ghi trên máy thường là V hoặc kV.

b) Dòng điện định mức. Dòng điện định mức là dòng điện đã quy định cho mỗi dây quấn của máy biến áp, ứng với công suất định mức và điện áp định mức. Đối với máy biến áp một pha, dòng điện định mức là dòng điện pha. Đối với máy biến áp 3 pha, dòng điện định mức là dòng điện dây. Đơn vị dòng điện ghi trên máy thường là A. Dòng điện sơ cấp định mức ký hiệu I_{1dm}, dòng điện thứ cấp định mức ký hiệu I_{2dm}.

c) Công suất định mức. Công suất định mức của máy biến áp là công suất biểu kiến định mức. Công suất định mức ký hiệu là S_{dm}, đơn vị là VA, kVA. Đối với máy biến áp một pha công suất định mức là:

$$S_{dm} = U_{2dm} \cdot I_{2dm} = U_{1dm} \cdot I_{1dm} \qquad (1.1)$$

Đối với máy biến áp ba pha công suất định mức là:

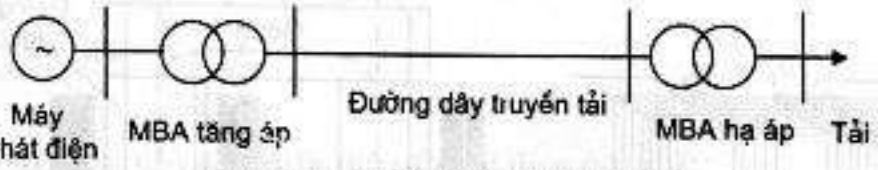
$$S_{dm} = \sqrt{3}\, U_{2dm} I_{2dm} = \sqrt{3}\, U_{1dm} I_{1dm} \qquad (1.2)$$

Ngoài ra trên biển máy còn ghi tần số định mức f_{dm}, số pha, sơ đồ nối dây, điện áp ngắn mạch, chế độ làm việc v.v..

1.1.3. Công dụng của máy biến áp

Máy biến áp có vai trò quan trọng trong hệ thống điện. Nó là một khâu quan trọng dùng để truyền tải và phân phối điện năng. Các nhà máy điện công suất lớn thường ở xa các trung tâm tiêu thụ điện (khu công nghiệp, đô thị v.v..) vì thế cần phải xây dựng các đường dây truyền tải điện năng.

Điện áp máy phát thường là 6,3 ; 10,5 ; 15,75 ; 38,5 kV. Để nâng cao khả năng truyền tải và giảm tổn hao công suất trên đường dây, phải giảm dòng điện chạy trên đường dây, bằng cách nâng cao điện áp. Vì vậy ở đầu đường dây cần đặt máy biến áp tăng áp. Mặt khác điện áp của tải thường khoảng 127V đến 500V; động cơ công suất lớn thường 3 hoặc 6 kV, vì vậy ở cuối đường dây cần đặt máy biến áp giảm áp (hình 1-2).



Hình 1-2. Sơ đồ truyền tải điện năng

Ngoài ra máy biến áp còn được sử dụng trong các thiết bị lò nung (máy biến áp lò), trong hàn điện (máy biến áp hàn) làm nguồn cho các thiết bị điện, điện tử cần nhiều cấp điện áp khác nhau, trong lĩnh vực đo lường (máy biến điện áp, máy biến dòng) v.v..

1.2. CẤU TẠO CỦA MÁY BIẾN ÁP

Máy biến áp có hai bộ phận chính: Lõi thép và dây quấn.

1.2.1. Lõi thép máy biến áp

Lõi thép máy biến áp dùng để dẫn từ thông chính của máy, được chế tạo từ những vật liệu dẫn từ tốt, thường là thép kỹ thuật điện. Lõi thép gồm hai bộ phận:

Trụ là nơi để đặt dây quấn

Gông là phần khép kín mạch từ giữa các trụ.

- Trụ và gông tạo thành mạch từ khép kín.

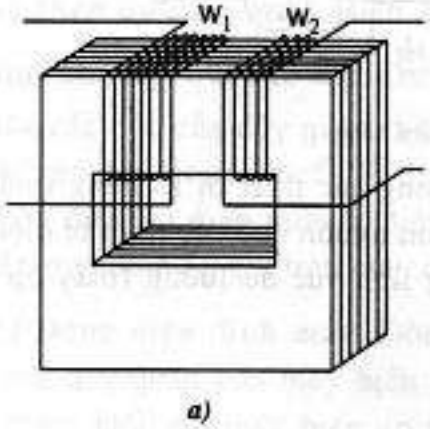
Để giảm dòng điện xoáy trong lõi thép, người ta dùng thép lá kỹ thuật điện (dày 0,35 mm đến 0,5 mm, hai mặt có sơn cách điện) ghép lại với nhau thành lõi thép (hình 1-3a).

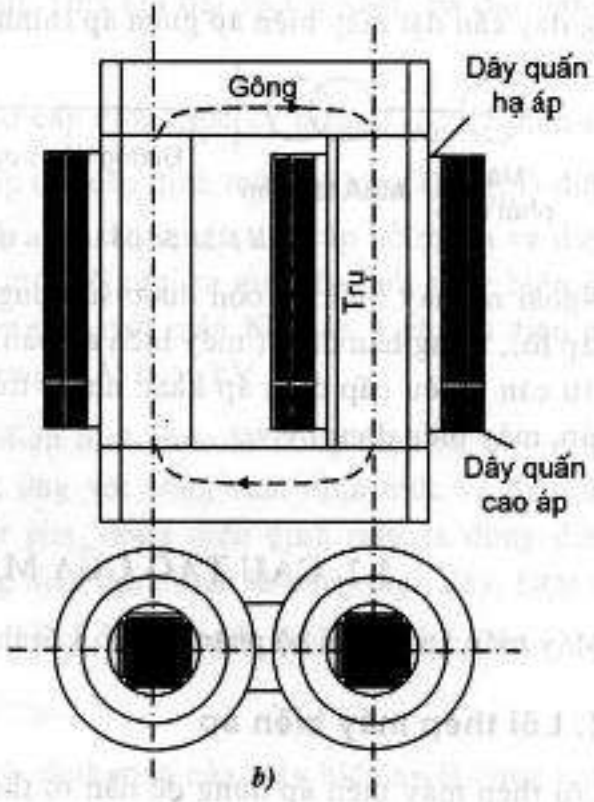
1.2.2. Dây quấn máy biến áp

Dây quấn máy biến áp thường được chế tạo bằng dây đồng (hoặc nhôm), có tiết diện tròn hoặc chữ nhật, bên ngoài dây dẫn có bọc cách điện.

Dây quấn gồm nhiều vòng dây và lồng vào trụ lõi thép. Giữa các vòng dây, giữa các dây quấn có cách điện với nhau và các dây quấn cách điện với

lõi thép. Máy biến áp thường có hai hoặc nhiều dây quấn. Khi các dây quấn đặt trên cùng một trụ, thì dây quấn thấp áp đặt sát trụ thép, dây quấn cao áp đặt lồng ra ngoài. Làm như vậy sẽ giảm được vật liệu cách điện và khoảng cách cách điện với phần tiếp đất (lõi sắt) nên giảm được kích thước máy biến áp. (hình 1-3b).





Hình 1-3. Lõi thép và dây quấn máy biến áp

Để làm mát và tăng cường cách điện cho máy biến áp, người ta thường đặt lõi thép và dây quấn trong một thùng chứa dầu máy biến áp. Đối với máy biến áp công suất lớn, vỏ thùng dầu có cánh tản nhiệt và trong nhiều trường hợp phải làm mát cưỡng bức bằng cách đặt quạt gió thổi vào các cánh tản nhiệt. Ngoài ra còn có các sứ xuyên ra để nối các đầu dây quấn ra ngoài, bộ phận chuyển mạch để điều chỉnh điện áp; rơ le hơi để bảo vệ máy, bình dãn dầu, thiết bị chống ẩm v.v...

1.3. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA MÁY BIẾN ÁP

Trên hình 1-4 vẽ sơ đồ nguyên lý của máy biến áp một pha có hai dây quấn w_1 và w_2.

Khi ta nối dây quấn sơ cấp w_1 vào nguồn điện xoay chiều điện áp u_1, sẽ có dòng điện sơ cấp i_1 chạy trong dây quấn sơ cấp w_1. Dòng điện i_1 sinh ra từ thông biến thiên chạy trong lõi thép, từ thông này móc vòng (xuyên qua) đồng thời với cả hai dây quấn sơ cấp w_1 và thứ cấp w_2, được gọi là từ thông chính.

Theo định luật cảm ứng điện từ, sự biến thiên của từ thông làm cảm ứng vào dây quấn sơ cấp sức điện động là:

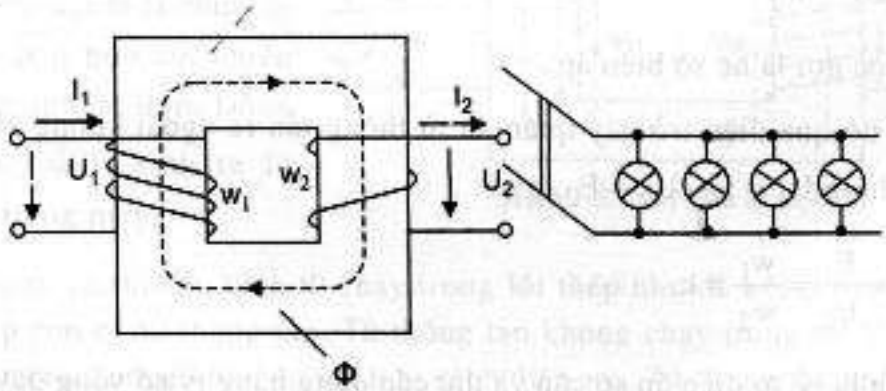
$$e_1 = -w_1 \frac{d\Phi}{dt} \qquad (1.3)$$

Và cảm ứng vào dây quấn thứ cấp sức điện động là:

$$e_2 = -w_2 \frac{d\Phi}{dt} \qquad (1.4)$$

Trong đó w_1, w_2 là số vòng của dây quấn sơ cấp và thứ cấp. Khi máy biến áp không tải, dây quấn thứ cấp hở mạch, dòng điện thứ cấp $I_2 = 0$, từ thông chính trong lõi thép chỉ do dòng sơ cấp I_1 không tải sinh ra, có giá trị bằng dòng từ hoá I_0.

Khi máy biến áp có tải, dây quấn thứ cấp nối với tải có tổng trở tải Z_t, dưới tác động của sức điện động e_2, có dòng điện thứ cấp i_2 cung cấp điện cho tải. Khi ấy từ thông chính do đồng thời cả hai dòng sơ cấp I_1 và thứ cấp I_2 sinh ra.



Hình 1-4. Sơ đồ nguyên lí máy biến áp

Điện áp u_1 sin nên từ thông cũng biến thiên sin ta có:

$$\Phi = \Phi_{max} \sin\omega t \; ; \; \omega = 2\pi f$$

$$e_1 = -w_1 \frac{d(\Phi_{max}\sin\omega t)}{dt} = 4{,}44 f w_1 \Phi_{max}\sqrt{2}\sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$= E_1\sqrt{2}\sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \quad (1.5)$$

$$e_2 = -w_2 \frac{d(\Phi_{max}\sin\omega t)}{dt} = 4{,}44 f w_2 \Phi_{max}\sqrt{2}\sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$= E_2\sqrt{2}\sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \quad (1.6)$$

trong đó:

$$E_1 = 4{,}44 f w_1 \Phi_{max} \quad (1.7)$$

$$E_2 = 4{,}44 f w_2 \Phi_{max} \quad (1.8)$$

E_1, E_2 là trị số hiệu dụng sức điện động sơ cấp, thứ cấp.

Nhìn công thức (1.5) và (1.6) ta thấy: sức điện động thứ cấp và sơ cấp có cùng tần số, nhưng trị số hiệu dụng khác nhau.

Nếu chia E_1 cho E_2 ta có:

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} \quad (1.9)$$

k được gọi là hệ số biến áp.

Nếu bỏ qua điện trở dây quấn và từ thông tản ra ngoài không khí, có thể coi gần đúng $U_1 \approx E_1$, $U_2 \approx E_2$ ta có:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} = k$$

nghĩa là tỷ số điện áp sơ cấp và thứ cấp đúng bằng tỷ số vòng dây.

Đối với máy tăng áp có: $U_2 > U_1$; $w_2 > w_1$

Đối với máy giảm áp có: $U_2 < U_1$; $w_2 < w_1$

Như vậy dây quấn sơ cấp và thứ cấp không trực tiếp liên hệ với nhau về điện nhưng nhờ có từ thông chính, năng lượng đã được chuyển từ dây quấn sơ cấp sang thứ cấp.

Nếu bỏ qua tổn hao trong máy biến áp, có thể coi gần đúng, quan hệ giữa các lượng sơ cấp và thứ cấp như sau:

$$U_2 I_2 \approx U_1 I_1$$

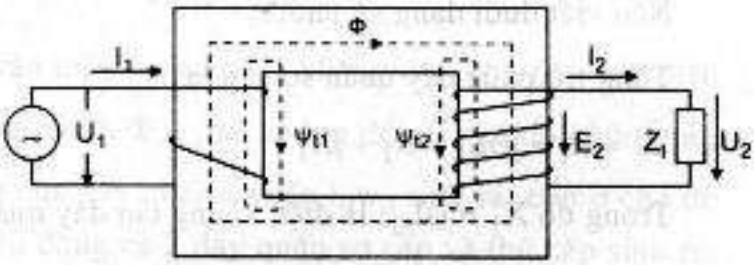
hoặc
$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{I_2}{I_1} \approx k$$

1.4. MÔ HÌNH TOÁN CỦA MÁY BIẾN ÁP

Để thiết lập mô hình toán trước hết xét quá trình điện từ trong máy biến áp.

1.4.1. Quá trình điện từ trong máy biến áp

Trên hình 1-5 trình bày máy biến áp một pha hai dây quấn trong đó dây quấn sơ cấp nối với nguồn, dây quấn thứ cấp nối với tải có tổng trở Z_t. Điện áp u_1 sinh ra dòng điện i_1 có chiều như hình 1-5. Theo quy tắc vặn nút chai, chiều Φ phù hợp với chiều i_1, chiều e_1, e_2 phù hợp với chiều Φ nghĩa là e_1 và i_1 trùng chiều. Chiều i_2 được chọn ngược với chiều e_2, nghĩa là chiều i_2 không phù hợp với chiều Φ theo qui tắc trên. Dòng điện i_1 và i_2 sinh ra từ thông trong máy.



Hình 1-5. Máy biến áp một pha

Ngoài từ thông chính Φ chạy trong lõi thép như đã nói ở trên, trong máy biến áp còn có từ thông tản. Từ thông tản không chạy trong lõi thép mà chạy tản ra trong không khí, các vật liệu cách điện vv...Từ thông tản khép mạch qua các vật liệu không sắt từ, có độ dẫn từ kém, do đó từ thông tản nhỏ hơn rất nhiều so với từ thông chính. Từ thông tản chỉ móc vòng riêng rẽ với mỗi dây quấn. Từ thông tản móc vòng sơ cấp ký hiệu là ψ_{t1} do dòng điện sơ cấp i_1 gây

ra. Từ thông tản móc vòng thứ cấp ψ_{t2}, do dòng điện thứ cấp i_2 gây ra. Từ thông tản được đặc trưng bằng điện cảm tản.

Điện cảm tản dây quấn sơ cấp L_1 là :

$$L_1 = \frac{\Psi_{t1}}{i_1} \tag{1.11}$$

Điện cảm tản dây quấn thứ cấp L_2 là:

$$L_2 = \frac{\Psi_{t2}}{i_2} \tag{1.12}$$

1.4.2.Phương trình điện áp sơ cấp

Chúng ta hãy xét mạch điện sơ cấp, gồm nguồn điện áp u_1, sức điện động e_1, điện trở dây quấn sơ cấp R_1, điện cảm tản sơ cấp L_1. Áp dụng định luật Kiếchốp 2 ta có phương trình điện áp viết dưới dạng trị số tức thời là:

$$R_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} = u_1 + e_1$$

hoặc chuyển vế ta có:

$$u_1 = R_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} - e_1 \tag{1.13}$$

Nếu viết dưới dạng số phức:

Tổng trở phức dây quấn sơ cấp là:

$$\overline{Z}_1 = R_1 + j\omega L_1 = R_1 + jX_1 \tag{1.14}$$

Trong đó $X_1 = \omega L_1$, là điện kháng tản dây quấn sơ cấp.

Phương trình điện áp sơ cấp viết dưới dạng số phức là:

$$\dot{U}_1 = R_1 \dot{I}_1 + jX_1 \dot{I}_1 - \dot{E}_1 = \overline{Z}_1 \dot{I}_1 - \dot{E}_1 \tag{1.15}$$

1.4.3.Phương trình điện áp thứ cấp

Mạch điện thứ cấp gồm sức điện động e_2 điện trở dây quấn thứ cấp R_2, điện cảm tản dây quấn thứ cấp L_2, tổng trở tải Z_t. Phương trình Kiếchốp 2 viết dưới dạng trị số tức thời là:

$R_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} + u_2 = -e_2$ hoặc chuyển vế ta có:

$$u_2 = -e_2 - R_2 i_2 - L_2 \frac{di_2}{dt} \quad (1.16)$$

Nếu viết dưới dạng số phức, tổng trở phức dây quấn thứ cấp là:

$$\overline{Z}_2 = R_2 + j\omega L_2 = R_2 + jX_2 \quad (1.17)$$

trong đó $X_2 = \omega L_2$ là điện kháng tản dây quấn thứ cấp.

Phương trình điện áp thứ cấp sẽ là

$$\dot{U}_2 = -\dot{E}_2 - R_2 \dot{I}_2 - jX_2 \dot{I}_2 = -\dot{E}_2 - \overline{Z}_2 \dot{I}_2 \quad (1.18)$$

Điện áp thứ cấp U_2 chính là điện áp đặt tải lên do đó:

$$\dot{U}_2 = \overline{Z}_t \dot{I}_2 \quad (1.19)$$

1.4.4. Phương trình sức từ động

Trong phương trình điện áp sơ cấp, $\dot{U}_1 = \dot{I}_1 \overline{Z}_1 - \dot{E}_1$, điện áp rơi $\dot{I}_1 Z_1$ thường rất nhỏ vì thế có thể lấy gần đúng $U_1 \approx E_1$.

Vì điện áp lưới điện đặt vào máy biến áp U_1 không đổi, cho nên sức điện động E_1 không đổi và từ thông chính Φ_{max} sẽ không đổi. Ở chế độ không tải, từ thông chính do sức từ động của dây quấn sơ cấp $i_0 w_0$ sinh ra, còn ở chế độ có tải, từ thông chính do sức từ động cả 2 dây quấn sơ cấp và thứ cấp sinh ra. Sức từ động lúc đó có tải là $i_1 w_1 - i_2 w_2$. Có dấu- trước i_2 vì i_2 sinh ra từ thông ngược với chiều Φ chính đã chọn (hình 1-5).

Vì Φ_{max} không đổi, cho nên sức từ động không tải bằng sức từ động lúc có tải, do đó ta có phương trình sức từ động dưới dạng tức thời như sau:

$$i_0 w_1 = i_1 w_1 - i_2 w_2$$

Chia cả hai vế cho w_1 ta có:

$$i_0 = i_1 - i_2\frac{w_2}{w_1} = i_1 - \frac{i_2}{\frac{w_1}{w_2}} = i_1 - \frac{i_2}{k} = i_1 - i'_2$$

hoặc $\quad i_1 = i_0 + i'_2 \qquad (1.20)$

Trong đó:

$k = \frac{w_1}{w_2}$ hệ số biến áp

$i'_2 = \frac{i_2}{k}$

i'_2 là dòng điện thứ cấp đã qui đổi về phía sơ cấp.

Phương trình sức từ động dưới dạng phức là:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}'_2 \qquad (1.21)$$

Phương trình sức từ động cho ta thấy rõ quan hệ giữa dòng điện sơ cấp và thứ cấp. Hệ ba phương trình điện và từ (1.13, 1.16, 1.20, hoặc 1.15, 1.18, 1.21) là mô hình toán của máy biến áp.

1.5. SƠ ĐỒ THAY THẾ MÁY BIẾN ÁP

Từ mô hình toán:

$$\dot{U}_1 = \overline{Z}_1\dot{I}_1 - \dot{E}_1 \qquad (1.22)$$

$$\dot{U}_2 = -\dot{E}_2 - \overline{Z}_2\dot{I}_2 \qquad (1.23)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}'_2 \qquad (1.24)$$

Ta xây dựng mô hình mạch, đó là sơ đồ điện, gọi là sơ đồ thay thế , phản ảnh đầy đủ quá trình năng lượng trong máy biến áp, thuận lợi cho việc phân tích,nghiên cứu của máy biến áp.

Để xây dựng sơ đồ thay thế, trước hết cần thực hiện một số biến đổi toán học.

1.5.1. Qui đổi các đại lượng thứ cấp về sơ cấp

Nhân phương trình (1.23) với k, phương trình (1.23) sẽ là:

$$k\dot{U}_2 = -k\dot{E}_2 - k\overline{Z}_2\dot{I}'_2 = -k\dot{E}_2 - k^2\overline{Z}_2\frac{\dot{I}_2}{k}$$

Đặt $$\dot{E}'_2 = k\dot{E}_2 = \dot{E}_1 \quad (1.25)$$

$$\dot{U}'_2 = k\dot{U}_2 \quad (1.26)$$

$$\overline{Z}'_2 = k^2\overline{Z}_2;\ R'_2 = k^2R_2\ ;\ X'_2 = k^2X_2 \quad (1.27)$$

Phương trình (1.23) trở thành

$$\dot{U}'_2 = -\dot{E}_1 - \overline{Z}'_2\dot{I}'_2 \quad (1.28)$$

Nhân phương trình (1.19) với k

$$\dot{U}'_2 = k\dot{U}_2 = k\overline{Z}_t\dot{I}_2 = k^2\overline{Z}_t\frac{\dot{I}_2}{k} = \overline{Z}'_t\dot{I}'_2 \quad (1.29)$$

Trong đó

$$\overline{Z}'_t = k^2\overline{Z}_t;\ R'_t = k^2R_t\ ;\ X'_t = k^2X_t$$

$$\dot{I}'_2 = \frac{\dot{I}_2}{k} \quad (1.30)$$

Phương trình (1.28), (1.29) là phương trình điện áp thứ cấp đã qui đổi về sơ cấp. Trong đó $\dot{E}'_2$, $\dot{U}'_2$, $\dot{I}'_2$, $\overline{Z}'_2$, $\overline{Z}'_t$ lần lượt được gọi là sức điện động thứ cấp, điện áp thứ cấp, dòng điện thứ cấp, tổng trở dây quấn thứ cấp, tổng trở tải đã qui đổi về sơ cấp.

Hệ (1.25, 26, 27, 30) là các công thức qui đổi các đại lượng thứ cấp về sơ cấp.

Ta biết rằng, điều kiện qui đổi là bảo toàn năng lượng. Điều kiện đó đã được đảm bảo trong quá trình biến đổi trên. Thực vậy, công suất trên các phần tử trước và sau khi qui đổi bằng nhau.

Ví dụ: $$E'_2I'_2 = kE_2\frac{I_2}{k} = E_2I_2\ ;\ R'_2I'^2_2 = k^2R_2\left(\frac{I_2}{k}\right)^2 = R_2I_2^{\ 2}$$

1.5.2. Thiết lập sơ đồ thay thế máy biến áp

Bây giờ ta xét phương trình (1.22), vế phải phương trình gồm :Z_1I_1 là điện áp rơi trên tổng trở dây quấn Z_1 và (- E_1) chính là điện áp rơi trên tổng trở Z_{th} đặc trưng cho từ thông chính , và tổn hao sắt từ. Vì từ thông chính do dòng điện không tải I_0 sinh ra do đó ta có thể viết:

$$-\dot{E}_1 = (R_{th} + jX_{th})\dot{I}_0 = \overline{Z}_{th}\,\dot{I}_0 \qquad (1.31)$$

Trong đó: $\overline{Z}_{th} = R_{th} + jX_{th}$ là tổng trở từ hóa đặc trưng cho mạch từ;

R_{th} là điện trở từ hoá đặc trưng cho tổn hao sắt từ.

$$\Delta P_{st} = R_{th}I^2_0$$

X_{th} là điện kháng từ hoá đặc trưng cho từ thông chính Φ.

Thay giá trị $-E_1$ vào hệ 3 phương trình máy biến áp, cuối cùng ta có:

$$\dot{U}_1 = \overline{Z}_1\,\dot{I}_1 + \overline{Z}_{th}\,\dot{I}_0 \qquad (1.32)$$

$$\dot{U}'_2 = \overline{Z}_{th}\,\dot{I}_0 - \overline{Z}'_2\,\dot{I}'_2 \qquad (1.33)$$

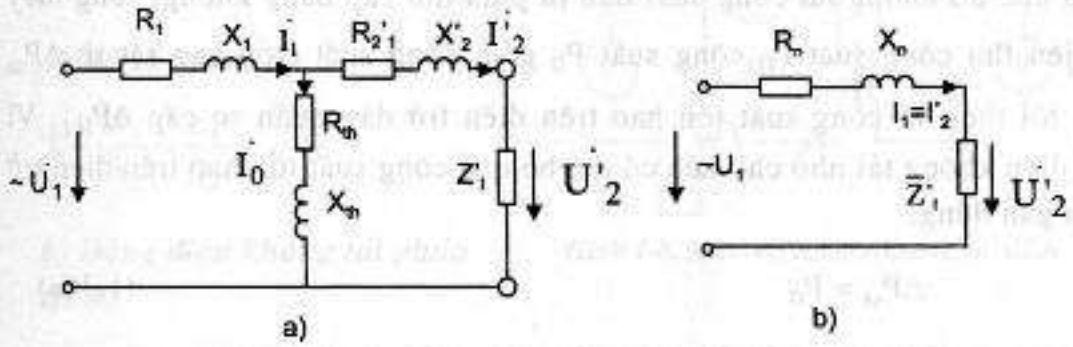
$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}'_2 \qquad (1.34)$$

Hệ 3 phương trình (1.32,33,34) chính là 2 phương trình Kiếchốp 2 và 1, phương trình Kiếchốp 1 viết cho mạch điện hình 1.6a. Nhánh có Z_{th} được gọi là nhánh từ hoá.

Thông thường tổng trở nhánh từ hoá rất lớn, dòng điện I_0 nhỏ, do đó có thể bỏ nhánh từ hoá ta có sơ đồ thay thế gần đúng hình 1.6b.

Sơ đồ gần đúng được sử dụng nhiều trong tính toán các đặc tính của máy biến áp. Trong sơ đồ gần đúng hình 1.6b.

$$R_n = R_1 + R'_2 \;; \qquad X_n = X_1 + X'_2$$



Hình 1-6. Sơ đồ thay thế máy biến áp

1.6. CHẾ ĐỘ KHÔNG TẢI CỦA MÁY BIẾN ÁP

Chế độ không tải là chế độ mà phía thứ cấp hở mạch, phía sơ cấp đặt vào điện áp.

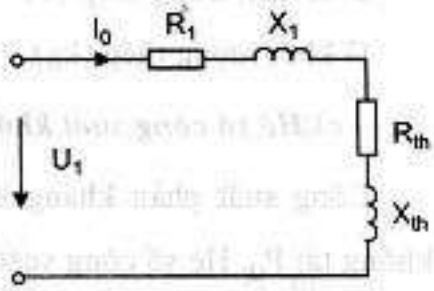
1.6.1.Phương trình và sơ đồ thay thế của máy biến áp không tải.

Khi không tải $I_2 = 0$ ta có:

$\dot{U}_1 = \dot{I}_0 \overline{Z}_1 - \dot{E}_1$ hoặc

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_0 \left(\overline{Z}_1 + \overline{Z}_{th}\right) = \dot{I}_0 \overline{Z}_0 \qquad (1.35)$$

$\overline{Z}_0 = \overline{Z}_1 + \overline{Z}_{th}$, là tổng trở máy biến áp không tải.



Hình 1-7. Sơ đồ thay thế máy biến áp không tải

Sơ đồ thay thế của máy biến áp không tải vẽ trên hình 1-7

1.6.2.Các đặc điểm ở chế độ không tải

a) Dòng điện không tải

Từ phương trình trên, ta tính được dòng điện không tải như sau:

$$I_0 = \frac{U_1}{Z_0} = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R_{th})^2 + (X_1 + X_{th})^2}}$$

Tổng trở Z_0 thường rất lớn vì thế dòng điện không tải nhỏ bằng 2% ÷10% dòng điện định mức.

b) Công suất không tải

Ở chế độ không tải công suất đưa ra phía thứ cấp bằng không, song máy vẫn tiêu thụ công suất P_0, công suất P_0 gồm công suất tổn hao sắt từ ΔP_{st} trong lõi thép và công suất tổn hao trên điện trở dây quấn sơ cấp ΔP_{R1}. Vì dòng điện không tải nhỏ cho nên có thể bỏ qua công suất tổn hao trên điện trở và coi gần đúng:

$$\Delta P_{st} \approx P_0 \qquad (1.36a)$$

Tổn hao sắt từ ΔP_{st} được tính dựa vào đặc tính của thép như sau:

$$\Delta P_{st} = p_{1,0/50} B^2 \left(\frac{f}{50}\right)^{1,3} G \qquad (1.36b)$$

Trong đó: $p_{1,0/50}$ là công suất tổn hao trong lá thép khi tần số 50Hz và từ cảm 1 T. Đối với lá thép kỹ thuật điện 3413 dày 0,35 mm, $P_{1,0/50} = 0,6$ W/kg.

B từ cảm trong thép (T)

G khối lượng thép (kg)

c) Hệ số công suất không tải

Công suất phản kháng không tải Q_0 rất lớn so với công suất tác dụng không tải P_0. Hệ số công suất lúc không tải thấp.

$$\cos\varphi_0 = \frac{R_0}{\sqrt{R_0^2 + X_0^2}} = \frac{P_0}{\sqrt{P_0^2 + Q_0^2}} = 0,1 \div 0,3$$

Từ những đặc điểm trên khi sử dụng không nên để máy ở tình trạng không tải hoặc non tải .

1.6.3. Thí nghiệm không tải của máy biến áp

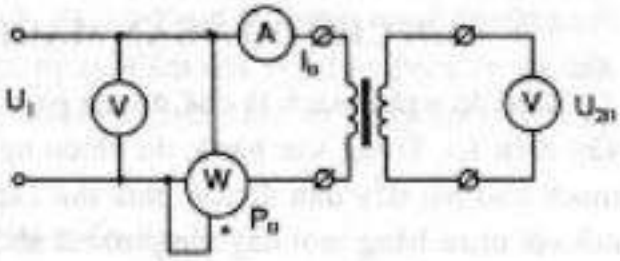
Để xác định hệ số biến áp k, tổn hao sắt từ và các thông số của máy ở chế độ không tải, ta tiến hành thí nghiệm không tải vẽ trên hình 1-8.

Đặt điện áp định mức vào dây quấn sơ cấp, thứ cấp hở mạch, các dụng cụ đo cho ta các số liệu sau: Oát kế chỉ công suất không tải $P_0 \approx \Delta P_{st}$. Ampe kế cho ta dòng điện không tải I_0. Các vôn kế cho giá trị U_1, U_{20}.

Từ đó ta tính được:

a) Hệ số biến áp k

$$k = \frac{W_1}{W_2} = \frac{E_1}{E_2} \approx \frac{U_1}{U_{20}}$$



Hình 1-8. Sơ đồ thí nghiệm không tải MBA

b) Dòng điện không tải phần trăm

$$I_0\% = \frac{I_0}{I_{1dm}} 100\% = 3\% \div 10\%$$ với I_{1dm} là dòng điện định mức sơ cấp.

c) Điện trở không tải

$$R_0 = \frac{P_0}{I_0^2} \tag{1.37}$$

$$R_0 = R_1 + R_{th}$$

Vì rằng $R_{th} >> R_1$ nên lấy gần đúng

$$R_{th} \approx R_0 \tag{1.38}$$

d) Tổng trở không tải

$$Z_0 = \frac{U_{1dm}}{I_0} \tag{1.39}$$

Cũng như trên,tổng trở từ hoá lấy gần đúng là:

$$Z_{th} \approx Z_0 \tag{1.40}$$

e) Điện kháng không tải

$$X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2} \tag{1.41}$$

Điện kháng từ hoá lấy gần đúng là:

$$X_{th} \approx X_0 \tag{1.42}$$

f) Hệ số công suất không tải

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{U_{1dm} I_0} = 0{,}1 \div 0{,}3 \tag{1.43}$$

1.7. CHẾ ĐỘ NGẮN MẠCH CỦA MÁY BIẾN ÁP

Chế độ ngắn mạch là chế độ mà phía thứ cấp bị nối tắt lại, sơ cấp vẫn đặt vào điện áp. Trong vận hành, do nhiều nguyên nhân làm máy biến áp bị ngắn mạch như hai dây dẫn điện ở phía thứ cấp chập vào nhau, rơi xuống đất hoặc nối với nhau bằng một dây tổng trở rất nhỏ. Đấy là tình trạng sự cố.

1.7.1. Phương trình và sơ đồ thay thế của máy biến áp ngắn mạch

Sơ đồ thay thế của máy biến áp ngắn mạch vẽ trên hình 1-9. Vì tổng trở Z'_2 rất nhỏ so với Z_{th} nên coi gần đúng có thể bỏ nhánh từ hoá. Dòng điện sơ cấp là dòng điện ngắn mạch I_n.

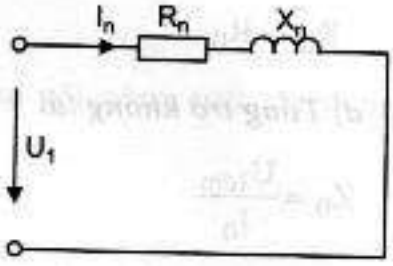
Phương trình điện áp là:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_n\left(\overline{Z}_1 + \overline{Z}'_2\right) = \dot{I}_n\,\overline{Z}_n \qquad (1.44)$$

trong đó:

$$\overline{Z}_n = (R_1 + R'_2) + j(X_1 + X'_2)$$

$$= R_n + jX_n = Z_n e^{j\varphi n}$$



Hình 1-9. Sơ đồ thay thế của MBA ngắn mạch

$R_n = R_1 + R'_2$ là điện trở mạch máy biến áp

$X_n = X_1 + X'_2$ là điện kháng ngắn mạch máy biến áp

$Z_n = \sqrt{R_n^2 + X_n^2}$ là tổng trở ngắn mạch máy biến áp

$\overline{Z}_n$ là tổng trở phức ngắn mạch máy biến áp

1.7.2. Đặc điểm ở chế độ ngắn mạch

Từ phương trình trên ta có dòng điện ngắn mạch khi điện áp sơ cấp định mức :

$$I_n = \frac{U_{1dm}}{Z_n} \qquad (1.45)$$

Vì tổng trở ngắn mạch rất nhỏ cho nên dòng điện ngắn mạch thường rất lớn bằng 10 ÷ 25 lần dòng định mức, nguy hiểm đối với máy biến áp và ảnh hưởng đến các tải dùng điện. Từ các nhận xét trên, khi sử dụng máy biến áp cần tránh tình trạng ngắn mạch.

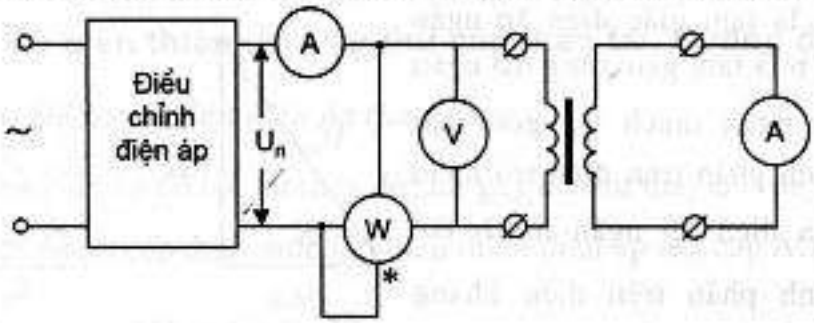
1.7.3. Thí nghiệm ngắn mạch máy biến áp

Để xác định tổn hao trên điện trở dây quấn và xác định các thông số sơ cấp và thứ cấp, ta tiến hành thí nghiệm ngắn mạch. Sơ đồ thí nghiệm ngắn mạch vẽ trên hình 1.10.

Dây quấn thứ cấp nối ngắn mạch. Dây quấn sơ cấp nối với nguồn qua bộ điều chỉnh điện áp. Nhờ bộ điều chỉnh điện áp ta có thể điều chỉnh điện áp đặt vào dây quấn sơ cấp bằng U_n sao cho dòng điện trong dây quấn bằng định mức. U_n gọi là điện áp ngắn mạch, thường được tính theo phần trăm của điện áp sơ cấp định mức.

$$U_n\% = \frac{U_n}{U_{1dm}} \cdot 100\% = 3\% \div 10\% \qquad (1.46)$$

Lúc ngắn mạch điện áp thứ cấp $U_2 = 0$ do đó điện áp ngắn mạch U_n là điện áp rơi trên tổng trở dây quấn. Vì điện áp ngắn mạch nhỏ, từ thông Φ sẽ



Hình 1.10. Sơ đồ thí nghiệm ngắn mạch MBA

nhỏ, có thể bỏ qua tổn hao sắt từ. Công suất đo được trong thí nghiệm ngắn mạch P_n chính là tổn hao trong điện trở 2 dây quấn. Từ đó ta tính ra được các thông số dây quấn trong sơ đồ thay thế.

a) Tổng trở ngắn mạch

$$Z_n = \frac{U_n}{I_{1dm}} \qquad (1.47)$$

b) Điện trở ngắn mạch

$$R_n = \frac{P_n}{I_{1dm}^2} \quad (1.48)$$

c) Điện kháng ngắn mạch

$$X_n = \sqrt{Z_n^2 - R_n^2} \quad (1.49)$$

Để tính thông số dây quấn của máy biến áp, thường dùng các công thức gần đúng sau

$$R_1 \approx R'_2 \approx \frac{R_n}{2} \quad (1.50)$$

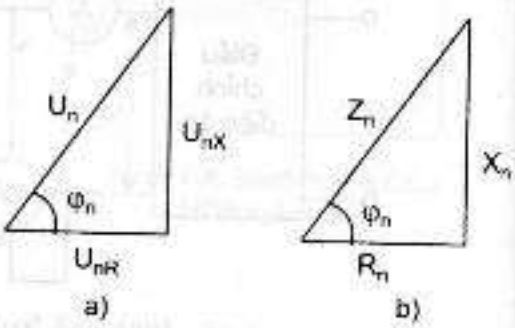
$$X_1 \approx X'_2 \approx \frac{X_n}{2} \quad (1.51)$$

Biết hệ số biến áp, tính được thông số thứ cấp chưa quy đổi

$$R_2 = \frac{R'_2}{k^2} \quad (1.52)$$

$$X_2 = \frac{X'_2}{k^2} \quad (1.53)$$

Hình 1-11a là tam giác điện áp ngắn mạch, hình 1-11b là tam giác tổng trở ngắn mạch. Điện áp ngắn mạch U_n gồm hai thành phần: thành phần trên điện trở ngắn mạch R_n gọi là điện áp ngắn mạch tác dụng U_{nR}; thành phần trên điện kháng ngắn mạch X_n gọi là điện áp ngắn mạch phản kháng U_{nX} (hình 8-11a).



Hình 1-11

d) Điện áp ngắn mạch tác dụng phần trăm

$$U_{nR}\% = \frac{R_n I_{1dm}}{U_{1dm}} 100\% = U_n\% \cos\varphi_n \quad (1.54)$$

e) Điện áp ngắn mạch phản kháng phần trăm

$$U_{nX}\% = \frac{X_n I_{1dm}}{U_{1dm}} 100\% = U_n\% \sin\varphi_n \quad (1.55)$$

$$\cos\varphi_n = \frac{R_n}{Z_n} \; ; \; \sin\varphi_n = \frac{X_n}{Z_n}$$

1.8. CHẾ ĐỘ CÓ TẢI CỦA MÁY BIẾN ÁP

Chế độ có tải là chế độ trong đó dây quấn sơ cấp nối vào nguồn điện áp định mức, dây quấn thứ cấp nối với tải. Để đánh giá mức độ tải, người ta đưa ra hệ số tải k_t

$$k_t = \frac{I_2}{I_{2dm}} \approx \frac{I_1}{I_{1dm}}$$

$k_t = 1$ tải định mức ; $k_t < 1$ non tải; $k_t > 1$ quá tải.

Ở chế độ tải, phương trình điện áp và dòng điện đã xét ở bài 1.4 (công thức 1.13, 1.16, 1.20 hoặc 1.15, 1.18, 1.21), sơ đồ thay thế đã xét ở bài 1.5 (hình 1-6a,b). Các thông số của sơ đồ thay thế được xác định bằng các thí nghiệm không tải và ngắn mạch (bài 1.6, 1.7).

Dưới đây ta dựa vào hệ phương trình và sơ đồ thay thế để nghiên cứu một số đặc tính làm việc lúc có tải.

1.8.1. Độ biến thiên điện áp thứ cấp theo tải. Đường đặc tính ngoài

a) Độ biến thiên điện áp thứ cấp.

Máy biến áp có tải, sự thay đổi tải gây nên sự thay đổi điện áp thứ cấp U_2. Khi điện áp sơ cấp định mức, độ biến thiên điện áp thứ cấp ΔU_2 là:

$$\Delta U_2 = U_{2dm} - U_2 \qquad (1.56)$$

Độ biến thiên điện áp thứ cấp phần trăm tính như sau :

$$\Delta U_2\% = \frac{U_{2dm} - U_2}{U_{2dm}} 100\% \qquad (1.57)$$

Nhân tử và mẫu với hệ số biến áp $k = \frac{w_1}{w_2}$ ta có :

$$\Delta U_2\% = \frac{kU_{2dm} - kU_2}{kU_{2dm}} 100\% = \frac{U_{1dm} - kU'_2}{U_{1dm}} 100\% \qquad (1.58)$$

Đồ thị véctơ của máy biến áp ứng với sơ đồ thay thế gần đúng vẽ trên hình 1-12

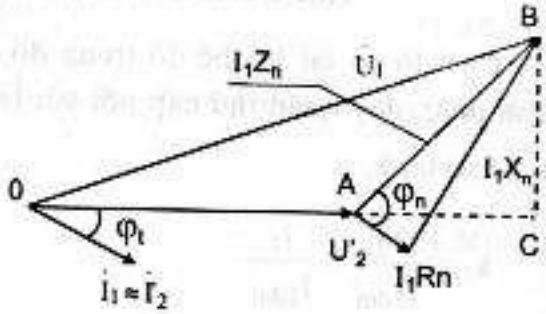
Để tính ΔU_2 ta chiếu U_1 lên U'_2. Theo đồ thị thấy rằng góc lệch pha giữa U_1 và U'_2 không lớn, có thể coi gần đúng :

$$U_{1dm} = OB \approx OC$$

$$U_{1dm} - U'_2 \approx AC = AB\cos(\varphi_n - \varphi_t)$$

$$= I_1 Z_n \cos(\varphi_n - \varphi_t)$$

$$= I_1 Z_n \cos\varphi_n \cos\varphi_t + I_1 Z_n \sin\varphi_n \sin\varphi_t \qquad (1.59)$$



Hình 1-12

φ_n là góc của tổng trở ngắn mạch : $\varphi_n = \text{arctg}\dfrac{X_n}{R_n}$ (1.60)

φ_t là góc lệch pha giữa điện áp $\dot{U}_2$ và dòng điện $\dot{I}_2$, chính là góc của tổng trở tải:

$$\varphi_t = \text{arctg}\frac{X_t}{R_t}$$

$$\text{Vậy } \Delta U_2\% = \frac{I_1 Z_n \cos\varphi_n \cos\varphi_t + I_1 Z_n \sin\varphi_n \sin\varphi_t}{U_{1dm}} 100\% =$$

$$= k_t \left(\frac{I_{1dm} Z_n \cos\varphi_n \cos\varphi_t + I_{1dm} Z_n \sin\varphi_n \sin\varphi_t}{U_{1dm}} \right) 100\% =$$

$$= k_t \left(U_{nR}\% \cos\varphi_t + U_{nX}\% \sin\varphi_t \right) \qquad (1.62)$$

trong đó : $k_t = \dfrac{I_1}{I_{1dm}}$

Trị số $\Delta U_2\%$ có thể dương, âm, hoặc bằng không phụ thuộc vào tính chất của tải.

Trên hình 1-13a vẽ $\Delta U_2\%$ tương ứng với các tải thuần trở, thuần cảm và thuần điện dung.

b) Đường đặc tính ngoài

Đường đặc tính ngoài của máy biến áp biểu diễn quan hệ $U_2 = f(I_2)$, khi $U_1 = U_{đm}$ và $\cos\varphi_t$ = const(hình 1-13b).

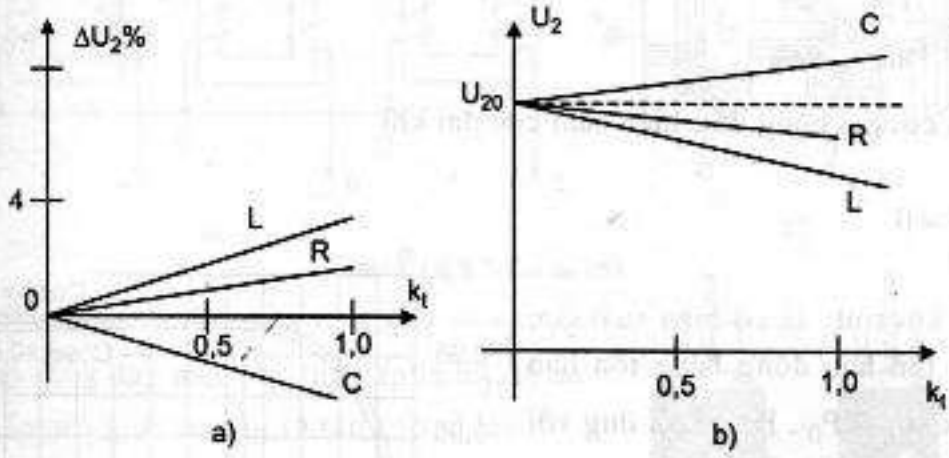
Điện áp thứ cấp U_2 là:

Dựa vào công thức (1.62) ta vẽ đường đặc tính ngoài.

Từ đồ thị ta thấy, khi tải dung, I_2 tăng thì U_2 tăng. Khi tải cảm hoặc trở, I_2 tăng thì U_2 giảm (tải cảm điện áp U_2 giảm nhiều hơn).

Điện áp là một thông số có ý nghĩa rất quan trọng, trong vận hành không được biến thiên quá phạm vi cho phép.

Để điều chỉnh U_2 đạt được giá trị mong muốn, ta thay đổi số vòng dây trong khoảng ±5% (thường thay đổi số vòng dây cuộn cao áp ở đó dòng điện nhỏ việc thay đổi số vòng dây thực hiện dễ hơn). Vì thế các dây quấn máy biến áp có chế tạo các đầu phân áp.



Hình 1-13. Đặc tính ngoài MBA

1.8.2. Tổn hao và hiệu suất máy biến áp

Khi máy biến áp làm việc có các tổn hao sau ;

Tổn hao trên điện trở dây quấn sơ cấp và thứ cấp gọi là tổn hao đồng ΔP_d.

Tổn hao đồng phụ thuộc vào dòng điện tải:

$$\Delta P_d = I^2_1 R_1 + I^2_2 R_2 = I^2_1 (R_1 + R'_2)$$

$$= I^2_1 R_n = k^2_t I^2_{1đm} R_n \qquad (1.63)$$

$$\Delta P_d = k^2_t P_n \qquad (1.64)$$

trong đó P_n là công suất đo được trong thí nghiệm ngắn mạch.

Tổn hao sắt từ ΔP_{st} trong lõi thép, do dòng điện xoáy và từ trễ gây ra. Tổn hao sắt từ không phụ thuộc tải mà phụ thuộc vào từ thông chính, nghĩa là phụ thuộc vào điện áp. Tổn hao sắt từ bằng công suất đo được khi thí nghiệm không tải.

$$\Delta P_{st} = P_0 \qquad (1.65)$$

Hiệu suất máy biến áp là

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P_{st} + \Delta P_d} = \frac{k_t S_{dm}\cos\varphi_t}{k_t S_{dm}\cos\varphi_t + P_0 + k_t^2 P_n} \qquad (1.66)$$

Trong đó P_2 là công suất tác dụng ở đầu ra (tải tiêu thụ)

$$P_2 = S_2\cos\varphi_t = k_t S_{dm}\cos\varphi_t$$

$$k_t = \frac{I_2}{I_{2dm}} = \frac{S_2}{S_{dm}}$$

Nếu $\cos\varphi_t$ không đổi, hiệu suất cực đại khi

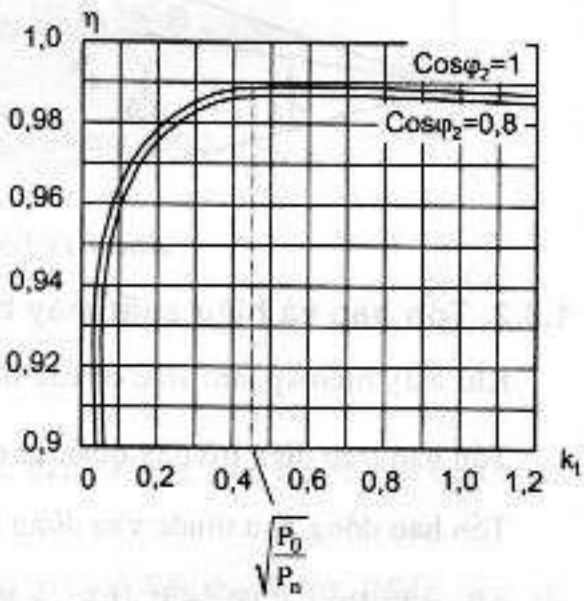
$$\frac{\partial\eta}{\partial k_t} = 0$$

Sau khi tính, ta có hiệu suất cực đại khi tổn hao đồng bằng tổn hao sắt từ: $k^2_t P_n = P_0$. Hệ số tải ứng với hiệu suất cực đại là:

$$k_t = \sqrt{\frac{P_0}{P_n}} \qquad (1.67)$$

Đối với máy biến áp công suất trung bình và lớn, hiệu suất cực đại khi hệ số tải $k_t = 0,5 \div 0,7$.

Đường đặc tính hiệu suất vẽ trên hình 1-14. Có nhận xét rằng trong

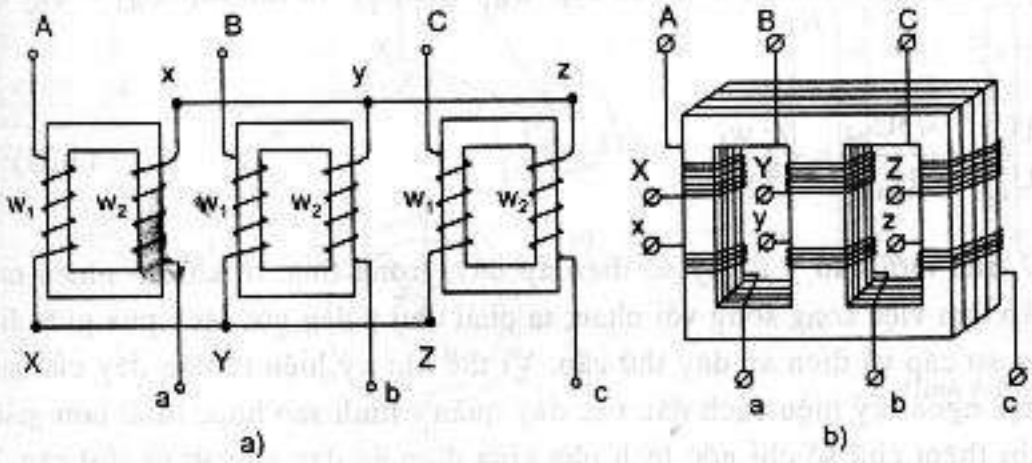


Hình 1-14. Đường đặc tính hiệu suất

phạm vi $0,4 < k_t < 1,2$ hiệu suất thay đổi không đáng kể.

1.9. MÁY BIẾN ÁP BA PHA

Để biến đổi điện áp của hệ thống dòng điện ba pha, ta có thể dùng 3 máy biến áp một pha (hình 1-15a) hoặc dùng máy biến áp ba pha (hình 1-15b). Về cấu tạo, lõi thép của máy biến áp ba pha gồm 3 trụ như hình 1-16. Dây quấn sơ cấp ký hiệu bằng các chữ in hoa: Pha A ký hiệu AX, pha B ký hiệu BY, pha C là CZ. Dây quấn thứ cấp ký hiệu bằng chữ thường: pha a là ax, pha b là by, pha c là cz. Dây quấn sơ cấp và thứ cấp có thể nối hai hình sao hoặc hình tam giác. Nếu sơ cấp nối hình tam giác, thứ cấp nối hình sao có dây trung tính ta ký kiệu là Y/Y_N.

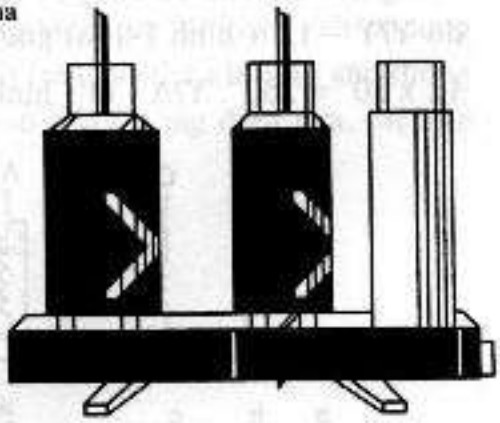


Hình 1-15. MBA ba pha

Gọi số vòng dây pha một pha sơ cấp là w_1, số vòng dây một pha thứ cấp là w_2, tỷ số điện áp pha giữa sơ cấp và thứ cấp sẽ là:

$$\frac{U_{p1}}{U_{p2}} = \frac{w_1}{w_2} \qquad (1.68)$$

Tỷ số điện áp dây không những chỉ phụ thuộc vào tỷ số vòng dây mà còn phụ thuộc vào cách nối hình sao hay tam giác.



Hình 1-16. Lõi thép MBA ba pha

Khi nối Δ/Y (hình 1-17c), sơ cấp nối tam giác $U_{d1} = U_{p1}$ còn thứ cấp nối hình sao $U_{d2} = \sqrt{3}U_{p2}$. Vậy tỷ số điện áp dây là:

$$\frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{U_{p1}}{\sqrt{3}U_{p2}} = \frac{w_1}{\sqrt{3}w_2} \qquad (1.69)$$

Khi nối Δ/Δ (hình 1-17b), sơ cấp $U_{d1} = U_{p1}$ và thứ cấp $U_{d2} = U_{p2}$ cho nên:

$$\frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{U_{p1}}{U_{p2}} = \frac{w_1}{w_2} \qquad (1.70)$$

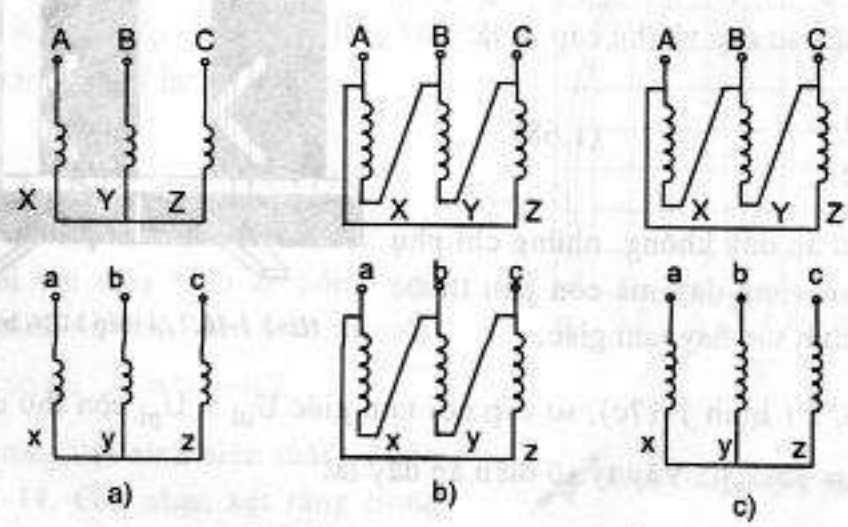
Khi nối Y/Y (hình 1-17a)

$$\frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{\sqrt{3}U_{p1}}{\sqrt{3}U_{p2}} = \frac{w_1}{w_2}$$

Khi nối Y/Δ (hình 1-18a), sơ cấp $U_{d1} = \sqrt{3}U_{p1}$ và thứ cấp $U_{d2} = U_{p2}$ cho nên:

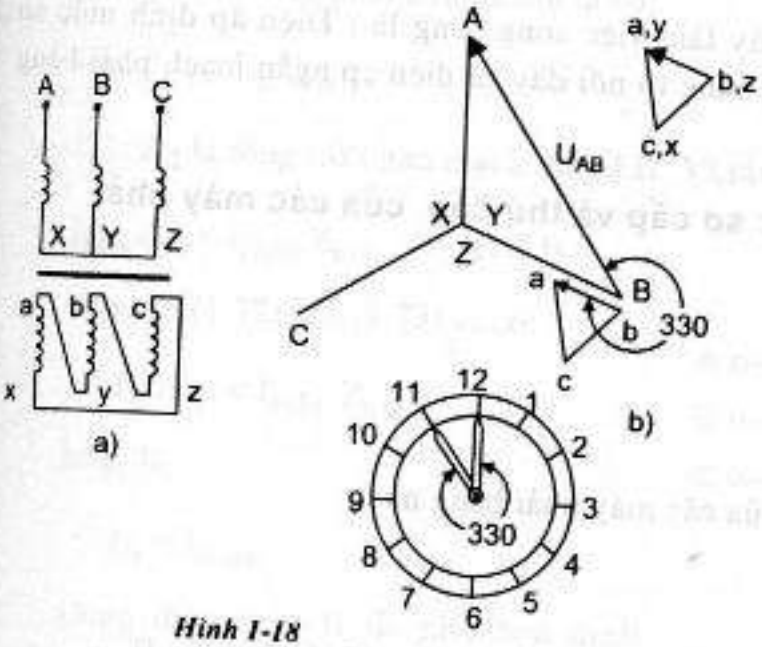
$$\frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{\sqrt{3}U_{p1}}{U_{p2}} = \sqrt{3}\frac{w_1}{w_2} \qquad (1.71)$$

Ở trên mới chú ý tới tỷ số điện áp dây, trong thực tế khi có nhiều máy biến áp làm việc song song với nhau, ta phải chú ý đến góc lệch pha giữa điện áp dây sơ cấp và điện áp dây thứ cấp. Vì thế khi ký hiệu tổ đấu dây của máy biến áp, ngoài ký hiệu cách đấu các dây quấn (hình sao hoặc hình tam giác), còn ghi thêm chữ số chỉ góc lệch pha giữa điện áp dây sơ cấp và thứ cấp. Ví dụ Y/Y – 12 (hình 1-17a) góc lệch pha giữa điện áp dây sơ cấp và thứ cấp là $12 \times 30^0 = 360^0$. Y/Δ - 11 (hình 1.18b) thì góc lệch pha là $11 \times 30^0 = 330^0$.

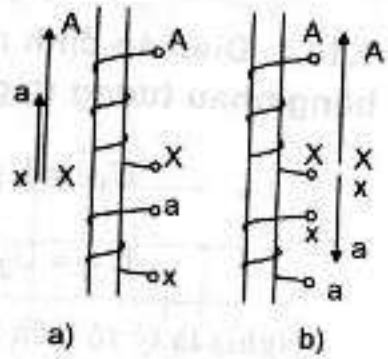


Hình 1.17. Sơ đồ đấu dây máy biến áp

Khi vẽ đồ thị véctơ để xác định góc lệch pha, cần chú ý pha của điện áp pha các dây quấn trên cùng một trụ. Phụ thuộc vào chiều quấn dây, và ký hiệu đầu dây, chúng có thể trùng pha nhau (hình 1-19a) hoặc ngược pha nhau (hình 1-19b). Căn cứ vào cách đấu dây (sao hoặc tam giác), vẽ điện áp dây sơ cấp U_{AB} và thứ cấp U_{ab} . Từ đó xác định góc lệch pha giữa điện áp dây sơ cấp U_{AB} và thứ cấp U_{ab}. Trên hình 1.18 góc lệch pha là 330^0, tổ đấu dây là $\frac{330^0}{30^0} = 11$, vậy máy (hình 1-18) ký hiệu là Y/Δ -11.



Hình 1-18



Hình 1-19

Đối với máy biến áp ba pha đối xứng khi nghiên cứu chỉ cần viết phương trình sơ đồ thay thế, đồ thị véctơ cho một pha ở trên. Vì thế khi tính các thông số thay thế cho sơ đồ thay thế cần tính thông số pha (dòng điện pha, điện áp pha, tổng trở pha, công suất một pha vv.....).

Ví dụ: Tính điện trở R_n trong sơ đồ thay thế:

$$R_n = R_1 + R'_2 = \frac{P_{np}}{I_{1p}^2}$$

Trong đó: P_{np} là tổn hao ngắn mạch một pha. P_n là tổn hao ngắn mạch ba pha.

$$P_{np} = \frac{P_n}{3}$$

$I_{1p} = I_{1dm}$ (nếu nối Y)

hoặc $I_{1p} = \frac{I_{1dm}}{\sqrt{3}}$ (nếu nối tam giác).

1.10. SỰ LÀM VIỆC SONG SONG CỦA MÁY BIẾN ÁP

Trong hệ thống điện, trong các lưới điện, các máy biến áp thường làm việc song song với nhau. Nhờ làm việc song song, công suất lưới điện lớn rất nhiều so với công suất mỗi máy, cho phép nâng cao hiệu quả kinh tế của hệ thống và an toàn cung cấp điện khi một máy hỏng hóc hoặc phải sửa chữa.

Điều kiện để cho các máy làm việc song song là : Điện áp định mức sơ cấp, thứ cấp phải bằng nhau, cùng tổ nối dây và điện áp ngắn mạch phải bằng nhau.

1.10.1. Điện áp định mức sơ cấp và thứ cấp của các máy phải bằng nhau tương ứng

$$U_{1I} = U_{1II}$$

$$U_{2I} = U_{2II}$$

Nghĩa là tỷ số biến áp của các máy phải bằng nhau:

$$k_I = k_{II}$$

Trong đó k_I là hệ số biến áp máy I ; k_{II} là hệ số biến áp máy II.

Trong thực tế, cho phép hệ số biến áp k của các máy khác nhau không quá 0,5 %.

1.10.2. Các máy phải có cùng tổ nối dây

Ví dụ không cho phép hai máy có tổ nối dây Y/Δ -11 và Y/Y – 12 làm việc song song với nhau vì điện áp thứ cấp của 2 máy này không trùng pha nhau.

Điều kiện 1 và 2 đảm bảo cho không có dòng điện cân bằng lớn chạy quẩn trong các máy do sự chênh lệch điện áp thứ cấp của chúng.

1.10.3. Điện áp ngắn mạch của các máy phải bằng nhau

$$U_{nI}\% = U_{nII}\% = ...$$

Trong đó $U_{nI}\%$ điện áp ngắn mạch phần trăm của máy I

U_{nI}% điện áp ngắn mạch phần trăm của máy II

Cần đảm bảo điều kiện này, để tải phân bố trên các máy tỷ lệ với công suất định mức của chúng.

Nếu không đảm bảo điều kiện thứ 3, ví dụ $U_{nI}\% < U_{nII}\%$ thì khi máy I nhận tải định mức, máy II còn non tải. Thật vậy, ở trường hợp này, dòng điện máy I đạt định mức I_{Idm}, điện áp rơi trong máy I là $I_{Idm}Z_{nI}$, dòng điện máy II là I_{II} điện áp rơi trong máy II là $I_{II}\,Z_{nII}$. Vì hai máy làm việc song song, điện áp rơi trong hai máy phải bằng nhau ta có:

$$I_{Idm}\,Z_{nI} = I_{II}\,Z_{nII} \qquad (1.72)$$

Z_{nI}, Z_{II} là tổng trở ngắn mạch máy I,II. Vì rằng $U_{nI}\% < U_{nII}\%$ do đó:

$$I_{Idm}\,Z_{nI} < I_{IIdm}\,Z_{nII} \qquad (1.73)$$

So sánh (1.72) với (1.73) ta có:

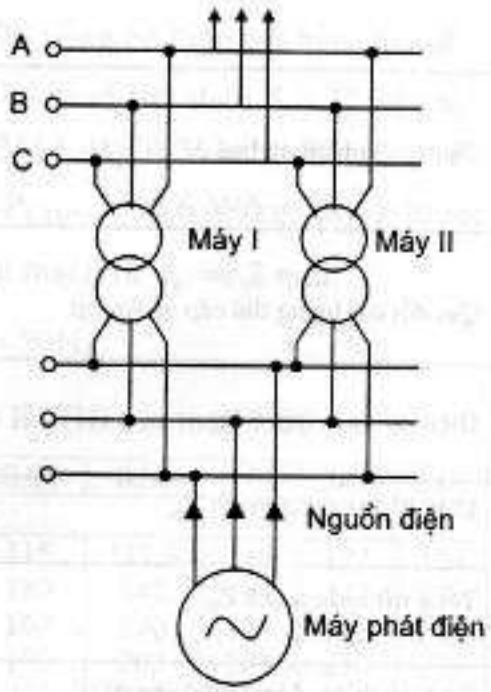
$$I_{II}\,Z_{nII} < I_{IIdm}\,Z_{nII}$$

hoặc là:

$$I_{II} < I_{IIdm}.$$

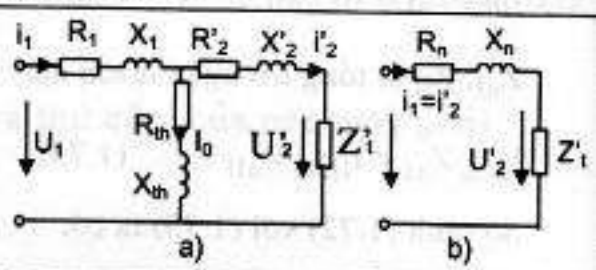
Dòng điện máy II do nhỏ hơn định mức, vậy máy II đang non tải, trong khi máy I đã định mức. Nếu máy II tải định mức, thì máy I sẽ quá tải. Trong thực tế, cho phép điện áp ngắn mạch của các máy sai khác nhau 10%.

Hình 1-20 vẽ hai máy biến áp ba pha làm việc song song.



Hình 1-20. MBA làm việc song song

BẢNG TÓM TẮT CHƯƠNG 1

Đại lượng	Biểu thức
Công suất định mức máy biến áp một pha S_{dm}	$S_{dm}=U_{1dm}I_{1dm}=U_{2dm}I_{2dm}$
Công suất định mức máy biến áp 3 pha S_{dm}	$S_{dm}=\sqrt{3}U_{1dm}I_{1dm}=\sqrt{3}U_{2dm}I_{2dm}$
Sức điện động dây quấn sơ cấp E_1	$E_1 = 4,44fw_1\Phi_{max}$
Sức điện động dây quấn thứ cấp E_2	$E_2 = 4,44fw_2\Phi_{max}$
Hệ số biến áp k	$k = \frac{w_1}{w_2}$
Phương trình điện áp sơ cấp	$U_1 = R_1i_1 + jX_1i_1 - E_1$
Phương trình điện áp thứ cấp	$U_2 = -R_2i_2 - jX_2i_2 - E_2$
Phương trình sức từ động	$i_1 = i_0 + i'_2$
Sơ đồ thay thế a) Chính xác b) Gần đúng	
Thông số nhánh từ hoá	$R_{th} \approx R_0 = \frac{P_{op}}{I_0^2}; z_{th} = z_0 = \frac{U_{op}}{I_o}$ $X_{th} = X_0 = \sqrt{z_0^2 - R_0^2}$
Qui đổi đại lượng thứ cấp về sơ cấp	$I'_2 = \frac{I_2}{k}; U'_2 = kU_2; E'_2 = kE_2$ $R'_2 = k^2R_2;\ X'_2 = k^2X_2;\ R'_t = k^2R_t;\ X'_t = k^2X_t$
Điện trở ngắn mạch R_n	$R_n = R_1 + R'_2 \approx 2R_1 = \frac{P_{np}}{I^2_{1pdm}}$
Điện kháng ngắn mạch X_n	$X_n = X_1 + X'_2 \approx 2X_1 = \sqrt{Z_n^2 - R_n^2}$
Tổng trở ngắn mạch Z_n	$Z_n = \frac{U_n\%U_{1pdm}}{I_{1pdm}} = \sqrt{R_n^2 - X_n^2}$
Độ biến thiên điện áp thứ cấp ΔU_2	$\Delta U_2 = k_t(U_{nR}\%\cos\varphi_t + U_{nX}\%\sin\varphi_t)$
Tổn hao đồng ΔP_d	$\Delta P_d = k_t^2P_n$
Tổn hao sắt từ ΔP_{st}	$\Delta P_{st} = P_0 = P_{1,0/50}B^2\left(\frac{f}{50}\right)^{1,3}G$
Hiệu suất η	$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{k_tS_{dm}\cos\varphi_t}{k_tS_{dm}\cos\varphi_t + P_0 + k_t^2P_n}$
Hệ số tải k_t	$k_t = \frac{I_2}{I_{2dm}} = \frac{I_1}{I_{1dm}}$

CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Cấu tạo và nguyên lý làm việc của máy biến áp.
2. Mô hình toán của máy biến áp.
3. Qui đổi và sơ đồ thay thế máy biến áp.
4. Thí nghiệm không tải và thí nghiệm ngắn mạch.
5. Cách xác định thông số máy biến áp bằng số liệu thí nghiệm.
6. Độ biến thiên điện áp thứ cấp và đường đặc tính ngoài của máy biến áp.
7. Tổn hao và hiệu suất của máy biến áp.

MỘT SỐ BÀI GIẢI MẪU VẬN DỤNG KIẾN THỨC ĐÃ HỌC

Bài số 1.1

Một cuộn dây lõi thép dây quấn có w = 296 vòng có điện trở bản thân R = 0,5Ω. Lõi thép có chiều dài trung bình L_{tb} = 0,4 m và tiết diện S = 32,26 cm^2. Lõi được chế tạo bằng lá thép kỹ thuật điện 3413 dày 0,35 mm (Bảng 1). Hệ số điền kín lõi thép 0,93, xuất tổn hao riêng $P_{1,0/50}$ = 0,6 W/kg, trọng lượng riêng 7650 kg/m^3. Tổng khe hở không khí toàn mạch từ l_k =0,2 mm.

Cuộn dây được đặt vào nguồn U=220V, f= 50Hz.

Bảng 1: Đường cong từ hoá chủ yếu B=f(H) của thép 3413

B (T)	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
	H, A/m									
0,7	103	105	108	110	112,5	115	117,5	119	122	124
0,8	126	129	132	134	136	139	142	145	147	150
0,9	152	155	158	161	164	167	170	173	176	179
1,0	182	185	188	191,5	195	199	203	207	210	213
1,1	216	219	222	225	228	231	234	237	240	243
1,2	246	249	252	255	258	261	264	267	270	273
1,3	276	279	284	287	291	295	299	304	310	313
1,4	318,5	324	329	336	342	348,5	355	363	371	380
1,5	390	400	412	425	438	451	464	478	492	506
1,6	520	536	550	580	596	610	640	670	700	740
1,7	793	820	880	930	990	1060	1130	1210	1300	1400
1,8	1500	1610	1760	1920	2100	2320	2580	2820	3110	3440
1,9	3800									

Tính:

a) Tổn hao sắt từ trong lõi thép.

b) Dòng điện trong cuộn dây.

c) Công suất tác dụng và phản kháng cuộn dây tiêu thụ .

d) Hệ số công suất cuộn dây.

e) Công suất và dòng điện thay đổi thế nào nếu tần số f = 60 Hz.

Bài giải:

Nếu bỏ qua điện áp rơi trên điện trở R và điện kháng tản, coi gần đúng

$U \approx E = 4{,}44fw\Phi_{max} = 220V$.

Từ thông cực đại $\Phi_{max} = \dfrac{220}{4{,}44.50.296} = 0{,}335.10^{-2}\,Wb$ (1)

Tiết diện hữu ích lõi thép

$S_t = 0{,}93.\ S = 0{,}93.32{,}26 = 30cm^2$

Từ cảm cực đại trong lõi thép

$$B_{tm} = \frac{\Phi_{max}}{S_t} = \frac{0{,}355.10^{-2}}{30.10^{-4}} = 1.11T \qquad (2)$$

Thể tích lõi thép : $V_t = S_t.l_{tb} = 30.10^{-4}.0{,}4 = 12.10^{-4}\ m^3$

Trọng lượng lõi thép: $G_t = 7650\ .\ 12.\ 10^{-4} = 9{,}18\ kg$

Tổn hao sắt từ trong lõi thép

$$\Delta P_{st} = P_{1.0/50}B_{tm}^2\left(\frac{f}{50}\right)^{1,3} G_t = 0{,}6.1{,}11^2\left(\frac{50}{50}\right)^{1,3}.9{,}18 = 6{,}8\,W$$

b) Dòng điện I trong cuộn dây có thể phân thành 2 thành phần: thành phần tác dụng I_{td} trùng pha với điện áp U và thành phần phản kháng I_{pK} (còn gọi là thành phần từ hoá) chậm pha so với điện áp góc $\pi/2$ (h.6-1). Bỏ qua phần tổn hao công suất trên điện trở R (nhỏ so với tổn hao sắt từ P_{st}) ta có $P \approx \Delta P_{st}$.

$$I_{td} = \frac{P}{U} = \frac{\Delta P_{st}}{U} = \frac{6{,}8}{220} = 0{,}031\ A$$

Giải mạch từ để tính dòng điện từ hoá I_{pk}. Từ B_{tm} =1,11T, tra đường từ hoá thép 3413 (phụ lục 1) được cường độ từ trường H_{tm} = 219 A/m.

Từ cảm cực đại trong khe hở không khí

$$B_{km} = \frac{\Phi_{max}}{S} = \frac{3,55.10^{-2}}{32,26.10^{-4}} = 1,038\ T$$

Cường độ từ trường trong khe hở không khí

$$H_{km} = \frac{B_{km}}{4\pi.10^{-7}} = 8,26.10^5 \frac{A}{m}$$

Áp dụng định luật dòng điện toàn phần

$$H_{tm}l_{tb} + H_{km}l_k = I_{pkm}w$$

Từ đó rút ra:

$$I_{pkm} = \frac{H_{tm}l_{tb} + H_{km}l_k}{w} = \frac{219.0,4 + 8,26.10^5.0,2.10^{-2}}{296}$$

$$I_{pkm} = 0,85A \quad ; \quad I = \frac{I_{pkm}}{\sqrt{2}} = 0,6A$$

Dòng điện I trong cuộn dây

$$I = \sqrt{I_{td}^2 + I_{pk}^2} = \sqrt{0,031^2 + 0,6^2} \approx 0,6A$$

So sánh I và I_{pk} có nhận xét rằng có thể coi gần đúng dòng điện trong cuộn dây lõi thép là dòng điện từ hoá.

Công suất cuộn dây tiêu thụ

$$P = \Delta P_d + \Delta P_{st} = 0,5.0,6^2 + 6,8 = 6,98\ W$$

Trong đó $\Delta P_d = RI^2 = 0,5.\ 0.6^2 = 0,18$ W là tổn hao trên điện trở cuộn dây.

Công suất phản kháng cuộn dây tiêu thụ:

$$Q = \sin\varphi = UI_{pk} = 220\ .\ 0,6 = 132\ VAr$$

c) Hệ số công suất cuộn dây

$$\cos\varphi = \frac{P}{UI} = \frac{6,98}{220.0,6} = 0,053$$

d) Từ (1) và (2) rút ra khi f = 60 Hz thì Φ_{max} giảm, B_{tm} giảm, ΔP_{st} giảm do đó I_{td}, I_{pk} giảm nghĩa là công suất và dòng điện giảm so với lúc f= 50Hz

Bài số 1.2

Hãy xác định các thông số trong sơ đồ thay thế cuộn dây ở bài 1.1. Vẽ sơ đồ thay thế và đồ thị véctơ.

Bài giải:

Đối với dòng điện một chiều (dòng điện không đổi) ở chế độ xác lập cuộn dây có sơ đồ thay thế là điện trở R, đặc trưng cho tổn hao đồng trong cuộn dây. Khi đặt điện áp xoay chiều, ngoài tổn hao đồng còn có tổn hao sắt từ trong lõi thép và công suất phản kháng tạo từ trường cho cuộn dây.

Tổng trở cuộn dây $Z = \frac{U}{I} = \frac{220}{0,6} = 366,7\Omega$

Điện trở cuộn dây lõi thép đối với dòng điện xoay chiều:

$$R = \frac{P}{I^2} = \frac{\Delta P_d + \Delta P_{st}}{0,6^2} = \frac{0,18}{0,6^2} + \frac{6,8}{0,6^2} = 19,3\Omega$$

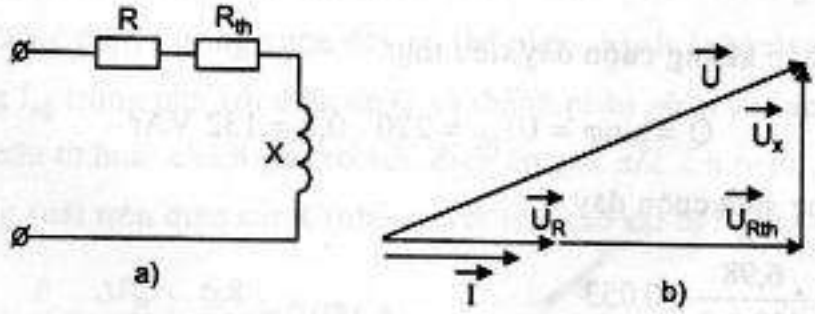
Trong đó $R = \frac{0,18}{0,6^2} = 0,5\Omega$ là điện trở đặc trưng cho tổn hao đồng trong dây quấn; $R_{th} = \frac{6,8}{0,6^2} = 18,89\Omega$ là điện trở đặc trưng cho tổn hao sắt từ trong lõi thép.

Điện kháng X của cuộn dây lõi thép

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{366,7^2 - 19,39^2} = 366,2\Omega$$

X còn được gọi là điện kháng từ hoá X_{th}

Mạch điện thay thế và đồ thị cuộn dây lõi thép vẽ trên hình 1-21a,b.



Hình 1-21

Bài số 1.3

Máy biến áp một pha mạch từ lõi thép có kích thước và vật liệu như trong bài 1.2. Cuộn cao áp có w_{ca} = 296 vòng, điện áp định mức cuộn cao áp U_{ca}=220V, điện áp định mức cuộn hạ áp U_{ha}=110V.

a) Tính số vòng dây cuộn hạ áp.

b) Tính dòng điện không tải khi đặt điện áp định mức vào cuộn cao áp, cuộn hạ áp hở mạch.

c) Tính dòng điện không tải khi đặt điện áp định mức vào phía hạ áp U_{hadm}, cuộn cao áp hở mạch.

d) Tính công suất biểu kiến lúc không tải trong 2 trường hợp trên.

Bài giải

Số vòng dây cuộn hạ áp

$$w_{ha} = w_{ca}\frac{U_{ha}}{U_{ca}} = 296\cdot\frac{110}{220} = 148 \text{ vòng}$$

b) Khi đặt điện áp định mức vào cuộn cao áp, cuộn hạ áp hở mạch, tình trạng điện từ của máy biến áp giống như đã giải ở cuộn dây lõi thép bài 1.2. Ta có thể lấy các kết quả đó. Như đã tính ở bài 1.2, từ thông $\Phi_{max} = \frac{220}{4{,}44.50.296} = 0{,}335.10^{-2}$Wb và dòng điện không tải của máy là I_{0ca} = 0,6A.

c) Khi đóng điện áp định mức vào phía hạ áp, dây cuốn phía cao áp hở mạch. Từ thông trong lõi thép sẽ là:

$$\Phi_{max} = \frac{110}{4{,}44.50.148} = 0{,}355.10^{-2}\text{Wb}$$

Từ thông trong cả hai trường hợp b,c bằng nhau, tổn hao sắt từ sẽ không đổi và bằng ΔP_{st} =6,8 W và sức từ động của hai trường hợp phải bằng nhau, do đó ta có:

$$I_{oca}W_{ca} = I_{oha}W_{ha}$$

$$I_{oha} = I_{oca}\frac{W_{ca}}{W_{ha}} = 0{,}6\frac{296}{148} = 1{,}2\text{A}$$

Công suất biểu kiến không tải

Trường hợp đóng điện vào dây quấn cao áp

$S_0 = I_{oca}U_{ca} = 0,6.\ 220 = 132$ VA

Trường hợp đóng điện vào phía hạ áp

$S_0 = I_{oha}U_{ha} = 1,2\ .\ 119 = 132$ VA

Công suất biểu kiến không tải trong hai trường hợp bằng nhau.

Bài số 1.4

Thông số của máy biến áp một pha: $S_{dm} = 25$ kVA; $U_{1dm} = 380$ V; $U_{2dm} = 127$ V, điện áp ngắn mạch phần trăm $u_n\% = 4\ \%$

Tính dòng điện định mức.

Tính dòng điện ngắn mạch khi đặt điện áp định mức và 70% định mức vào cuộn cao áp, cuộn hạ áp ngắn mạch.

Tính dòng điện ngắn mạch khi đặt điện áp định mức vào cuộn hạ áp, cuộn cao áp ngắn mạch.

Bài giải

Dòng điện định mức trong hai dây quấn

$$I_{1dm} = \frac{S_{dm}}{U_{1dm}} = \frac{25.10^3}{380} = 65,79A$$

$$I_{2dm} = \frac{S_{dm}}{U_{2dm}} = \frac{25.10^3}{127} = 196,85A$$

Khi đặt điện áp định mức 380 V vào cuộn cao áp, cuộn hạ áp ngắn mạch.

Gọi U_{1n} là điện áp ngắn mạch khi thí nghiệm với dòng điện định mức. Dòng điện ngắn mạch ở cuộn sơ cấp khi đặt điện áp định mức vào cuộn sơ cấp là:

$$I_{1n} = I_{1dm}\frac{U_{1dm}}{U_{1n}} = \frac{I_{1dm}}{\frac{U_{1n}}{U_{1dm}}} = \frac{I_{1dm}}{u_n}$$

trong đó $u_n = \frac{U_{1n}}{U_{1dm}}$ là điện áp ngắn mạch tương đối.

Dòng điện ngắn mạch trong cuộn thứ cấp

$$I_{2n} = \frac{w_1}{w_2} I_{1n} = \frac{w_1}{w_2} \frac{I_{1dm}}{u_n} = \frac{I_{2dm}}{u_n}$$

Tổng quát ta có:

$$I_n = \frac{I_{dm}}{u_n} \qquad (1)$$

Thay số vào ta có:

Khi đặt điện áp định mức

$$I_{1n} = \frac{I_{1dm}}{u_n} = \frac{65,79}{0,04} = 1644,75A$$

$$I_{2n} = \frac{I_{2dm}}{u_n} = \frac{196,85}{0,04} = 4927A$$

Khi đặt điện áp 70% định mức

$$I_{1n} = 1644,75.\frac{70}{100} = 1151,32A$$

$$I_{2n} = 4927.\frac{70}{100} = 3448,9A$$

Khi đặt điện áp định mức 127 V vào cuộn hạ áp, cuộn cao áp ngắn mạch.

Áp dụng công thức tổng quát (1) ta được kết quả như trên nghĩa là dòng điện ngắn mạch trong mỗi dây quấn vẫn không đổi dù ngắn mạch ở phía nào.

Từ công thức (1): $I_n = \frac{I_{dm}}{u_n}$ cho thấy rằng, máy biến áp có u_n nhỏ, dòng điện ngắn mạch lớn. Với u_n = 0,04 dòng điện ngắn mạch lớn hơn dòng điện định mức 25 lần.

Bài số 1.5

Máy biến áp một pha S_{dm} =2500 VA; U_{1dm} =220 V; U_{2dm} =127 V. Thí nghiệm không tải: U_{10} =220 V; I_{10} =1,4 A; P_{10} =30 W. Thí nghiệm ngắn mạch: $I_{1n} = I_{1dm}$ =11,35 A; U_{1n} =8,8 V; P_{1n} =80 W.

a) Tính các thông số sơ đồ thay thế.

b) Khi tải R, L có cos φ_t = 0,8. Xác định hiệu suất và điện áp thứ cấp khi hệ số tải k_I =1; 0,5.

Bài giải:

Điện trở nhánh từ hoá

$$R_{th} = \frac{P_{10}}{I_{10}^2} = \frac{30}{1,4^2} = 15,3\Omega$$

Tổng trở nhánh từ hoá

$$Z_{th} = \frac{U_{10}}{I_{10}} = \frac{220}{1,4} = 157\Omega$$

Điện kháng nhánh từ hoá

$$X_{th} = \sqrt{Z_{th}^2 - R_{th}^2} = \sqrt{157^2 - 15,3^2} = 156,25\Omega$$

Điện trở ngắn mạch

$$R_n = R_1 + R'_2 = \frac{P_{1n}}{I_{1n}^2} = \frac{80}{(11,35)^2} = 0,621\Omega$$

Tổng trở ngắn mạch

$$Z_n = \frac{U_{1n}}{I_{1n}} = \frac{8,8}{11,35} = 0,775\Omega$$

Điện kháng ngắn mạch

$$X_n = \sqrt{Z_n^2 - R_n^2} = \sqrt{0,775^2 - 0,621^2} = 0,46\Omega$$

Coi $R_1 \approx R'_2$; $X_1 \approx X'_2$

$$R_1 = R'_2 = \frac{R_n}{2} = 0,31\Omega$$

$$X_n = X'_2 = \frac{X_n}{2} = 0,23\Omega$$

Hệ số biến áp $k = \frac{w_1}{w_2} \approx \frac{U_{1dm}}{U_{2dm}} = \frac{220}{127} = 1,73$

Thông số dây quấn thứ cấp chưa qui đổi

$$R_2 = \frac{R'_2}{k^2} = \frac{0,31}{1,73^2} = 0,1\Omega$$

$$X_2 = \frac{X'_2}{k^2} = \frac{0,23}{1,73^2} = 0,077\Omega$$

b) Hiệu suất máy biến áp khi định mức

$$\eta = \frac{S_{dm}\cos\varphi_t}{S_{dm}\cos\varphi_t + P_0 + P_n} = \frac{2500.0,8}{2500.0,8 + 30 + 80} = 0,948$$

Khi hệ số tải $k_t = 0,5$

$$\eta = \frac{k_t S_{dm}\cos\varphi_t}{k_t S_{dm}\cos\varphi_t + P_0 + k_t^2 P_n} = \frac{2500.0,8}{0,5.2500.0,8 + 30 + 0,5^2.80} = 0,952$$

$$U_n\% = \frac{8,8}{220}100\% = 4\%$$

Độ biến thiên điện áp thứ cấp phần trăm

$\Delta U_2\% = k_t\,(U_{nR}\%\cos\varphi_t + U_{nX}\%\sin\varphi_t)$

Trong đó

$U_{nR}\% = U_n\%\cos\varphi_n = 4\%\,.0,8 = 3,2\%$

$U_{nX}\% = U_{nX}\%\sin\varphi_n = 4\%\,.0,6 = 2,4\%$

$$\cos\varphi_n = \frac{P_{1n}}{U_{1n}I_{1n}} = \frac{80}{8,8.11,35} = 0,8$$

$$\sin\varphi_n = \sqrt{1 - \cos^2\varphi_n} = 0,6$$

Thay số

Khi $k_t = 1$; $\cos\varphi_t = 0,8$, $\sin\varphi_t = 0,6$

$\Delta U_2\% = 1(3,2\%.\ 0,8 + 2,4\%\ .\ 0,6) = 4\%$

$$\Delta U_2 = 4\%U_{2dm} = \frac{4}{100}\cdot 127 = 5,1V$$

$U_2 = U_{2dm} - \Delta U_2 = 127 - 5,1 = 121,9V$

Khi $k_t = 0,5$; $\cos\varphi_t = 0,8$

$\Delta U_2\% = 0,5\,(3,2\%.\ 0,8 + 2,4\%\ .\ 0,6) = 2\%$

$$\Delta U_2 = 2\% U_{2dm} = \frac{2}{100} \cdot 127 = 2,55V$$

$$U_2 = U_{2dm} - \Delta U_2 = 127 - 2,55 = 124,45V$$

BÀI TẬP HỌC SINH TỰ LÀM

Bài số 1.6

Một máy biến áp một pha S_{dm} = 150KVA; U_{1dm} =2400V; U_{2dm} = 240 V; $R_1 = 0,2\Omega$; $X_1 = 0,45\Omega$; $R_2 = 2m\Omega$; $X_2 = 4,5m\Omega$.

1. Tính R_n, X_n, I_{1dm}, I_{2dm}

2. Tính P_n, P_o, biết rằng khi $\cos\varphi_t = 0,8$, hệ số tải $K_t = 1$, hiệu suất η 0,982.

Đáp số: $R_n = 0,4\Omega$; $X_n = 0,9\Omega$; I_{1dm} =62,5A

I_{2dm} = 625 A, P_n = 1562,5W; P_o = 637W

Bài số 1.7

Một máy biến áp một pha có $R_1 = 200\Omega$; $R_2 = 2\Omega$ điện cảm tản L_1 50mH; L_2 = 0,5mH; $\frac{W_1}{W_2} = 10$

Sơ cấp máy biến áp nối với máy phát, có tần số f= 5000Hz, điện trở trong $R_{tr} = 1600\Omega$; sức điện động E = 100V. Thứ cấp nối với tải có $R_{tải} = 16\Omega$.

Xác định công suất tải tiêu thụ.

Xác định điện áp trên tải

Đáp số: $P_{tải}$ = 0,7W; U_2 = 3,348V

Bài số 1.8

Một máy biến áp ba pha 11000/415V

Biết điện áp mỗi vòng dây 4V

Tính số vòng sơ cấp và thứ cấp trong các trường hợp

a) Nối Y/Y

b) Nối Δ/Y

Đáp số a) $W_1 = 1588$; $W_2 = 60$

b) $W_1 = 2750$; $W_2 = 60$

Bài số 1.9

Máy biến áp ba pha $S_{dm} = 160$ kVA; $U_{1dm} = 15$kV; $U_{2dm} = 400$V; $P_o = 460$W; $P_n = 2350$W; $U_n\% = 4\%$; Y/Y-12. Cho biết $R_1 \approx R'_2$; $X_1 \approx X'_2$

Tính I_{1dm}, R_n, X_n, R_1, R_2, X_1, X_2.

Tính η khi $k_t = 0,75$; $\cos\varphi_t = 0,8$

Tính $\Delta U_2\%$, U_2 khi $k_t = 1$, $\cos\varphi_t = 0,8$ ($\varphi_t > o$)

Đáp số: $I_{1dm} = 6,16$ A; $I_{2dm} = 230,95$ A; $R_n = 20,64\Omega$

$Z_n = 56,24\Omega$; $X_n = 52,31\Omega$; $R_1 = 10,32\Omega$; $X_1 = 26,15\Omega$

$R_2 = 7,34$ mΩ; $X_2 = 18,6$mΩ; $\eta = 0,98$; $\Delta U_2\% = 3,4$ %

$U_2 = 386,4$V

Chương 2

MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

2.1. KHÁI NIỆM CHUNG

Máy điện không đồng bộ là loại máy điện xoay chiều, làm việc theo nguyên lý cảm ứng điện từ, có tốc độ quay của rôto n (tốc độ của máy) khác với tốc độ quay của từ trường n_1.

Máy điện không đồng bộ có hai dây quấn stato (sơ cấp) nối với lưới điện tần số không đổi f, dây quấn rôto (thứ cấp) được nối tắt lại hoặc khép kín qua điện trở. Dòng điện trong dây quấn rôto được sinh ra nhờ sức điện động cảm ứng có tần số f_2 phụ thuộc vào tốc độ rôto nghĩa là phụ thuộc vào tải ở trên trục của máy. Cũng như các máy điện quay khác, máy điện không đồng bộ có tính thuận nghịch, nghĩa là có thể làm việc ở chế độ động cơ điện, cũng như chế độ máy phát điện.

Máy phát điện không đồng bộ có đặc tính làm việc không tốt lắm so với máy phát điện đồng bộ, nên ít được dùng.

Động cơ điện không đồng bộ so với các loại động cơ khác có cấu tạo và vận hành không phức tạp, giá thành rẻ, làm việc tin cậy nên được sử dụng nhiều trong sản xuất và sinh hoạt. Dưới đây ta chỉ xét động cơ điện không đồng bộ. Động cơ điện không đồng bộ có các loại: động cơ ba pha, hai pha và một pha.

Động cơ điện không đồng bộ có công suất lớn trên 600W thường là loại ba pha có ba dây quấn làm việc, trục các dây quấn lệch nhau trong không gian một góc 120^0 điện. Các động cơ công suất nhỏ dưới 600 W thường là động cơ hai pha hoặc một pha. Động cơ hai pha có 2 dây quấn làm việc, trục của 2 dây quấn đặt lệch nhau trong không gian một góc 90^0 điện. Động cơ điện một pha, chỉ có một dây quấn làm việc.

Các số liệu định mức của động cơ không đồng bộ là:

Công suất cơ có ích trên trục: P_{dm}

Điện áp dây stato: U_{1dm}

Dòng điện dây stato: I_{1dm}

Tần số dòng điện stato: f

Tốc độ quay rôto: n_{dm}

Hệ số công suất: $\cos\varphi_{dm}$

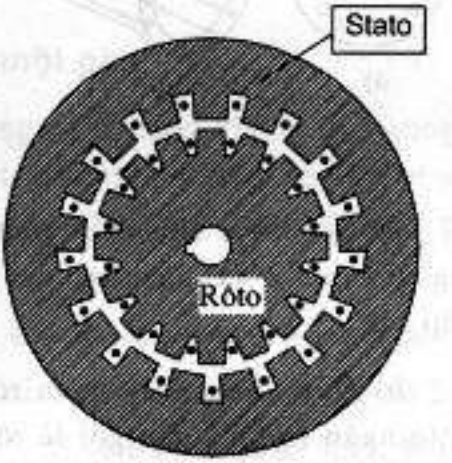
Hiệu suất: η_{dm}

2.2.CẤU TẠO CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ BA PHA

Cấu tạo của máy điện không đồng bộ gồm hai bộ phận chủ yếu là stato và rôto, ngoài ra còn có vỏ máy và nắp máy. Hình 2-1 vẽ mặt cắt ngang trục máy, cho ta thấy rõ các lá thép stato và rôto.

2.2.1. Stato

Stato là phần tĩnh gồm 2 bộ phận chính là lõi thép và dây quấn, ngoài ra có vỏ máy và nắp máy.

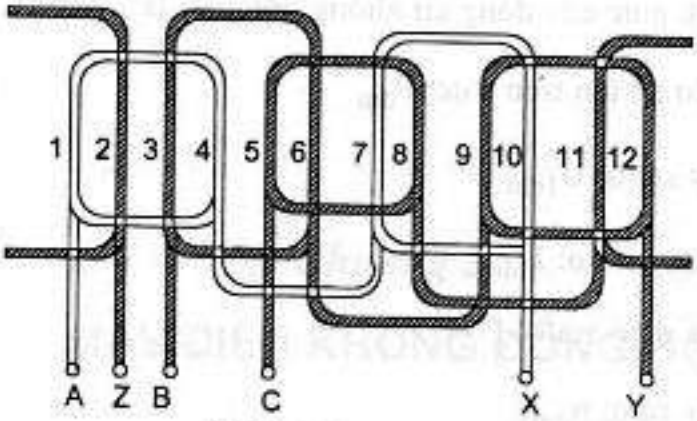


Hình 2-1

a) Lõi thép: Lõi thép stato hình trụ do các lá thép kỹ thuật điện được dập rãnh bên trong (hình 2-1) ghép lại với nhau tạo thành các rãnh theo hướng trục. Lõi thép được ép vào trong vỏ máy.

b) Dây quấn: Dây quấn stato làm bằng dây dẫn bọc cách điện (dây điện từ) được đặt trong các rãnh của lõi thép. Trên hình 2-2 vẽ sơ đồ khai triển dây quấn ba pha đặt trong 12 rãnh, dây quấn pha A trong các rãnh 1,4, 7, 10, pha B trong các rãnh 3,6,9, 12, pha C trong các rãnh 5, 8,11, 2.

Dòng điện xoay chiều ba pha chạy trong ba pha dây quấn stato sẽ tạo ra từ trường quay.

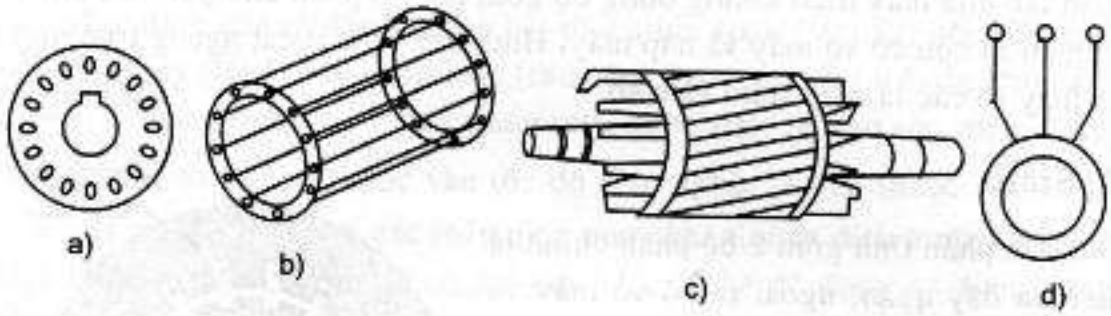


Hình 2-2. Dây quấn stato

c) Vỏ máy. Vỏ máy làm bằng nhôm hoặc bằng gang, dùng để giữ chặt lõi thép và cố định máy trên bệ. Hai đầu vỏ có nắp máy, ổ đỡ trục. Vỏ máy và nắp máy còn dùng để bảo vệ máy.

2.2.2 Rôto

Rôto là phần quay gồm lõi thép, dây quấn và trục máy.



Hình 2-3. Rôto

a) Lõi thép. Lõi thép gồm các lá thép kĩ thuật điện được dập rãnh mặt ngoài (hình 2-3a) ghép lại, tạo thành các rãnh theo hướng trục ở giữa có lỗ để lắp trục.

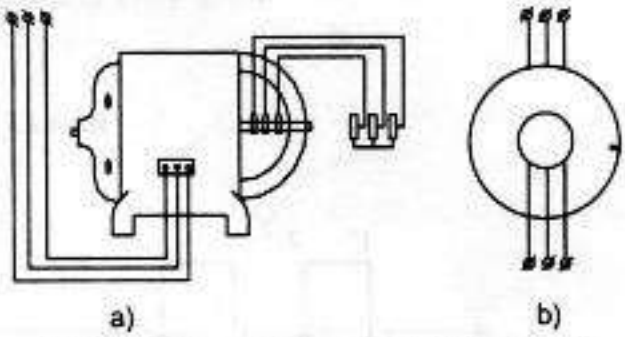
b) Dây quấn. Dây quấn rôto của máy điện không đồng bộ có hai kiểu: rôto ngắn mạch (còn gọi là rôto lồng sóc) và rôto dây quấn. Loại rôto lồng sóc công suất trên 100kW, trong các rãnh của lõi thép rôto đặt các thanh đồng hai đầu nối ngắn mạch bằng 2 vòng đồng tạo thành lồng sóc (hình 2-3b)

Ở động cơ công suất nhỏ lồng sóc được chế tạo bằng cách đúc nhôm vào các rãnh lõi thép rôto, tạo thành thanh nhôm, hai đầu đúc vòng ngắn mạch và cánh quạt làm mát (hình 2-3c). Động cơ điện có rôto lồng sóc gọi là động cơ không đồng bộ lồng sóc được ký hiệu như (hình 2-3d).

Loại rôto dây quấn, trong rãnh lõi thép rôto, đặt dây quấn ba pha. Dây quấn rôto thường nối sao, ba đầu ra nối với ba vòng tiếp xúc bằng đồng, cố định trên trục rôto và được cách điện với trục.

Nhờ ba chổi than tỳ sát vào ba vòng tiếp xúc, dây quấn rôto được nối với 3 vòng tiếp xúc, đồng thời nối với 3 biến trở bên ngoài, để mở máy hay điều chỉnh tốc độ (hình 2-4a). Loại động cơ này gọi là động cơ không đồng bộ dây quấn, trên các sơ đồ điện được ký hiệu như (hình 2-4b).

Động cơ lồng sóc là loại rất phổ biến do giá thành rẻ và làm việc đảm bảo. Động cơ roto dây quấn có ưu điểm về mở máy và điều chỉnh tốc độ song giá thành đắt và vận hành kém tin cậy hơn động cơ lồng sóc, nên chỉ được dùng khi động cơ lồng sóc không đáp ứng được các yêu cầu về truyền động.



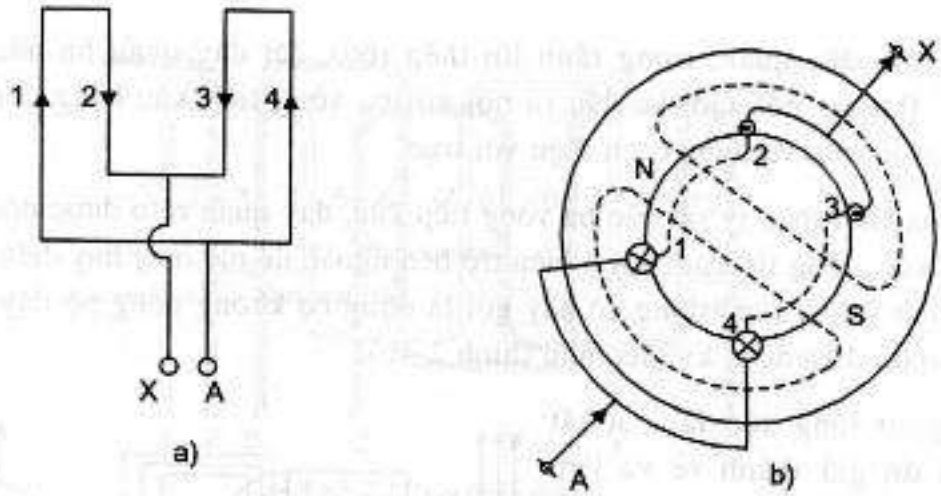
Hình 2-4. Động cơ không đồng bộ rôto dây quấn

2.3. TỪ TRƯỜNG CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

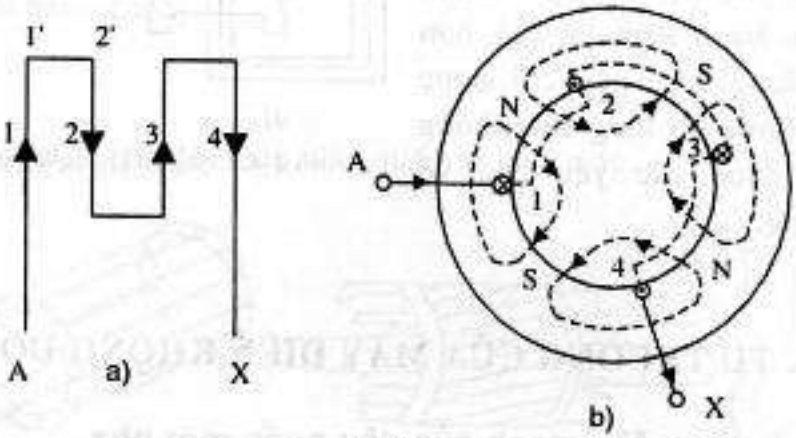
2.3.1. Từ trường đập mạch của dây quấn một pha

Từ trường của dây quấn một pha là từ trường có phương không đổi, song trị số và chiều biến đổi theo thời gian, được gọi là từ trường đập mạch. Gọi p là số đôi cực, ta có thể cấu tạo dây quấn để tạo ra từ trường một, hai hoặc p đôi cực.

Để đơn giản ta hãy xét dây quấn một pha đặt trong bốn rãnh của stato. Dòng điện trong dây quấn là dòng điện một pha $i = I_{max} \sin\omega t$ (hình 2-5 và 2-6). Trên hình vẽ, chiều dòng điện trong thanh 1 đi đến 1' được kí hiệu ⊗ ở rãnh 1 (hình 2-5b) trong thanh 2 đi từ 2' đến 2 được kí hiệu ⊙ ở rãnh 2. Cũng kí hiệu tương tự đối với các thanh còn lại. Căn cứ vào chiều dòng điện, vẽ được chiều từ trường theo quy tắc vặn nút chai. Dây quấn hình 2.5a tạo thành từ trường một đôi cực: p = 1(hình 2-5b). Dây quấn ở hình 2.6a tạo nên từ trường 2 đôi cực: p =2 (hình 2-6b).



Hình 2.5



Hình 2-6

2.3.2.Từ trường quay của dây quấn ba pha

Dòng điện xoáy chiều ba pha có ưu điểm lớn là tạo ra từ trường quay trong các máy điện.

a) Sự tạo thành từ trường quay

Trên hình 2-7a,b,c, vẽ mặt cắt ngang của máy điện ba pha đơn giản, trong đó dây quấn ba pha đối xứng ở stato AX, BY, CZ, đặt trong 6 rãnh. Trục của các dây quấn lệch nhau trong không gian một góc 120^0 điện.

Giả thiết trong ba dây quấn có dòng điện ba pha đối xứng chạy qua (hình 2-7).

$i_A = I_{max}\sin\omega t$

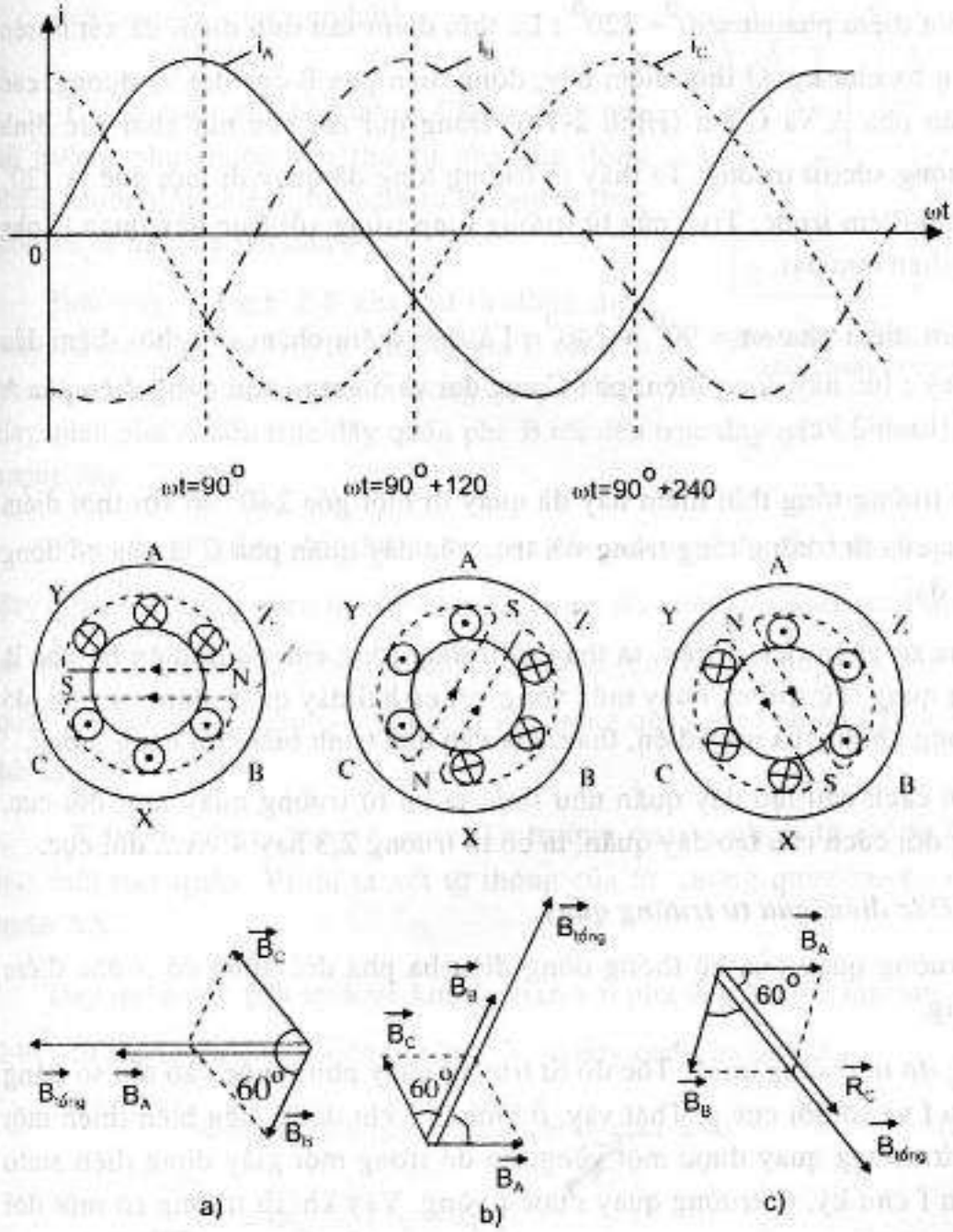
$i_B = I_{max}\sin(\omega t - 120^0)$

$i_C = I_{max}\sin(\omega t - 240^0)$

Để thấy rõ sự hình thành từ trường, khi vẽ từ trường ta quy ước chiều dòng điện như sau:

- Dòng điện pha nào dương có chiều từ đầu đến cuối pha, đầu được ký hiệu bằng vòng tròn có dấu nhân ở giữa ⊗, còn cuối ký hiệu bằng vòng tròn có dấu chấm ở giữa⊙. Dòng điện pha nào âm có chiều và ký hiệu ngược lại, đầu ký hiệu bằng ⊙ cuối ký hiệu bằng ⊗.

Bây giờ ta xét từ trường ở các thời điểm khác nhau:



Hình 2-7. Sự tạo thành từ trường quay

- Thời điểm pha $\omega t = 90^0$: ở thời điểm này, dòng điện pha A cực đại và dương (xem hình 2-7a), dòng điện pha B và C âm. Theo quy định trên, dòng điện pha A dương, nên đầu A ký hiệu là ⊗, cuối X ký hiệu là ⊙; dòng điện pha B và C âm nên đầu B và C kí hiệu là ⊙; cuối Y và Z ký hiệu ⊗.

Dùng quy tắc vặn nút chai xác định chiều đường sức từ trường do các dòng điện sinh ra (hình 2-7a); từ trường tổng có một cực S và một cực N, được gọi là từ trường một đôi cực (p =1). Trục của từ trường tổng trùng với trục dây quấn pha A là pha có dòng điện cực đại.

- Thời điểm pha $\omega t = 90^0 + 120^0$: Là thời điểm sau thời điểm đã xét ở trên một phần ba chu kỳ. Ở thời điểm này, dòng điện pha B cực đại và dương, các dòng điện pha A và C âm (Hình 2-7b). Dùng qui tắc vặn nút chai xác định chiều đường sức từ trường. Ta thấy từ trường tổng đã quay đi một góc là 120° so với thời điểm trước. Trục của từ trường tổng trùng với trục dây quấn là pha có dòng điện cực đại.

- Thời điểm pha $\omega t = 90^0 + 240^0$: Là thời điểm chậm sau thời điểm đầu 2/3 chu kỳ ; lúc này dòng điện pha C cực đại và dương,, còn dòng điện pha A và B âm (hình 2.7c).

- Từ trường tổng thời điểm này đã quay đi một góc 240^0 so với thời điểm đầu. Trục của từ trường tổng trùng với trục của dây quấn pha C là pha có dòng điện cực đại.

- Qua sự phân tích ở trên, ta thấy từ trường tổng của dòng điện ba pha là từ trường quay. Từ trường quay móc vòng với cả hai dây quấn stato và rôto, đó là từ trường chính của máy điện, tham gia vào quá trình biến đổi năng lượng.

- Với cách cấu tạo dây quấn như trên, ta có từ trường quay một đôi cực. Nếu thay đổi cách cấu tạo dây quấn, ta có từ trường 2,3 hay 4 v.v... đôi cực.

b) Đặc điểm của từ trường quay

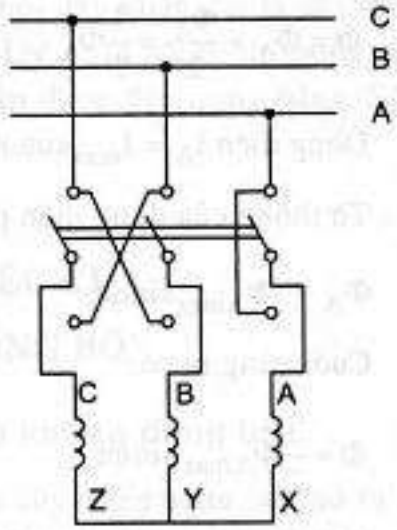
Từ trường quay của hệ thống dòng điện ba pha đối xứng có 3 đặc điểm quan trọng.

- *Tốc độ từ trường quay.* Tốc độ từ trường quay phụ thuộc vào tần số dòng điện stato f và số đôi cực p. Thật vậy, ở hình 2-7 khi dòng điện biến thiên một chu kỳ, từ trường quay được một vòng, do đó trong một giây dòng điện stato biến thiên f chu kỳ, từ trường quay được f vòng. Vậy khi từ trường có một đôi

cực, tốc độ của từ trường quay là $n_1 = f$ (vòng/giây). Khi từ trường có 2 đôi cực, dòng điện biến thiên một chu kỳ, từ trường quay được 1/2 vòng (từ cực N qua S đến N là 1/2vòng), do đó tốc độ từ trường quay là $n_1 = f/2$. Một cách tổng quát, khi từ trường quay có p đôi cực, tốc độ từ trường quay (còn gọi là tốc độ đồng bộ) là:

$$n_1 = \frac{f}{p} \text{ (vòng/giây)} \qquad (2.1)$$

$$\text{hoặc } n = \frac{60f}{p} \text{ (vòng/phút)}$$



Hình 2-8. Sơ đồ mạch đổi chiều quay từ trường

- *Chiều quay của từ trường.* Chiều quay của từ trường phụ thuộc vào thứ tự pha của dòng điện. Muốn đổi chiều quay của từ trường ta thay đổi thứ tự hai pha với nhau.

Thật vậy, ở hình 2-8 khi thứ tự dòng điện các pha cực đại lần lượt là pha A, pha B rồi đến pha C một cách chu kỳ thì từ trường quay từ trục dây quấn pha A đến trục dây quấn pha B rồi đến trục dây quấn pha C một cách tương ứng.

Như vậy nếu thay đổi thứ tự hai pha cho nhau, ví dụ dòng điện i_B cho vào dây quấn CZ, dòng điện i_C cho vào dây quấn BY, từ trường sẽ quay theo chiều từ trục dây quấn AX đến trục dây quấn CZ (có dòng điện i_B), rồi trục dây quấn BY (có dòng điện i_C), nghĩa là từ trường quay theo chiều ngược lại (xem bài tập 2.1)

- *Biên độ của từ trường quay.* Từ trường quay sinh ra từ thông Φ xuyên qua mỗi dây quấn. Ví dụ ta xét từ thông của từ trường quay xuyên qua dây quấn AX.

Dây quấn các pha lệch về không gian với pha A một góc lần lượt là 120^0, 240^0, từ thông xuyên qua dây quấn AX do dây quấn ba pha là:

$$\Phi = \Phi_A + \Phi_B\cos(-120^0) + \Phi_C\cos(-240^0) \qquad (2.2)$$

$$= \Phi_A - \frac{1}{2}(\Phi_B + \Phi_C)$$

Hệ thống dòng điện ba pha đối xứng $\Phi_A + \Phi_B + \Phi_C = 0$ hay

$\Phi_B + \Phi_C = -\Phi_A$

Do đó:

$$\Phi = \Phi_A + \frac{\Phi_A}{2} = \frac{3}{2}\Phi_A \qquad (2.3)$$

Dòng điện $i_A = I_{max}\sin\omega t$, nên:

Từ thông của dòng điện pha A là:

$\Phi_A = \Phi_{Amax}\sin\omega t$.

Cuối cùng ta có:

$$\Phi = \frac{3}{2}\Phi_{A\,max}\sin\omega t$$

Vậy từ thông của từ trường quay xuyên qua dây quấn biến thiên hình sin và có biên độ bằng 3/2 từ thông cực đại của một pha.

$$\Phi_{max} = \frac{3}{2}\Phi_{p\,max} \qquad (2.4)$$

Trong đó: Φ_{pmax} là từ thông cực đại của một pha

Đối với dây quấn m pha thì:

$$\Phi_{max} = \frac{m}{2}\Phi_{p\,max} \qquad (2.5)$$

2.3.3. Từ trường quay của dây quấn hai pha

Khi có dây quấn hai pha (m=2) đặt lệch nhau trong không gian góc 90^0 điện, dòng điện trong hai dây quấn lệch pha nhau về thời gian 90^0, cũng phân tích như trên, từ trường của hai pha là từ trường quay có các tính chất như đã xét ở trên và có biên độ là:

$$\Phi_{max} = \frac{m}{2}\Phi_{p\,max} = \Phi_{p\,max} \qquad (2.6)$$

Từ trường quay của dây quấn hai pha có biên độ bằng biên độ từ trường một pha.Qua phân tích ở trên thấy rằng khi dây quấn đối xứng và dòng điện

các pha đối xứng từ trường quay tròn có biên độ không đổi và tốc độ không đổi. Từ trường quay tròn sẽ cho đặc tính của máy tốt. Khi không đối xứng từ trường quay ellíp có biên độ và tốc độ quay biến đổi.

2.3.4.Từ thông tản

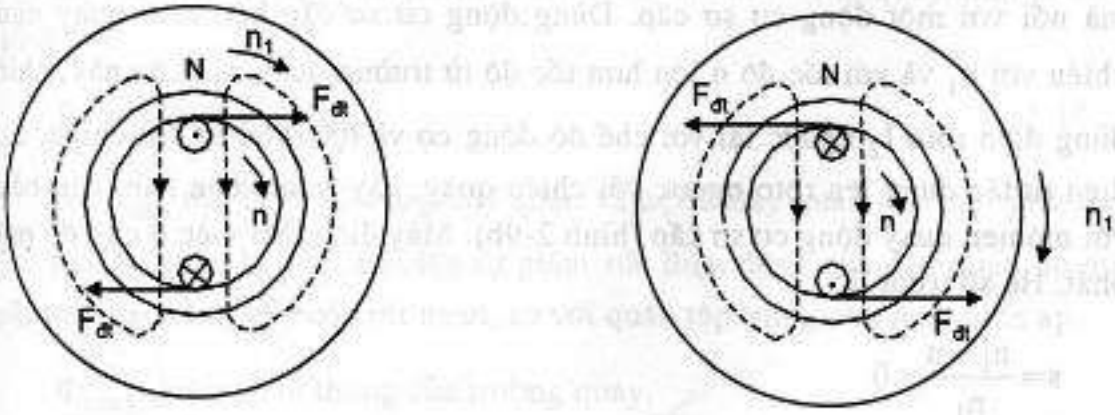
Bộ phận từ thông chỉ móc vòng riêng rẽ với mỗi dây quấn gọi là từ thông tản. Ta có từ thông tản stato, chỉ móc vòng với dây quấn stato, từ thông tản rôto chỉ móc vòng với dây quấn rôto. Từ thông tản được đặc trưng bằng điện kháng tản, như đã xét ở máy biến áp.

2.4.NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

2.4.1. Nguyên lý làm việc của động cơ điện không đồng bộ

Khi ta cho dòng điện ba pha tần số f vào ba dây quấn stato, sẽ tạo ra từ trường quay p đôi cực, quay với tốc độ là $n_1 = \frac{60f}{p}$. Từ trường quay cắt các thanh dẫn của dây quấn rô to, cảm ứng các sức điện động. Vì dây quấn rôto nối ngắn mạch, nên sức điện động cảm ứng sẽ sinh ra dòng trong các thanh dẫn rôto. Lực tác dụng tương hỗ giữa từ trường quay của máy với thanh dẫn mang dòng điện rôto, kéo rôto quay cùng chiều quay từ trường với tốc độ n.

Để minh hoạ, trên hình 2-9a vẽ từ trường quay tốc độ n_1 chiều sức điện động và dòng điện cảm ứng trong thanh dẫn rôto, chiều các lực điện từ F_{dt}.



Hình 2-9

Khi xác định chiều sức điện động cảm ứng theo quy tắc bàn tay phải, ta căn cứ vào chiều chuyển động tương đối của thanh dẫn với từ trường . Nếu coi từ trường đứng yên, thì chiều chuyển động tương đối của thanh dẫn ngược chiều n_1, từ đó áp dụng bàn tay phải, xác định chiều sđđ như hình vẽ (dấu⊗ chỉ chiều đi từ ngoài vào trang giấy).

Chiều điện từ xác định theo quy tắc bàn tay trái, trùng với chiều quay n_1.

Tốc độ n của máy nhỏ hơn tốc độ từ trường quay n_1 vì nếu tốc độ bằng nhau thì không có sự chuyển động tương đối, trong dây quấn rôto không có sđđ và dòng điện cảm ứng , lực điện từ bằng không.

Độ chênh lệch giữa tốc độ từ trường quay và tốc độ máy gọi là tốc độ trượt n_2

$$n_2 = n_1 - n$$

Hệ số trượt của tốc độ là :

$$s = \frac{n_2}{n_1} = \frac{n_1 - n}{n_1} \qquad (2.27)$$

Khi rôto đứng yên (n=0), hệ số trượt s= 1; khi rôto quay định mức s = 0,02 ÷ 0,06. Tốc độ động cơ là:

$$n = n_1(1-s) = \frac{60f}{p}(1-s)\,\text{vg/ph} \qquad (2.28)$$

2.4.2. Nguyên lý làm việc của máy phát điện không đồng bộ

Nếu bây giờ stato vẫn nối với lưới điện, nhưng trục rôto không nối với tải, mà nối với một động cơ sơ cấp. Dùng động cơ sơ cấp kéo rôto quay cùng chiều với n_1 và với tốc độ n lớn hơn tốc độ từ trường quay n_1. Lúc này, chiều dòng điện rôto I_2 ngược lại với chế độ động cơ và lực điện từ đổi chiều. Lực điện từ tác dụng lên rôto ngược với chiều quay, gây ra mômen hãm cân bằng với mômen quay động cơ sơ cấp (hình 2-9b). Máy điện làm việc ở chế độ máy phát. Hệ số trượt là:

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

Nhờ từ trường quay, cơ năng động cơ sơ cấp đưa vào rôto được biến thành điện năng ở stato. Để tạo ra từ trường quay, lưới điện phải cung cấp cho máy phát không đồng bộ công suất phản kháng Q, vì thế làm cho hệ số công suất cosφ của lưới điện thấp đi. Khi máy phát làm việc riêng lẻ, ta phải dùng tụ điện nối ở đầu cực máy để kích từ cho máy.

Đó là nhược điểm của máy phát không đồng bộ, vì thế ít khi dùng máy phát không đồng bộ.

2.5.MÔ HÌNH TOÁN CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

2.5.1. Phương trình điện áp dây quấn stato

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 \overline{Z}_1 - \dot{E}_1 \qquad (2.9)$$

Dây quấn stato của động cơ điện tương tự như dây quấn sơ cấp của máy biến áp, ta có phương điện áp là:

Trong đó: $\overline{Z}_1 = R_1 + jX_1$ là tổng trở dây quấn stato

R_1 là điện trở dây quấn stato

$X_1 = 2\pi f L_1$ là điện kháng tản dây quấn stato, đặc trưng cho từ thông tản stato.

f- tần số dòng điện stato.

L_1- điện cảm tản stato

E_1- sức điện động pha stato do từ thông của từ trường quay sinh ra có trị số là:

$$E_1 = 4{,}44 f w_1 k_{dq1} \Phi_{max} \qquad (2.10)$$

w_1 ,k_{dq1} thứ tự là số vòng dây quấn và hệ số dây quấn của một pha stato. Hệ số dây quấn $k_{dq1}<1$, nói lên sự giảm sức điện động của dây quấn do quấn rải trên các rãnh và bước rút ngắn, so với quấn tập trung như máy biến áp.

Φ_{max}- biên độ từ thông của trường quay.

2.5.2. Phương trình dây quấn rôto

Từ trường chính quay với tốc độ n_1 rôto quay với tốc độ n vậy từ trường chính quay đối với dây quấn rôto tốc độ trượt $n_2=n_1 - n$. Như vậy sức điện động và dòng điện trong dây quấn rôto có tần số là:

$$f_2 = \frac{pn_2}{60} = \frac{spn_1}{60} = sf \qquad (2.11)$$

Tần số dòng điện rôto lúc quay bằng hệ số trượt nhân với tần số dòng điện stato f. Lúc rôto đứng yên tần số dòng điện rôto là f.

Sức điện động pha dây quấn rôto lúc quay là:

$$E_{2s} = 4{,}44 f_2 w_2 k_{dq2} \Phi_{max} \qquad (2.12a)$$

$$= 4{,}44 fs w_2 k_{dq2} \Phi_{max} \qquad (2.12b)$$

w_2, k_{dq2} thứ tự là số vòng dây, hệ số dây quấn của dây quấn rôto. Hệ số $k_{dq2}<1$ nói lên sự giảm sức điện động do dây quấn rôto dải trên các rãnh và bước rút ngắn.

Khi rôto đứng yên s =1, tần số $f_2= f$. Sức điện động dây quấn rôto lúc đứng yên là:

$$E_2 = 4{,}44 f w_2 k_{dq2} \Phi_{max} \qquad (2.13)$$

So sánh (2.13a) và(2.12b) ta thấy

$$E_{2s} = sE_2 \qquad (2.14)$$

Sức điện động pha rôto lúc quay E_{2s} bằng sức điện động pha rôto lúc không quay nhân với hệ số trượt s.

Cũng tương tự như vậy điện kháng tản dây quấn rôto lúc quay là:

$$X_{2s} = 2\pi f_2 L_2 = s2\pi f L_2 = sX_2 \qquad (2.15)$$

Trong đó L_2 là điện cảm tản pha dây quấn rôto, $X_2 = 2\pi f L_2$ là điện kháng tản rôto lúc không quay. Điện kháng tản rôto lúc quay bằng điện kháng tản rôto lúc không quay nhân với hệ số trượt s.

Từ (2.13) và (2.10) ta có tỉ số sđđ pha stato và rôto là:

$$k_e = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1 k_{dq1}}{w_2 k_{dq2}} \qquad (2.16)$$

k_e gọi là hệ số quy đổi sđđ rôto

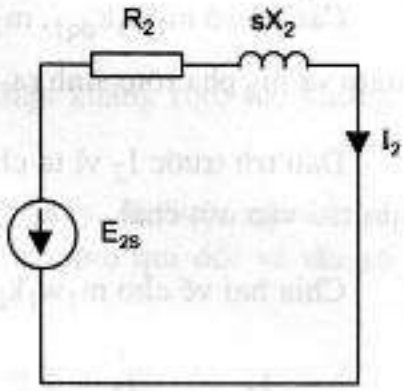
Chọn chiều E_{2s} , I_2 như hình 2-10. Vì dây quấn rôto ngắn mạch, nên phương trình điện áp dây quấn rôto quay là:

$$-E_{2s} = I_2(R_2 + jX_{2s}) \qquad (2.17a)$$

hoặc: $0 = sE_2 + I_2(R_2 + jX_{2s})$ (2.17b)

Trong phương trình (2.17) dòng điện rôto có tần số $f_2 = sf$ và trị số hiệu dụng là:

$$I_2 = \frac{sE_2}{\sqrt{R_2^2 + (sX_2)^2}} \qquad (2.18)$$



Hình 2-10

2.5.3.Phương trình sức từ động của động cơ không đồng bộ

Khi động cơ làm việc, từ trường quay trong máy do dòng điện của cả hai dây quấn sinh ra. Dòng điện trong dây quấn stato sinh ra từ trường quay stato quay tốc độ n_1 đối với stato. Dòng điện trong dây quấn rôto sinh ra từ trường quay rôto, quay đối với rôto tốc độ:

$$n_2 = \frac{60f_2}{p} = \frac{s60f}{p} = sn_1$$

Vì rôto quay đối với stato tốc độ n, cho nên từ trường rôto sẽ quay đối với stato tốc độ là:

$$n_2 + n = sn_1 + n = sn_1 + n_1(1-s) = n_1 \quad .$$

Như vậy, từ trường quay stato và từ trường quay rôto không chuyển động tương đối với nhau. Từ trường tổng hợp của máy sẽ là từ trườngquay tốc độ n_1.

Cũng lý luận như ở máy biến áp, từ thông Φ_{max} có trị số hầu như không đổi ứng với chế độ không tải và có tải. Do đó ta có thể viết được phương trình sức từ của động cơ:

$$m_1 w_1 k_{dq1} I_1 - m_2 w_2 k_{dq2} I_2 = m_1 w_1 k_{dq1} I_0$$

Trong đó: I_0 là dòng điện stato lúc không tải

I_1, I_2 là dòng điện stato và rôto khi động cơ kéo tải

m_1, m_2 là số pha của dây quấn stato và rôto

Các hệ số $m_1 w_1 k_{dq1}$, $m_2 w_2 k_{dq2}$ nói lên từ trường quay do đồng thời m_1 pha stato và m_2 pha rôto sinh ra và có xét đến số vòng dây và cấu tạo các dây quấn.

Dấu trừ trước I_2 vì ta chọn chiều I_2 không phù hợp với chiều từ thông theo qui tắc vặn nút chai.

Chia hai vế cho $m_1 w_1 k_{dq1}$ và đặt:

$$\frac{\dot{I}_2}{\dfrac{m_1 w_1 k_{dq1}}{m_2 w_2 k_{dq2}}} = \frac{\dot{I}_2}{k_i} = \dot{I}_2'$$

Ta có: $$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}_2' \qquad (2.19)$$

$\dot{I}_2'$ là dòng điện rôto qui đổi về stato, hệ số

$$k_i = \frac{m_1 w_1 k_{dq1}}{m_2 w_2 k_{dq2}} \qquad (2.20)$$

gọi là hệ số quy đổi dòng điện rôto.

2.6. SƠ ĐỒ THAY THẾ ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Để thuận tiện cho việc nghiên cứu và tính toán, từ hệ phương trình điện áp và sức từ động của động cơ, ta thành lập một sơ đồ điện, gọi là sơ đồ thay thế động cơ điện.

Theo (2.9), (2.17b), (2.19) hệ phương trình của động cơ điện là :

$$U_1 = I_1(R_1 + j X_1) - E_1 \qquad (2.21)$$

$$0 = s E_2 + I_2(R_2 + jsX_2) \qquad (2.22)$$

$$I_1 = I_0 + I'_2 \quad (2.23)$$

Phương trình (2.22) là phương trình mạch điện rôto lúc quay, trong đó dòng điện I_2 có tần số f_2=fs

Chia (2.22) cho s ta có:

$$0 = \dot{E}_2 + \dot{I}_2\left(\frac{R_2}{s} + jX_2\right) \quad (2.24)$$

Các thông số E_2, X_2 trong (2.24) là sđđ rôto, điện kháng rôto lúc không quay, ứng với tần số dòng điện rôto bằng f.

Phương trình (2.24) là phương trình điện áp rôto quay, đã được qui đổi về rôto đứng yên. Có thể gọi đó là phương trình điện áp rôto qui đổi về tần số stato.

Nhân phương trình (2.24) với k_e, chia và nhân với k_i ta có:

$$0 = k_e \dot{E}_2 + \frac{\dot{I}_2}{k_i}\left(\frac{R_2}{s}k_e k_i + jX_2 k_e k_i\right) \quad (2.25)$$

Trong đó : k_e, k_i là hệ số quy đổi sức điện động (2.16) và hệ số quy đổi dòng điện (2.20) . Gọi $E'_2 = k_e E_2 = E_1$ là sđđ pha rôto qui đổi về stato.

$I'_2 = \frac{I_2}{k_i}$ là dòng điện rôto qui đổi về stato.

Trong biểu thức k_i cho thấy, ngoài qui đổi dây quấn còn qui đổi số pha rôto m_2 về bằng số pha stato m_1.

$R'_2 = R_2 k_e k_i$ là điện trở dây quấn rôto qui đổi về stato

$X'_2 = X_2 k_e k_i$ là điện kháng dây quấn rôto qui đổi về stato

$k_e k_i = k$ là hệ số qui đổi tổng trở

Phương trình (2.25) trở thành:

$$0 = -\dot{E}'_2 - \dot{I}'_2\left(\frac{R'_2}{s} + jX'_2\right) \quad (2.26)$$

Giống như máy biến áp, $-E_1$ và $-E_2$ là điện áp rơi trên tổng trở từ hoá:

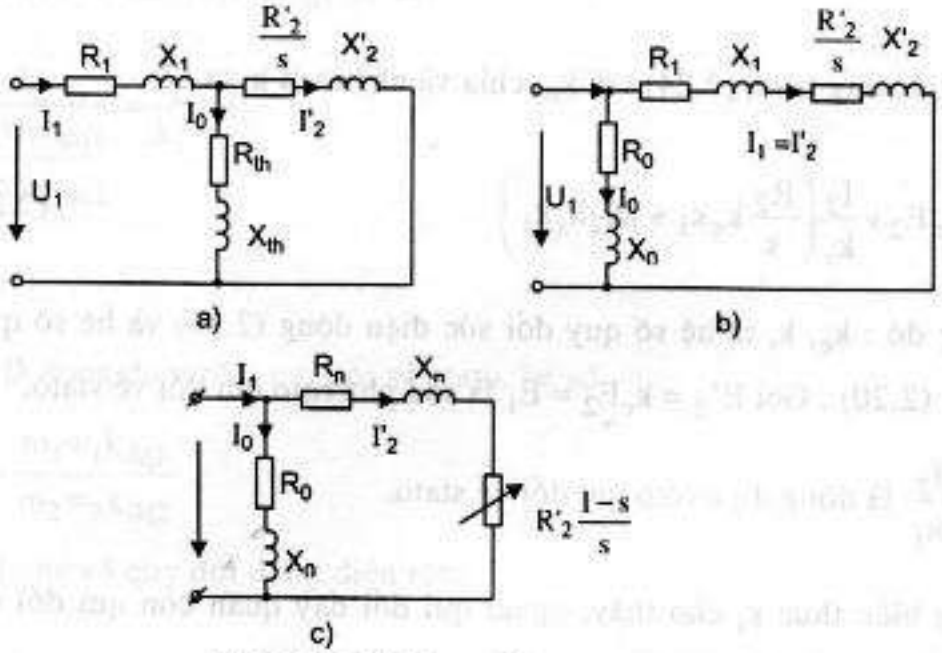
$$-\dot{E}'_1 = -\dot{E}'_2 = \dot{I}_0\left(R_{th} + jX_{th}\right) \tag{2.27}$$

Cuối cùng ta có hệ phương trình động cơ điện như sau:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1\left(R_1 + jX_1\right) + \dot{I}_0\left(R_{th} + jX_{th}\right) \tag{2.28}$$

$$0 = \dot{I}_0\left(R_{th} + jX_{th}\right) - \dot{I}'_2\left(\frac{R'_2}{s} + jX'_2\right) \tag{2.29}$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}'_2 \tag{2.30}$$



Hình 2-11. Sơ đồ thay thế động cơ điện không đồng bộ

Cũng tương tự như đã nghiên cứu ở máy biến áp hệ phương trình (2.28) (2.29), (2.30) là hệ phương trình Kiếc_hôp cho mạch điện hình 2-11a. Mạc điện hình 2-11a là sơ đồ thay thế động cơ điện không đồng bộ. Để thuận tiệ cho việc tính toán, sơ đồ 2-11a được xem gần đúng tương đương với sơ đồ 2 11b. Sơ đồ 2-11b được sử dụng nhiều trong tính toán động cơ điện không đồn bộ, trong đó:

$$R_0 = R_1 + R_{th}$$

$$X_0 = X_1 + X_{th}$$

Ngoài ra nếu làm phép biến đổi đơn giản

$$\frac{R'_2}{s} = R'_2 + \frac{R'_2(1-s)}{s} \qquad (2.31)$$

Sơ đồ thay thế động cơ không đồng bộ có thể vẽ như hình 2.11c trong đó:

$$R_n = R_1 + R'_2$$

$$X_n = X_1 + X'_2$$

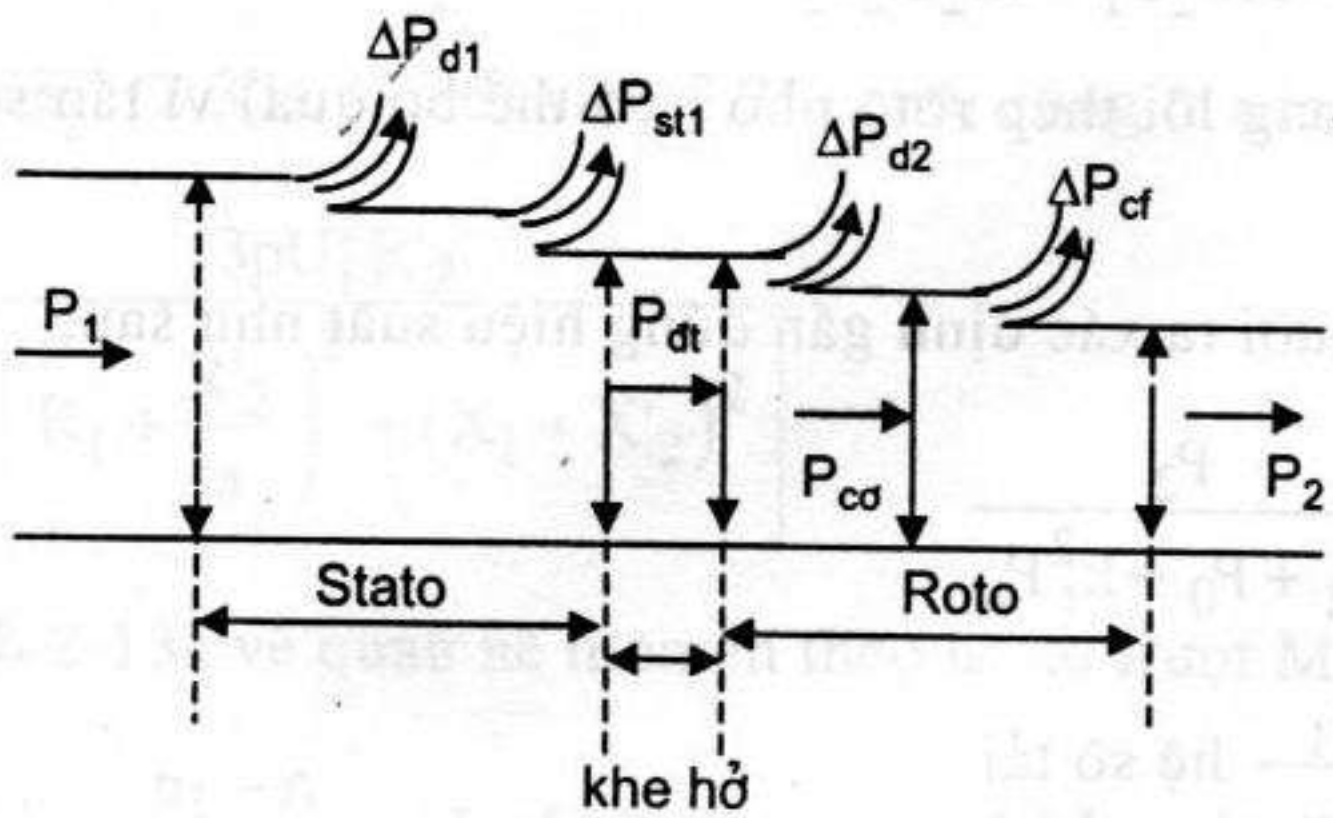
$R'_2\frac{(1-s)}{s}$ là đặc trưng cho công suất cơ $P_{cơ}$ của động cơ.

2.7.BIỂU ĐỒ NĂNG LƯỢNG VÀ HIỆU SUẤT CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Động cơ điện không đồng bộ nhận điện năng của lưới điện, nhờ từ trường quay, điện năng đã được biến thành cơ năng. Đồ thị quá trình năng lượng được vẽ trên hình 2-12. Khi số pha stato $m_1 = 3$ ta có :

P_1- công suất điện động cơ tiêu thụ của lưới điện: $P_1 = 3U_1I_1\cos\varphi$

Trong đó U_1, I_1 là điện áp pha và dòng điện pha.



Hình 2-12. Đồ thị quá trình năng lượng

$P_{đt}$- công suất điện từ:

$$P_{đt} = 3I'^2_2\frac{R'_2}{s} = m_2I^2_2\frac{R_2}{s} \qquad (2.32)$$

$P_{cơ}$- là công suất điện từ được tính theo

$$P_{cơ2} = 3I'^2_2 R'_2 \frac{1-s}{s} = m_2 I_2^2 R_2 \frac{1-s}{s} \quad (2.33)$$

P_2- công suất cơ hữu ích trên trục động cơ

$$P_2 = P_{cơ} - \Delta P_{cf}$$

ΔP_{cf} : tổn hao cơ do ma sát ổ trục, quạt gió và phụ

Hiệu suất của động cơ điện:

$$\Delta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P}$$

ΔP: là tổng các công suất tổn hao trong máy:

$$\Delta P = \Delta P_{st1} + \Delta P_{đ1} + \Delta P_{đ2} + \Delta P_{cf}$$

ΔP_{st1}: tổn hao sắt từ trong lõi thép stato do dòng điện xoáy và từ trễ

$\Delta P_{đ1}$: tổn hao trên điện trở dây quấn stato

$$\Delta P_{đ1} = 3R_1 I_1^2$$

$\Delta P_{đ2}$: tổn hao trên điện trở dây quấn rôto

$$\Delta P_{đ2} = 3R'_2 I'^2_2 = m_2 R_2 I_2^2$$

Tổn hao sắt từ trong lõi thép rôto nhỏ (có thể bỏ qua) vì tần số dòng điện rôto nhỏ.

Thông thường người ta xác định gần đúng hiệu suất như sau:

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_0 + k_t^2 P_n} \quad (2.34)$$

trong đó: $k_t = \frac{I_1}{I_{1dm}}$ hệ số tải

$P_0 = \Delta P_{st} + \Delta P_{cf}$ tổn hao không tải

P_n là tổn hao trên điện trở dây quấn stato và rôto khi dòng điện bằng định mức

Hiệu suất định mức của động cơ không đồng bộ khoảng 0,75+ 0,95

2.8. MÔMEN QUAY CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ BA PHA

Ở chế độ động cơ điện, mômen điện từ đóng vai trò mômen quay, được tính là:

$$M = M_{dt} = \frac{P_{dt}}{\omega_1} \tag{2.35}$$

P_{dt} là công suất điện từ được tính theo (2.32)

$$P_{dt} = 3I'^2_2 \frac{R'_2}{s} \tag{2.36}$$

ω_1 là tần số góc của từ trường quay:

$$\omega_1 = \frac{\omega}{p} \tag{2.37}$$

ω là tần số góc dòng điện stato

p là số đôi cực từ

Dựa vào sơ đồ gần đúng (2.11), dòng điện I'_2 được tính là:

$$I'_2 = \frac{U_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X'_2)^2}} \tag{2.38}$$

Thay (2.38), (2.37), (2.36) vào (2.35) cuối cùng ta có:

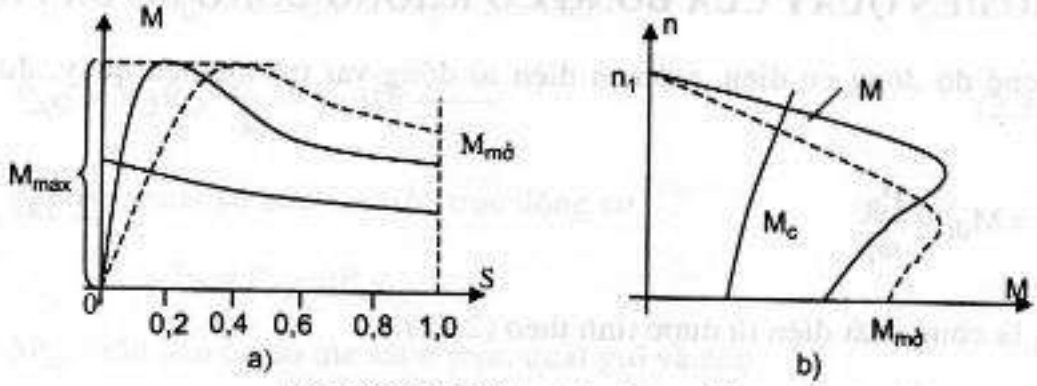
$$M = \frac{3pU_1^2 R'_2}{s\omega\left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X'_2)^2\right]} \tag{2.39}$$

Trên hình 2-13a vẽ quan hệ mômen theo hệ số trượt M = f(s)

Nếu thay $s = \frac{n_1 - n}{n}$ ta sẽ có quan hệ n = f(M), đó là đường đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ (hình 2-13b).

Động cơ sẽ làm việc ở điểm mômen quay bằng mômen cản M_C

Các đặc điểm của mômen quay động cơ không đồng bộ:



Hình 2-13. Đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ

a) Mômen tỷ lệ với bình phương điện áp, nếu điện áp đặt vào động cơ thay đổi, mômen động cơ thay đổi rất nhiều. Trên hình 2-14a vẽ đường M = f(s) với các điện áp khác nhau: $U'_1 < U_1$

b) Mômen có trị số cực đại M_{max} ứng với giá trị tới hạn s_{th} làm cho đạo hàm $\delta M/\delta s = 0$. Sau khi đạo hàm, ta tính được trị số s_{th} và M_{max} là:

$$s_{th} = \frac{R'_2}{R_1 + X_1 + X'_2} \approx \frac{R'_2}{X_1 + X'_2} \tag{2.40}$$

$$M_{max} = \frac{3pU_1^2}{2\omega\left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X'_2)^2}\right]} \approx \frac{3pU_{12}^2}{2\omega(R_1 + X_1 + X'_2)} \tag{2.41}$$

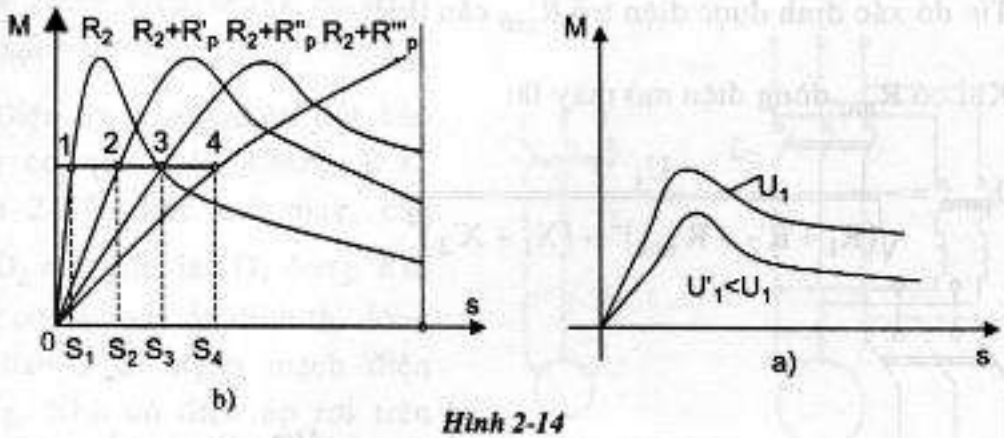
Hệ số trượt tới hạn s_{th} tỷ lệ thuận với điện trở rôto, còn M_{max} không phụ thuộc vào điện trở rôto, khi cho thêm điện trở phụ R_p vào rôto, đường đặc tính M =f(s) thay đổi như hình 2-14b. Tính chất này được sử dụng để điều chỉnh tốc độ và mở máy động cơ rôto dây quấn.

Quan hệ giữa M, M_{max} và s_{th} có thể viết gần đúng như sau:

$$M = \frac{2M_{max}}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s}} \tag{2.42}$$

Thay s=1 vào biểu thức (2.39), mômen mở máy động cơ là:

$$M_{mở} = \frac{3pU_1^2 R'_2}{\omega\left[(R_1 + R'_2)^2 + (X_1 + X'_2)^2\right]} \tag{2.43}$$



Hình 2-14

đối với động cơ lồng sóc thường cho các tỷ số sau:

$$\frac{M_{mở}}{M_{dm}} = 1,1 \div 1,7 \quad ; \quad \frac{M_{max}}{M_{dm}} = 1,6 \div 2,5$$

2.9. MỞ MÁY ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ BA PHA

Động cơ không đồng bộ ba pha có mômen mở máy. Để mở máy được, mômen mở máy động cơ phải lớn hơn mômen cản của tải lúc mở máy, đồng thời mômen động cơ phải đủ lớn để thời gian mở máy trong phạm vi cho phép.

Khi mở máy, hệ số trượt s =1, theo sơ đồ thay thế gần đúng, dòng điện pha lúc mở máy:

$$I_{pmở} = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R'_2)^2 + (X_1 + X'_2)^2}}$$

Dòng điện mở máylớn bằng 5 ÷ 7 lần dòng điện định mức.

2.9.1. Mở máy động cơ rô to dây quấn

Khi mở máy dây quấn rôto được nối với biến trở mở máy (hình 2.15a).

Đầu tiên biến trở lớn nhất, sau đó giảm dần đến không. Đường đặc tính mômen ứng với các giá trị $R_{mở}$ vẽ trên hình 2-15b.

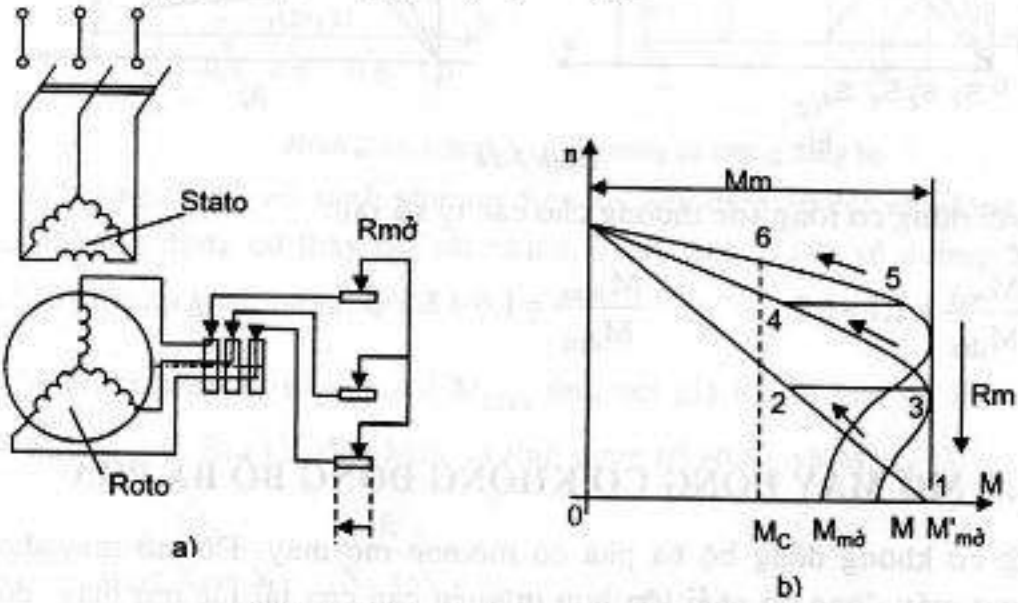
Muốn mômen mở máy cực đại, hệ số trượt tới hạn phải bằng 1:

$$s_{th} = \frac{R'_2 + R'_{mở}}{X_1 + X'_2} = 1 \qquad (2.44)$$

Từ đó xác định được điện trở $R_{mở}$ cần thiết.

Khi có $R_{mở}$ dòng điện mở máy là:

$$I_{pmo} = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R'_2 + R'_{mở})^2 + (X_1 + X'_2)^2}}$$



Hình 2-15. Mở máy động cơ rôto dây quấn

Nhờ có $R_{mở}$ dòng điện mở máy giảm xuống.

Như vậy, có $R_{mở}$ mômen mở máy tăng, dòng điện mở máy giảm, đó là ưu điểm lớn của động cơ rôto dây quấn.

2.9.2. Mở máy động cơ lồng sóc

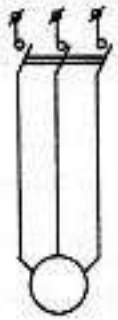
a) Mở máy trực tiếp. Đây là phương pháp đơn giản nhất, chỉ việc đóng trực tiếp động cơ điện vào lưới điện (hình 2-16). Khuyết điểm của phương pháp này là dòng điện mở máy lớn, làm tụt điện áp rất nhiều, nếu quán tính của máy lớn, thời gian mở máy sẽ rất lâu, có thể làm chảy cầu chì bảo vệ. Vì thế phương pháp này dùng được khi công suất mạng điện (hoặc nguồn điện) lớn hơn công suất động cơ rất nhiều, việc mở máy sẽ rất nhanh và đơn giản.

b)Giảm điện áp stato khi mở máy

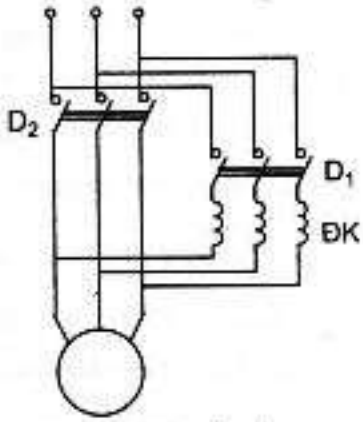
Khi ta mở máy giảm điện áp đặt vào động cơ, để giảm dòng điện mở máy. Khuyết điểm của phương pháp này là mômen mở máy giảm rất nhiều, vì thế nó chỉ sử dụng được đối với trường hợp không yêu cầu mômen mở máy lớn. Có các biện pháp giảm điện áp như sau:

+ Dùng điện kháng nối tiếp vào mạch stato.

Điện áp mạng điện đặt vào động cơ qua điện kháng Đ.K. (hình 2-17). Lúc mở máy, cầu dao D_2 mở, cầu dao D_1 đóng. Khi động cơ đã quay ổn định thì đóng cầu dao 2 để ngắn mạch điện kháng. Nhờ có điện áp rơi trên điện kháng, điện áp trực tiếp đặt vào động cơ giảm đi k lần. Dòng điện sẽ giảm đi k lần, song mômen giảm đi k^2 lần (vì mômen tỷ lệ với bình phương điện áp).



Hình 2-16. Mở máy trực tiếp



Hình 2-17. Mở máy bằng điện kháng

+ Dùng máy tự biến áp.

Điện áp mạng điện đặt vào sơ cấp máy tự biến áp (hình 2-18). Điện áp thứ cấp máy tự biến áp đưa vào động cơ. Thay đổi vị trí con chạy để cho lúc mở máy điện áp đặt vào động cơ nhỏ, sau đó dần dần tăng lên bằng định mức. Gọi k là hệ số biến áp của máy tự biến áp ; U_1 là điện áp pha lưới điện ; z_n là tổng trở động cơ lúc mở máy. Điện áp pha đặt vào động cơ khi mở máy là:

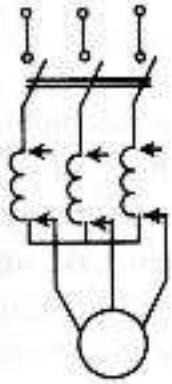
$$U_{đc} = \frac{U_1}{k}$$

dòng điện chạy vào động cơ lúc máy tự biến áp:

$$I_{đc} = \frac{U_{đc}}{z_n} = \frac{U_1}{kz_n}$$

Dòng điện I_1 lưới điện cung cấp cho động cơ lúc có máy tự biến áp là (dòng điện sơ cấp của máy tự biến áp)

$$I_1 = \frac{I_{đc}}{k} = \frac{U_1}{k^2 z_n} \qquad (2.45)$$



Hình 2-18. Mở máy dùng máy tự biến áp

Khi mở máy trực tiếp, dòng điện I_1 bằng:

$$I_1 = \frac{U_1}{z_n} \qquad (2.46)$$

So sánh (2.45) và (2.46) ta thấy, lúc có máy tự biến áp, dòng điện của lưới điện giảm đi k^2 lần. Đây là một ưu điểm so với phương pháp dùng điện kháng (dòng điện chỉ giảm k lần). Vì thế phương pháp dùng máy tự biến áp được dùng nhiều đối với động cơ công suất lớn. Điện áp đặt vào động cơ giảm k lần, nên mômen sẽ giảm k^2 lần.

+ Phương pháp đổi nối sao – tam giác.

Phương pháp này chỉ dùng được với những động cơ khi làm việc bình thường dây quấn stato nối hình tam giác.

Khi mở máy ta nối hình sao để điện áp đặt vào mỗi pha giảm $\sqrt{3}$ lần. Sau khi mở máy ta nối lại thành hình tam giác như đúng qui định của máy. Trên hình 2.20 khi mở máy ta đóng cầu dao sang phía Y, mở máy xong đóng sang Δ.

Dòng điện dây khi nối hình tam giác :

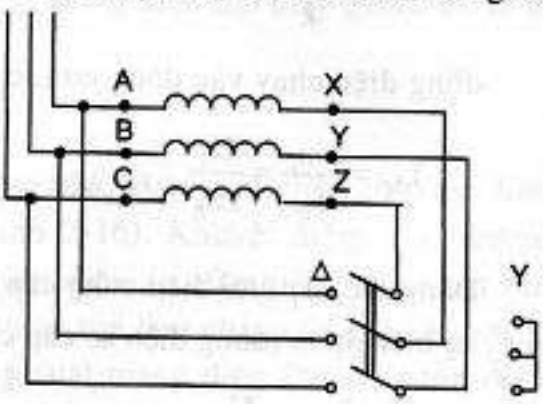
$$I_{d\Delta} = \frac{\sqrt{3}U_l}{z_n} \qquad (2.47)$$

Dòng điện dây khi nối hình sao là:

$$I_{dY} = \frac{U_l}{\sqrt{3}z_n} \qquad (2.48)$$

So sánh (2.47) và (2.48) ta thấy lúc mở máy kiểu đổi nối sao tam giác dòng điện dây mạng điện giảm đi 3 lần. Cũng như trên, phương pháp này mômen giảm đi $\left(\sqrt{3}\right)^2 = 3$ lần.

Qua việc nghiên cứu các phương pháp, chúng ta đều thấy mômen mở máy giảm xuống nhiều. Để khắc phục điều này, người ta đã chế tạo loại động cơ lồng sóc kép và loại rãnh sâu có đặc tính mở máy tốt.



Hình 2-19. Mở máy bằng đổi nối sao - tam giác

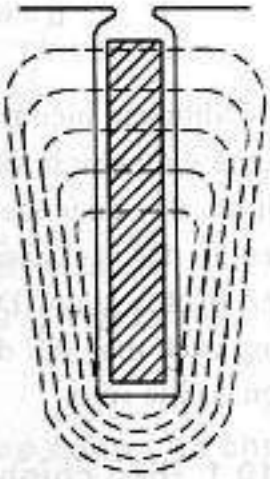
2.9.3. Động cơ điện lồng sóc có đặc tính mở máy tốt

Động cơ điện lồng sóc có ưu điểm là cấu tạo và sử dụng đơn giản, có đặc tính làm việc tốt, nhưng đặc tính mở máy không bằng động cơ rôto dây quấn.

Để cải tiến đặc tính mở máy của động cơ rôto lồng sóc, người ta chế tạo động cơ lồng sóc rãnh sâu hoặc hai lồng sóc chúng có đặc tính mở máy tương đối tốt.

a) Động cơ điện lồng sóc rãnh sâu

Loại động cơ này, rãnh rôto hẹp và sâu (chiều sâu bằng 10 ÷ 12 lần chiều rộng rãnh).

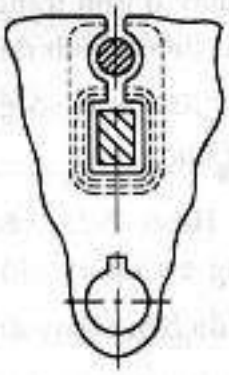


Hình 2-20

Khi có dòng điện cảm ứng trong thanh dẫn rôto, từ thông tản rôto Φ_{t2} phân bố như trên hình 2-20. Từ thông tản móc vòng với đoạn dưới thanh dẫn nhiều hơn đoạn trên. Khi mở máy, rôto chưa quay, dòng điện rôto có tần số lớn bằng tần số stato f. Điện kháng tản rôto sẽ lớn hơn điện trở, và có tác dụng quyết định đến sự phân bố dòng điện rôto. Lúc mở máy điện kháng tản phía dưới lớn, dòng điện tập trung phía trên thanh dẫn gần miệng rãnh. Do sự phân bố dòng điện tập trung nhiều ở phía miệng rãnh, tiết diện dẫn điện của thanh coi như bị nhỏ đi, điện trở rôto R_2 tăng lên sẽ làm tăng mômen mở máy. Khi mở máy xong, tần số dòng điện rôto nhỏ, tác dụng trên bị yếu đi, điện trở rôto giảm xuống như bình thường.

b) *Động cơ điện lồng sóc kép*

Rôto của động cơ có hai lồng sóc (hình 2-21), các thanh dẫn của lồng sóc ngoài (còn gọi là lồng sóc mở máy) có tiết diện nhỏ và điện trở suất lớn. Lồng sóc trong có tiết diện lớn điện trở nhỏ.



Hình 2-21

Như ở trên, khi mở máy dòng điện tập trung ở lồng sóc ngoài có điện trở R_2 lớn, mômen mở máy lớn. Khi làm việc bình thường, dòng điện lại phân bố đều ở cả hai lồng sóc, điện trở R_2 nhỏ xuống.

Động cơ điện rãnh sâu và lồng sóc kép có đặc tính mở máy tốt, nhưng vì từ thông tản lớn, nên cosφ thấp hơn động cơ lồng sóc thông thường.

2.10. ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Tốc độ của động cơ điện không đồng bộ là:

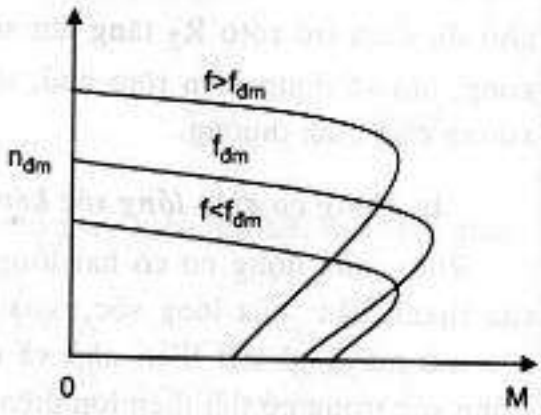
$$n = n_1(1-s) = \frac{60f}{p}(1-s) \text{vg/ph}$$

Nhìn vào biểu thức ta thấy: Với động cơ điện không đồng bộ rôto lồng sóc có thể điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi tần số dòng điện stato, bằng cách đổi nối dây quấn stato để thay đổi số đôi cực từ p của từ trường, hoặc thay đổi điện áp đặt vào stato để thay đổi hệ số trượt s. Tất cả phương pháp đều thực hiện ở phía stato. Đối với động cơ rôto dây quấn thường điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện trở rôto để thay đổi hệ số trượt s, việc điều chỉnh thực hiện ở phía rôto.

2.10.1. Điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi tần số

Việc thay đổi tần số f của dòng điện stato thực hiện bằng bộ biến đổi tần số.

Như đã biết ở biểu thức (2.10) từ thông Φ_{max} tỉ lệ thuận với tỉ số U_1/f, khi thay đổi tần số người ta mong muốn giữ cho từ thông Φ_{max} không đổi, để mạch từ máy ở tình trạng định mức. Muốn vậy phải điều chỉnh đồng thời tần số và điện áp, giữ cho tỉ số giữa điện áp U_1 và tần số f không đổi.



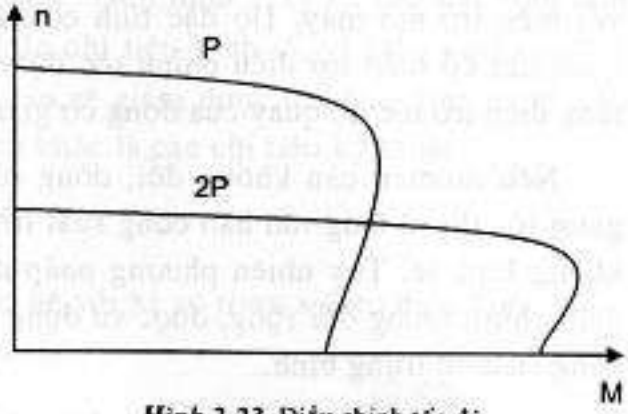
Hình 2-22. Điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi tần số

Hình 2-22 vẽ họ đặc tính cơ bản động cơ không đồng bộ khi điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi tần số U_1/f không đổi.

Việc điều chỉnh tốc độ quay bằng thay đổi tần số thích hợp khi điều chỉnh cả nhóm động cơ lồng sóc. Điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi tần số cho phép điều chỉnh tốc độ một cách bằng phẳng trong phạm vi rộng, song giá thành còn khá lớn.

2.10.2. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi số đôi cực

Số đôi cực của từ trường quay phụ thuộc vào cấu tạo dây quấn. Hình 2-5, 2-7 vẽ cấu tạo dây quấn của một pha stato, ứng với từ trường có p = 1 và p = 2. Động cơ không đồng bộ có cấu tạo dây quấn để thay đổi số đôi cực từ được gọi là động cơ không đồng bộ nhiều cấp tốc độ. Phương pháp này chỉ sử dụng cho loại rôto lồng sóc.

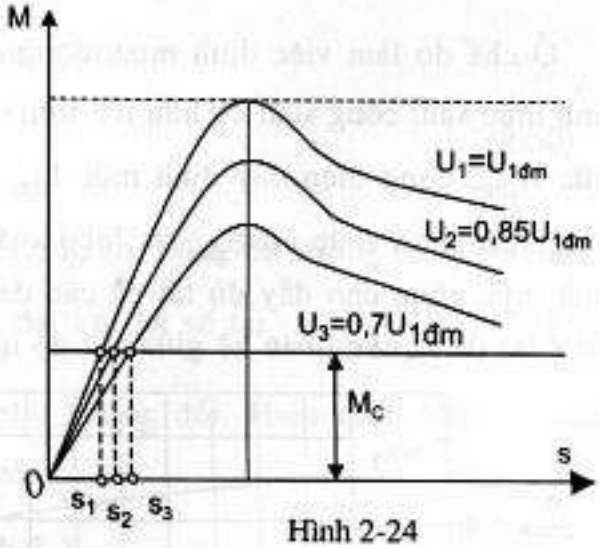


Hình 2-23. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi số đôi cực

Mặc dù điều chỉnh tốc độ nhảy cấp, nhưng có ưu điểm là giữ nguyên độ cứng của đặc tính cơ (hình 2-23), động cơ nhiều cấp tốc độ được sử dụng rộng rãi trong các máy luyện kim, máy tầu thuỷ v.v..

2.10.3.Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện áp cung cấp cho stato

Phương pháp này chỉ được thực hiện việc giảm điện áp. Khi giảm điện áp đường đặc tính M =f(s) sẽ thay đổi (hình 2-24) do đó hệ số trượt thay đổi, tốc độ động cơ thay đổi. Hệ số trượt s_1, s_2, s_3 ứng với điện áp U_{1dm}, $0,85U_{1dm}$ và $0,7U_{1dm}$.



Hình 2-24

Nhược điểm của phương pháp điều chỉnh tốc độ quay bằng điện áp là giảm khả năng quá tải của động cơ, dải điều chỉnh tốc độ hẹp, tăng tổn hao ở dây quấn rôto $\Delta P_{dt}=sP_{dt}=sM\omega_1$. Việc điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi điện áp được dùng chủ yếu với các động cơ công suất nhỏ có hệ số trượt tới hạn s_{th} lớn.

2.10.4. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện trở mạch rôto của động cơ rôto dây quấn

Thay đổi điện trở dây quấn rôto, bằng cách mắc biến trở ba pha vào mạch rôto như hình 2-15a.

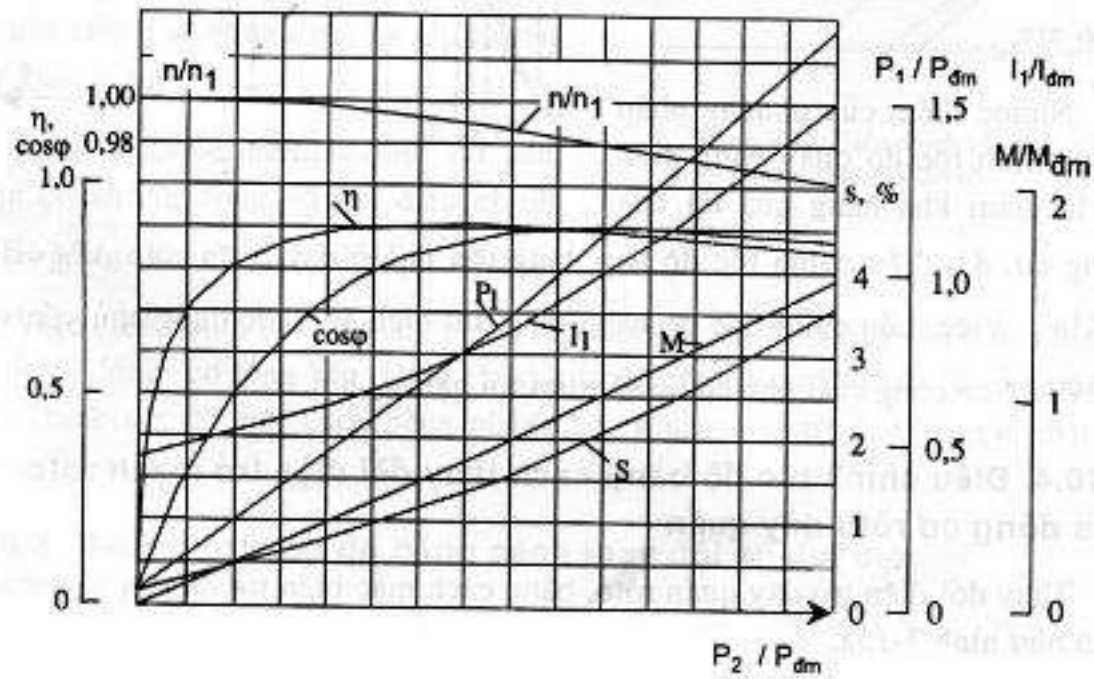
Biến trở điều chỉnh tốc độ phải làm việc lâu dài nên có kích thước lớn so với biến trở mở máy. Họ đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ rôto dây quấn khi có biến trở điều chỉnh tốc độ vẽ trên hình 2-15b. Ta thấy rằng khi tăng điện trở tốc độ quay của động cơ giảm.

Nếu mômen cản không đổi, dòng rôto không đổi, khi tăng điện trở để giảm tốc độ sẽ tăng tổn hao công suất trong biến trở, do đó phương pháp này không kinh tế. Tuy nhiên phương pháp đơn giản, điều chỉnh trơn và khoảng điều chỉnh tương đối rộng, được sử dụng điều chỉnh tốc độ quay của động cơ công suất cỡ trung bình..

Nhìn chung khả năng điều chỉnh tốc độ của động cơ không đồng bộ bị hạn chế. Đây là một nhược điểm của động cơ không đồng bộ.

2.11.CÁC ĐẶC TÍNH LÀM VIỆC CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Ở chế độ làm việc định mức, động cơ không đồng bộ có các đại lượng định mức sau: công suất cơ hữu ích trên trục định mức P_{dm} .Điện áp dây định mức U_{dm}, dòng điện dây định mức I_{dm} , tốc độ quay định mức n_{dm}, hệ số công suất định mức $\cos\varphi_{dm}$ và hiệu suất định mứcη_{dm}.Song các đại lượng định mức chưa cho đầy đủ tất cả các đặc tính làm việc của động cơ không đồng bộ đó là các quan hệ giữa tốc độ quay rôto n, hệ số cosφ, hiệu suất η,



Hình 2-25. Các đặc tính làm việc của động cơ điện không đồng bộ

mômen quay M và dòng điện stato I_1 với công suất cơ hữu ích trên trục P_2, khi điện áp U và tần số f ở stato không đổi. Trên hình 2.25 vẽ các đặc tính làm việc, trong đó hiệu suất η, cosφ là các chỉ tiêu kinh tế, vì hiệu suất cao tổn hao công suất trong máy nhỏ, cosφ cao sẽ giảm được tổn hao điện năng trên đường dây của mạng điện các đặc tính khác là các chỉ tiêu kỹ thuật.

2.11.1 Tốc độ quay n = f(P_2)

Tốc độ quay của động cơ có quan hệ với hệ số trượt s theo biểu thức

$$n = \frac{60f}{p}(1-s) \qquad (2.49)$$

Khi tải tăng, công suất P_2 trên trục động cơ tăng, mômen cản tăng lên, từ đường đặc tính mômen ta thấy hệ số trượt s tăng lên, và tốc độ động cơ giảm xuống.

2.11.2 Hiệu suất η = f(P_2)

Hiệu suất của động cơ được tính như sau:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P} \qquad (2.50)$$

P_2 là công suất hữu ích trên trục động cơ. Động cơ không đồng bộ thường được thiết kế sao cho hiệu suất cực đại khi hệ số tải $k_t = \frac{P_2}{P_{2dm}} \approx 0,7$. Trong khoảng k_t = 0,5÷1 hiệu suất hầu như không đổi. Hiệu suất động cơ công nghiệp vào khoảng 0,75÷0,95.

2.11.3 Hệ số công suất cosφ = f(P_2)

Hệ số công suất của động cơ điện không đồng bộ là tỉ số giữa công suất tác dụng P_1 với công suất toàn phần S.

$$\cos\varphi = \frac{P_1}{S} = \frac{P_1}{\sqrt{P_1^2 + Q_1^2}} \qquad (2.51)$$

Trong đó: P_1 công suất tác dụng(điện) động cơ tiêu thụ để biến đổi sang công suất cơ P_2.

Q_1: là công suất phản kháng mà động cơ tiêu thụ để tạo ra từ trường chế máy.

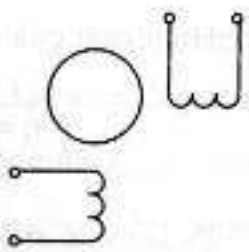
Khi máy quay không tải (không kéo tải), công suất P_1 nhỏ, do đó $\cos\varphi_1$ thấp, bằng từ 0,2÷0,3.

Khi tải tăng, công suất P_1 tăng $\cos\varphi$ được tăng lên đạt giá trị định mức $\cos\varphi_{đm}$ = 0,8÷0,9; khi quá tải dòng điện vượt định mức, từ thông tản tăng, Q_1 tăng; do đó $\cos\varphi$ lại giảm xuống.

Từ đặc tính $\cos\varphi$ ta thấy, không nên cho máy làm việc không tải hoặc non tải. Ngoài ra khi công suất P_2 tăng, mômen M và dòng điện I_1 đều tăng. Các quan hệ này được vẽ trên hình 2.25.

2.12. ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ HAI PHA

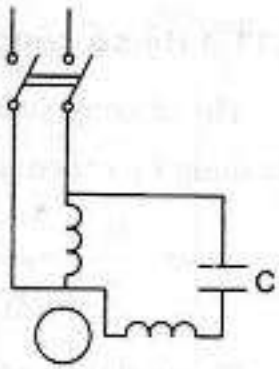
Ở động cơ điện không đồng bộ hai pha, rôto kiểu lồng sóc, stato có dây quấn hai pha, lệch nhau về không gian một góc 90^0điện. Khi dòng điện trong hai dây quấn có biên độ bằng nhau và lệch pha nhau một góc 90^0 sẽ tạo ra trong máy điện từ trường quay tròn với tần số quay là n = 60f/p; trong đó f là tần số dòng điện stato, p là số đôi cực của máy (hình 2-26). Nguyên lý làm việc và đặc tính động cơ hai pha như động cơ ba pha đã xét ở trên.



Hình 2-26

2.12.1.Động cơ tụ điện

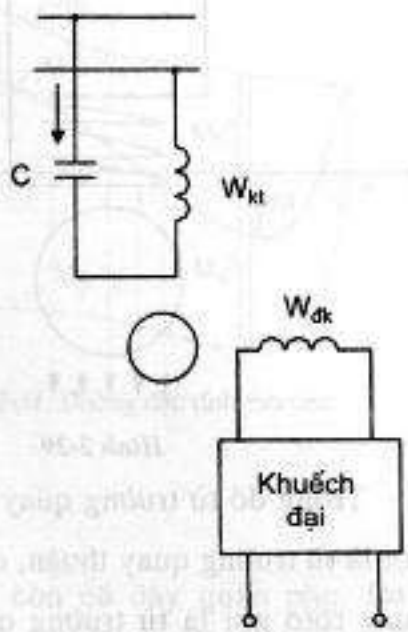
Đối với động cơ tụ điện, để tạo ra sự lệch pha về thời gian giữa dòng điện trong hai dây quấn, người ta nối tiếp với một dây quấn (ví dụ pha B) một tụ điện C. Hai dây quấn được nối song song với nhau và nối vào lưới điện một pha (hình 2-27). Việc phối hợp các trị số điện dung C, và số vòng dây các dây quấn phù hợp sẽ có được từ trường quay tròn (hoặc gần tròn) máy sẽ có các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật tốt. Loại động cơ này được sử dụng nhiều trong dân dụng (quạt điện) hoặc trong các thiết bị của hệ thống tự động v.v...



Hình 2-27. Động cơ tụ điện

2.12.2. Động cơ điều khiển hai pha

Stato có dây quấn hai pha, dây quấn nối với tụ điện C gọi là dây quấn kích thích, dây quấn nối với bộ điều chỉnh pha (hoặc biên độ) điện áp gọi là dây quấn điều khiển (hình 2-28). Rôto lồng sóc có điện trở lớn.



Hình 2-28. Động cơ điều khiển hai pha

Điều chỉnh dòng điện trong dây quấn điều khiển (biên độ hoặc pha) ta sẽ có đường đặc tính cơ theo yêu cầu của điều khiển truyền động. Công suất của loại động cơ này thường từ vài W đến vài chục W.

Trong trường hợp hai dây quấn stato lệch pha về không gian một góc θ và dòng điện trong hai dây quấn lệch pha về thời gian một góc β, nói chung từ trường không tròn, và biểu thức mômen quay sẽ là :

$$M = kI_AI_B\sin\theta\sin\beta \qquad (2.52)$$

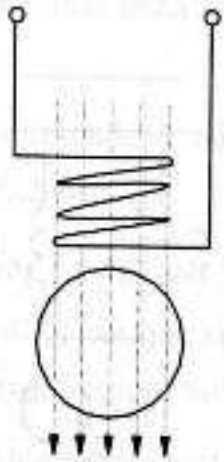
Trong đó k là hệ số tỷ lệ.

2.13. ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ MỘT PHA

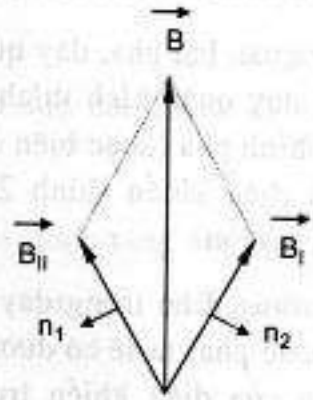
Về cấu tạo, stato động cơ một pha chỉ có dây quấn một pha, rôto thường là lồng sóc (hình 2-29). Dây quấn stato không tạo ra từ trường quay. Do sự biến thiên của dòng điện, chiều và trị số từ trường thay đổi, nhưng phương của từ trường cố định trong không gian. Từ trường này gọi là từ trường đập mạch.

Vì không phải là từ trường quay, nên khi ta cho điện vào dây quấn stato, động cơ không tự quay được . Để cho động cơ làm việc được, trước hết ta phải quay rôto của động cơ điện theo chiều nào đó, rôto sẽ tiếp tục quay theo chiều ấy và động cơ làm việc.

Để giải thích rõ hiện tượng xảy ra trong động cơ điện một pha, ta phân tích từ trường đập mạch thành hai từ trường quay, quay ngược chiều nhau cùng tần số quay n_1, và biên độ bằng một nửa biên độ từ trường đập mạch.



Hình 2-29



Hình 2-30

Trong đó từ trường quay $\overrightarrow{B_I}$ có chiều quay trùng với chiều quay rôto, được gọi là từ trường quay thuận, còn từ trường quay $\overrightarrow{B_{II}}$ có chiều quay ngược chiều quay rôto gọi là từ trường quay ngược. Trên hình 2-30, $\vec{B}$ là từ trường đập mạch, còn $\overrightarrow{B_I}$ và $\overrightarrow{B_{II}}$ quay với tốc độ n_1 và bao giờ ta cũng có :

$$B = B_I + B_{II} \tag{2.53}$$

Gọi n là tốc độ rôto, hệ số trượt đối với từ trường quay thuận là:

$$s_I = \frac{n_1 - n}{n_1} = s \tag{2.54}$$

Hệ số trượt s_{II} ứng với từ trường quay ngược:

$$s_{II} = \frac{n_1 + n}{n_1} = \frac{n_1 + (1 - s_I)n_1}{n_1} = 2 - s_I = 2 - s_I = 2 - s \tag{2.55}$$

Do đó ta có bảng sau về quan hệ giữa các hệ số trượt

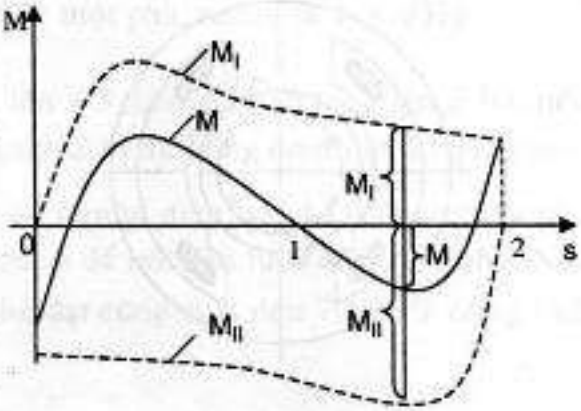
$s = s_I$	0	1	2
s_{II}	2	1	0

Trên hình 2–31 vẽ mômen quay M_I do từ trường thuận sinh ra có trị số dương và M_{II} do từ trường ngược gây ra có trị số âm.

Mômen quay của động cơ là tổng đại số mômen M_I và M_{II} :

$$M = M_I - M_{II} \tag{2.56}$$

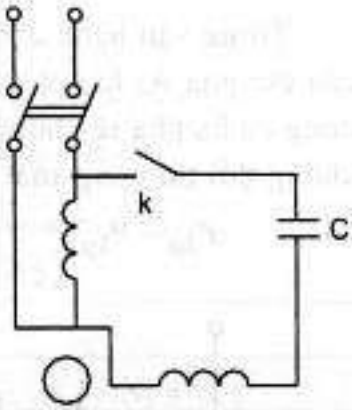
Từ đường đặc tính mômen, chúng ta thấy rằng, lúc mở máy, $s = s_I = s_{II} = 1$, $M_I = M_{II}$ và mômen mở máy $M_{mở} = 0$, động cơ điện không tự mở máy được. Nhưng nếu ta tác động làm cho động cơ quay, hệ số trượt $s < 1$, lúc đó động cơ có mômen M, sẽ tiếp tục quay. Vì thế ta phải có biện pháp mở máy, nghĩa là phải tạo cho động cơ một pha mômen mở máy. Ta thường dùng các biện pháp dây quấn phụ, vòng ngắn mạch ở cực từ.



Hình 2-31. Đường đặc tính mômen

2.13.1. Dùng dây quấn phụ mở máy

Ở loại động cơ này, ngoài dây quấn chính, còn có dây quấn phụ. Dây quấn phụ có thể thiết kế để chỉ làm việc khi mở máy, hoặc làm việc lâu dài (động cơ hai pha). Dây quấn phụ đặt trong một số rãnh stato, sao cho sinh ra một từ thông lệch với từ thông chính một góc 90^0 không gian, và dòng điện trong dây quấn phụ lệch pha với dòng điện trong dây quấn chính một góc 90^0. Dòng điện ở dây quấn phụ và dây quấn chính sinh ra từ trường quay để tạo ra mômen mở máy.



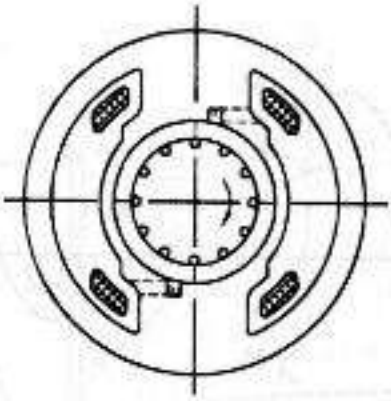
Hình 2-32. Mở máy bằng dây quấn phụ

Để dòng điện trong dây quấn phụ lệch pha với dòng điện trong dây quấn chính một góc 90^0, ta thường nối tiếp với dây quấn phụ điện dung C (hình 2-32). Loại động cơ tụ điện có đặc tính mở máy tốt.

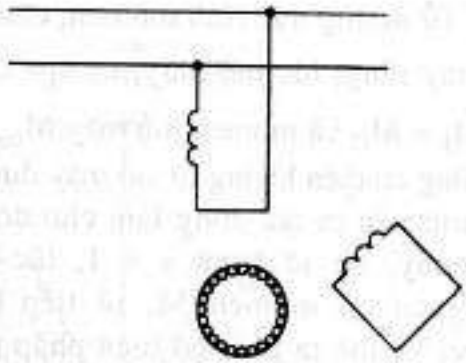
2.13.2. Động cơ điện một pha có vòng ngắn mạch ở cực từ

Trên hình 2-33 vẽ cấu tạo loại động cơ này. Người ta chẻ cực từ ra, cho vào đó một vòng đồng ngắn mạch. Vòng ngắn mạch được coi như dây quấn phụ, trong đó có dòng điện cảm ứng, sơ đồ nguyên lý trên hình 2-34. Tổng hợp hai từ trường của dây quấn chính và phụ sẽ sinh ra từ trường quay để tạo ra mômen mở máy.

Các loại động cơ này chế tạo với công suất nhỏ từ 0,5 ÷ 30 W dùng vào các cơ cấu truyền động tự động, và thường gặp nhất là quạt bàn nhỏ.



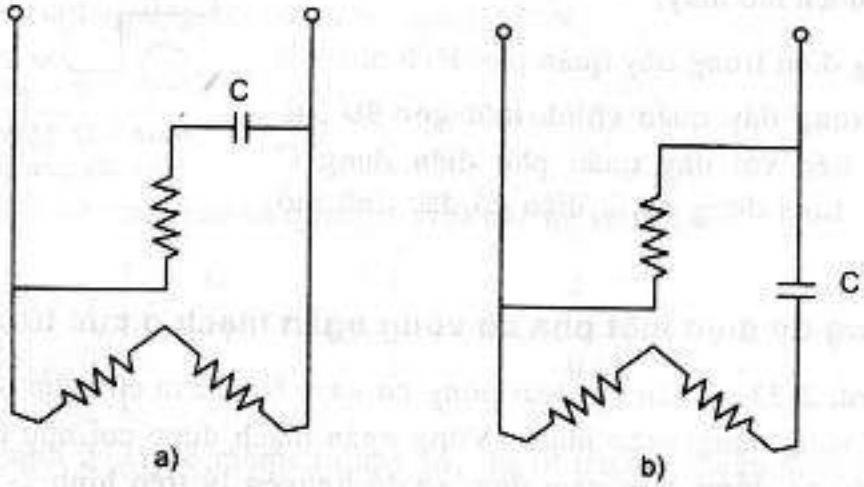
Hình 2-33. Cấu tạo động cơ một pha có vòng ngắn mạch ở cực từ



Hình 2-34. Sơ đồ nguyên lí động cơ một pha có vòng ngắn mạch ở cực từ

Động cơ điện một pha vòng ngắn mạch có các nhược điểm là cosφ thấp vì tổn hao ở rôto lớn, mômen nhỏ nên làm việc kém ổn định, khả năng quá tải kém. Tuy nhiên, nó có ưu điểm là cấu tạo gọn, sử dụng lưới điện một pha, nên được sử dụng nhiều trong các hệ tự động và dân dụng (quạt điện, máy giặt, máy bơm nước công suất nhỏ v.v...).

Trong vận hành động cơ ba pha, khi sự cố xảy ra đứt một pha (ví dụ cháy cầu chì pha A) hai pha B và C còn lại sẽ tạo thành dây quấn một pha. Lúc ấy động cơ ba pha sẽ chuyển sang chế độ một pha. Nếu công suất tải của động cơ không đổi thì công suất điện vào động cơ ở hai chế độ ba pha và một pha như nhau: $P_{3p} = P_{1p}$



Hình 2-35

$$\sqrt{3}U_d I_3 = U_d I_1$$

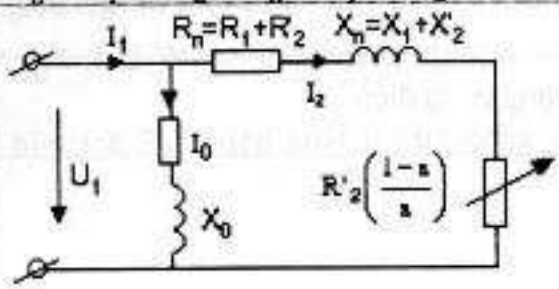
Trong đó: I_3 dòng điện stato ở chế độ ba pha

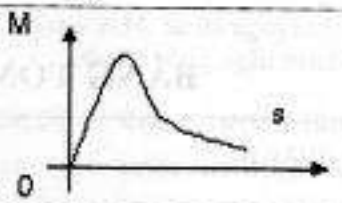
I_1 dòng điện stato ở chế độ một pha, nghĩa là $I_1 \approx \sqrt{3}I_3$

Dòng điện ở chế độ một pha tăng lên $\sqrt{3}$ lần tổn hao tăng lên 3 lần nếu không cắt động cơ khỏi lưới điện, động cơ sẽ bị hư hỏng do nhiệt độ quá cao.

Ngoài ra trong thực tế, khi không có nguồn điện ba pha, động cơ ba pha có thể nối dây quấn stato như hình 2.35a, b để nối vào lưới điện một pha. Nếu chọn trị số điện dung C thích hợp, có thể đạt công suất đến 70÷80% công suất định mức.

BẢNG TÓM TẮT CHƯƠNG 2

Tốc độ từ trường quay n_1	$n_1 = \frac{60f}{p}$ vg/ph
Tốc độ rôto n	$n = n_1(1-s)$
Hệ số trượt s =0,02÷0,06	$s = \frac{n_1 - n}{n_1}$
Tần số dòng điện rôto f_2	$f_2 = sf$
Phương trình điện áp stato	$U_1 = R_1I_1 + jX_1I_1 - E_1$
Phương trình dòng điện rôto	$I_2 = \frac{sE_2}{\sqrt{R_2^2 + (sX_2)^2}}$
Phương trình sức từ động	$I_1 = I_0 + I'_2$
Sơ đồ thay thế gần đúng	$R_n = R_1 + R'_2 \quad X_n = X_1 + X'_2$
Tính dòng điện theo sơ đồ gần đúng. $I_1 = I_2 = \frac{U_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X'_2)^2}}$	
Qui đổi dòng điện rôto	$I'_2 = \frac{I_2}{k_i}$
Qui đổi sức điện động rôto	$E'_2 = k_eE_2$
Qui đổi điện trở rôto	$R'_2 = k_ek_iR_2$
Qui đổi điện kháng rôto	$X'_2 = k_ek_iX_2$

Dòng điện dây stato I_1	$I_1 = \dfrac{P_1}{\eta\sqrt{3}U_1\cos\varphi}$
Công suất tác dụng động cơ tiêu thụ P_1	$P_1 = \sqrt{3}U_1 I_1 \cos\varphi$
Công suất phản kháng động cơ tiêu thụ Q_1	$Q_1 = \sqrt{3}U_1 I_1 \sin\varphi$
Hệ số công suất động cơ $\eta = 0,8 \div 0,9$	$\cos\varphi = \dfrac{P_1}{\sqrt{P_1^2 + Q_1^2}}$
Hiệu suất động cơ $\eta = 0,75 \div 0,95$	$\eta = \dfrac{P_1}{P_2}$
Đường đặc tính mômen $M = f(s)$	
Các biện pháp mở máy $I_{mở} = (0,5 \div 7)I_{1dm}$	1) Trực tiếp(lồng sóc P nhỏ) 2) Giảm điện áp stato U_1 - Điện kháng - Biến áp tự ngẫu - Đổi nối Y - Δ 3) Cho $R_{mở}$ vào rôto dây quấn
Các biện pháp điều chỉnh tốc độ $n = \dfrac{60f}{p}(1-s)$	1) Thay đổi tần số f 2) Thay đổi số đôi cực p 3) Thay đổi điện áp U_1 4) Thay R_{dc} vào rôto dây quấn
Các biện pháp mở máy động cơ một pha	1) Vòng ngắn mạch cực từ 2) Dây quấn phụ có tụ điện mở máy
Động cơ tụ điện	Có hai dây quấn trong đó một dây quấn tụ điện làm việc.

CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Cấu tạo của máy điện không đồng bộ ba pha, hai pha, một pha, phân biệt vai trò và công dụng của rôto lồng sóc và rôto dây quấn.

2. Từ trường trong máy điện không đồng bộ. Nguyên lý làm việc của máy điện không đồng bộ.

3. Mô hình toán học của động cơ không đồng bộ.

4. Sơ đồ thay thế của động cơ không đồng bộ. So sánh với sơ đồ thay thế của máy biến áp.

5. Mômen quay và đường đặc tính của động cơ không đồng bộ.

6. Mở máy và điều chỉnh tốc độ của động cơ không đồng bộ.

MỘT SỐ BÀI GIẢI MẪU VẬN DỤNG KIẾN THỨC ĐÃ HỌC

Bài 2.1

Động cơ không đồng bộ ba pha, rôto dây quấn, số đôi cực p =2 hệ số quy đổi sức điện động và dòng điện $k_e = k_i = 2$. Điện trở và điện kháng pha rôto lúc đứng yên $R_2 = 0,2\Omega$; $X_2 = 3,6\ \Omega$. Y/Δ - 380 V/220 V, f = 50 Hz.

Động cơ đóng vào lưới điện U_d =380 V, xác định cách đấu dây động cơ. Cho rằng sức điện động pha stato gần bằng điện áp đặt vào, tổn hao đồng trong dây quấn stato bằng tổn hao đồng trong dây quấn rôto, tổn hao sắt từ ΔP_{st} = 145 W, tổn hao ma sát và phụ ΔP_{msf} = 145 W, hệ số trượt s = 0,05.

Tính dòng điện rôto, công suất cơ hữu ích P_2 , hiệu suất η của động cơ điện.

Bài giải:

Với lưới điện U_d =380 V động cơ đấu sao.

$$E_{1p} = \frac{U_d}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220V$$

Sức điện động pha rôto lúc đứng yên.

$$E_2 = \frac{E_{1p}}{k_e} = \frac{220}{2} = 110V$$

Dòng điện pha rôto lúc quay:

$$I_2 = \frac{sE_2}{\sqrt{R_2^2 + (sX_2)^2}} = \frac{0,05.110}{\sqrt{0,2^2 + (0,05.3,6)^2}} = 20,43A$$

Dòng điện pha stato

$$I_1 = \frac{I_2}{k_i} = \frac{20,43}{2} = 10,21A$$

Công suất điện từ :

$$P_{dt} = \frac{3R_2I_2^2}{s} = \frac{3.0,2(20,43)^2}{0,05} = 5008W$$

Tổn hao đồng ở stato và rôto:

$$\Delta P_{d1} = \Delta P_{d2} = 3R_2I_2^2 = 3.0,2.(20,43)^2 = 250,4\ W$$

Công suất cơ (toàn bộ):

$$P_{cơ} = P_{dt} - \Delta P_{d2} = 5008 - 250,4 = 4757,6W$$

Công suất cơ hữu ích trên trục :

$$P_2 = P_{cơ} - \Delta P_{msf} = 4757,6 - 145 = 4612,6\ W$$

Công suất điện cung cấp cho động cơ :

$$P_1 = P_2 + \Delta P_{msf} + \Delta P_{d2} + \Delta P_{st} + \Delta P_{d1}$$

$$= 4612,6 + 145 + 250,4 + 145 + 250,4 = 5403,4\ W$$

Hiệu suất động cơ điện :

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{4612,6}{5403,4} = 0,85$$

Bài 2.2

Một động cơ điện không đồng bộ ba pha dây quấn stato nối hình tam giác, điện áp lưới 220 V ; 50Hz. Số liệu động cơ: p = 2 ; I_1= 21 A ; $\cos\varphi_1$= 0,82 ; η = 0,837 ; s = 0,053.

Tính tốc độ động cơ, công suất điện động cơ tiêu thụ P_1, tổng các tổn hao, công suất cơ hữu ích P_2 mômen quay động cơ.

Bài giải:

Tốc độ góc của động cơ

$$\omega = \omega_1(1-s) = \frac{2\pi.f}{p} = \frac{2\pi.f}{p}(1-s)$$

$$= \frac{2\pi.50}{2}(1-0{,}053) = 148{,}68 \text{ rad/s}$$

Tốc độ động cơ :

$$n = \frac{60f}{p}(1-s) = \frac{60.50}{2}(1-0{,}053) = 1420 \text{ vg/ph}$$

Công suất điện động cơ tiêu thụ :

$$P_1 = \sqrt{3}\,U_1 I_1 \cos\varphi = \sqrt{3}.220.21.0{,}82 = 6561 \text{ W}$$

Công suất hữu ích :

$$P_2 = \eta_1 P_1 = 0{,}837.6561 = 5491\text{W}$$

Tổng tổn hao công suất :

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 6561 - 5491 = 1070 \text{ W}$$

Mômen quay động cơ :

$$M_2 = \frac{P_2}{\omega} = \frac{5491}{148{,}68} = 36{,}9\text{Nm}$$

Bài số 2.3

Một động cơ điện không đồng bộ ba pha rôto lồng sóc : $P_{đm}$= 14 kW, tốc độ định mức $n_{đm}$= 1450 vg/ph, hiệu suất định mức $\eta_{đm}$= 0,885 , hệ số công suất định mức $\cos\varphi_{đm}$= 0,8; Y/Δ - 380/220 V; tỷ số dòng điện mở máy $I_{mở}/I_{đm}$= 5,5; mômen mở máy $M_{mở}/M_{đm}$=1,3 : mômen cực đại $M_{max}/M_{đm}$= 2. Điện áp mạng điện U = 380 V.

Tính : a) Công suất tác dụng và phản kháng động cơ tiêu thụ ở chế độ định mức.

b) Dòng điện, hệ số trượt và mômen định mức.

c) Dòng điện mở máy, mômen mở máy, mô men cực đại.

Bài giải:

a) Công suất tác dụng của động cơ tiêu thụ:

$$P_1 = \frac{P_{dm}}{\eta} = \frac{14}{0,885} = 15,82kW$$

Công suất phản kháng động cơ tiêu thụ :

$$Q_1 = P_1 tg\varphi = 15,82.0,54 = 8,54 \text{ k Var}$$

b) Dòng điện định mức :

$$I_{1dm} = \frac{P_{dm}}{\eta\sqrt{3}U_{1dm}\cos\varphi_{dm}} = \frac{14.10^3}{0,885.\sqrt{3}.380.0,88} = 27,31A$$

Hệ số trượt định mức

$$s = \frac{n_1 - n}{n} = \frac{1500 - 1450}{1500} = 0,0333$$

Sau khi tính được dòng điện I_{dm} ta cũng có thể tính công suất phản kháng như sau :

$$Q_1 = \sqrt{3}\,U_1 I_1 \sin\varphi = \sqrt{3}.380.27,31.0,475 = 8,54 \text{ kVar}$$

Mômen định mức

$$M_{dm} = \frac{P_{dm}}{\omega_{dm}} = \frac{P_{dm}}{2\pi.n_{dm}/60} = 9550\frac{P_{dm}}{n_{dm}} = 9550\frac{14}{1450} = 92,2 \text{ Nm}$$

Mômen mở máy

$$M_{mở} = 1,3M_{dm} = 119,8 \text{ Nm}$$

Mômen cực đại

$$M_{max} = 2M_{dm} = 184,4Nm$$

Dòng điện mở máy

$$I_{mở} = 5,5I_{Idm} = 150,2A$$

Bài số 2.4

Động cơ điện không đồng bộ ba pha có thông số như bài 2.3, làm việc với lưới điện có điện áp U = 220 V. Tính:

Công suất tác dụng P_1, phản kháng Q_1, dòng điện định mức, dòng mở máy, mômen định mức, mômen mở máy, mômen cực đại.

Dòng điện, mômen mở máy bằng phương pháp đổi nối Y - Δ. Động cơ có thể mở máy được không khi mômen cản mở máy $M_c = 0,5\ M_{đm}$.

Bài giải:

a) Mạng điện U = 220 V, động cơ đấu hình tam giác. Các kết quả tính P_1, Q_1, dòng điện pha I_{1f}, $M_{đm}$, $M_{mở}$, M_{max} vẫn không đổi, giống như đã tính ở bài 2.3. Vì đấu hình tam giác, nên dòng điện định mức (dòng điện dây) sẽ là:

$$I_{1đm} = \sqrt{3}\, I_{1p} = \sqrt{3}\,.27,31 = 47,3A$$

Ta có thể tính theo công thức quen thuộc

$$I_{đm} = \frac{P_{đm}}{0,885.\sqrt{3}.220.0,83} = 47,3A$$

Dòng điện mở máy khi mở máy trực tiếp

$$I_{mở} = 5,5I_{đm} = 260,15\ A$$

b) Khi mở máy, đấu sao, sau đó chuyển về tam giác

Dòng điện mở máy trường hợp này

$$I_{mở} = \frac{260,15}{3} = 86,7A$$

Mômen mở máy

$$M_{mở} = \frac{119,8}{3} = 39,9\ \ Nm$$

Mômen cản khi mở máy

$$M_c = 0,5M_{đm} = 0,5.92,2 = 46,1\ Nm$$

Mômen mở máy nhỏ hơn mômen cản vì thế không thể mở máy được khi dùng phương pháp đổi nối Y - Δ.

Bài số 2.5

Một động cơ không đồng bộ ba pha có số liệu như ở bài 2.3. Điện áp mạng điện U = 380 V. Tính toán các phương pháp mở máy sau :

a) Dùng biện pháp tự ngẫu để giảm dòng điện mở máy 2,25 lần thì hệ số biến áp phải là bao nhiêu? Tính mômen cản tối đa để động cơ có thể mở máy được trong trường hợp này.

b) Nếu dùng cuộn điện cảm nối vào phía stato để điện áp vào dây quấn giảm đi 10%. Tính dòng điện mở máy và mômen mở máy. Xác định mômen cản M_c lúc mở máy để động cơ có thể mở máy được bằng phương pháp này.

Bài giải

a) Gọi k_{ba} là hệ số biến áp tự ngẫu $k_{ba} = \frac{U_1}{U_2}$. Để dòng điện mở máy giảm đi 2,25 lần thì hệ số biến áp sẽ là $k_{ba} = \sqrt{2,25} = 1,5$

Dòng điện mở máy khi dùng biến áp tự ngẫu

$$I_{m.ba} = \frac{I_{m,tt}}{k_{ba}^2} = \frac{150,2}{2,25} = 66,75 \quad A$$

trong đó $I_{m,tt}$ là dòng điện mở máy trực tiếp đã tính ở bài 2.3

Mômen mở máy khi dùng biến áp tự ngẫu

$$M_{m.ba} = \frac{M_{m,tt}}{k^2} = \frac{119,8}{2,25} = 53,24 \quad Nm$$

M_{mtt} là mômen mở máy trực tiếp đã tính ở bài 2.3

Để động cơ có thể mở máy khi k_{ba} =1,5 thì mômen cản lực mở máy M_c < 53,24 Nm

b) Khi dùng cuộn điện cảm, điện áp đặt vào dây quấn động cơ sẽ bằng 0,9 U_{dm} do đó dòng điện mở máy sẽ là :

$$I_{mở} = 0,9\, I_{m\,tt} = 0,9.150,2 = 135,18 \quad A$$

Mômen mở máy sẽ là:

$$M_{mở} = (0,9)^2 M_{m.tt} = 97,03 \quad Nm$$

Để động cơ có thể mở máy được, trong trường hợp này thì mômen cản lúc mở máy phải là :

$M_c < 97,03$ Nm

Bài số 2.6

Một động cơ không đồng bộ ba pha rôto dây quấn $R_2 = 0,0278\ \Omega$, tốc độ định mức $n_{dm} = 970$ vg/ph, hiệu suất định mức $\eta_{dm} = 0,885$. Tính điện trở phụ mắc vào mạch rôto để tốc độ động cơ là 700 vg/ph. Cho biết mômen cản của tải không phụ thuộc tốc độ.

Bài giải:

Mômen cản không đổi, dẫn đến mômen điện từ không đổi, do đó

$\frac{R'_2}{s}$ = không đổi, hoặc $\frac{R_2}{s}$ = không đổi

Hệ số trượt khi định mức

$$s_{dm} = \frac{1000 - 970}{1000} = 0,03$$

Hệ số trượt khi n = 700vg/ph

$$s = \frac{1000 - 700}{1000} = 0,3$$

Vậy: $\frac{R_2}{s_{dm}} = \frac{R_2 + R_p}{s}$ suy ra $\frac{0,0278}{0,03} = \frac{0,0278 + R_p}{0,3}$

Giải ra : $R_p = 0,258\Omega$

Vì $\frac{R'_2}{s}$ không đổi nên I_1, P_1 sẽ không đổi. Vì mômen không đổi nên công suất đầu ra:

$P_2 = \omega_2 M_2$ tỷ lệ thuận với tốc độ. Từ hai nhận xét đó ta có:

$$\frac{\eta}{\eta_{dm}} = \frac{n}{n_{dm}} = \frac{700}{970} = 0,722$$

Tốc độ càng giảm, hiệu suất càng giảm. Ứng với $n = 700$ vg/ph, hiệu suất động cơ là

$\eta = 0,772 \cdot 0,885 = 0,639$

BÀI TẬP HỌC SINH TỰ LÀM

Bài số 2.7

Một động cơ điện không đồng bộ ba pha $P_{dm} = 45$ kW

$f = 50$ Hz ; Y/Δ - 380/220V ; $\frac{I_{mở}}{I_{đm}} = 6$; $\frac{M_{mở}}{M_{đm}} = 2,7$; $\cos\varphi_{đm} = 0,86$

$\eta_{đm} = 0,91$; $n_{đm} = 1460$ vòng/ ph. Động cơ làm việc với lưới điện $U_d = 380$ V.

a) Tính $I_{đm}$, $M_{đm}$, $I_{mở}$, $M_{mở}$

b) Để mở máy với tải có mômen cản ban đầu $M_c = 0,45\ M_{đm}$, người ta dùng biến áp tự ngẫu để $I_{mởba} = 100$ A. Xác định hệ số biến áp k, và động cơ có thể mở máy được không.

c) Cũng với tải trên, dùng điện kháng mở máy với $I_{mởĐK} = 200$ A. Xác định điện áp đặt lên động cơ lúc mở máy và động cơ có thể mở máy được không.

Đáp số : a) $I_{đm} = 87,36$ A ; $M_{đm} = 294,3$ Nm

$I_{mở} = 524,16$ A ; $M_{mở} = 794,6$ Nm

b) $k = 2,29$; $M_{mởba} = 151,52$ Nm $= 0,515\ M_{đm}$

$M_{mởba} > M_c$, động cơ mở máy được

c) $U_{mở} = 0,381\ U_{đm} = 145$ V

$M_{mởĐK} = 115,34$ Nm $= 0,392\ M_{đm}$

$M_{mởĐK} < M_c$, động cơ không mở máy được

Bài số 2.8

Một động cơ không đồng bộ ba pha đấu sao nối vào lưới U_d = 380 V. Biết R_n = 0,122Ω ; X_n = 0,4Ω ; f = 50 Hz

a) Tính dòng điện mở máy $I_{mở}$

b) Dùng điện kháng mở máy $I_{mởĐK}$ = 300 A. Tính điện cảm L của cuộn điện kháng mở máy .

Đáp số : $I_{mơ}$ = 526 A ; L = 1,029 mH

Bài số 2.9

Một động cơ không đồng bộ ba pha rôto dây quấn

E_2 = 157 V ; p = 4 ; f = 50 Hz; $n_{đm}$ = 728 vg/ph

R_2 = 0,105 Ω ; X_2 = 0,525 Ω

Tính mômen điện từ của động cơ.

Đáp số : $M_{đt}$ = 257,34 Nm

Chương 3

MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

3.1. ĐỊNH NGHĨA VÀ CÔNG DỤNG

3.1.1. Định nghĩa

Những máy điện xoay chiều có tốc độ rôto n bằng tốc độ quay của từ trường n_1 gọi là máy điện đồng bộ. Máy điện đồng bộ có hai dây quấn: dây quấn stato nối với lưới điện có tần số f không đổi, dây quấn rôto được kích thích bằng dòng điện một chiều. Ở chế độ xác lập máy điện đồng bộ có tốc độ quay rôto luôn không đổi khi tải thay đổi.

3.1.2. Công dụng

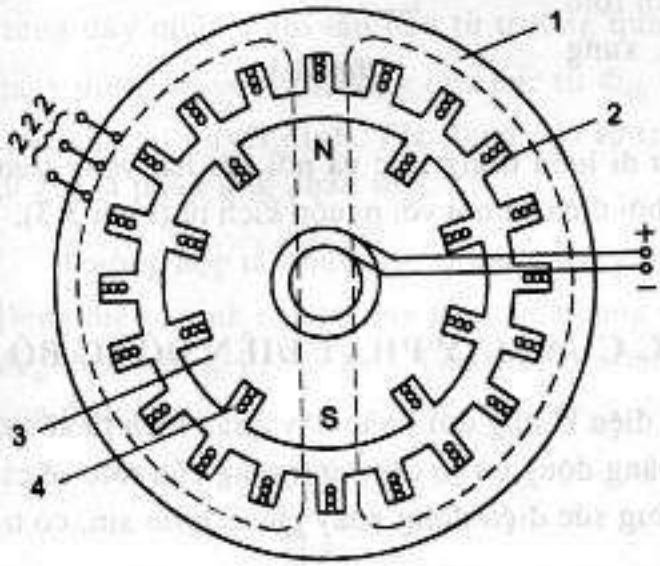
Máy phát điện đồng bộ là nguồn điện chính của các lưới điện quốc gia, trong đó động cơ sơ cấp là các tuabin hơi, tuabin khí hoặc tuabin nước. Công suất của mỗi máy phát có thể đạt đến 600 MVA hoặc lớn hơn và chúng thường làm việc song song. Ở các lưới điện công suất nhỏ, máy phát điện đồng bộ được kéo bởi các động cơ điezen hoặc các tuabin khí, có thể làm việc đơn lẻ hoặc hai ba máy làm việc song song.

Động cơ đồng bộ được sử dụng khi truyền động công suất lớn, có thể đạt đến vài chục MW. Trong công nghiệp luyện kim, khai thai thác mỏ, thiết bị lạnh, động cơ đồng bộ được sử dụng để truyền động các máy bơm, nén khí, quạt gió v.v... với tốc độ không đổi. Động cơ đồng bộ công suất nhỏ được sử dụng trong các thiết bị như đồng hồ điện, dụng cụ tự ghi, thiết bị lập chương trình, thiết bị điện sinh hoạt v.v...

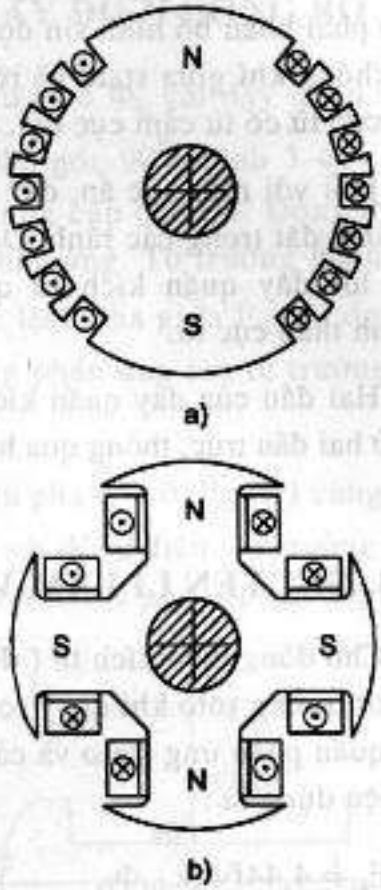
Trong hệ thống điện, máy bù đồng bộ dùng để phát công suất phản kháng cho lưới điện để bù hệ số công suất và ổn định điện áp.

3.2. CẤU TẠO MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Cấu tạo máy điện đồng bộ gồm 2 bộ phận chính là stato và rôto. Trên hình 3-1 vẽ mặt cắt ngang trục máy trong đó 1 : lá thép stato ; 2 : dây quấn stato ; 3 lá thép rôto ; 4 : dây quấn rôto.



Hình 3-1. Mặt cắt ngang trục máy



Hình 3-2. a) Rôto cực ẩn
b) Rôto cực lồi

3.2.1. Stato

Stato của máy điện đồng bộ giống như stato của máy điện không đồng bộ, gồm hai bộ phận chính là lõi thép stato và dây quấn ba pha stato. Dây quấn stato gọi là dây quấn phần ứng.

3.2.2. Rôto

Rôto máy điện đồng bộ có các cực từ và dây quấn kích từ dùng để tạo ra từ trường cho máy, đối với máy nhỏ rôto là nam châm vĩnh cửu.

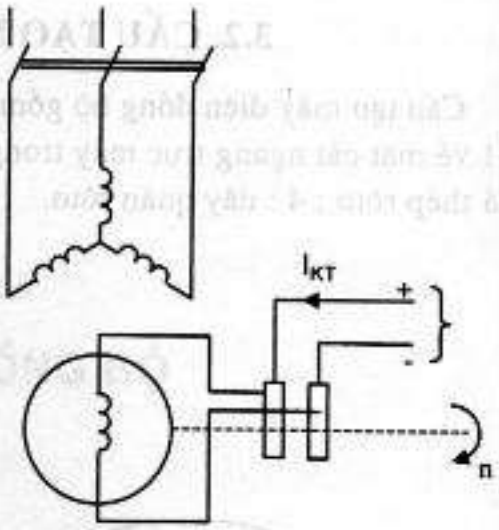
Có hai loại : rôto cực ẩn và rôto cực lồi. Hình 3-2a vẽ rôto cực ẩn, hình 3-2b vẽ rôto cực lồi.

Rôto cực lồi dùng ở các máy có tốc độ thấp, có nhiều đôi cực.

Rôto cực ẩn thường dùng ở máy có tốc độ cao 3000 vg/ph, có một đôi cực.

Để có sđđ sin, từ trường của cực từ rôto phải phân bố hình sin dọc theo khe hở không khí giữa stato và rôto, ở đỉnh các cực từ có từ cảm cực đại.

Đối với rôto cực ẩn, dây quấn kích từ được đặt trong các rãnh. Đối với rôto cực lồi dây quấn kích từ quấn xung quanh thân cực từ.



Hình 3-3

Hai đầu của dây quấn kích từ đi luồn trong trục và nối với hai vòng trượt đặt ở hai đầu trục, thông qua hai chổi điện để nối với nguồn kích từ (hình 3-3).

3.3. NGUYÊN LÍ LÀM VIỆC CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Cho dòng điện kích từ (dòng điện không đổi) vào dây quấn kích từ sẽ tạo nên từ trường rôto khi quay rôto bằng động cơ sơ cấp, từ trường của rôto sẽ cắt dây quấn phần ứng stato và cảm ứng sức điện động xoay chiều hình sin, có trị số hiệu dụng là :

$$E_0 = 4{,}44 f w_1 k_{dq} \Phi_0 \qquad (3.1)$$

Trong đó : E_0, w_1, k_{dq}, Φ_0 là sđđ pha, số vòng dây một pha, hệ số dây quấn, từ thông cực từ rôto.

Nếu rôto có p đôi cực, khi rôto quay được một vòng, sđđ phần ứng sẽ biến thiên p chu kì. Do đó tần số f của sđđ các pha lệch nhau góc pha 120^0.

$$f = pn \text{ , n đo bằng vg/s} \qquad (3.2a)$$

$$\text{hoặc } f = \frac{pn}{60} \text{ , n đo bằng vòng /phút} \qquad (3.2b)$$

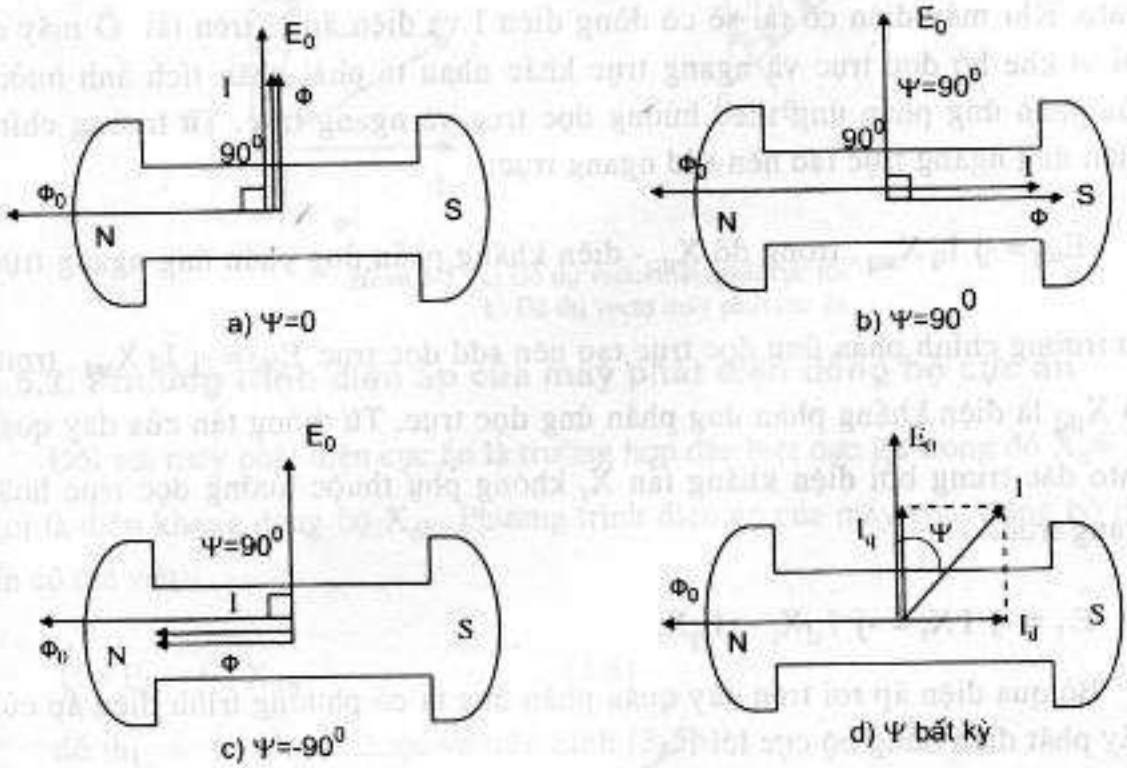
Dây quấn ba pha stato có trục lệch nhau trong không gian một góc 120^0điện, cho nên sđđ các pha lệch nhau góc pha 120^0. Khi dây quấn stato nối với tải, trong các dây quấn sẽ có dòng điện ba pha giống như ở máy điện

không đồng bộ, dòng điện ba pha trong ba dây quấn sẽ tạo nên từ trường quay, với tốc độ là $n_1 = 60\ f/p$, đúng bằng tốc độ n của rôto. Do đó loại máy điện này được gọi là máy điện đồng bộ.

3.4. PHẢN ỨNG PHẦN ỨNG CỦA MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Khi máy điện làm việc, từ thông của cực từ rôto Φ_0 cắt dây quấn stato cảm ứng ra sđd E_0 chậm pha so với từ thông Φ_0 góc 90^0(hình 3-4a). Dây quấn stato nối với tải sẽ tạo nên dòng điện I cung cấp cho tải. Dòng điện I trong dây quấn stato tạo nên từ trường quay phản ứng. Từ trường phản ứng quay đồng bộ với từ trường của cực từ Φ_0. Góc lệch pha giữa E_0và I do tính chất của tải quyết định. Tác dụng của từ trường phản ứng lên từ trường cực từ gọi là phản ứng phần ứng.

Trường hợp tải thuần trở (hình 3-4a) góc lệch pha $\psi = 0$, E_0 và I cùng pha. Dòng điện I sinh ra từ thông phản ứng cùng pha với dòng điện. Từ trường phản ứng theo hướng ngang trục, làm méo từ trường cực từ, ta gọi là phản ứng phần ứng ngang trục.



Hình 3-4. Phản ứng phần ứng của máy phát điện đồng bộ

Trường hợp tải thuần cảm (hình 3-4b) góc lệch pha $\psi = 90^0$ dòng điện I sinh ra từ trường phản ứng Φ ngược chiều với Φ_0 ta gọi là phản ứng phản ứng dọc trục khử từ, có tác dụng làm giảm từ trường tổng.

Trường hợp tải thuần dung $\psi = -90^0$(hình 3-4c) dòng điện sinh ra từ trường phản ứng Φ cùng chiều với Φ_0, ta gọi là phản ứng phản ứng dọc trục trợ từ, có tác dụng làm tăng từ trường tổng.

Trường hợp tải bất kỳ (hình 3-4d) ta phân tích dòng điện I làm thành hai phần: Thành phần dọc trục $I_d = I\sin\psi$ và thành phần ngang trục $I_q = I\cos\psi$, dòng điện I sinh ra từ trường phản ứng vừa có tính chất ngang trục vừa có tính chất dọc trục khử từ hoặc trợ từ tuỳ theo tính chất của tải (tính chất điện cảm hoặc tính chất điện dung).

3.5.MÔ HÌNH TOÁN CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

3.5.1.Phương trình điện áp của máy phát điện đồng bộ cực lồi

Khi máy phát điện làm việc từ thông cực từ Φ_0 sinh ra sđđ E_0 ở dây quấn stato. Khi máy điện có tải sẽ có dòng điện I và điện áp U trên tải. Ở máy cực lồi vì khe hở dọc trục và ngang trục khác nhau ta phải phân tích ảnh hưởng của phản ứng phần ứng theo hướng dọc trục và ngang trục. Từ trường chính phần ứng ngang trục tạo nên sđđ ngang trục:

$\dot{E}_{\text{ưq}} = -j\,\dot{I}_q X_{\text{ưq}}$, trong đó $X_{\text{ưq}}$- điện kháng phản ứng phần ứng ngang trục.

Từ trường chính phần ứng dọc trục tạo nên sđđ dọc trục $\dot{E}_{\text{ưd}} = -j\,\dot{I}_d X_{\text{ưd}}$, trong đó $X_{\text{ưd}}$ là điện kháng phản ứng phần ứng dọc trục. Từ thông tản của dây quấn stato đặc trưng bởi điện kháng tản X_t không phụ thuộc hướng dọc trục hoặc ngang trục:

$$\dot{E}_t = -j\,\dot{I}X_t = -j\,\dot{I}_d X_t - j\dot{I}_q X_t$$

Bỏ qua điện áp rơi trên dây quấn phần ứng ta có phương trình điện áp của máy phát điện đồng bộ cực lồi :

$$\dot{U} = \dot{E}_0 - j\,\dot{I}_d X_{\text{ưd}} - j\,\dot{I}_q X_{\text{ưq}} - j\dot{I}_d X_t - j\dot{I}_q X_t \qquad (3.3)$$

$$= \dot{E}_0 - j\,\dot{I}_d\,(X_{ud} + X_t) - j\,\dot{I}_q\,(X_{uq} + X_t) \qquad (3.4)$$

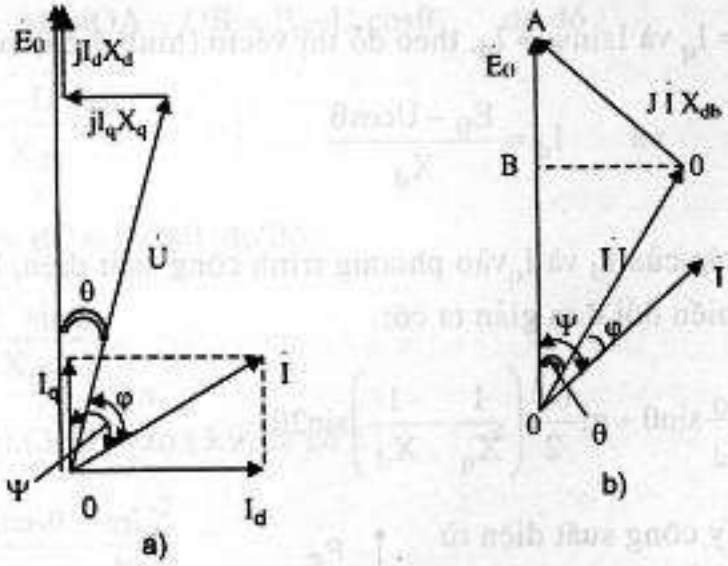
Gọi $X_{ud} + X_t = X_d$ là điện kháng đồng bộ dọc trục.

$X_{uq} + X_t = X_q$ là điện kháng đồng bộ ngang trục, ta có thể viết gọn lại:

$$\dot{U} = \dot{E}_0 - j\,\dot{I}_d X_d - j\,\dot{I}_q X_q \qquad (3.5)$$

Phương trình (3.5) tương ứng với đồ thị véctơ của máy phát cực lồi, (hình -5).

Từ phương trình điện áp và đồ thị véctơ ta thấy góc lệch pha giữa điện áp U và sđd E_0 do tải quyết định.



Hình 3-5. a) Đồ thị vectơ máy phát cực lồi
b) Đồ thị vectơ máy phát cực ẩn

3.5.2. Phương trình điện áp của máy phát điện đồng bộ cực ẩn

Đối với máy phát điện cực ẩn là trường hợp đặc biệt cực lồi trong đó $X_d = X_q$ gọi là điện kháng đồng bộ X_{db}. Phương trình điện áp của máy phát đồng bộ cực ẩn có thể viết:

$$\dot{U} = \dot{E}_0 - j\,\dot{I}X_{db} \qquad (3.6)$$

đồ thị véc tơ của nó được vẽ trên hình (3-5b)

3.6 CÔNG SUẤT ĐIỆN TỪ CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ CỰC LỒI

3.6.1. Công suất tác dụng

Công suất tác dụng của máy phát cung cấp cho tải là:

$$P = mUI\cos\varphi \qquad (3.7)$$

trong đó : U, I là điện áp pha, dòng điện pha.

m là số pha.

Theo đồ thị véctơ hình (3 - 5a) ta thấy $\varphi = \psi - \theta$ do đó:

$$P = m\,UI\cos\varphi = m\,UI\cos(\psi - \theta) = m\,UI\cos\psi\cos\theta + m\,UI\sin\psi\sin\theta$$

Vì $I\cos\psi = I_q$ và $I\sin\psi = I_d$, theo đồ thị véctơ (hình 3-5a) rút ra

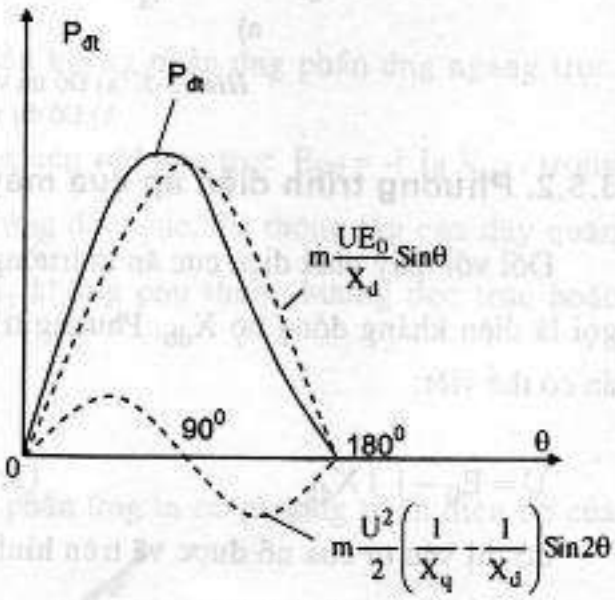
$$I_q = \frac{U\sin\theta}{X_q} \quad \text{và} \quad I_d = \frac{E_0 - U\cos\theta}{X_d}$$

Thế biểu thức của I_d và I_q vào phương trình công suất điện, bỏ qua tổn hao và sau một vài biến đổi đơn giản ta có:

$$P_{đt} = mU\frac{E_0}{X_d}\sin\theta + m\frac{U^2}{2}\left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d}\right)\sin 2\theta \qquad (3.8)$$

Ta nhận thấy công suất điện từ gồm hai thành phần (hình 3-6).

Thành phần $\frac{mUE_0}{X_d}\sin\theta$ do dòng điện kích từ tạo nên tỷ lệ với $\sin\theta$. Đó là thành phần công suất chủ yếu của máy phát. Thành phần $\frac{mU^2}{2}\left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d}\right)\sin 2\theta$, không phụ thuộc vào dòng điện kích từ và chỉ xuất hiện khi $X_d \neq X_q$. Đối với máy cực ẩn $X_d = X_q$ thành phần này bằng



Hình 3-6. Đồ thị đặc tính góc công suất

không. Người ta chế tạo động cơ rôto có khe hở dọc trục và ngang trục khác nhau(cực lồi) mà không cần dòng điện kích từ, do ảnh hưởng của thành phần công suất này cũng tạo nên được mômen quay, đó là nguyên lý của động cơ phản kháng.

Đặc tính $P = f(\theta)$ gọi là đặc tính góc công suất. Máy phát làm việc ổn định khi θ trong khoảng $0 \div \pi/2$; khi tải định mức $\theta = 20^o \div 30^o$.

3.6.2. Công suất phản kháng

Công suất phản kháng của máy phát đồng bộ là:

$$Q = m\,UI\sin\varphi = m\,UI\sin(\psi - \theta) = m[UI\sin\psi\cos\theta - UI\cos\psi\sin\theta] \quad (3.9)$$

Từ đồ thị véctơ hình 3-5b ta có :

$IX_{db}\sin\psi = AB = OA - OB = E_0 - U\cos\theta$ do đó :

$$I\sin\psi = \frac{E_0 - U\cos\theta}{X_{db}} \quad (3.10)$$

$IX_{db}\cos\psi = BC = U\sin\theta$ do đó :

$$I\cos\psi = \frac{U\sin\theta}{X_{db}} \quad (3.11)$$

Thay (3.10),(3.11) vào (3.9) ta có :

$$Q = \frac{mUE_0\cos\theta}{X_{db}} - \frac{mU^2}{X_{db}} \quad (3.12)$$

Biểu thức (3.12) là công suất phản kháng của máy phát đồng bộ viết theo các thông số của máy.

3.6.3.Điều chỉnh công suất tác dụng và công suất phản kháng

a) Điều chỉnh công suất tác dụng

Máy phát biến đổi cơ năng, vì thế muốn điều chỉnh công suất tác dụng P, phải điều chỉnh công suất cơ của động cơ sơ cấp (tuabin hơi hoặc tuabin khí v..v..).

b) Điều chỉnh công suất phản kháng

Từ biểu thức công suất phản kháng (3.12):

$$Q = \frac{mU(E_0\cos\theta - U)}{X_{đb}} \quad (3.13)$$

Khi giữ U, f và P không đổi thì

Nếu: $E_0 \cos\theta < U$ thì $Q < 0$

$E_0 \cos\theta = U$ thì $Q = 0$

$E_0 \cos\theta > U$ thì $Q > 0$

Khi $Q < 0$ nghĩa là máy không phát công suất phản kháng, mà nhận công suất phản kháng của lưới điện để tạo ra từ trường, máy thiếu kích từ.

Khi $Q > 0$ máy phát công suất phản kháng cung cấp cho tải, máy quá kích từ.

Nhìn các công thức trên, muốn thay đổi công suất phản kháng, phải thay đổi E_0 nghĩa là phải điều chỉnh dòng điện kích từ. Muốn tăng công suất phản kháng phát ra, phải tăng kích từ. Thật vậy muốn tăng dòng điện kích từ, E_0 sẽ tăng, $\cos\theta$ tăng (vì $E_0\sin\theta$ = const) do đó Q tăng.

3.7. ĐẶC TÍNH NGOÀI VÀ ĐẶC TÍNH ĐIỀU CHỈNH

3.7.1. Đặc tính ngoài của máy phát điện đồng bộ

Đặc tính ngoài của máy phát là quan hệ điện áp U trên cực máy phát và dòng điện tải I khi tính chất tải không đổi ($\cos\varphi_t$= const), tần số và dòng điện kích từ máy phát không đổi. Từ phương trình điện áp (3.5), ta vẽ đồ thị véctơ máy phát ứng với loại tải khác nhau. Ta thấy khi tải tăng, đối với tải cảm và trở, điện áp giảm (tải cảm điện áp giảm nhiều hơn), đối với tải dung điện áp tăng. Bằng đồ thị, ta thấy rằng, điện áp máy phát phụ thuộc vào dòng điện và đặc tính của tải.

Hình 3-7a vẽ đặc tính ngoài của máy phát khi I_{kt}=const (E_0= const) và $\cos\varphi_t$ không đổi, ứng với các tải khác nhau. Khi tải có tính chất cảm phản ứng phản ứng dọc trục khử từ làm từ thông tổng giảm do đó đặc tính ngoài dốc hơn tải điện trở. Để giữ điện áp U bằng định mức, phải thay đổi E_0 bằng cách điều chỉnh kích từ sao cho $I = I_{đm}$ có $U = U_{đm}$ vẽ trên hình 3-7b.

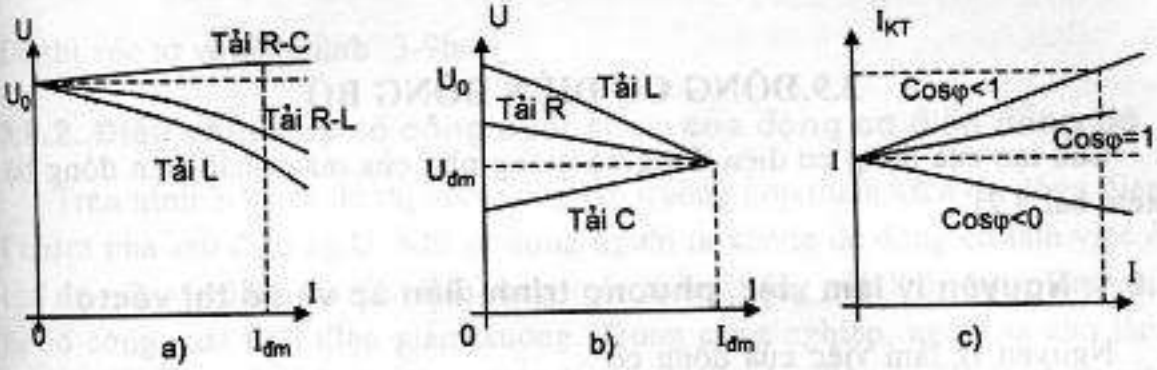
Độ biến thiên điện áp đầu cực của máy phát khi làm việc định mức so với khi không tải xác định như sau:

$$\Delta U\% = \frac{U_0 - U_{dm}}{U_{dm}} 100\% = \frac{E_0 - U_{dm}}{U_{dm}} 100\% \qquad (3.14)$$

Độ biến thiên điện áp $\Delta U\%$ của máy phát đồng bộ có thể đạt đến vài chục phần trăm vì điện kháng đồng bộ X_{db} khá lớn.

3.7.2.Đặc tính điều chỉnh

Đường đặc tính điều chỉnh là quan hệ giữa dòng điện kích từ và dòng điện tải khi điện áp U không đổi bằng định mức. Hình 3-7c vẽ đặc tính điều chỉnh của máy phát đồng bộ với các hệ số công suất khác nhau.



Hình 3-7. Các dạng đường đặc tính của máy phát điện đồng bộ

Phần lớn các máy phát điện đồng bộ có bộ tự động điều chỉnh dòng kích từ giữ cho điện áp không đổi.

3.8. SỰ LÀM VIỆC SONG SONG CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Các hệ thống điện gồm nhiều máy phát điện đồng bộ làm việc song song với nhau: tạo thành lưới điện. Công suất của lưới điện rất lớn so với công suất mỗi máy riêng rẽ, do đó điện áp cũng như tần số của lưới có thể giữ không đổi, khi thay đổi tải.

Để các máy làm việc song song, phải đảm bảo các điều kiện sau:

1. Điện áp của máy phát bằng điện áp của lưới điện và trùng pha nhau.
2. Tần số của máy phát phải bằng tần số của lưới điện.

3. Thứ tự pha của máy phát phải giống thứ tự pha của lưới điện.

Nếu không đảm bảo các điều kiện trên, sẽ có dòng điện lớn chạy quấn trong máy, phá hỏng máy và gây loạn hệ thống điện.

Để đóng máy phát điện và lưới ta dùng thiết bị hoà đồng bộ.

Đối với máy phát điện công suất nhỏ, có thể đóng vào lưới bằng phương pháp tự đồng bộ như sau:

Dây quấn kích từ không đóng vào nguồn điện kích từ, mà khép mạch qua điện trở phóng điện, để tránh xuất hiện điện áp cao, phá hỏng dây quấn kích từ. Quay rôto đến gần tốc độ đồng bộ, sau đó đóng máy phát điện vào lưới và cuối cùng sẽ đóng dây quấn kích từ vào nguồn điện kích từ, máy sẽ làm việc đồng bộ.

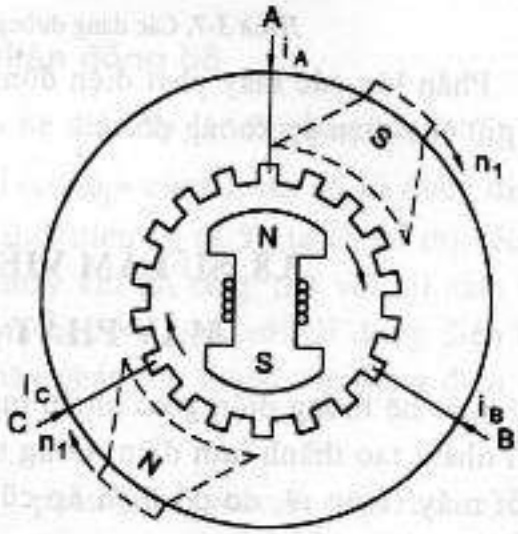
3.9.ĐỘNG CƠ ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Cấu tạo của động cơ điện đồng bộ giống như của máy phát điện đồng bộ (xem bài 3.2).

3.9.1. Nguyên lý làm việc, phương trình điện áp và đồ thị véctơ

Nguyên lý làm việc của động cơ điện đồng bộ như sau:

Khi ta cho dòng điện ba pha i_A, i_B, i_C vào ba dây quấn stato, tương tự như động cơ điện không đồng bộ, dòng điện ba pha ở stato sẽ sinh ra từ trường quay với tốc độ $n_1 = \frac{60f}{p}$. Ta hình dung từ trường quay stato như một nam châm quay tưởng tượng, vẽ bằng nét đứt trên hình 3-8. Khi cho dòng điện một chiều vào dây quấn rôto, rôto biến thành một nam châm điện.



Hình 3-8

Tác dụng hỗ trợ giữa từ trường stato và từ trường rôto sẽ có lực tác dụng lên rôto. Khi từ trường stato quay với tốc độ n_1, lực tác dụng ấy sẽ kéo rôto

quay với tốc độ $n = n_1$. Ví dụ với tần số f=50 Hz, và số đôi cực p = 1, tốc độ rôto là $n = \frac{60f}{p} = \frac{60.50}{1} = 3000$vg/ph. Nếu trục của rôto nối với một máy nào đó, thì động cơ điện sẽ kéo máy quay với tốc độ n không đổi.

Sơ đồ thay thế động cơ điện đồng bộ như hình 3-9a.

Phương trình điện áp là:

$$\dot{U} = \dot{E}_0 + \dot{I}R + j\dot{I}X_{db} \quad (3.15)$$

Khi bỏ qua điện trở dây quấn stato R ta có:

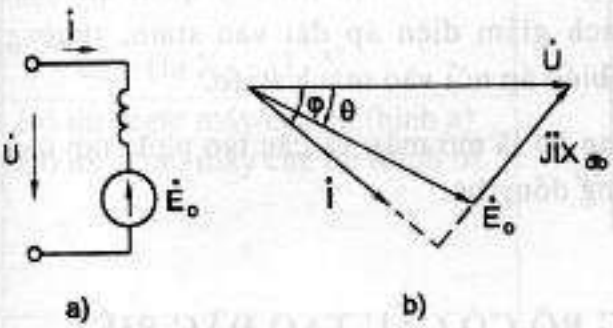
$$\dot{U} = \dot{E}_0 + j\dot{I}X_{db} \quad (3.16)$$

Đồ thị véc tơ vẽ trên hình 3-9b.

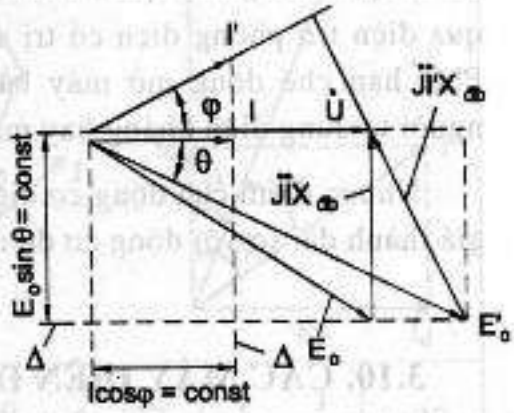
3.9.2. Điều chỉnh hệ số công suất cosφ của động cơ điện đồng bộ

Trên hình 3-9b vẽ đồ thị véctơ ứng với trường hợp thiếu kích từ, dòng điện I chậm pha sau điện áp U. Khi sử dụng người ta không để động cơ làm việc ở chế độ này, vì động cơ tiêu thụ công suất phản kháng của lưới điện, làm cho hệ số công suất lưới điện giảm xuống. Trong công nghiệp, người ta cho làm việc ở chế độ quá kích từ, dòng điện I vượt trước pha điện áp U, động cơ vừa tạo ra cơ năng, đồng thời phát ra công suất phản kháng nhằm nâng cao hệ số công suất cosφ của lưới điện. Đó là ưu điểm rất lớn của động cơ đồng bộ.

Để thấy rõ sự thay đổi hệ số công suất của động cơ đồng bộ, trên hình 3-10 vẽ đồ thị véctơ cho hai trường hợp.



Hình 3-9. Mạch điện thay thế và đồ thị vectơ của động cơ đồng bộ



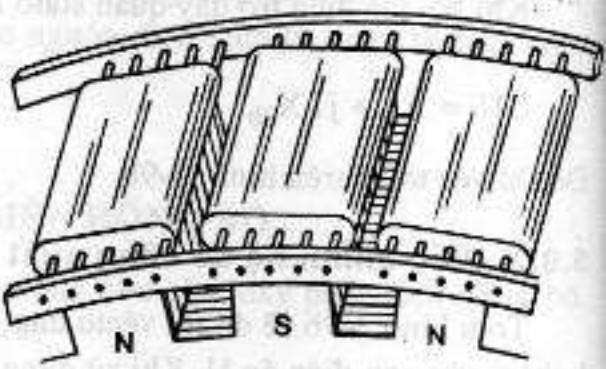
Hình 3-10

Khi cosφ = 1 ứng với E_0, I và khi quá kích từ cosφ = 0,9 (vượt trước) ứng với E'_0, I'. Vì U, f, p không đổi, nên I cosφ = cost, E_0 sinθ = cost, khi vẽ cần lưu ý, cuối véctơ I và E chạy trên đường Δ và Δ'.

3.9.3. Mở máy động cơ điện đồng bộ.

Khi cho dòng điện vào dây quấn stato sẽ tạo nên từ trường quay, kéo rôto quay như hình 3-8. Rôto có quán tính lớn nên vẫn đứng yên, do đó lực tác dụng tương hỗ giữa từ trường quay stato và trường cực từ thay đổi chiều, rôto không thể quay được. Muốn động cơ làm việc, phải tạo nên mômen mở máy để quay rôto đồng bộ với từ trường quay stato, giữ cho lực tác dụng tương hỗ giữa hai từ trường không đổi chiều.

Để tạo nên mômen mở máy, trên các mặt cực từ rôto, người ta đặt các thanh dẫn, được nối gắn mạch như lồng sóc ở động cơ không đồng bộ (hình 3-11).



Hình 3-11. Dây quấn mở máy của rôto động cơ đồng bộ

Khi mở máy, nhờ có dây quấn mở máy, trên các mặt cực từ rôto, động cơ sẽ làm việc như động cơ không đồng bộ. Người ta chế tạo các động cơ, có hệ số mở máy $M_{mở}/M_{dm}$ từ 8,0 ÷ 1,0.

Trong quá trình mở máy, ở dây quấn kích từ sẽ cảm ứng điện áp rất lớn, có thể phá hỏng dây quấn kích từ, vì thế dây quấn kích từ sẽ được khép mạch qua điện trở phóng điện có trị số bằng 6 ÷ 10 lần điện trở dây quấn kích từ. Phải hạn chế dòng mở máy bằng cách giảm điện áp đặt vào stato, thường người ta dùng điện kháng hay máy tự biến áp nối vào mạch stato.

Nhược điểm của động cơ điện đồng bộ là mở máy và cấu tạo phức tạp nên giá thành đắt so với động cơ điện không đồng bộ.

3.10. CÁC MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ CÓ CẤU TẠO ĐẶC BIỆT

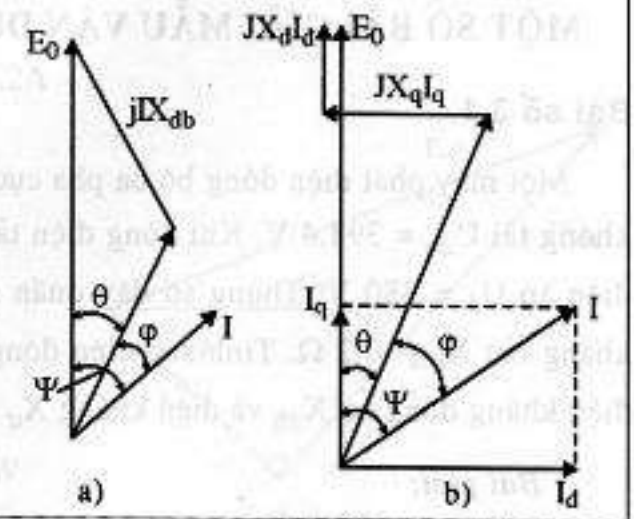
Ngoài máy phát điện và động cơ điện ba pha, ta còn gặp máy phát điện đồng bộ một pha (dùng cung cấp điện cho các tải công suất nhỏ, lưu động) và động cơ đồng bộ một pha, dung trong hệ tự động và thiết bị điện sinh hoạt.

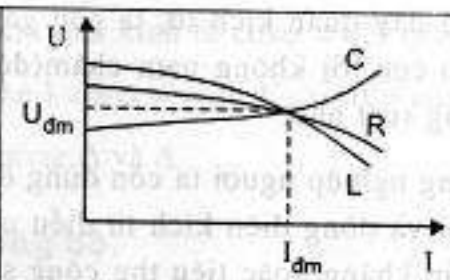
Ngoài máy có dây quấn kích từ, ta còn gặp các máy rôto là nam châm vĩnh cửu hoặc rôto cực lồi không nam châm(động cơ phản kháng). Các loại này thường có công suất nhỏ.

Trong công nghiệp người ta còn dùng động cơ đồng bộ công suất lớn làm việc không tải và dòng điện kích từ điều chỉnh được để cho động cơ phát ra công suất phản kháng hoặc tiêu thụ công suất phản kháng, mục đích để điều chỉnh điện áp lưới điện. Trong trường hợp này máy điện được gọi là máy bù đồng bộ.

Máy bù đồng bộ phát ra công suất phản kháng giống như tụ điện để nâng cao hệ số công suất cosφ cho lưới điện.

BẢNG TÓM TẮT CHƯƠNG 3

Tốc độ đồng bộ n_1	$n = n_1 = \frac{60f}{p}$ vg/ph
Tần số dòng điện stato	$f = \frac{pn}{60}$ Hz
Sức điện động pha stato	$E_0 = 4{,}44 f w_1 k_{dq1} \Phi_0$
Phương trình điện áp stato máy cực ẩn $\dot{U} = \dot{E}_0 - j\dot{I}X_{db}$	
Phương trình điện áp stato máy cực lồi $\dot{U} = \dot{E}_0 - j\dot{I}_d X_d - j\dot{I}_q X_q$	
Đồ thị vectơ máy cực ẩn (hình a)	
Đồ thị vectơ máy cực lồi (hình b)	
Công suất điện từ	$P_{đt} = \frac{mUE_0}{X_d}\sin\theta + \frac{mU^2}{2}\left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d}\right)\sin 2\theta$
Điều chỉnh công suất tác dụng P	Điều chỉnh công suất động cơ sơ cấp
Điều chỉnh công suất phản kháng	Điều chỉnh dòng kích từ

Đường đặc tính ngoài U = f(I) I_{kt} = const n = const	
Mở máy động cơ đồng bộ	Lồng sóc mở máy
Điều chỉnh cosφ động cơ đồng bộ để cải thiện mạng điện	Điều chỉnh dòng kích từ
Máy bù đồng bộ	Điều chỉnh dòng kích từ để điều chỉnh điện áp và cosφ lưới điện

CÂU HỎI ÔN TẬP

1) Cấu tạo và nguyên lý làm việc của máy phát điện đồng bộ.

2) Mô hình toán của máy phát điện đồng bộ.

3) Công suất điện từ của máy phát điện đồng bộ.

4) Đặc tính ngoài và đặc tính điều chỉnh của máy phát điện đồng bộ.

5) Nguyên lý làm việc, cách mở máy và điều chỉnh cosφ của động cơ đồng bộ.

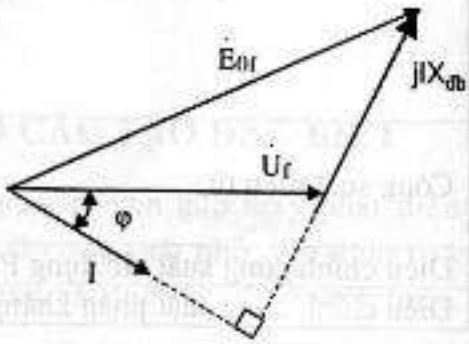
MỘT SỐ BÀI GIẢI MẪU VẬN DỤNG KIẾN THỨC ĐÃ HỌC

Bài số 3.1.

Một máy phát điện đồng bộ ba pha cực ẩn, dây quấn stato nối sao, điện áp không tải U_{do} = 398,4 V. Khi dòng điện tải I= 6 A, cosφ = 0,8 (chậm sau) thì điện áp U_d = 380 V. Thông số dây quấn stato như sau: điện trở R = 0; điện kháng tản X_t = 0,2 Ω. Tính sức điện động pha máy phát khi không tải. Tính điện kháng đồng bộ X_{db} và điện kháng X_u.

Bài giải:

Đồ thị véctơ dòng điện và điện áp vẽ trên hình 3-12. E_{0f} là sức điện động pha không tải. Vì máy nối sao nên:



Hình 3-12

$$E_{0f} = \frac{U_{do}}{\sqrt{3}} = \frac{398,4}{\sqrt{3}} = 230V$$

Từ đồ thị véc tơ ta có:

$$IX_{db} = \sqrt{E_{of}^2 - (U_f\cos\varphi)^2} - U_f\sin\varphi = 16,07V$$

$$X_{db} = \frac{\sqrt{E_{of}^2 - (U_f\cos\varphi)^2} - U_f\sin\varphi}{I} = \frac{\sqrt{230^2 - (220.0,8)^2} - 220.0,6}{6} = 2,68\Omega$$

$$X_u = X_{db} - X_t = 2,68 - 0,2 = 2,48\Omega$$

Bài số 3.2

Một máy phát điện đồng bộ ba pha cực ẩn có : S_{dm} = 1500 k VA;

U_{dm} =6600 V ; $\cos\varphi_{dm}$ = 0,8 ; dây quấn stato đấu sao, điện trở dây quấn stato R = 0,45 Ω; điện kháng đồng bộ X_{db} = 6Ω.

a) Một tải có U = 6600 V, cos φ = 0,8 tiêu thụ dòng điện bằng định mức.Tính dòng điện, công suất tác dụng và phản kháng của tải.

b) Nếu cắt tải và dòng điện kích từ chưa điều chỉnh vẫn giữ trị số như lúc có tải trên, thì điện áp đầu cực máy phát bằng bao nhiêu.

Bài giải:

Dòng điện định mức của máy phát

$$I_{dm} = \frac{S_{dm}}{\sqrt{3}U_{dm}} = \frac{1500.10^3}{\sqrt{3}.6600} = 131,2A$$

Điện áp pha máy phát

$$U_{fdm} = \frac{U_{dm}}{\sqrt{3}} = \frac{6600}{\sqrt{3}} = 3810V$$

Công suất tác dụng tải tiêu thụ:

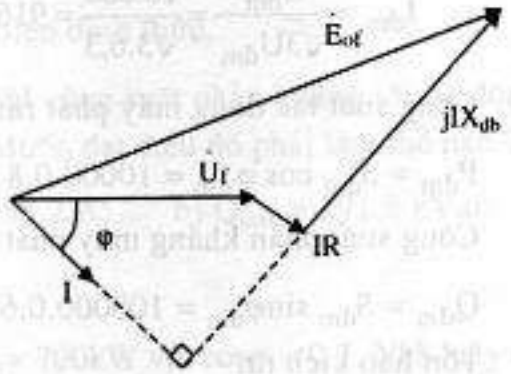
$$P = \sqrt{3}UI\cos\varphi = s_{dm}\cos\varphi$$

$$= \sqrt{3}.6600.131,2.0,8 = 1200kW$$

Công suất phản kháng tiêu thụ

$$Q = \sqrt{3}UI\sin\varphi =$$

$$= \sqrt{3}.6600.131.0,6 = 900kVAr$$



Hình 3-13

Dựa vào đồ thị véc tơ (hình 3-13) ta tính được sức điện động pha.

$$E_{of} = \sqrt{(U_f\cos\varphi + IR)^2 + (IX_{db} + U_f\sin\varphi)^2}$$

$$= \sqrt{(3810.0,8 + 131,2.0,45)^2 + (131,2.6 + 3810.0,6)^2} = 4370V$$

Điện áp dây đầu cực máy phát khi cắt tải:

$$U_{0f} = \sqrt{3}E_{0f} = \sqrt{3}.4370 = 7569V$$

Bài số 3.3

Một máy phát điện đồng bộ ba pha cực ẩn đấu sao: S_{dm} = 10.000 k VA;

U_{dm} = 6,3kV; f = 50Hz ; $\cos\varphi_{dm}$ = 0,8; số đôi cực p = 2; điện trở dây quấn stato R = 0,04Ω; điện kháng đồng bộ X_{db} = 1Ω; tổn hao kích từ ΔP_{kt} = 2% P_{dm} ; tổn hao cơ,sắt từ và phụ ΔP_{cstf} = 2,4% P_{dm}.

a) Tính tốc độ quay rôto dòng điện định mức.

b) Tính công suất tác dụng và phản kháng máy phát ra; công suất động cơ sơ cấp kéo máy phát và hiệu suất máy phát khi máy làm việc ở chế độ định mức.

Bài giải:

Tốc độ quay rôto :

$$n = n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{60.50}{2} = 1500vg/ph$$

Dòng điện định mức:

$$I_{dm} = \frac{S_{dm}}{\sqrt{3}U_{dm}} = \frac{10.000}{\sqrt{3}.6,3} = 916,5A$$

Công suất tác dụng máy phát ra:

$$P_{dm} = S_{dm}\cos\varphi_{dm} = 10000.0,8 = 8000\ kW$$

Công suất phản kháng máy phát ra:

$$Q_{dm} = S_{dm}\sin\varphi_{dm} = 100000.0,6 = 6000\ kVar$$

Tổn hao kích từ:

$$\Delta P_{kt} = 0,02P_{dm} = 0,02.8000 = 160\ kW.$$

Tổng tổn hao cơ, sắt từ và phụ:

$$\Delta P_{cstf} = 0,024P_{dm} = 0,024.8000 = 192\ kW$$

Tổn hao trên điện trở dây quấn phần ứng:

$\Delta P_d = 3.916,5^2.0,04 = 100,8$ kW

Công suất động cơ sơ cấp:

$P_1 = P_{dm} + P_{kt} + P_{cstf} + \Delta P_d = 8000 + 160 + 192 + 100,8 = 8452,8$ kW

$$\eta = \frac{P_{dm}}{P_1} = \frac{8000}{8452,8} = 0,946$$

BÀI TẬP HỌC SINH TỰ LÀM

Bài số 3.4

Hai máy phát điện đồng bộ làm việc song song cung cấp điện cho hai tải:

Tải 1: $S_{t1} = 5000$ kVA ; $\cos\varphi_1 = 0,8$

Tải 2: $S_{t2} = 3000$kVA ; $\cos\varphi_2 = 1$

Máy phát thứ nhất phát ra $P_1 = 4000$ kW, $Q_1 = 2500$ kVar. Tính công suất máy phát thứ hai và hệ số công suất của mỗi máy phát.

Đáp số : $P_2 = 3000$ kW; $Q_2 = 500$ kVar ; $\cos\varphi_1 = 0,848$; $\cos\varphi_2 = 0,986$.

Bài số 3.5

Một động cơ điện đồng bộ ba pha đấu sao có thông số $P_{dm} = 575$ kW

$U_{dm} = 6000$ V ; $\eta = 0,95$; $\cos\varphi_{dm} = 1$; $p = 3$; $f = 50$Hz.

a) Tính mômen quay định mức, dòng điện định mức.

b) Nếu mômen cản chỉ đạt 75% M_{dm} thì công suất phản kháng tối đa động cơ có thể bù cho mạng điện là bao nhiêu? Muốn đạt điều đó phải làm thế nào ?

Đáp số : a) $M_{dm} = 5491$ Nm; $I_{dm} = 58,2$ A; b) $Q_{max} = 391,8$ kVar.

Bài số 3.6

Một nhà máy tiêu thụ công suất điện $P_1 = 700$kW với $\cos\varphi = 0,7$. Nhà máy có thêm một tải cơ với công suất cơ 100kW. Để kéo lại và kết hợp nâng cao $\cos\varphi$ người ta chọn một động cơ đồng bộ có hiệu suất $\eta = 0,88$. Xác định công suất biểu kiến S_{dm} của động cơ đồng bộ để nâng hệ số công suất nhà máy đạt 0,8.

Đáp số : $S_{dm} \geq 154$ kVA

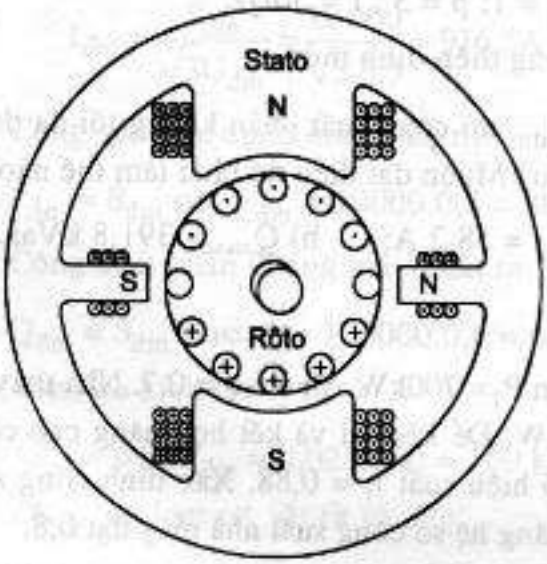
Chương 4

MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

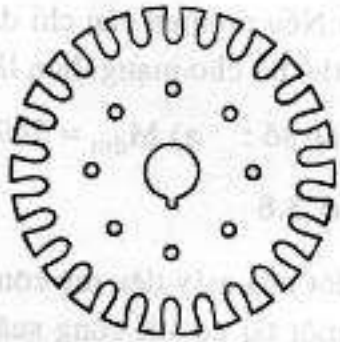
Ngày nay, mặc dù dòng điện xoay chiều được sử dụng rất rộng rãi, song máy điện một chiều vẫn tồn tại, đặc biệt là động cơ 1 chiều. Trong công nghiệp, động cơ điện một chiều được sử dụng ở những nơi yêu cầu mômen mở máy lớn hoặc yêu cầu điều chỉnh tốc độ bằng phẳng và phạm vi rộng.

Trong các thiết bị tự động, các máy điện khuếch đại, các động cơ chấp hành cũng là máy điện một chiều. Ngoài ra, các máy điện một chiều còn thấy trong thiết bị ô tô, tàu thuỷ, máy bay, các máy phát điện một chiều điện áp thấp dùng trong các thiết bị điện hoá, thiết bị hàn điện có chất lượng cao.

Nhược điểm chủ yếu của máy điện một chiều là có cổ góp làm cho cấu tạo phức tạp, đắt tiền và kém tin cậy, nguy hiểm trong môi trường dễ nổ. Khi sử dụng động cơ một chiều, cần phải có nguồn điện một chiều kèm theo (bộ chỉnh lưu hay máy phát điện một chiều).



Hình 4-1. Mặt cắt ngang trục máy điện một chiều



Hình 4-2. Lá thép lõi rôto

4.1. CẤU TẠO MÁY PHÁT ĐIỆN MỘT CHIỀU

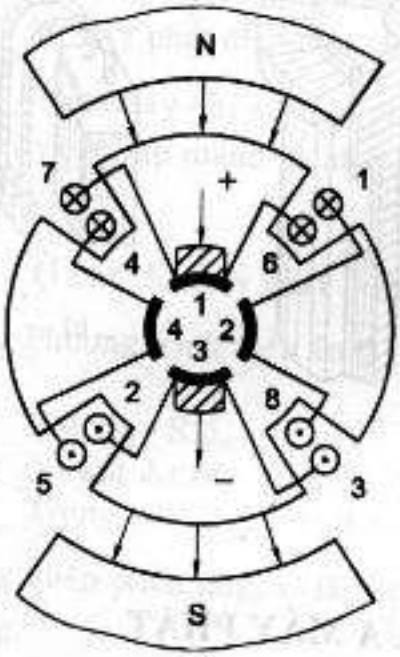
Những phần chính của máy điện một chiều gồm stato với cực từ, rôto với dây quấn và cổ góp với chổi điện. Trên hình 4-1 vẽ mặt cắt ngang trục

4.1.1. Stato

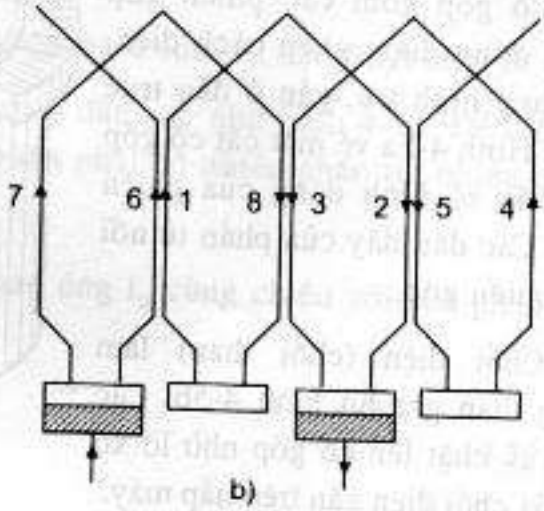
Stato còn gọi là phần cảm, gồm lõi thép bằng thép đúc, vừa là mạch từ vừa là vỏ máy. Các cực từ chính có dây quấn kích từ (hình 4-1).

4.1.2. Rôto

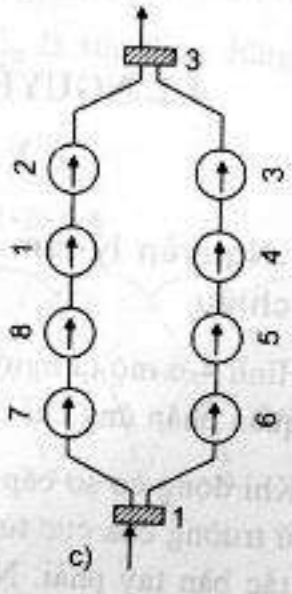
Rô to của máy điện một chiều được gọi là phần ứng, gồm lõi thép và dây quấn phần ứng. Lõi thép hình trụ, làm bằng các lá thép kỹ thuật điện dày 0,5 mm, phủ sơn cách điện ghép lại. Các lá thép được dập có lỗ thông gió



a)



b)

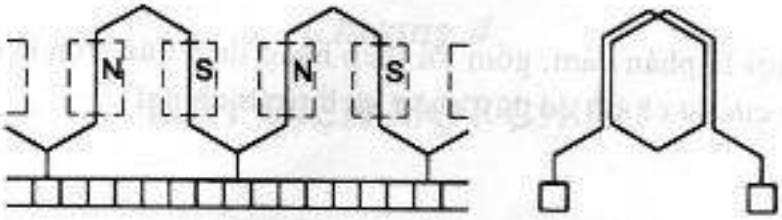


c)

Hình 4-3

và rãnh để đặt dây quấn phần ứng (hình 4-2). Mỗi phần tử của dây quấn, phần ứng có nhiều vòng dây, hai đầu với hai phiến góp, hai cạnh tác dụng của phần tử dây quấn đặt trong hai rãnh dưới hai cực khác tên. Hình 4-3a, b vẽ bốn phần tử dây quấn xếp hai lớp. Mỗi phần tử chỉ có một vòng các phần tử được nối thành mạch vòng khép kín. Ở dây quấn xếp đơn số nhánh song song bằng số cực từ. Dây quấn trên hình vẽ có hai nhánh song song (Hình 4-3c).

Ngoài dây quấn xếp, ở máy điện một chiều còn kiểu dây quấn sóng. Hình 4-4 vẽ hai phần tử dây quấn kiểu sóng. Các phần tử được nối thành mạch vòng kín. ở dây quấn sóng đơn chỉ có hai mạch nhánh song song, thường thấy ở máy có công suất nhỏ.

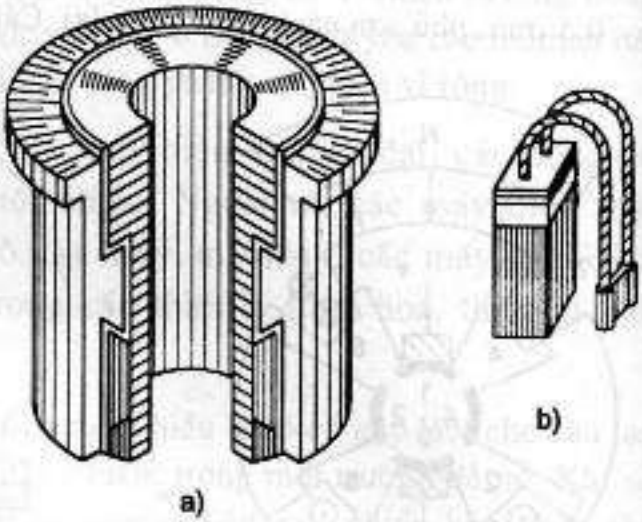


Hình 4-4. Dây quấn kiểu sóng

4.1.3.Cổ góp và chổi điện

Cổ góp gồm các phiến góp bằng đồng được ghép cách điện, có dạng hình trụ, gắn ở đầu trục rôto. Hình 4-5a vẽ mặt cắt cổ góp để thấy rõ hình dáng của phiến góp. Các đầu dây của phần tử nối với phiến góp.

Chổi điện (chổi than) làm bằng than graphit hình 4-5b. Các chổi tỳ chặt lên cổ góp nhờ lò xo và giá chổi điện gắn trên nắp máy.



Hình 4-5. a) Cổ góp b)Chổi điện

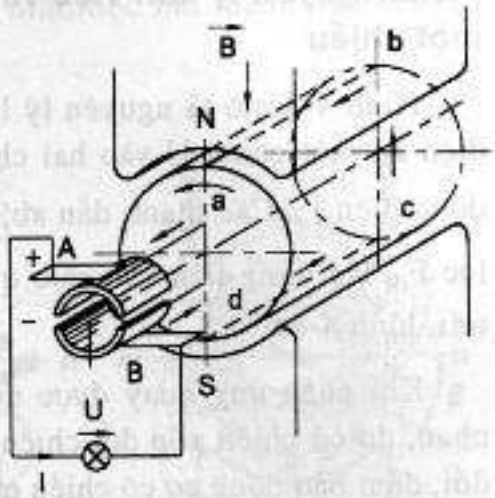
4.2. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA MÁY PHÁT VÀ ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU

4.2.1.Nguyên lý làm việc và phương trình điện áp máy phát điện một chiều

Hình 4-6 mô tả nguyên lý làm việc của máy phát điện một chiều, trong đó dây quấn phần ứng chỉ có một phần tử nối với hai phiến đổi chiều.

Khi động cơ sơ cấp quay phần ứng, các thanh dẫn của dây quấn phần ứng cắt từ trường của cực từ, cảm ứng các sức điện động. Chiều sđđ xác định theo quy tắc bàn tay phải. Như hình 4.6, từ trường hướng từ cực N đến S (từ trên xuống dưới), chiều quay phần ứng ngược chiều kim đồng hồ, ở thanh dẫn phía

trên, sđđ có chiều từ b đến a. Ở thanh dẫn phía dưới, chiều sđđ từ d đến c. Sđđ của phần tử bằng hai lần sđđ của thanh dẫn. Nếu nối hai chổi điện A và B với tải, trên tải sẽ có dòng điện chiều từ A đến B. Điện áp của máy phát điện có cực dương ở chổi A và âm ở chổi B.



Hình 4-6. Nguyên lí làm việc của máy phát điện một chiều.

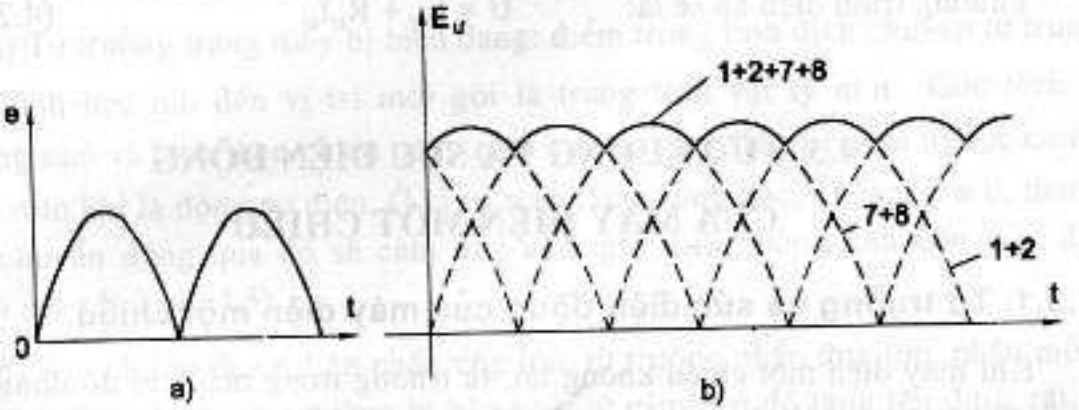
Khi phần ứng quay được nửa vòng, vị trí của phần tử thay đổi, thanh ab ở cực S, thanh dc ở cực N, sđđ trong thanh dẫn đổi chiều. Nhờ có chổi điện đứng yên, chổi điện A vẫn nối với phiến góp phía trên, chổi B nối với phiến góp phía dưới, nên chiều dòng điện ở mạch ngoài không đổi. Ta có máy phát điện một chiều với cực dương ở chổi A, cực âm ở chổi B.

Nếu máy chỉ có một phần tử, điện áp đầu cực như hình 4-7a. Để điện áp lớn và ít đập mạnh (hình 4-7b), dây quấn phải có nhiều phần tử, nhiều phiến đổi chiều.

Ở chế độ máy phát , dòng điện phần ứng I_u cùng chiều với sđđ phần ứng E_u. Phương trình điện áp là:

$$U = E_u - R_u I_u \qquad (4.1)$$

Trong đó: $R_u I_u$ là điện rơi trong dây quấn phần ứng; R_u là điện trở của dây quấn phần ứng; U là điện áp đầu cực máyphát; E_u là sức điện động phần ứng.

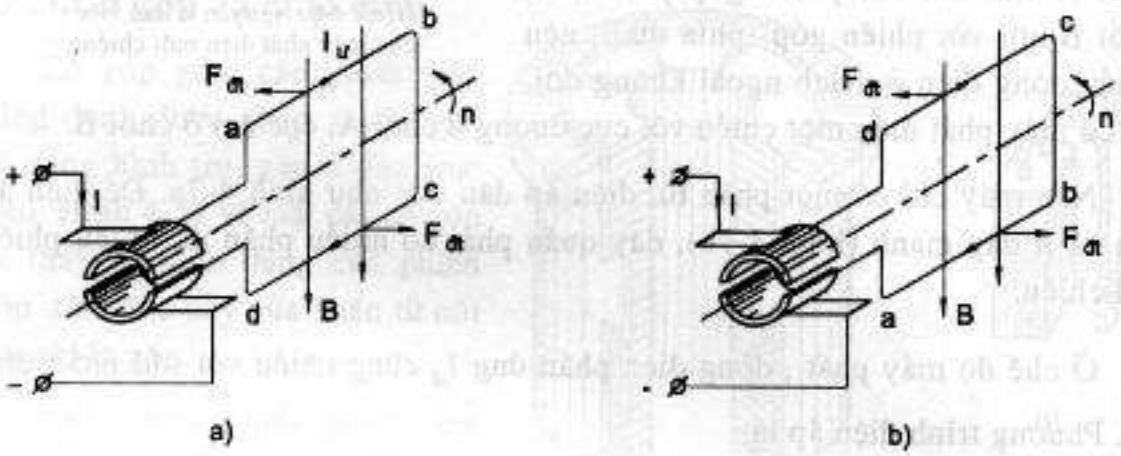


Hình 4-7. Đồ thị điện áp đầu cực máy phát điện một chiều

4.2.2.Nguyên lý làm việc và phương trình điện áp của động cơ điện một chiều

Hình 4-8 mô tả nguyên lý làm việc của động cơ điện một chiều. Khi cho điện áp một chiều U vào hai chổi điện A và B, trong dây quấn phần ứng có dòng điện $I_ư$. Các thanh dẫn ab, cd có dòng điện nằm trong từ trường, sẽ chịu lực $F_{đt}$ tác dụng làm cho rôto quay. Chiều lực xác định theo quy tắc bàn tay trái, hình 4-8a.

Khi phần ứng quay được nửa vòng, vị trí các thanh dẫn ab, cd đổi chỗ nhau, do có phiến góp đổi chiều dòng điện, giữ cho chiều lực tác dụng không đổi, đảm bảo động cơ có chiều quay không đổi (hình 4-8b).



Hình 4-8. Nguyên lí làm việc của động cơ điện một chiều

Khi động cơ quay, các thanh dẫn cắt từ trường sẽ cảm ứng sđđ $E_ư$. Chiều sđđ xác định theo qui tắc bàn tay phải. Ở động cơ một chiều sđđ $E_ư$ ngược chiều với dòng điện $I_ư$, nên $E_ư$ còn được gọi là sức phản điện.

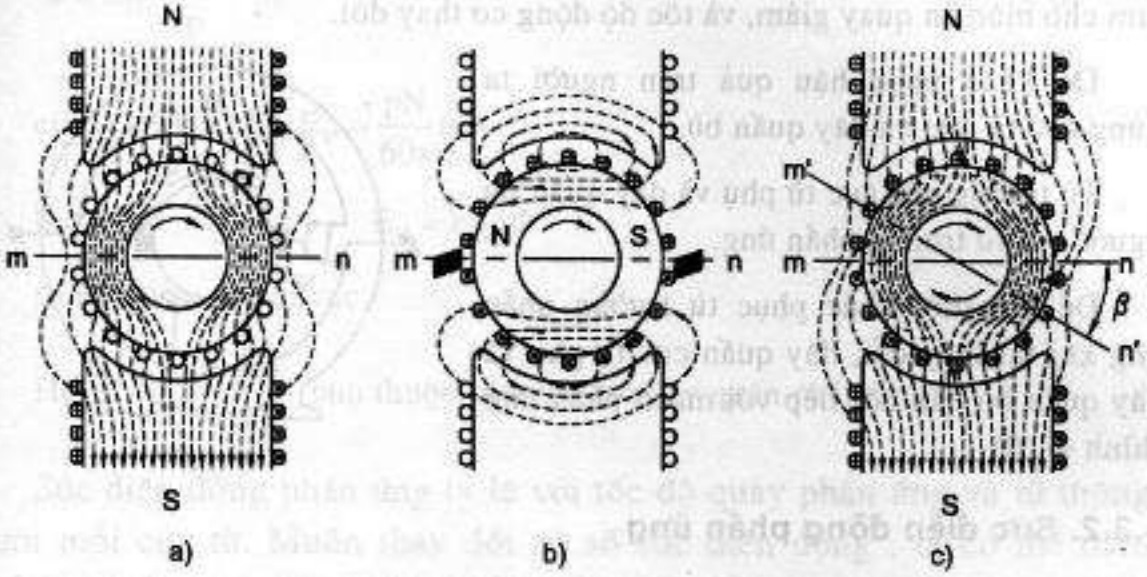
Phương trình điện áp sẽ là: $$U = E_ư + R_ư I_ư \quad (4.2)$$

4.3. TỪ TRƯỜNG VÀ SỨC ĐIỆN ĐỘNG CỦA MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

4.3.1. Từ trường và sức điện động của máy điện một chiều

Khi máy điện một chiều không tải, từ trường trong máy chỉ do dòng điện kích từ gây ra gọi là từ trường cực từ. Trên hình 4-9a vẽ từ trường cực từ. Từ

trường cực từ phân bố đối xứng, ở trung tính hình học mn thanh dẫn chuyển động qua đó không cảm ứng sđđ.



Hình 4-9. Từ trường máy điện một chiều

Khi máy điện có tải, dòng điện I_u trong dây quấn phần ứng sẽ sinh ra từ trường phần ứng (hình 4-9b). Từ trường phần ứng hướng vuông góc với từ trường cực từ.

Tác dụng của từ trường phần ứng lên từ trường cực từ gọi là phản ứng phần ứng, từ trường trong máy là từ trường tổng hợp của từ trường cực từ và từ trường phần ứng (hình 4-9c). Trên hình 4-9c vẽ từ trường tổng hợp. Ở một mỏm cực, từ trường được tăng cường (Ở đó từ trường phần ứng trùng chiều với từ trường cực từ), trong khi đó ở mỏm cực kia, từ trường bị yếu đi (Ở đó từ trường phần ứng ngược chiều với từ trường cực từ).

Hậu quả của phản ứng phần ứng là:

a) Từ trường trong máy bị biến dạng: điểm trung tính dịch chuyển từ trung tính hình học mn đến vị trí mới gọi là trung tính vật lý $m'n'$. Góc lệch β thường nhỏ và lệch theo chiều quay rôto khi là máy phát điện, và ngược chiều quay rôto khi là động cơ điện. Ở vị trí trung tính hình học, từ cảm $B \neq 0$, thanh dẫn chuyển động qua đó sẽ cảm ứng sđđ, gây ảnh hưởng xấu đến việc đổi chiều (sẽ xét ở bài 4.5).

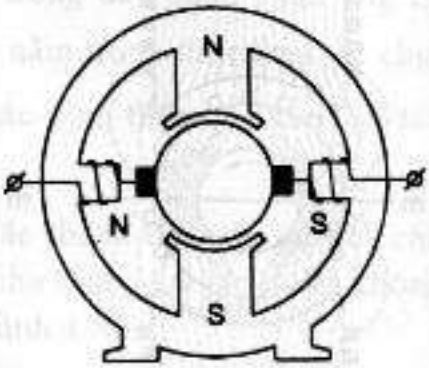
b) Khi tải lớn dòng điện phần ứng lớn, từ trường phần ứng lớn, phần mỏm cực từ trường được tăng cường bị bão hoà, từ cảm B ở đó tăng lên được rất ít, trong khi đó, mỏm cực kia từ trường giảm đi nhiều, kết quả là từ thông Φ của

máy bị giảm xuống. Từ thông giảm kéo theo sức điện động phần ứng E_u giảm, làm cho điện áp đầu cực máy phát U giảm. Ở chế độ động cơ, từ thông giảm làm cho mômen quay giảm, và tốc độ động cơ thay đổi.

Để khắc phục hậu quả trên người ta dùng cực từ phụ và dây quấn bù.

Từ trường của cực từ phụ và dây quấn bù ngược với từ trường phần ứng.

Để kịp thời khắc phục từ trường phần ứng khi tải thay đổi, dây quấn cực từ phụ và dây quấn bù đấu nối tiếp với mạch phần ứng (hình 4-10).



Hình 4-10

4.3.2. Sức điện động phần ứng

a) Sức điện động thanh dẫn

Khi quay rôto, các thanh dẫn của dây quấn phần ứng cắt từ trường, trong mỗi thanh dẫn cảm ứng sức điện động là:

$$e = B_{tb}lv$$

trong đó: B_{tb}- từ cảm trung bình dưới cực từ

v - tốc độ của thanh dẫn

l - chiều dài hiệu dụng thanh dẫn.

b) Sức điện động phần ứng E_u

Dây quấn phần ứng gồm nhiều phần tử nối tiếp nhau thành mạch vòng kín. Các chổi điện chia dây quấn thành nhiều nhánh song song. Sức điện động phần ứng bằng tổng các sức điện động thanh dẫn trong một nhánh. Nếu số thanh dẫn của dây quấn là N, số nhánh song song là 2a (a là số đôi nhánh), số thanh dẫn một nhánh là $\frac{N}{2a}$, sức điện động phần ứng là:

$$E_u = \frac{N}{2a}e = \frac{N}{2a}B_{tb}lv \qquad (4.4)$$

Tốc độ dài v xác định theo độ quay n (v/ph) bằng công thức:

$$v = \frac{\pi Dn}{60} \qquad (4.5)$$

Thay (4.5) vào (4.4)và chú ý rằng từ thông ϕ dưới mỗi cực là:

$$\Phi = B_{tb}\frac{\pi Dl}{2p} \qquad (4.6)$$

cuối cùng ta có: $E_u = \frac{pN}{60a} n\Phi$ (4.7a)

hoặc $E_u = k_E n\Phi$ (4.7b)

trong đó p: số đôi cực.

Hệ số $k_E = \frac{pN}{60a}$ phụ thuộc vào cấu tạo dây quấn phần ứng.

Sức điện động phần ứng tỷ lệ với tốc độ quay phần ứng và từ thông dưới mỗi cực từ. Muốn thay đổi trị số sức điện động , ta có thể điều chỉnh tốc độ quay, hoặc điều chỉnh từ thông, bằng cách điều chỉnh dòng điện kích từ. Muốn đổi chiều sức điện động thì hoặc đổi chiều quay, hoặc đổi chiều dòng điện kích từ.

4.4. CÔNG SUẤT ĐIỆN TỪ, MÔMEN ĐIỆN TỪ CỦA MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

Công suất điện từ của máy điện một chiều

$$P_{dt} = E_u I_u \qquad (4.8)$$

Thay giá trị E_u trong (4.7a)vào (4.8)ta có

$$P_{dt} = \frac{pN}{60a} n\,\Phi\, I_u \qquad (4.9)$$

Mômen điện từ là:

$$M_{dt} = \frac{P_{dt}}{\omega_r} \qquad (4.10)$$

ω_r là tốc độ góc quay của rôto, được tính theo tốc độ quay của n (vg/ph) bằng biểu thức:

$$\omega_r = \frac{2\pi n}{60} \qquad (4.11)$$

thay (4.11) vào (4.10) cuối cùng ta có biểu thức của mômen điện từ là:

$$M_{đt} = \frac{pN}{2\pi a} I_u \Phi \qquad (4.12a)$$

hoặc:

$$M_{đt} = k_M I_u \Phi \qquad (4.12b)$$

trong đó hệ số $k_M = \frac{pN}{2\pi a}$ phụ thuộc vào cấu tạo dây quấn.

Mômen điện từ tỷ lệ với dòng điện phần ứng I_u và từ thông. Muốn thay đổi mômen điện từ, ta phải thay đổi dòng điện phần ứng I_u hoặc thay đổi dòng điện kích từ I_{kt}. Muốn đổi chiều mômen điện từ phải đổi chiều hoặc dòng điện phần ứng hoặc dòng điện kích từ.

4.5 TIA LỬA ĐIỆN TRÊN CỔ GÓP VÀ BIỆN PHÁP KHẮC PHỤC

Khi máy điện làm việc, quá trình đổi chiều thường gây ra tia lửa giữa chổi điện và cổ góp. Tia lửa lớn có thể gây nên vành lửa xung quanh cổ góp, phá hỏng chổi điện và cổ góp, gây tổn hao năng lượng, ảnh hưởng xấu đến môi trường và gây nhiễu đến sự làm việc của các thiết bị điện tử. Sự phát sinh tia lửa trên cổ góp do các nguyên nhân cơ khí và điện tử.

4.5.1. Nguyên nhân cơ khí

Sự tiếp xúc giữa cổ góp và chổi điện không tốt, do cổ góp không tròn, không nhẵn, chổi than không đúng quy cách, rung động của chổi than do cố định không tốt hoặc lực lò xo không đủ để tỳ sát chổi điện vào cổ góp.

4.5.2. Nguyên nhân điện từ

Khi rôto quay liên tiếp có phần tử chuyển mạch nhánh này sang mạch nhánh khác. Ta gọi các phần tử ấy là phần tử đổi chiều. Trong phần tử đổi chiều xuất hiện các sức điện động sau:

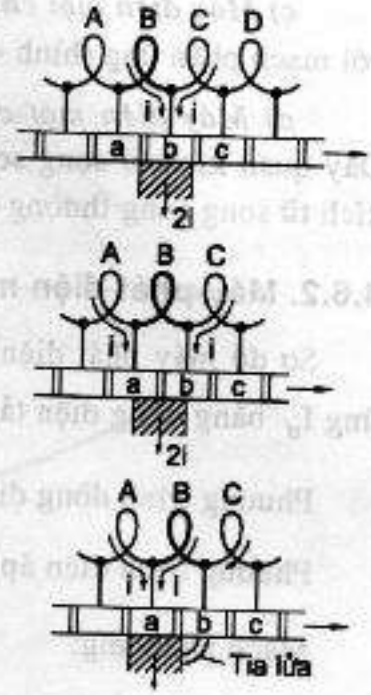
a) Sức điện động tự cảm e_L, do sự biến thiên dòng điện trong phần tử đổi chiều.

b) Sức điện động hỗ cảm e_m, do sự biến thiên dòng điện của các phần tử đổi chiều khác lân cận.

c) Sức điện động e_q do từ trường của phần ứng gây ra.

Ở thời điểm chổi điện ngắn mạch phần tử đổi chiều (Hình 4-11), các sức điện động trên sinh ra dòng điện i chạy quẩn trong phần tử ấy, tích luỹ năng lượng và phóng ra dưới dạng tia lửa khi vành góp chuyển động.

Để khắc phục tia lửa, ngoài việc loại trừ nguyên nhân cơ khí ta phải tìm cách giảm trị số các sức điện động trên và dùng cực từ phụ và dây quấn bù để tạo nên trong phần tử đổi chiều các sức điện động nhằm bù (triệt tiêu) tổng 3 sức điện động e_L, e_m, e_q. Từ trường của dây quấn bù và cực từ phụ phải ngược chiều với từ trường phần ứng. Đối với máy công suất nhỏ, người ta không dùng cực từ phụ mà đôi khi chuyển chổi than đến trung tính vật lý.



Hình 4-11

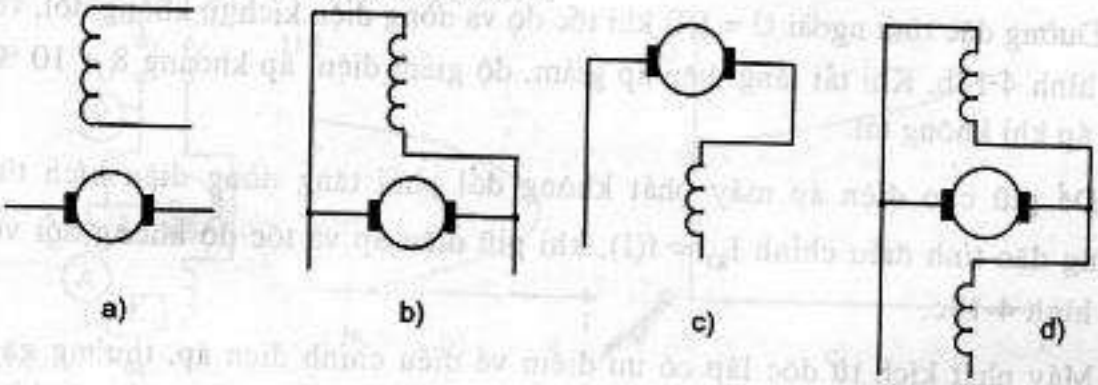
4.6. MÁY PHÁT ĐIỆN MỘT CHIỀU

4.6.1. Phân loại máy phát điện một chiều

Dựa vào phương pháp cung cấp dòng điện kích từ, người ta chia máy điện một chiều ra các loại sau:

a) Máy điện một chiều kích từ độc lập. Dòng điện kích từ của máy lấy từ nguồn điện khác, không liên hệ với phần ứng của máy (hình 4-12).

b) Máy điện một chiều kích từ song song. Dây quấn kích từ nối song song với mạch phần ứng (hình 4.12b).



Hình 4-12. Các phương pháp cung cấp dòng kích từ

c) Máy điện một chiều kích từ nối tiếp. Dây quấn kích từ mắc nối tiếp với mạch phần ứng (hình 4.12c).

d) Máy điện một chiều kích từ hỗn hợp. Gồm hai dây quấn kích từ: Dây quấn kích từ song song và dây quấn kích từ nối tiếp, trong đó dây quấn kích từ song song thường là chủ yếu (hình 4.12d).

4.6.2. Máy phát điện một chiều kích từ độc lập

Sơ đồ máy phát điện kích từ độc lập vẽ trên hình 4-12a, dòng điện phần ứng $I_ư$ bằng dòng điện tải I.

Phương trình dòng điện là: $I_ư = I$ (4.13a)

Phương trình điện áp là:

Mạch phần ứng: $U = E_ư - R_ư I_ư$ (4.13b)

Mạch kích từ $U_{kt} = I_{kt}(R_{kt} + R_{dc})$ (4.13c)

trong đó: $R_ư$ là điện trở dây quấn phần ứng

R_{kt} là điện trở dây quấn kích từ

R_{dc} điện trở điều chỉnh

Khi dòng điện tải I tăng, dòng điện phần ứng tăng, điện áp U giảm xuống do hai nguyên nhân sau:

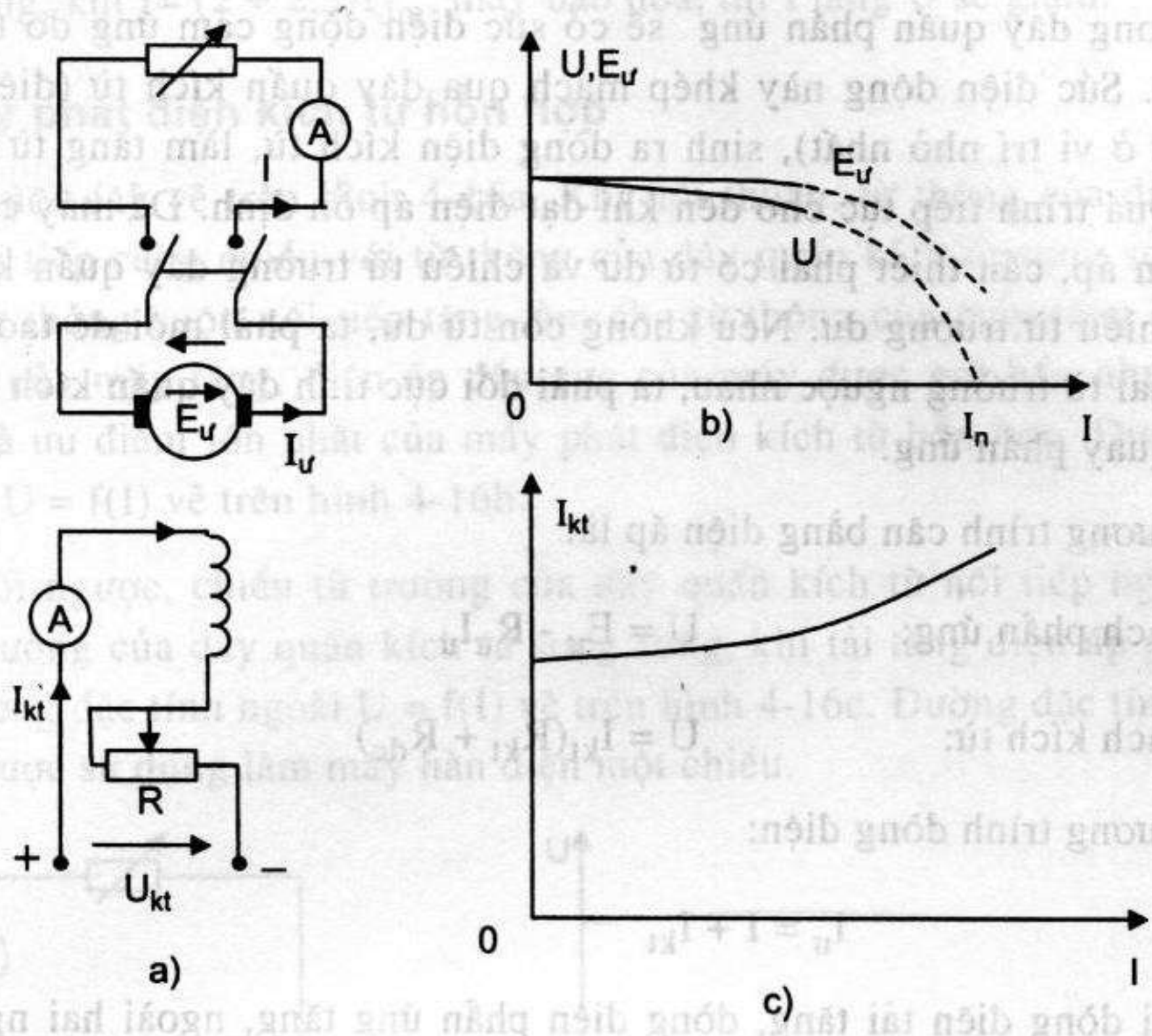
- Tác dụng của từ trường phần ứng làm cho từ thông Φ giảm, kéo theo sức điện động $E_ư$ giảm.

- Điện áp rơi trong mạch phần ứng $R_ư I_ư$ tăng.

Đường đặc tính ngoài U = f(I) khi tốc độ và dòng điện kích từ không đổi, vẽ trên hình 4-13b. Khi tải tăng điện áp giảm, độ giảm điện áp khoảng 8 ÷ 10 % điện áp khi không tải.

Để giữ cho điện áp máy phát không đổi phải tăng dòng điện kích từ. Đường đặc tính điều chỉnh $I_{kt} = f(I)$, khi giữ điện áp và tốc độ không đổi vẽ trên hình 4-13c.

Máy phát kích từ độc lập có ưu điểm về điều chỉnh điện áp, thường gặp trong các hệ thống máy phát - động cơ để truyền động máy cán, máy cắt kim



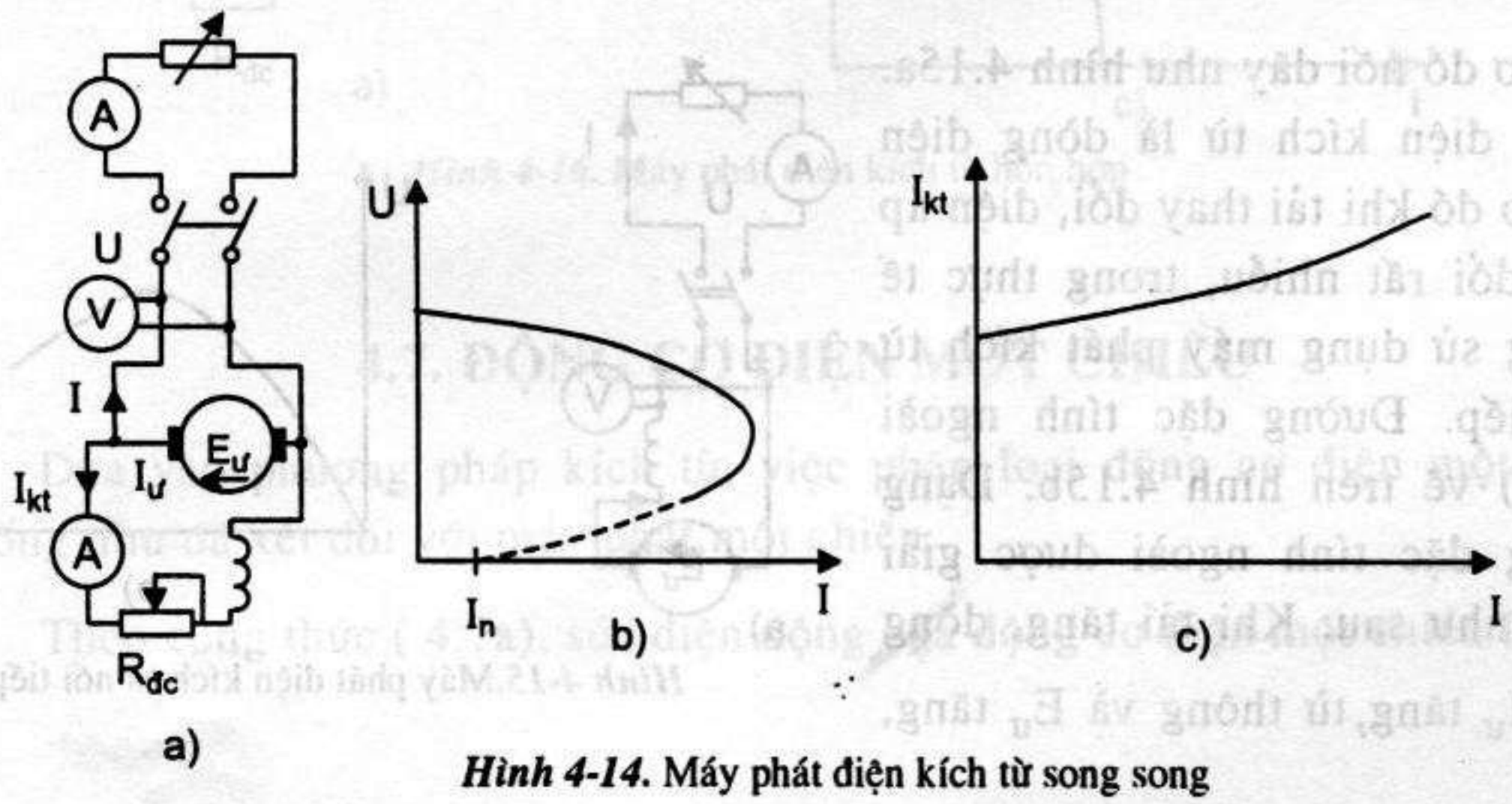
Hình 4.13. Máy phát điện một chiều độc lập

loại, thiết bị tự động trên tàu thuỷ, máy bay vv... song có nhược điểm là cần có nguồn điện kích từ riêng.

4.6.3. Máy phát điện kích từ song song

Sơ đồ máy phát điện kích từ song song vẽ trên hình 4-14a. Để thành lập điện áp cần thực hiện một quá trình tự kích từ.

Lúc đầu, máy không có dòng điện kích từ, từ thông trong máy do từ dư của cực từ tạo ra , bằng khoảng 2 ÷ 3% từ thông định mức. Khi quay phần



Hình 4-14. Máy phát điện kích từ song song

ứng, trong dây quấn phần ứng sẽ có sức điện động cảm ứng do từ thông dư sinh ra. Sức điện động này khép mạch qua dây quấn kích từ (điện trở mạch kích từ ở vị trí nhỏ nhất), sinh ra dòng điện kích từ, làm tăng từ trường cho máy. Quá trình tiếp tục cho đến khi đạt điện áp ổn định. Để máy có thể thành lập điện áp, cần thiết phải có từ dư và chiều từ trường dây quấn kích từ phải cùng chiều từ trường dư. Nếu không còn từ dư, ta phải mồi để tạo từ dư, nếu chiều hai từ trường ngược nhau, ta phải đổi cực tính dây quấn kích từ hoặc đổi chiều quay phần ứng.

Phương trình cân bằng điện áp là:

Mạch phần ứng: $U = E_ư - R_ưI_ư$ (4.14a)

Mạch kích từ: $U = I_{kt}(R_{kt} + R_{đc})$ (4.14b)

Phương trình dòng điện:

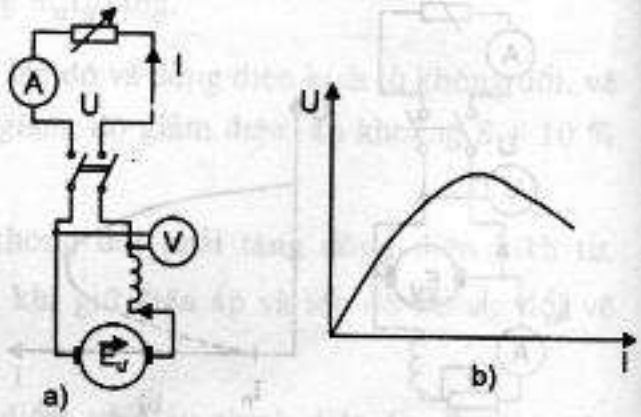
$$I_ư = I + I_{kt} \quad (4.14c)$$

Khi dòng điện tải tăng, dòng điện phần ứng tăng, ngoài hai nguyên nhân làm điện áp U đầu cực giảm, làm cho dòng điện kích từ giảm, từ thông và sức điện động càng giảm, chính vì thế đường đặc tính ngoài dốc hơn so với máy kích từ độc lập và có dạng như hình 4-14b. Từ đường đặc tính ta thấy, khi ngắn mạch, điện áp U = 0, dòng kích từ bằng không, sức điện động trong máy chỉ do từ dư sinh ra vì thế dòng điện ngắn mạch I_n nhỏ so với dòng điện định mức.

Để điều chỉnh điện áp, ta phải điều chỉnh dòng điện kích từ, đường đặc tính điều chỉnh $I_{kt} = f(I)$, khi U, n không đổi vẽ trên hình 4-14c.

4.6.4.Máy phát điện kích từ nối tiếp

Sơ đồ nối dây như hình 4.15a. Dòng điện kích từ là dòng điện tải, do đó khi tải thay đổi, điện áp thay đổi rất nhiều, trong thực tế không sử dụng máy phát kích từ nối tiếp. Đường đặc tính ngoài U=f(I) vẽ trên hình 4.15b. Dạng đường đặc tính ngoài được giải thích như sau: Khi tải tăng, dòng điện $I_ư$ tăng, từ thông và $E_ư$ tăng,



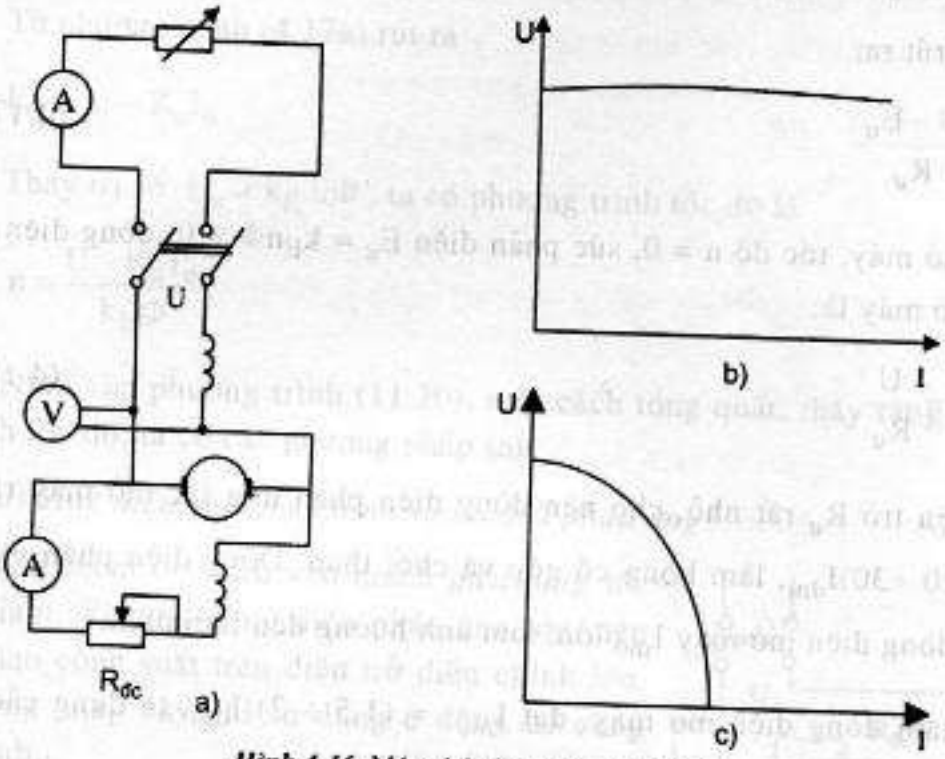
*Hình 4-15.*Máy phát điện kích từ nối tiếp

do đó U tăng, khi $I = (2 \div 2,5)I_{dm}$, máy bão hoà, thì I tăng U sẽ giảm.

4.6.5. Máy phát điện kích từ hỗn hợp

Sơ đồ nối dây vẽ trên hình 4-16a. Khi nối thuận, từ thông của dây quấn kích từ nối tiếp cùng chiều với từ thông của dây quấn kích từ song song, khi tải tăng, từ thông cuộn nối tiếp tăng làm cho từ thông của máy tăng lên, sức điện động của máy tăng, điện áp đầu cực của máy được giữ hầu như không đổi. Đây là ưu điểm lớn nhất của máy phát điện kích từ hỗn hợp. Đường đặc tính ngoài U = f(I) vẽ trên hình 4-16b.

Khi nối ngược, chiều từ trường của dây quấn kích từ nối tiếp ngược với chiều từ trường của dây quấn kích từ song song, khi tải tăng điện áp giảm rất nhiều. Đường đặc tính ngoài U = f(I) vẽ trên hình 4-16c. Đường đặc tính ngoài dốc, nên được sử dụng làm máy hàn điện một chiều.



Hình 4-16. Máy phát điện kích từ hỗn hợp

4.7. ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU

Dựa vào phương pháp kích từ, việc phân loại động cơ điện một chiều, giống như đã xét đối với máy phát một chiều.

Theo công thức (4.7a), sức điện động của động cơ điện một chiều là :

$$E_ư = \frac{pN}{60a} n\Phi \quad (4.15)$$

Đối với động cơ, dòng điện $I_ư$ ngược chiều với sức điện động, nên $E_ư$ còn gọi là sức phản điện

Mômen điện từ của động cơ theo công thức(4.12a)

$$M_{đt} = \frac{NP}{2\pi a} I_ư \Phi \quad (4.16)$$

4.7.1 Mở máy động cơ điện một chiều

Phương trình điện áp ở mạch phần ứng là:

$$U = E_ư + R_ư I_ư \quad (4.17a)$$

Từ đó rút ra:

$$I_ư = \frac{U - E_ư}{R_ư} \quad (4.17b)$$

Khi mở máy, tốc độ n = 0, sức phản điện $E_ư = k_E n\Phi = 0$, dòng điện phần ứng lúc mở máy là:

$$I_{ư\,mở} = \frac{U}{R_ư} \quad (4.18)$$

Vì điện trở $R_ư$ rất nhỏ, cho nên dòng điện phần ứng lúc mở máy rất lớn khoảng $(20 \div 30)I_{đm}$, làm hỏng cổ góp và chổi than. Dòng điện phần ứng lớn kéo theo dòng điện mở máy $I_{mở}$ lớn, làm ảnh hưởng đến lưới điện.

Để giảm dòng điện mở máy, đạt $I_{mở} = (1,5 \div 2)\, I_{đm}$, ta dùng các biện pháp sau:

a) Dùng biến trở mở máy $R_{mở}$

Mắc biến trở mở máy vào mạch phần ứng (hình 4.17). Dòng điện mở máy phần ứng lúc có biến trở mở máy là:

$$I_{ư\,mở} = \frac{U}{R_ư + R_{mở}} \quad (4.19)$$

Lúc đầu để biến trở $R_{mở}$ lớn nhất, trong quá trình mở máy, tốc độ tăng lên, sức điện động $E_ư$ tăng và điện trở mở máy giảm dần đến không, máy làm việc đúng điện áp định mức.

b) Giảm điện áp đặt vào phần ứng

Phương pháp này được sử dụng khi có nguồn điện một chiều có thể điều chỉnh điện áp, ví dụ trong hệ thống máy phát - động cơ, hoặc nguồn một chiều chỉnh lưu.

Cần chú ý rằng để mômen mở máy lớn, lúc mở máy phải có từ thông lớn nhất, vì thế các thông số mạch kích từ phải điều chỉnh sao cho dòng điện kích từ lúc mở máy lớn nhất.

4.7.2 Điều chỉnh tốc độ

Từ phương trình (4.17a) rút ra

$$E_ư = U - R_ư I_ư$$

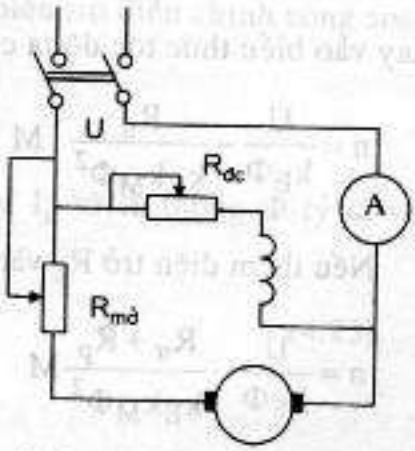
Thay trị số $E_ư = k_E.n\Phi$, ta có phương trình tốc độ là

$$n = \frac{U - R_ư I_ư}{k_E.\Phi} \qquad (4.20)$$

Nhìn vào phương trình (11.20), một cách tổng quát, thấy rằng muốn điều chỉnh tốc độ, ta có các phương pháp sau.

a) Mắc điện trở điều chỉnh vào mạch phần ứng

Khi thêm điện trở vào mạch phần ứng tốc độ giảm. Vì rằng dòng điện phần ứng lớn, nên tổn hao công suất trên điện trở điều chỉnh lớn. Phương pháp này chỉ sử dụng ở động cơ công suất nhỏ.



Hình 4-17. Dùng biến trở mở máy

b) Thay đổi điện áp U

Dùng nguồn điện một chiều điều chỉnh được điện áp cung cấp điện cho động cơ. Phương pháp này được sử dụng nhiều.

c) Thay đổi từ thông

Thay đổi từ thông bằng cách thay đổi dòng điện kích từ.

Khi điều chỉnh tốc độ, ta kết hợp các phương pháp trên. Ví dụ phương pháp thay đổi từ thông, kết hợp với phương pháp thay đổi điện áp thì phạm vi điều chỉnh rất rộng, đây là ưu điểm lớn của động cơ điện một chiều.

Dưới đây ta sẽ xét cụ thể các loại động cơ một chiều.

4.7.3 .Động cơ điện kích từ song song

Sơ đồ nối dây như hình 4-18, trong đó đã vẽ chiều dòng điện vào động cơ I, dòng điện phần ứng $I_ư$ và dòng điện kích từ I_{kt}.

Để mở máy ta dùng biến trở mở máy $R_{mở}$. Để điều chỉnh tốc độ, thường dùng điều chỉnh $R_{đc}$ để thay đổi I_{kt} do đó thay đổi từ thông Φ. Phương pháp này sử dụng rất rộng rãi, song cần chú ý khi giảm từ thông Φ, có thể dòng điện phần ứng $I_ư$ tăng quá trị số cho phép, vì thế cần có bộ phận bảo vệ, cắt điện không cho động cơ làm việc, khi từ thông giảm quá nhiều.

a) Đường đặc tính cơ n = f(M)

Đường đặc tính cơ là đường quan hệ giữa tốc độ và mômen quay M khi điện áp U và điện trở mạch phần ứng và mạch kích từ không đổi.

Từ công thức (4.20), ta có:

$$n = \frac{U}{k_E\Phi} - \frac{R_ư}{k_E\Phi} I_ư \qquad (4.21)$$

Mặt khác theo biểu thức mômen điện từ $M = k_M I_ư \Phi$ rút ra $I_ư = \frac{M}{k_M\Phi}$, thay vào biểu thức tốc độ ta có:

$$n = \frac{U}{k_E\Phi} - \frac{R_ư}{k_E k_M \Phi^2} M \qquad (4.22a)$$

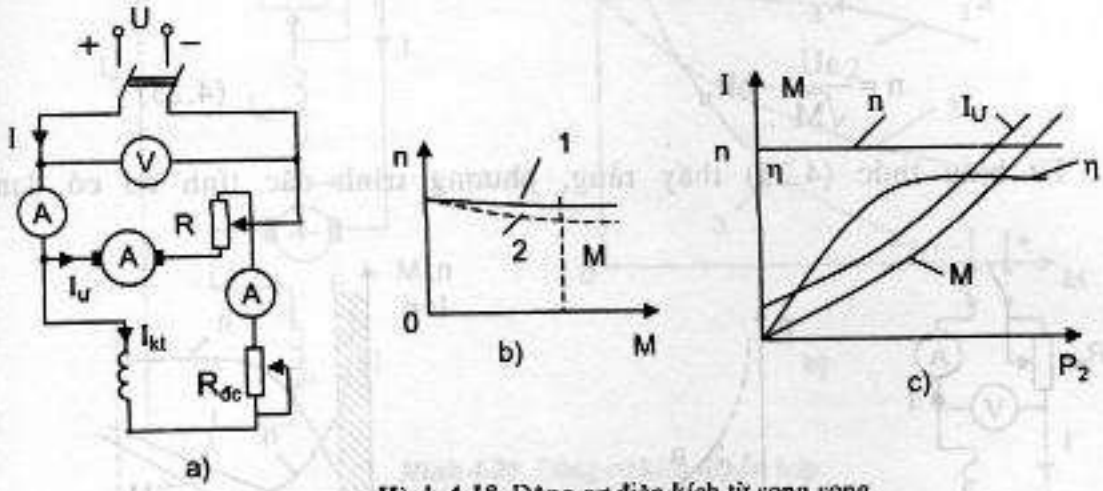
Nếu thêm điện trở R_p vào mạch phần ứng thì ta có phương trình:

$$n = \frac{U}{k_E\Phi} - \frac{R_ư + R_p}{k_E k_M \Phi^2} M \qquad (4.22b)$$

Trên hình 4-18b vẽ đường đặc tính cơ, đường 1 là đường đặc tính cơ tự nhiên ($R_p = 0$ ứng với phương trình 4. 22a). Đường 2 với $R_p \neq 0$ ứng với phương trình 4. 22b).

b) Đặc tính làm việc

Đường đặc tính làm việc được xác định khi điện áp và dòng điện kích từ không đổi. Đó là các đường quan hệ giữa tốc độ n, mômen M, dòng điện phần ứng I_u và hiệu suất η theo công suất trên trục P_2, được vẽ trên hình 4-18c.



Hình 4-18. Động cơ điện kích từ song song

Ta có nhận xét động cơ điện kích từ song song có đặc tính cơ cứng, và tốc độ hầu như không đổi khi công suất trên trục P_2 thay đổi, chúng được dùng nhiều trong các máy cắt kim loại, các máy công cụ v v... Khi có yêu cầu cao về điều chỉnh tốc độ ta dùng động cơ kích từ độc lập.

4.7.4. Động cơ kích từ nối tiếp

Sơ đồ nối dây vẽ trên hình 4-19a. Để mở máy ta dùng biến trở mở máy $R_{mở}$. Để điều chỉnh tốc độ ta có thể dùng các phương pháp đã nói ở mục 4.7.2, song chú ý rằng, khi điều chỉnh từ thông, ta mắc biến trở điều chỉnh song song với dây quấn kích từ nối tiếp.

a) Đường đặc tính cơ n = f(M)

Khi máy không bão hoà, dòng điện phần ứng I_u và từ thông Φ tỷ lệ với nhau, nghĩa là:

$$I_u = k_I \Phi \qquad (4.23)$$

do đó: $M = k_M I_u \Phi = k_M k_I \Phi^2 = k^2.\Phi^2$

hoặc là: $$\Phi = \frac{\sqrt{M}}{k} \qquad (4.24)$$

trong đó $k = \sqrt{k_M k_I}$

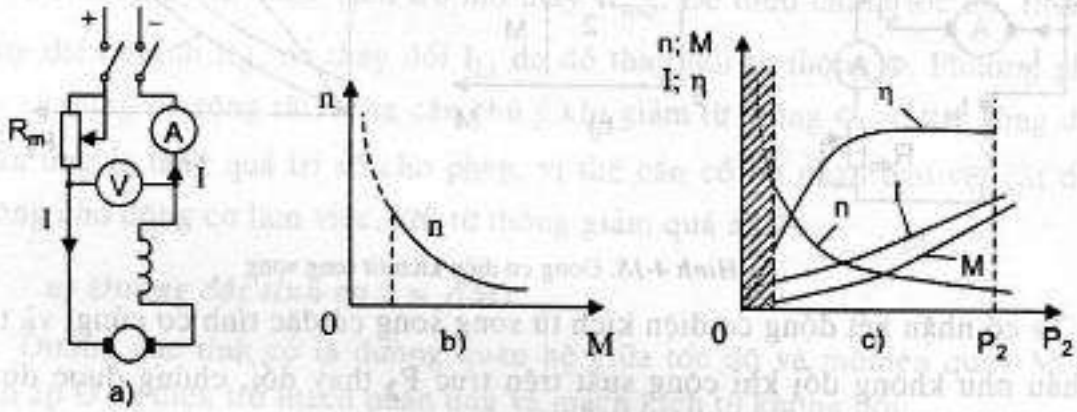
Thay biểu thức (4.23) và (4.24) vào (4.20) ta có:

$$n = \frac{kU}{k_E\sqrt{M}} - \frac{k_I R_u}{k_E}$$

Đặt $\frac{k}{k_E} = a$, $\frac{k_I}{k_E} = b$, cuối cùng ta có:

$$n = \frac{aU}{\sqrt{M}} - bR_u \qquad (4.25)$$

Từ biểu thức (4.25) thấy rằng, phương trình đặc tính cơ có dạng



Hình 4-19. Động cơ kích từ nối tiếp

hypecbôn (4.19b). Đường đặc tính cơ mềm, mômen tăng thì tốc độ cơ giảm. Khi không tải hoặc tải nhỏ, dòng điện và từ thông nhỏ, tốc độ động cơ tăng có thể gây hỏng động cơ về mặt cơ khí, vì thế không cho phép động cơ kích từ nối tiếp mở máy không tải hoặc tải nhỏ.

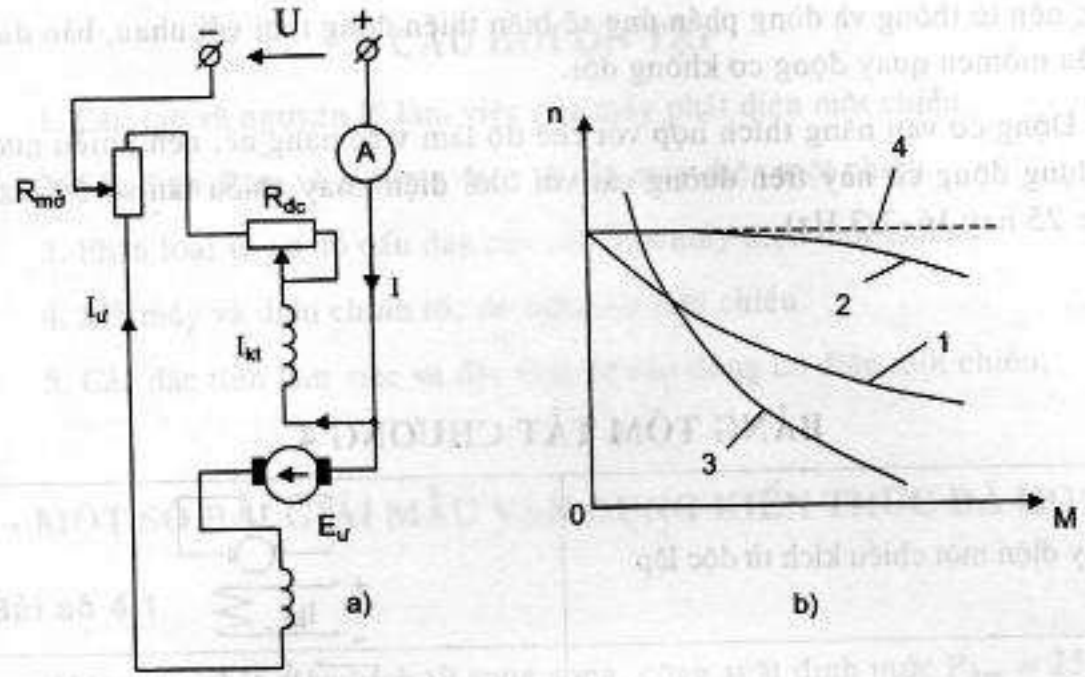
b) Đường đặc tính làm việc

Trên hình 4-19c vẽ các đường đặc tính làm việc . Động cơ được phép làm việc với tốc độ n nhỏ hơn tốc độ giới hạn n_{gh}. Đường đặc tính trong vùng làm việc vẽ bằng đường nét liền.

Vì rằng chưa bão hoà mômen quay động cơ tỷ lệ với bình phương dòng điện, và tốc độ giảm theo tải , động cơ kích từ nối tiếp thích hợp trong chế độ tải nặng nề, được sử dụng nhiều trong giao thông vận tải hay các thiết bị cầu trục.

4.7.5. Động cơ kích từ hỗn hợp

Sơ đồ nối dây vẽ trên hình 4-20a. Các dây quấn kích từ có thể nối thuận (từ trường 2 dây quấn cùng chiều) làm tăng từ thông, hoặc nối ngược (từ trường 2 dây quấn ngược nhau) làm giảm từ thông.



Hình 4-20. Động cơ kích từ hỗn hợp

Đặc tính cơ động cơ kích từ hỗn hợp khi nối thuận (đường 1) sẽ là trung bình giữa đặc tính cơ của động cơ kích từ song song (đường 2) và nối tiếp (đường 3) (hình 4-20).

Các động cơ làm việc nặng nề, dây quấn kích từ nối tiếp là dây quấn kích từ chính, còn dây quấn kích từ song song là phụ và được nối thuận. Dây quấn kích từ song song đảm bảo tốc độ động cơ không tăng quá lớn khi mômen nhỏ.

Động cơ kích từ hỗn hợp có dây quấn kích từ nối tiếp là kích từ phụ, và nối ngược, có đặc tính cơ rất cứng (đường 4) hình 4-20, nghĩa là tốc độ quay hầu như không đổi khi mômen thay đổi. Thật vậy, khi mômen quay tăng, dòng điện phần ứng tăng, dây quấn kích từ song song làm tốc độ giảm một ít, nhưng vì có dây quấn kích từ nối tiếp được nối ngược, làm giảm từ thông trong máy, dễ tăng tốc độ động cơ lên như cũ. Ngược lại khi nối thuận sẽ làm cho đặc tính của động cơ mềm hơn, mômen mở máy lớn hơn, thích hợp với máy ép, máy bơm, máy nghiền, máy cán vv..vv.

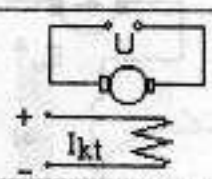
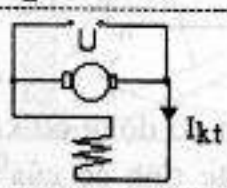
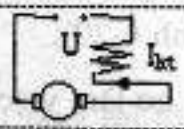
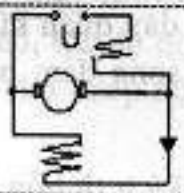
4.7.6. Động cơ vạn năng

Trong công nghiệp cũng như trong các thiết bị điện sinh hoạt, người ta sử dụng rộng rãi loại động cơ có vành góp dùng được với dòng điện một chiều và cả dòng điện xoay chiều, nên gọi là động cơ vạn năng. Động cơ vạn năng thường có hai cực từ với dây quấn kích từ nối tiếp. Dòng kích từ là dòng phần

ứng, nên từ thông và dòng phần ứng sẽ biến thiên đồng thời với nhau, bảo đảm chiều mômen quay động cơ không đổi.

Động cơ vạn năng thích hợp với chế độ làm việc nặng nề, nên nhiều nước sử dụng động cơ này trên đường sắt với lưới điện xoay chiều tần số 50 Hz (hoặc 25 hay 16 2/3 Hz).

BẢNG TÓM TẮT CHƯƠNG 4

Máy điện một chiều kích từ độc lập	
Máy điện một chiều kích từ song song	
Máy điện một chiều kích từ nối tiếp	
Máy điện một chiều kích từ hỗn hợp	
Sức điện động máy điện một chiều E_u	$E_u = \frac{pN}{60a} n\Phi = k_E n\Phi$
Mômen điện từ máy điện một chiều	$M_{đt} = \frac{pN}{2\pi a} I_u \Phi = k_M I_u \Phi$
Các biện pháp mở máy: $I_{umở} = \frac{U}{R_u}$	1) Mắc $R_{mở}$ vào mạch phần ứng 2) Giảm điện áp U
Các biện pháp điều chỉnh tốc độ (thiết bị đơn giản, phạm vi điều chỉnh rộng và liên tục). $n = \frac{U - R_u I_u}{k_E \Phi}$	1) Mắc R_P vào mạch phần ứng 2) Thay đổi điện áp U 3) Thay đổi dòng kích từ

CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Cấu tạo và nguyên lý làm việc của máy phát điện một chiều.

2. Sức điện động và mômen điện từ của máy điện một chiều.

3. Phân loại và sơ đồ đấu dây của các loại máy điện một chiều.

4. Mở máy và điều chỉnh tốc độ động cơ một chiều.

5. Các đặc tính làm việc và đặc tính cơ của động cơ điện một chiều.

MỘT SỐ BÀI GIẢI MẪU VẬN DỤNG KIẾN THỨC ĐÃ HỌC

Bài số 4.1

Một máy phát điện kích từ song song, công suất định mức $P_{đm}$ = 25 kW, điện áp định mức $U_{đm}$ = 115 V, có các thông số sau: Điện trở dây quấn kích từ song song R_{kt} = 12,5Ω; điện trở dây quấn phần ứng R_u = 0,0238 Ω, số đôi nhánh a=2, số đôi cực từ p = 2, số thanh dẫn N = 300, tốc độ quay n = 1300 vg/ph.

a) Xác định sức điện động E_u, từ thông Φ.

b) Giả sử dòng điện kích từ không đổi, bỏ qua phản ứng phần ứng, hãy xác định điện áp đầu cực máy khi dòng điện giảm xuống I = 80,8 A.

Bài giải:

a) Dòng điện định mức

$$I_{đm} = \frac{P_{đm}}{U_{đm}} = \frac{25000}{115} = 217{,}4A$$

Dòng điện kích từ

$$I_{kt} = \frac{U_{đm}}{R_{kt}} = \frac{115}{12{,}5} = 9{,}2A$$

Dòng điện phần ứng

$$I_u = I_{đm} + I_{kt} = 217{,}4 + 9{,}2 = 226{,}6\ A$$

Sức điện động của máy

$E_{ư} = U + I_{ư}R_{ư} = 115 + 226,6.0,0238 = 120,4$ V

Từ thông Φ

$$\Phi = \frac{60aE_u}{pNn} = \frac{60.2.120,4}{2.300.1300} = 1,852.10^{-2}\ Wb$$

Dòng điện phần ứng

$I_{ư} = I + I_{kt} = 80,8 + 9,2 = 90$ A.

Điện áp đầu cực máy phát.

$U = E_{ư} - I_{ư}R_{ư} = 120,4 - 90.0,0238 = 118,3$ V.

Bài số 4.2

Một máy phát điện một chiều kích từ song song, điện áp định mức $U_{đm}$ = 115 V, cung cấp dòng điện I_t = 98,3 A cho tải. Điện trở phần ứng $R_{ư}$ = 0,0735 Ω, điện trở dây quấn kích từ song song R_{kt} = 19 Ω. Tổn hao cơ, sắt từ và phụ bằng 4% công suất điện.

a) Xác định sức điện động $E_{ư}$ và hiệu xuất η của máy ở chế độ tải trên.

b) Tính dòng điện ngắn mạch khi ngắn mạch hai đầu cực máy phát. Cho biết từ thông dư bằng 3% từ thông của máy ở chế độ tải trên, và tốc độ máy không đổi.

Bài giải:

a) Dòng điện kích từ

$$I_{kt} = \frac{U}{R_{kt}} = \frac{115}{19} = 6,05A$$

Dòng điện phần ứng

$I_{ư} = I_t + I_{kt} = 98,3 + 6,05 = 104,35$ A.

Sức điện động phần ứng

$E_{ư} = U + I_{ư}R_{ư} = 115 + 104,35.0,735 = 122,7$ V

Tổn hao trong dây quấn kích từ song song.

$$\Delta P_{kt} = I^2_{kt}R_{kt} = 6{,}05^2.19 = 695 \text{ W}.$$

Tổn hao trong dây quấn phần ứng

$$\Delta P_{ư} = I^2_{ư}R_{ư} = 104{,}35^2.\ 0{,}0735 = 800 \text{ W}.$$

Tổn hao cơ, sắt từ và phụ

$$\Delta P_{cstf} = 4\%\ P = 0{,}04.115.\ 98{,}3 = 452 \text{ W}.$$

Hiệu suất của máy

$$\eta = \frac{P}{P + \Delta P} = \frac{115.98{,}3}{115.98{,}3 + 695 + 800 + 452} = 0{,}853$$

b) Khi ngắn mạch đầu cực, dòng điện ngắn mạch chạy trong dây quấn phần ứng

$$I_{um} = \frac{E_{um}}{R_{ư}} = \frac{3{,}7}{0{,}0735} = 50\text{A}$$

trong đó $E_{um} = k_e n\Phi_{dư} = 0{,}03\ k_e n\Phi = 0{,}03E_ư = 0{,}03.122{,}7 = 3{,}7$ V.

Ở máy phát kích từ song song, dòng điện ngắn mạch nhỏ hơn dòng điện định mức.

Bài số 4.3

Một động cơ điện một chiều công suất định mức P_{dm} =1,5 kW, điện áp định mức U_{dm} = 220 V; hiệu suất η = 0,82; tốc độ n = 1500 vg/ph. Tính mômen định mức, tổng tổn hao trong máy, dòng điện định mức.

Bài giải:

Mômen định mức

$$M_{dm} = 9550\frac{P_{dm}}{n} = 9550\frac{1{,}5}{1500} = 9{,}55 \text{ Nm}$$

Công suất điện cung cấp cho động cơ

$$P_1 = \frac{P_{dm}}{\eta} = \frac{1{,}5.10^3}{0{,}82} = 1829{,}3\text{W}$$

Dòng điện định mức

$$I_{đm} = \frac{P_1}{U} = \frac{1829,3}{220} = 8,31A$$

Tổng tổn hao trong máy

$$\Delta P = P_1 - P_{đm} = 1829,3 - 1500 = 329,3W.$$

BÀI TẬP HỌC SINH TỰ GIẢI

Bài số 4.4

Một động cơ điện một chiều kích từ hỗn hợp điện áp định mức $U_{đm}$ = 220V, dòng điện định mức $I_{đm}$ = 502 A, hiệu suất định mức η = 0,905, điện trở dây quấn kích từ song song $R_{kt//}$ = 50 Ω, tổn hao cơ, sắt từ và phụ là 4136 W.

Tính công suất điện động cơ tiêu thụ, công suất định mức động cơ, tổng tổn hao trên các điện trở phần ứng, điện trở kích từ nối tiếp và dây quấn cực từ phụ.

Đáp số: P_1 = 110,44 kW; $P_{đm}$ = 100 kW; $\Delta P_{u.nt.f}$ = 5336 W

Bài số 4.5

Động cơ điện một chiều kích từ song song công suất định mức $P_{đm}$ = 10kW, điện áp định mức $U_{đm}$ = 220V, hiệu suất η = 0,86, tốc độ định mức n = 2250 vg/ph, dòng điện kích từ định mức I_{kt} = 2,26 A, điện trở phần ứng R_u = 0,178 Ω.

Tính dòng điện mở máy trực tiếp. Tính điện trở mở máy R_{mm} để giảm dòng điện mở máy xuống bằng 2 lần dòng điện định mức.

Đáp số: I_{mm} = 1238 A; R_{mm} = 1,95 Ω

TÓM TẮT SO SÁNH
CÁC LOẠI ĐỘNG CƠ ĐIỆN THÔNG DỤNG

	Động cơ không đồng bộ	Động cơ một chiều	Động cơ đồng bộ
Cấu tạo	Stato: lõi thép và dây quấn tạo từ trường quay Rôto: Lõi thép và dây quấn chia thành 2 loại: rôto lồng sóc và rôto dây quấn	Stato : Phần cảm gồm cực từ và dây quấn kích từ Rôto: Phần ứng có vành góp. Theo phương pháp kích từ chia thành các loại: - Động cơ kích từ độc lập - Động cơ kích từ song song - Động cơ kích từ nối tiếp - Động cơ kích từ hỗn hợp	Stato: Lõi thép và dây quấn tạo từ trường quay Rôto: nam châm điện, cực lồi hoặc cực ẩn.
Mômen và công suất	$M = \frac{mpU_1^2R'_2}{\omega_1\left[\left(R_1+\frac{R'_2}{s}\right)^2+(X_1+X'_2)^2\right]}$ Mô men tỷ lệ với bình phương điện áp Mômen phụ thuộc vào hệ số trượt Mô men phụ thuộc vào điện trở rôto R'_2	$M = K_M I_u \Phi$ Mômen phụ thuộc vào I_u và Φ Có khả năng quá tải về mômen	$P = \frac{mUE_0}{X_d}\sin\theta + \frac{mU^2}{2} \times\left(\frac{1}{X_q}-\frac{1}{X_d}\right)\times\sin 2\theta$ Mômen phụ thuộc bậc nhất vào U và phụ thuộc vào sin θ Có khả năng điều chỉnh cosφ bằng cách điều chỉnh I_{kt}
Tốc độ	$n = \frac{60f_1}{p}(1-s)$ - Điều chỉnh tần số lưới f_1 - Điều chỉnh số đôi cực p - Điều chỉnh s - Tốc độ khó điều chỉnh phạm vi điều chỉnh hẹp, nhảy cấp	$n = \frac{U - I_u R_u}{k_e \Phi}$ - Điều chỉnh U - Điều chỉnh I_{kt} - Mắc điện trở điều chỉnh vào mạch phần ứng - Tốc độ thay đổi liên tục, bằng phẳng không giới hạn rộng	$n = \frac{60f_1}{p}$
Mở máy	- Có mômen mở máy - $I_{mở} = (5+7)\, I_{sđm}$	- Mắc $R_{mở}$ nối tiếp mạch phần ứng - Giảm U	Không có mômen mở máy Dùng động cơ phụ

	Biện pháp mở máy: - Trực tiếp - Hạ điện áp (MBA) tự ngẫu điện kháng, đổi nối Δ→Y...) - Biến trở mở máy ở rô to dây quấn.		Dùng lống sóc mở máy
Ưu khuyết điểm và phạm vi sử dụng	Cấu tạo đơn giản, rẻ tiền Vận hành đơn giản, chắc chắn Sử dụng rộng rãi	Những nơi yêu cầu điều chỉnh tốc độ cao và có khả năng quá tải lớn Giá thành cao cần nguồn điện một chiều	Giá thành cao, vận hành phức tạp. Công suất trung bình và công suất lớn Phụ tải và tốc độ không đổi. Kết hợp nâng cao cosφ của lưới

Chương 5

DÂY QUẤN MÁY ĐIỆN

5.1. NHỮNG VẤN ĐỀ CHUNG

Một cách tổng quát, dây quấn máy điện có thể chia làm 2 loại: dây quấn phần cảm (còn gọi là dây quấn kích từ) và dây quấn phần ứng.

Dây quấn phần cảm có nhiệm vụ sinh ra từ trường khe hở lúc không tải có cực tính xen kẽ, được quấn tập trung thành các cuộn dây đặt vào thân cực từ.

Dây quấn phần ứng có nhiệm vụ cảm ứng được một sức điện động nhất định khi có chuyển động tương đối với từ trường khe hở.

Nói chung dây quấn máy điện phải đảm bảo được những yêu cầu sau:

1. Tạo ra ở khe hở một từ trường phân bố hình sin (đối với dây quấn phần cảm) và đảm bảo được một sức điện động và một dòng điện tương ứng với công suất điện từ của máy (đối với dây quấn phần ứng).

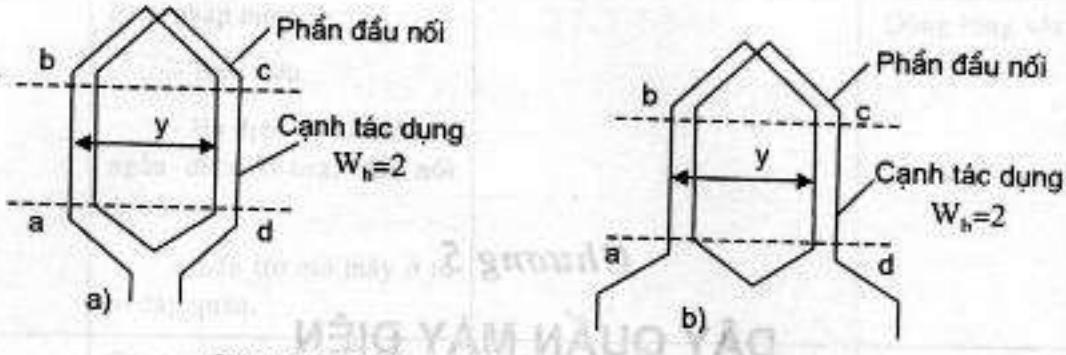
2. Bền về các mặt cơ, điện, nhiệt.

3. Tiết kiệm được kim loại màu, nhất là phần đầu nối của dây quấn.

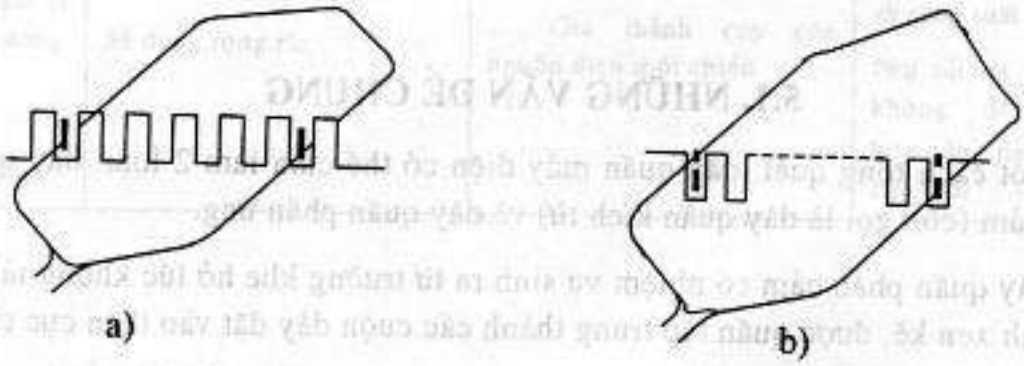
4. Chế tạo, lắp ráp, sửa chữa và bảo dưỡng được dễ dàng.

Dây quấn phần ứng được hình thành do tổ hợp các bối dây nối với nhau theo một qui luật nhất định. Một bối dây gồm có W_b vòng dây làm thành hai cạnh tác dụng đặt vào các rãnh của lõi thép và quét qua từ trường của cực từ. Phần nối hai cạnh tác dụng nằm ngoài rãnh gọi là phần đầu nối của dây quấn. Tuỳ theo cách sắp xếp các đầu ra của bối dây ta có hai dạng bối dây: bối dây kiểu xếp và bối dây kiểu sóng (hình 5-1).

Bước cực là khoảng cách giữa hai cực từ liên tiếp. Nếu số rãnh lõi sắt là Z, số đôi cực là p thì bước cực tính theo số rãnh là $\tau = Z/2p$.



Hình 5-1. Bối dây a) của dây quấn xếp; b) của dây quấn sóng.



Hình 5-2. Dây quấn một lớp (a), hai lớp (b)

Khoảng cách y giữa hai cạnh tác dụng của bối dây (tính bằng số rãnh) gọi là bước dây quấn. Nếu y bằng bước cực $y = \tau$ thì ta có dây quấn bước đủ. Nếu $y < \tau$ thì có dây quấn bước ngắn với bước ngắn $\beta = y/\tau$.

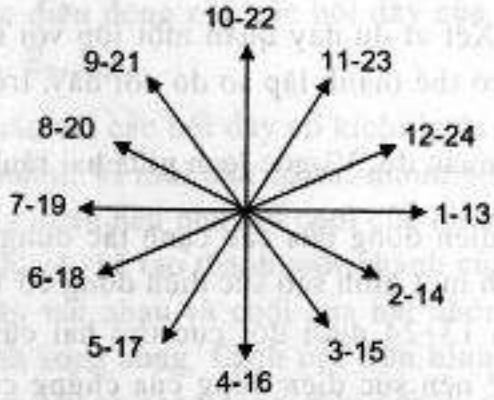
Trong một rãnh có thể chỉ đặt một cạnh tác dụng của một bối dây. Lúc đó ta có dây quấn một lớp. Cũng có thể trong rãnh đặt hai cạnh tác dụng của hai bối dây khác nhau lúc đó có dây quấn hai lớp (hình 5-2b).

Để hiểu rõ cách tổ hợp các bối dây, trước hết cần xét sự hình thành sức điện động của các bối dây đặt liên tiếp trong các rãnh của máy điện.

Với máy có rãnh là Z đặt dưới p đôi cực có từ trường phân bố hình sin thì góc điện giữa hai rãnh kế nhau hay còn gọi là góc lệch pha của các cạnh tác dụng đặt trong rãnh đó bằng : $\alpha = \dfrac{p360^\circ}{Z}$.

Nếu biểu thị sức điện động của một cạnh tác dụng dây quấn bằng một véctơ thì sức điện động đặt trong Z rãnh sẽ hình thành p hình sao sức điện động có số cạnh tác dụng là $\dfrac{Z}{p}$ và p véctơ trùng nhau và cách nhau một góc α.

Hình 5-3 là hình sao sức điện động của dây quấn có Z=24, số cực 2p=4. Như vậy có hai hình sao sức điện động (p=2) trùng nhau, mỗi hình sao sức điện động có $\frac{Z}{p}=\frac{24}{2}=12$ cạnh cách nhau một góc $\alpha=\frac{2\times 360^o}{24}=30^o$.



Hình 5-3. Hình sao sức điện động của dây quấn Z=24,2p=4

5.2. DÂY QUẤN XOAY CHIỀU 3 PHA

Dây quấn phần ứng máy điện xoay chiều có thể chế tạo với số pha m=1, 2, 3 trong đó chủ yếu là dây quấn ba pha, sau đó là dây quấn một pha. Dây quấn lồng sóc của máy điện không đồng bộ roto lồng sóc được xem như dây quấn có số pha bằng $m_2=Z_2/p$ trong đó Z_2 là số rãnh roto.

Thường thì số rãnh của một pha dưới một cực $q=\frac{Z}{2mp}$ là số nguyên nhưng trong một số trường hợp cần thiết q có thể là phân số. Khoảng không gian mà số rãnh của một pha dưới một cực chiếm hợp thành một vùng pha γ. Trong dây quấn máy xoay chiều 3 pha, vùng pha hay sử dụng là 60°.

Dây quấn của máy điện xoay chiều có thể đặt trong rãnh thành một lớp hoặc hai lớp và tương ứng ta có dây quấn một lớp và hai lớp. Tuỳ theo sự tổ hợp của các bối dây, có nhiều kiểu dây quấn máy điện xoay chiều, ở đây có thể sắp xếp chúng như sau:

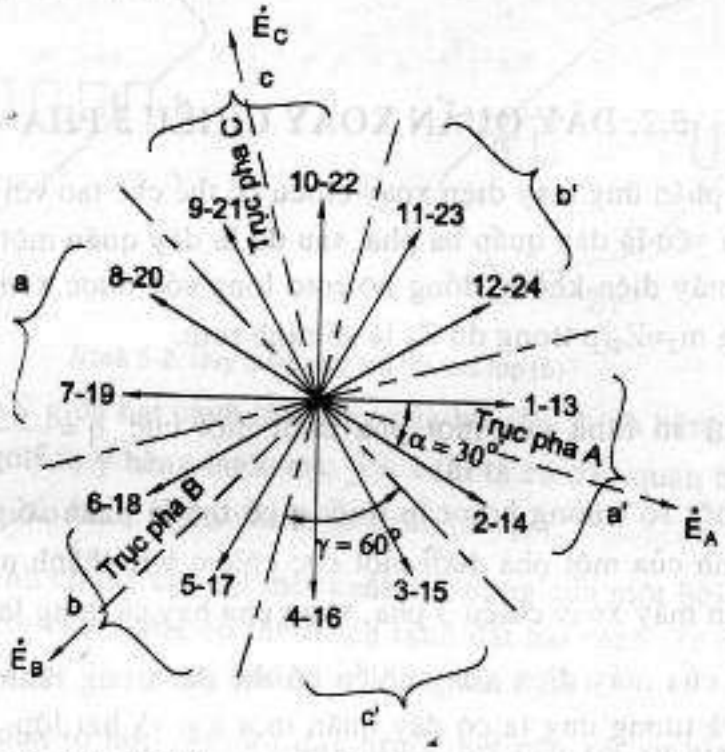
5.2.1. Dây quấn q là số nguyên

a) Dây quấn một lớp

Dây quấn một lớp thường được dùng trong các động cơ điện công suất dưới 7kW.

Vì mỗi bối dây có hai cạnh tác dụng nên số bối dây của dây quấn một lớp bằng $s=\frac{Z}{2}$ trong đó Z là số rãnh Stato.

Xét ví dụ dây quấn một lớp với số pha m=3, Z=21 rãnh, số cực từ 2p=4. Để có thể thành lập sơ đồ nối dây, trước hết ta vẽ hình sao sức điện động của dây quấn đó. Vì góc lệch giữa hai rãnh liên tiếp $\alpha = \frac{p360^0}{Z} = \frac{2x360^0}{24} = 30^0$ nên sức điện động của các cạnh tác dụng từ 1 đến 12 dưới đôi cực thứ nhất làm thành một hình sao sức điện động có 12 tia như trên hình 5.4. Do vị trí của các cạnh 13÷24 dưới đôi cực thứ hai cũng hoàn toàn giống vị trí của các cạnh 1÷12 nên sức điện động của chúng cũng có thể được biểu thị bằng một hình sao sức điện động trùng với hình sao sức điện động thứ nhất (hình 5-4).

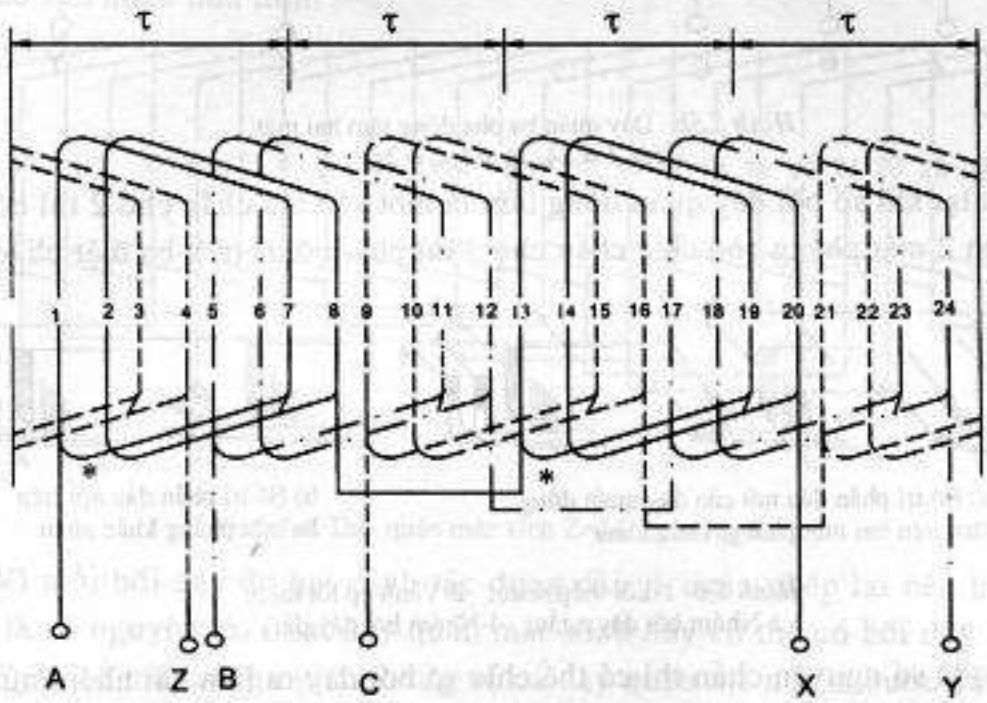


Hình 5-4. Hình sao s.đ.đ bối dây và các vùng pha $\gamma = 60^0$ của dây quấn 2 lớp bước đủ với m=3, Z=24, p=2

Vì số cạnh của một pha dưới một cực $q = \frac{Z}{2mp} = \frac{24}{3x4} = 2$ với một vùng pha $\gamma = q\alpha = 2x30^0 = 60^0$, hơn nữa hai cạnh của bối dây cách nhau $y = \tau = mq = 2x3 = 6$ rãnh nên pha A gồm hai bối dây tạo thành bởi các cạnh tác dụng (1-7), (2-8) dưới đôi cực thứ nhất và hai bối dây (13-19), (14-20) dưới đôi cực thứ hai. Do các pha lệch nhau 120^0 góc điện nên các pha B gồm các bối dây (5-11), (6-12), (17-23), (18-24) và pha C gồm các bối dây (9-15), (10-16), (21-3), (22-4). Hình sao sức điện động của các bối dây được trình bày

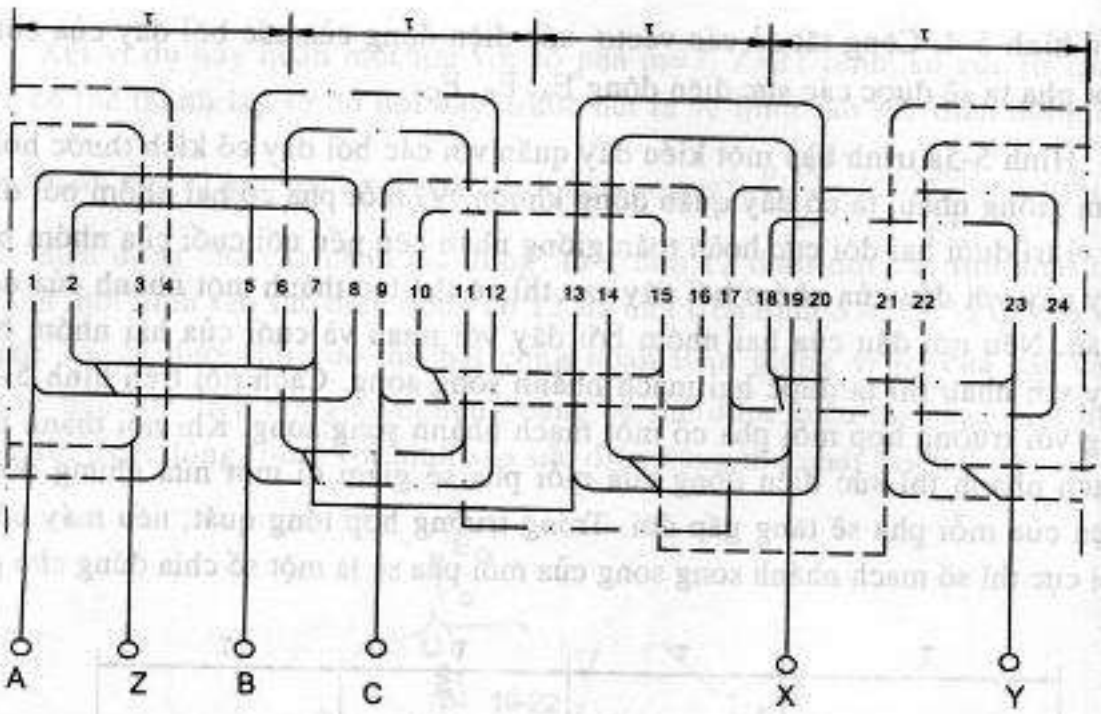
trên hình 5-4. Cộng tất cả các véctơ sức điện động của các bối dây của cùng một pha ta sẽ được các sức điện động E_A, E_B, E_C.

Hình 5-5a trình bày một kiểu dây quấn với các bối dây có kích thước hoàn toàn giống nhau, ta có dây quấn đồng khuôn. Vì mỗi pha có hai nhóm bối dây có vị trí dưới hai đôi cực hoàn toàn giống nhau nên nếu nối cuối của nhóm bối dây này với đầu của nhóm bối dây sau thì có thể tạo thành một nhánh của dây quấn. Nếu nối đầu của hai nhóm bối dây với nhau và cuối của hai nhóm bối dây với nhau thì ta được hai mạch nhánh song song. Cách nối trên hình 5-5a ứng với trường hợp mỗi pha có một mạch nhánh song song. Khi nối thành hai mạch nhánh thì sức điện động của mỗi pha sẽ giảm đi một nửa nhưng dòng điện của mỗi pha sẽ tăng gấp đôi. Trong trường hợp tổng quát, nếu máy có p đôi cực thì số mạch nhánh song song của mỗi pha sẽ là một số chia đúng cho p.



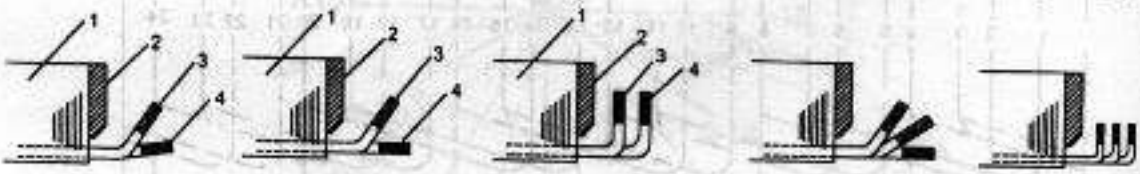
Hình 5-5a. Dây quấn ba pha đồng khuôn đơn giản với $Z = 24$, $2p = 4$, $q = 2$

Trên hình 5-4 ta thấy trị số sức điện động của mỗi pha không phụ thuộc vào thứ tự nối các cạnh tác dụng. Ví dụ đối với pha A có thể nối các cạnh tác dụng theo thứ tự (1-8), (2-7) ở dưới đôi cực thứ nhất và (13-20), (14-19) dưới đôi cực thứ hai, được hai nhóm có hai bối dây có kích thước không giống nhau (H.5-5b). Dây quấn như vậy gọi là dây quấn đồng tâm. Để cho các phần đầu nối của loại dây quấn này không đè chéo lên nhau cần bố trí chúng lên các mặt phẳng khác nhau như trên hình 5-6a, ở đây phần đầu nối được bố trí trên hai mặt phẳng còn ở hình 5-6b thì trên ba mặt phẳng.



Hình 5.5b. Dây quấn ba pha đồng tâm hai mặt với Z = 24, 2p = 4, q = 2

Tóm lại khi số bối dây quấn đồng tâm là một số chia chẵn cho 2 thì có thể bố trí trên 2 mặt phẳng còn chia chẵn cho 3 thì phải bố trí trên ba mặt phẳng.



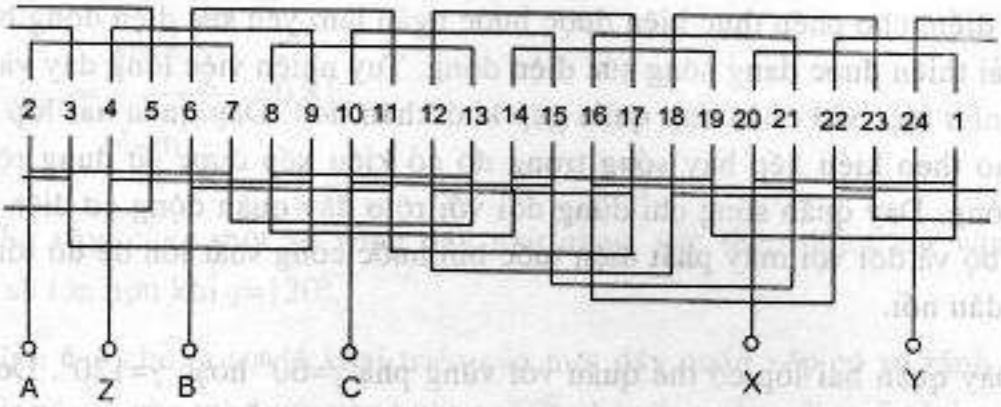
a) Bố trí phần đầu nối của dây quấn đồng tâm trên hai mặt phẳng khác nhau

b) Bố trí phần đầu nối trên ba mặt phẳng khác nhau

Hình 5-6. 1-Lõi thép stato; 2-Vành ép lõi thép; 3-Nhóm bối dây ngắn; 4-Nhóm bối dây dài .

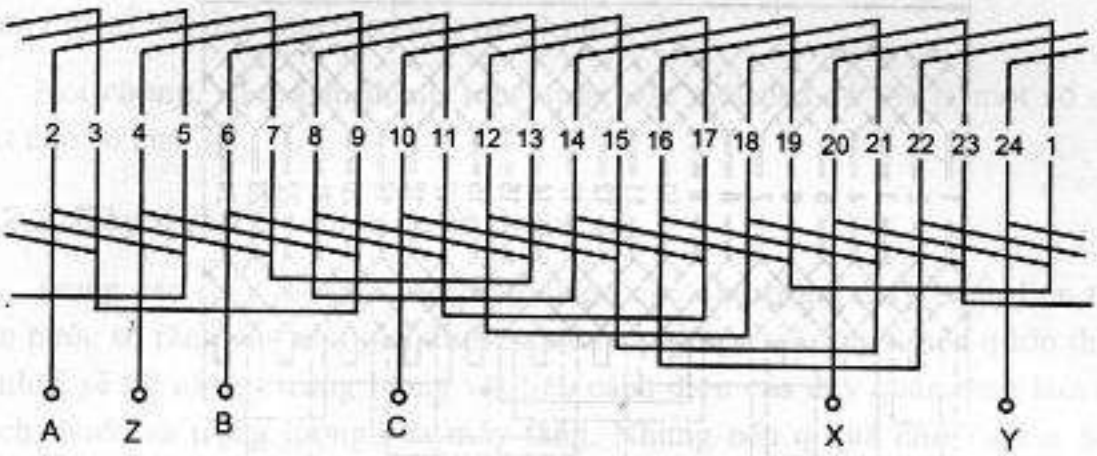
Khi q là số nguyên chẵn thì có thể chia số bối dây ra làm hai nhóm nửa số bối dây và đầu nối của hai nhóm này bẻ ngoặt về hai phía đối nhau như trong hình 5-6. Ta có các bối dây thuộc pha A là (2-7), (8-13), (14-19), (20-1). Đầu nối của các bối dây sẽ ngắn lại nhưng như vậy trong một pha số nhóm bối dây bằng số cực từ nên phần đầu nối của dây quấn một pha chiếm tất cả mặt phẳng và ta có loại dây quấn ba pha đồng tâm ba mặt phẳng. Loại dây quấn này gọi là dây quấn đồng tâm phân tán.

Dây quấn đồng khuôn phân tán cũng giống như dây quấn đồng tâm phân tán, chỉ khác nhau ở hình dáng phần đầu nối.



Hình 5-7. Dây quấn đồng tâm phân tán Z=24 2p=4 q=2

Dây quấn đồng khuôn mắc xích hay vành dế có thể gọi là dây quấn kiểu phân tán chỉ khác nhau là cạnh dài và cạnh ngắn của bối dây trong tổ bối dây xen kẽ vào nhau như hình 5-8.



Hình 5-8. Dây quấn mắc xích Z=24, 2p=4, q=2

Vì mỗi bối dây do hai cạnh tác dụng dài và ngắn ghép lại nên bước dây phải là số nguyên lẻ. Loại dây quấn mắc xích này có thể có bối dây bước dủ hay ngắn về mặt công nghệ nhưng về cả dây quấn mà nói là bước đủ. Vì vậy ưu điểm của loại dây quấn này là tiết kiệm phần đầu nối.

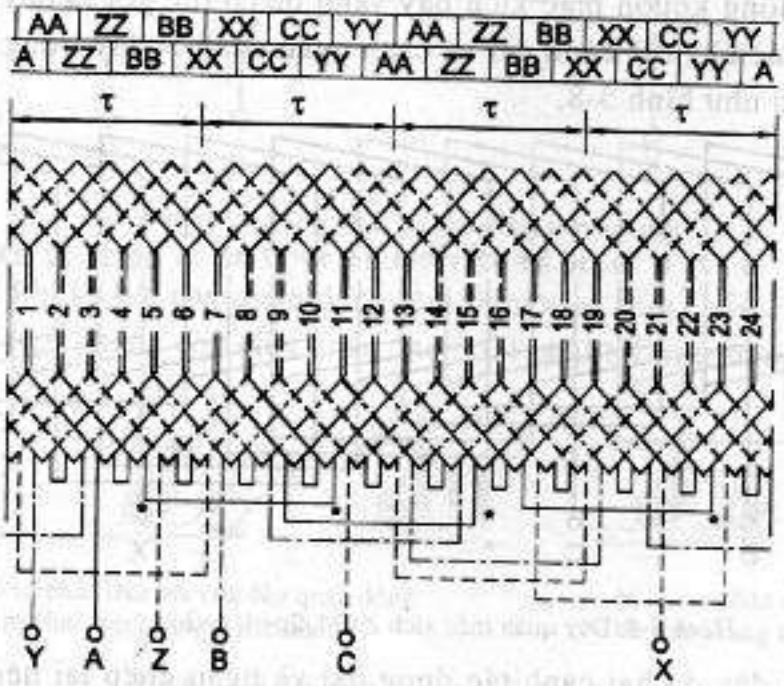
Trong dây quấn đồng tâm phân tán cách đấu các bối dây liên tiếp của một pha thành một mạch nhánh song song được thực hiện bằng cách đấu đuôi của bối này với đuôi của bối tiếp theo như trong hình 5-7.

b/ Dây quấn hai lớp

Dây quấn hai lớp là loại dây quấn mà trong mỗi rãnh có đặt hai cạnh tác dụng của bối dây. Như vậy với dây quấn hai lớp, số bối dây S bằng số rãnh Z. Cạnh thứ nhất của bối dây được đặt ở lớp trên của rãnh còn cạnh thứ hai được đặt ở lớp dưới của một rãnh khác. So với dây quấn một lớp, dây quấn hai lớp

có ưu điểm cho phép thực hiện được bước ngắn làm yếu sức điện động bậc cao nên cải thiện được dạng sóng sức điện động. Tuy nhiên việc lồng dây vào rãnh cũng như việc sửa chữa dây quấn gặp khó khăn hơn. Dây quấn hai lớp có thể chế tạo theo kiểu xếp hay sóng trong đó có kiểu xếp được sử dụng rộng rãi hơn sóng. Dây quấn sóng chỉ dùng đối với rôto dây quấn động cơ điện không đồng bộ và đối với máy phát điện tuốc bin nước công suất lớn để đỡ tốn đồng phần đấu nối.

Dây quấn hai lớp có thể quấn với vùng pha $\gamma=60^0$ hoặc $\gamma=120^0$. Do hệ số quấn rải khi $\gamma=60^0$ lớn hơn hệ số quấn rải khi $\gamma=120^0$ nên dây quấn hai lớp thường được chế tạo với vùng pha $\gamma=60^0$.



Hình 5-9. **Dây quấn xếp có Z=24, 2p=4, m=3, y=5, $\gamma=60^0$**

Xét ví dụ sau đây: Có Z=24 rãnh, 2p=4. Hình sao sức điện động của các bối dây được trình bày trong hình 5-3, trong đó góc giữa các véctơ sức điện động của hai bối dây cạnh nhau có $\alpha=30^0$.Từ hình vẽ ta thấy hệ số bước ngắn khi vùng pha bằng $\gamma=60^0$ ($\gamma=q\alpha=2x30^0$).

$$k_{r(60^0)}=\frac{\sin q\frac{\alpha}{2}}{q\sin\frac{\alpha}{2}}=\frac{\sin 2\frac{30^0}{2}}{2\sin\frac{30^0}{2}}=0,968$$

Khi $\gamma'=q'\alpha=4x30^0=120^0$

$$k_{r(120)} = \frac{\sin 4\frac{30}{2}}{4\sin\frac{30}{2}} = 0,81$$

Như vậy, cùng một số vòng dây như nhau, sức điện động khi vùng pha $\gamma=60^0$ sẽ lớn hơn khi $\gamma=120^0$.

Hình 5-9 cho ta sơ đồ khai triển của một dây quấn xếp có số rãnh Z=24, số từ 2p=4, số pha m=3 với vòng pha $\gamma=60^0$ và bước ngắn với y=5 rãnh.

Trong dây quấn hai lớp dưới mỗi cực từ hình thành một tổ gồm q=2 bối dây của một pha. Vì các bối dây của một pha liên tiếp được đặt dưới các cực từ khác nhau nên sức điện động cảm ứng của chúng có chiều ngược nhau. Để mỗi pha hình thành một mạch nhánh phải nối cuối của tổ bối dây trước với cuối của tổ bối dây tiếp theo như trên hình 5-9.

Nói chung, số mạch nhánh song song của một pha có thể là một số chia hết cho số cực 2p.

5.2.2. Dây quấn 3 pha có q là phân số

Trong các máy điện tốc độ thấp nhiều cực như trong máy phát điện tuốc bin nước số rãnh của mỗi pha dưới một cực q không thể lớn vì nếu q lớn thì số rãnh Z sẽ rất nhiều, trọng lượng vật liệu cách điện của dây quấn tăng làm cho kích thước và trọng lượng của máy tăng. Nhưng nếu q quá nhỏ thì các sóng điều hoà bậc cao sẽ lớn và mạnh hơn. Để tránh tình trạng đó, dùng dây quấn q là phân số: $q = b + \frac{c}{d}$ trong đó $\frac{c}{d}$ là phân số tối giản.

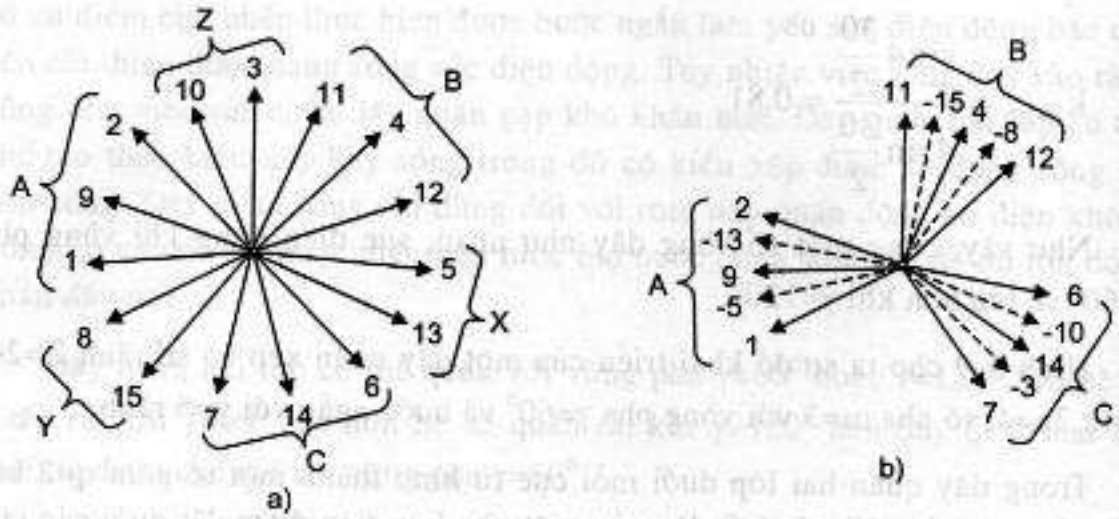
Dây quấn có q là phân số có thể quấn thành một lớp hoặc hai lớp và cũng có thể theo kiểu quấn xếp hoặc sóng. Ở đây dây quấn sóng được dùng nhiều hơn do tiết kiệm được đồng ở phần đấu nối.

Xét thí dụ sau: Z=15, 2p=4, m=3.

Số rãnh của một pha dưới một cực $q = \frac{Z}{2mp} = \frac{15}{3\times 4} = 1\frac{1}{4}$

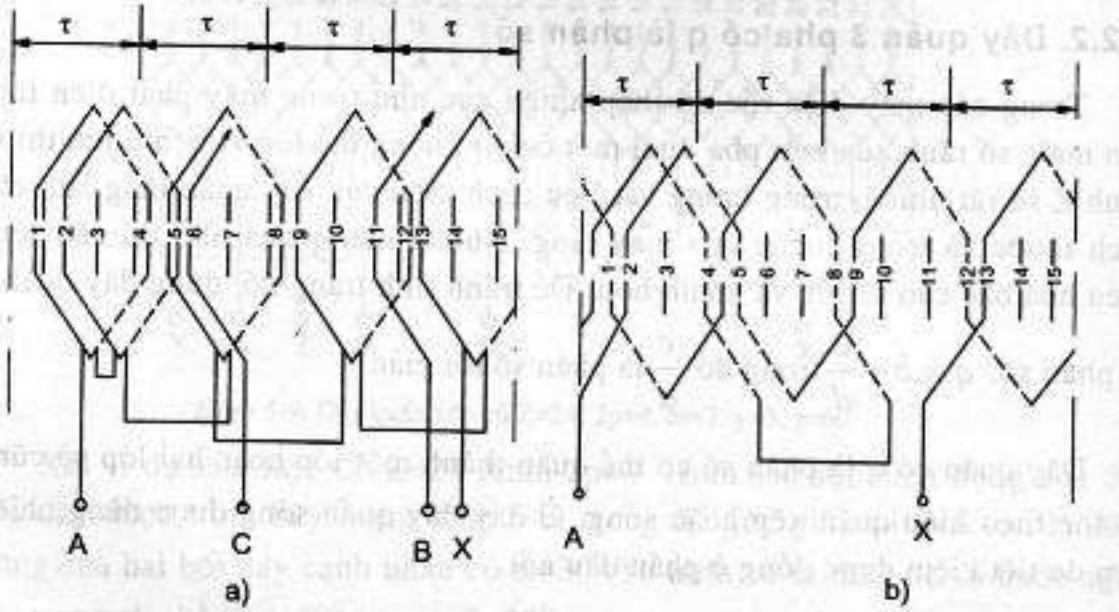
Góc giữa hai rãnh kề nhau: $\alpha = \frac{p360^0}{Z} = \frac{2\times 360^0}{15} = 48^0$

Vẽ hình sao sức điện động với góc lệch của các véctơ $\alpha=48^0$ ta được hình sao sức điện động ứng với 15 bối dây như trên hình 5-10.



Hình 5-10. Hình sao sức điện động

Phân khu vực theo vùng pha 60^0 ta thấy mỗi pha có 5 véctơ ứng với 5 bối dây phân bố dưới 4 cực nên sẽ có 3 bối dây nằm dưới ba cực còn 2 bối dây nằm dưới cực thứ tư . Ví dụ pha A có các véctơ 1, 9, 2 nằm dưới ba cực còn hai véctơ 5, 13 nằm dưới cực thứ tư. Sơ đồ khai triển (vẽ đối với một pha) của dây quấn q là phân số trên được trình bày trong hình 5-11 a và b.



Hình 5-11. Dây quấn 3 pha có q là phân số

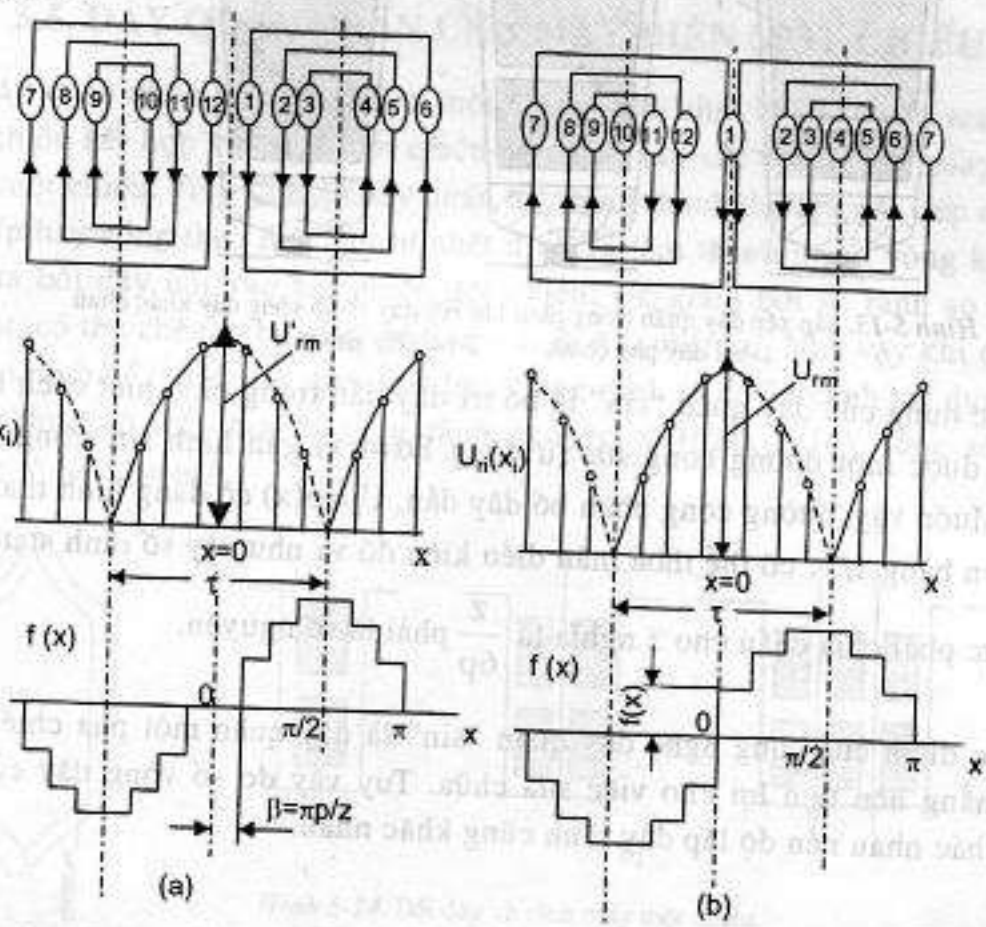
5.3.DÂY QUẤN XOAY CHIỀU MỘT PHA

Trong các động cơ điện nhỏ dùng trong dân dụng hoặc hệ thống tự động thường sử dụng dây quấn một pha hoặc hai pha quấn thành một lớp hay hai lớp.

Động cơ điện một pha có dây quấn phụ cắt ra sau khi khởi động thường là dây quấn một lớp hoặc hai lớp mà dây quấn làm việc chiếm 2/3 số rãnh phần ứng (dải pha 120^0)còn dây quấn khởi động thì chiếm 1/3 số rãnh còn lại (dải pha 60^0).

Trong động cơ điện dung, cả hai dây quấn chính và phụ cùng làm việc (còn gọi là động cơ hai pha) nên mỗi dây quấn chiếm 1/2 số rãnh và dải pha bằng $\gamma=90^0$. Còn trong dây quấn hai lớp dùng bước ngắn $1/3\tau$ thì có thể hoàn toàn triệt tiêu sức điện động sóng bậc 3 của dây quấn chính và phụ.

Đối với dây quấn một lớp, do dây quấn chính chiếm 2/3 tổng số rãnh nên sức từ động sóng bậc 3 cũng tự triệt tiêu nhưng với dây quấn khởi động do chỉ chiếm 1/3 số rãnh nên biên độ sóng bậc 3 có thể chiếm đến 25% biên độ sóng cơ bản. Các sóng bậc cao khác (bậc 5, 7) đối với dây quấn một lớp cũng thể hiện khá rõ.

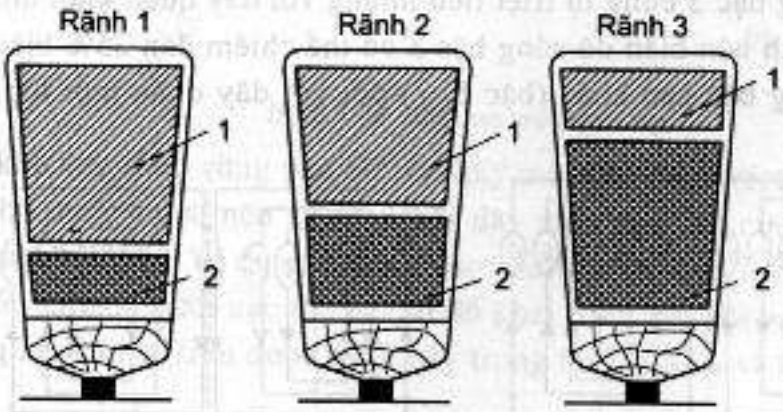


Hình 5-12. Sự phân bố dây dẫn của dây quấn hình "sin" $U_n(x_i)$ và đường cong sức từ động $f(x_i)$ với $\beta=\pi p/z$ (a) và $\beta=0$ (b)

Đối với dây quấn một lớp, để có thể triệt tiêu sóng bậc ba và bậc cao khác trong cả hai dây quấn chính và khởi động thì dùng dây quấn kiểu "sin" và chỉ cần đặt các bối dây của hai dây quấn trong rãnh stato theo một quy luật đã chọn.

Hình 5-12 vẽ sơ đồ khai triển dây quấn sin của động cơ điện một pha khởi động bằng phần tử khởi động (Z=24, 2p=4) đồng thời biểu thị sự phân bố của các dây quấn trong các rãnh theo đơn vị tương đối, lấy số vòng dây nhiều nhất của một bối dây quấn chính làm đơn vị.

Hình dạng của dây quấn "sin" giống như dây quấn một lớp (chỉ khác số vòng dây trong các rãnh) nhưng trong rãnh sẽ có hai cạnh bên của hai bối dây thuộc hai pha khác nhau (hình5-13). Vì vậy xét riêng về kết cấu, dây quấn "sin" đã tổng hợp được đặc điểm cơ bản của dây quấn một lớp và hai lớp thường.



Hình 5-13. Sắp xếp dây quấn trong rãnh khi bối dây có số vòng dây khác nhau
1-bối dây pha chính 2-bối dây pha phụ

Tác dụng của dây quấn "sin" là bố trí dây dẫn trong rãnh một cách hợp lý để đạt được một đường cong sức từ động $F\alpha=f(x)$ gần hình sin trong không gian. Muốn vậy, đường cong phân bố dây dẫn, $U_i=\varphi(x)$ có dạng hình thang với đáy trên bằng $1/3\tau$ có thể thoả mãn điều kiện đó và như vậy số rãnh stato dưới một cực phải chia chẵn cho 3 nghĩa là $\frac{z}{6p}$ phải là số nguyên.

Ưu điểm của công nghệ dây quấn "sin" là dây quấn một pha chiếm một mặt phẳng nên tiện lợi cho việc sửa chữa. Tuy vậy do số vòng dây của mỗi rãnh khác nhau nên độ lấp đầy rãnh cũng khác nhau.

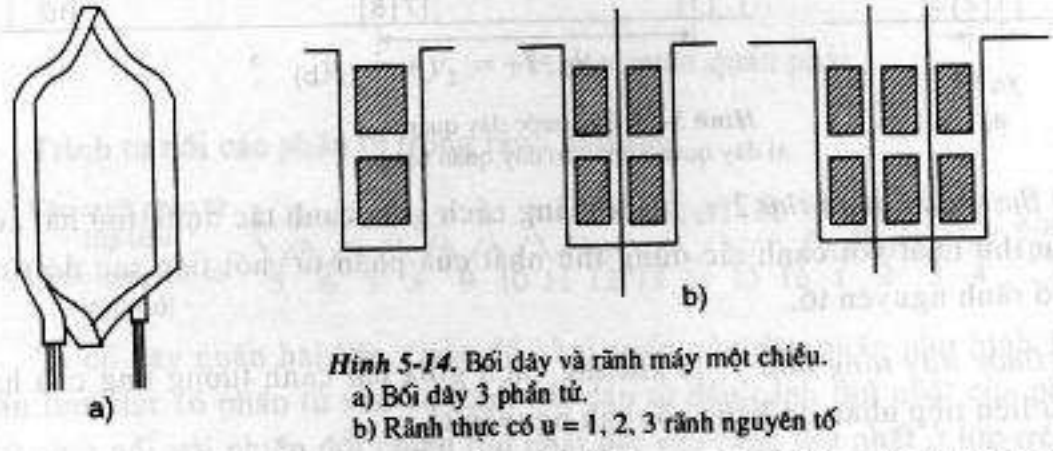
5.4. DÂY QUẤN NGẮN MẠCH KIỂU LỒNG SÓC

Dây quấn ngắn mạch kiểu lồng sóc được tạo thành bởi các thanh dẫn bằng đồng đặt trong rãnh, hai đầu hàn với hai vòng ngắn mạch cũng bằng đồng. Các thanh dẫn và vòng ngắn mạch nói trên cũng có thể được đúc bằng nhôm.

Sức điện động của các thanh dẫn kế tiếp lệch pha nhau một góc $\alpha = \frac{2\pi p}{Z}$ và có thể biểu thị thành hình sao sức điện động có Z/t véctơ trong đó t là ước số chung lớn nhất của Z và p. Ở đây mỗi véctơ sức điện động ứng với một pha và như vậy $m = \frac{Z}{t}$ và nếu có hình sao sức điện động trùng nhau thì mỗi pha có t thanh dẫn ghép song song. Trên thực tế, để đơn giản, thường xem như mỗi thanh dẫn ứng với một pha do đó m=Z, số vòng dây của một pha $w = \frac{1}{2}$ và các hệ số bước rải, bước ngắn đều bằng 1.

5.5. DÂY QUẤN PHẦN ỨNG MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

Dây quấn phần ứng máy điện một chiều thực chất là dây quấn máy điện xoay chiều kết hợp với vành đổi chiều để chỉnh lưu sức điện động xoay chiều thành một chiều. Trên thực tế dây quấn này hình thành do đấu nối tiếp các bối dây xếp hay sóng theo một thứ tự nhất định và làm thành mạch vòng kín, hai đầu của bối dây nối vào hai phiến đổi chiều. Để giảm bớt số rãnh so với số phần tử, có thể chế tạo bối dây gồm u = 1, 2, 3... phần tử. Như vậy khi đặt bối dây vào rãnh để thành dây quấn hai lớp, trong rãnh sẽ có 2u cạnh tác dụng nên 1 rãnh thực có thể chia thành u rãnh nguyên tố (hình 5-14), tổng số rãnh nguyên tố là $Z_{nt} = u.Z$.



Hình 5-14. Bối dây và rãnh máy một chiều.
a) Bối dây 3 phần tử.
b) Rãnh thực có u = 1, 2, 3 rãnh nguyên tố

Giữa số phần tử S của dây quấn, số rãnh nguyên tố Z_{nt} và số phiến góp G cũng có một mối quan hệ nhất định. Vì mỗi phần tử có hai đầu nối với hai phiến góp, đồng thời ở mỗi phiến góp lại nối hai đầu của hai phần tử lại với nhau nên số phần tử S phải bằng số phiến góp G, ta có : S=G.

Do mỗi rãnh nguyên tố đặt hai cạnh tác dụng mà mỗi phần tử cũng có hai cạnh tác dụng nên ta có quan hệ:

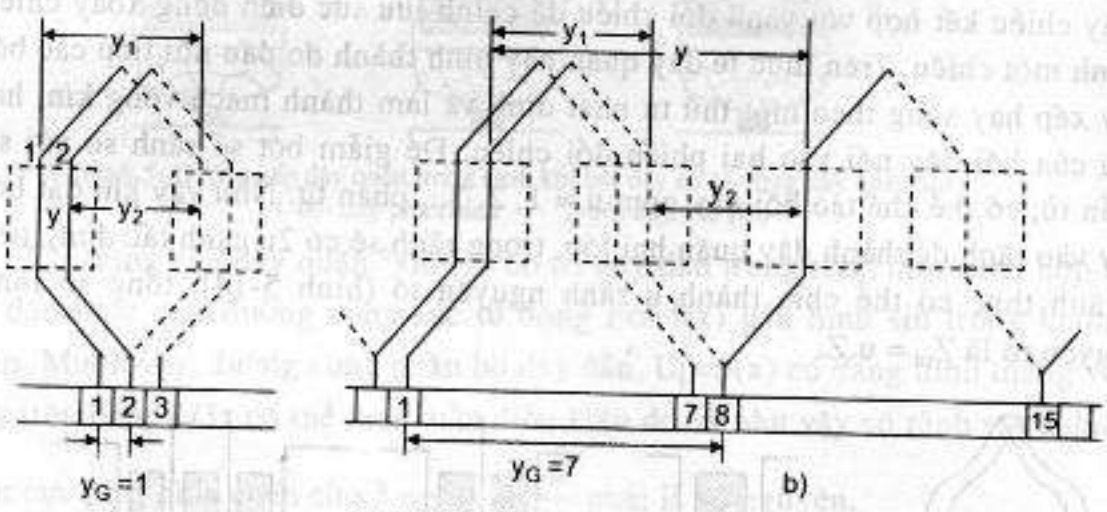
$Z_{nt}=S=G$.

Quy luật nối các phần tử để tạo thành dây quấn được xác định bằng bốn loại bước dây quấn sau:

a) Bước dây thứ nhất y_1 : là khoảng cách giữa hai cạnh tác dụng của một phần tử đo bằng số rãnh nguyên tố (hình 5-15). Đó cũng là khoảng cách của một bước cực như ở dây quấn máy điện xoay chiều:

$$y_1 = \frac{Z_{nt}}{2p} \pm \varepsilon = \text{Số nguyên.}$$

Khi ε=0 ta có dây quấn bước đủ, khi ε≠0, với dấu (-) có dây quấn bước ngắn, dấu (+) có dây quấn bước dài.



Hình 5-15. Các bước dây quấn
a) dây quấn xếp: b) dây quấn sóng.

b) Bước dây quấn thứ 2 y_2 : là khoảng cách giữa cạnh tác dụng thứ hai của phần tử thứ nhất với cạnh tác dụng thứ nhất của phần tử nối tiếp sau đó tính bằng số rãnh nguyên tố.

c) Bước dây tổng hợp y: là khoảng cách giữa hai cạnh tương ứng của hai phần tử liên tiếp nhau đo bằng số rãnh nguyên tố.

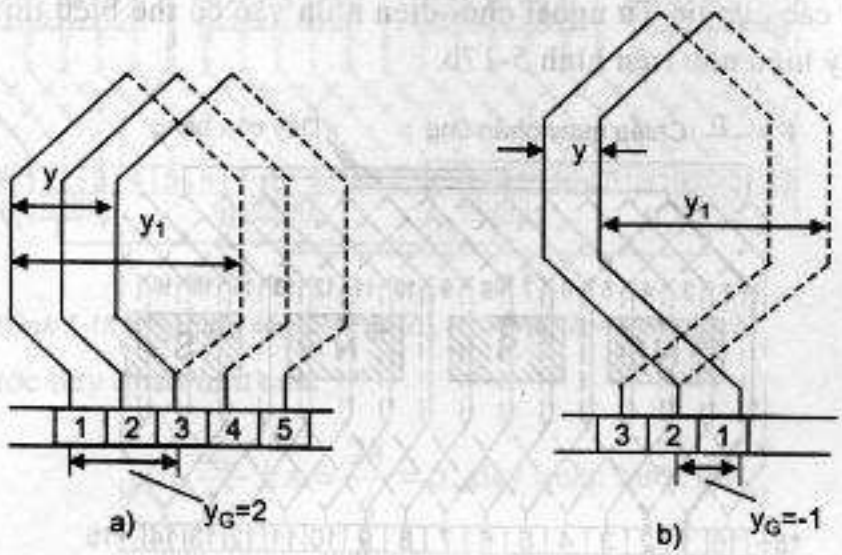
d) Bước trên cổ góp y_G : là khoảng cách giữa hai phiến góp nối với hai cạnh tác dụng của cùng một phần tử đo bằng số phiến góp (hình 5-15).

Dây quấn máy điện một chiều thường được phân thành các loại sau:

5.5.1. Dây quấn xếp có bước trên vành góp bằng: $y_G = \pm m$

Khi m=1 ta có dây quấn xếp đơn. Khi m=2 ta có dây quấn xếp phức.

Dấu (+) trong biểu thức ứng với cách quấn phải hoặc quấn tiến, dấu (-) ứng với cách quấn trái hoặc lùi (h.5.16).



Hình 5-16. a) Dây quấn xếp phức tạp quấn phải
b) Dây quấn xếp đơn quấn trái.

Lấy một ví dụ về dây quấn xếp đơn để minh hoạ.

Có dây quấn xếp với $Z=Z_{nt}=S=G=16$, $2p=4$, $y_G=+1$.

Bước dây thứ nhất: $y_1 = \frac{Z_{nt}}{2p} \pm \varepsilon = \frac{16}{4} = 4$, dây quấn bước đủ.

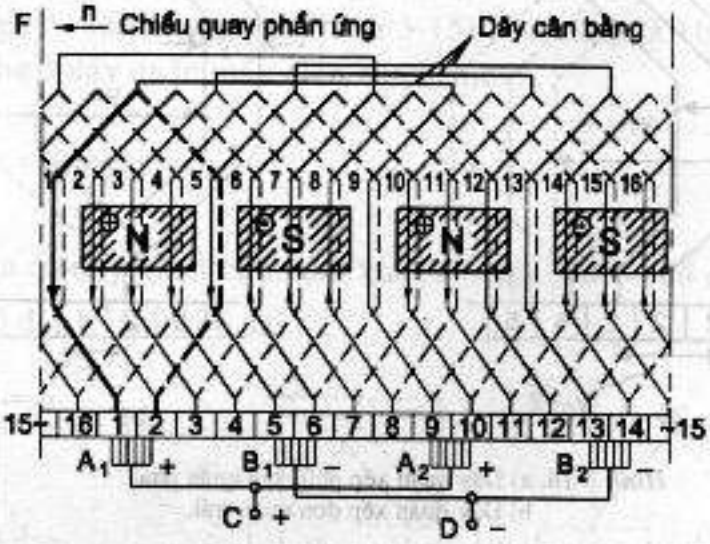
$$y_G = +y_2 = +1, \text{ dây quấn quấn phải.}$$

Trình tự nối các phần tử trong rãnh như sau:

Các cạnh phần tử lớp trên	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	1	Khép kín
Các cạnh phần tử lớp dưới	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	1	2	3	4		

Ta có dây quấn hai lớp. Giản đồ khai triển của dây quấn như hình 5-17a. Lần lượt đặt 16 phần tử vào 16 rãnh bắt đầu từ đầu cạnh thứ nhất của phần tử thứ nhất nối với phiến đổi chiều thứ nhất đặt vào rãnh thứ nhất ở lớp trên (nét liền) và cạnh thứ hai của phần tử thứ nhất được đặt ở lớp dưới của rãnh số 5 (đường nét đứt) và nối với phiến đổi chiều thứ hai rồi tiếp tục sang các phần tử tiếp theo, đến phần tử thứ 16 ta trở về phiến đổi chiều số 1 và được một mạch khép kín 16 phần tử với bước cực τ được đặt dưới 4 cực từ Bắc Nam xen kẽ

nhau. Với chiều quay của phần ứng như trên hình 5-17a, thì chiều sức điện động của các phần tử 2, 3, 4 và 10, 11, 12 dưới hai cực N ngược chiều với chiều đi vòng còn sức điện động của các phần tử 6, 7, 8 và 14, 15, 16 dưới hai cực S thuận theo chiều đi vòng. Các chổi than phải ngắn mạch các phần tử có sức điện động bằng không là các phần đổi chiều 1, 2; 5, 6; 9, 10;13, 14, nghĩa là đúng dưới các cực từ. Từ ngoài chổi điện nhìn vào có thể biểu thị dây quấn bằng sơ đồ ký hiệu như trên hình 5-17b.



Hình 5-17a. Giản đồ triển khai dây quấn hai lớp

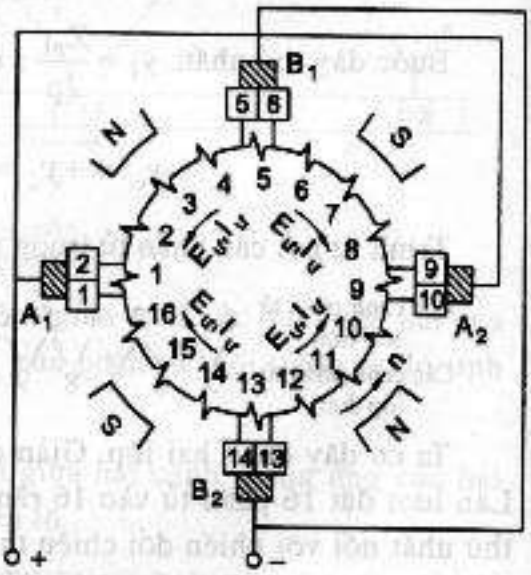
Từ sơ đồ ký hiệu ta thấy dây quấn xếp tương đương như 4 mạch điện song song ứng với 4 cực từ. Vì vậy với dây quấn xếp đơn có đôi mạch song song bằng số đôi cực từ:

a=p

Cùng lập luận như vậy, số đôi mạch nhánh song song của dây quấn xếp phức bằng:

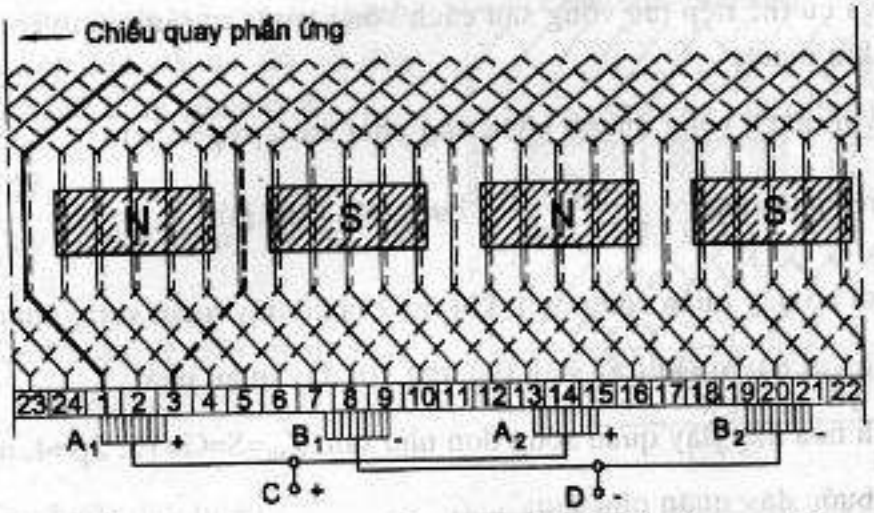
a=mp.

Dây quấn xếp phức khác với dây quấn xếp đơn ở bước trên vành góp, y_G =m trong đó thường m=2.



Hình 5-17b

Hình 5-18 nêu thí dụ về dây quấn xếp phức với Z_{nt}=Z=S=G=24 với 2p=4và y_G =m=2.



Hình 5-18. Dây quấn xếp phức với $Z_m = Z = S = G$, $2p=4$, $y_G = m = 2$

Các bước dây quấn như sau:

$$y_1 = \frac{Z_m}{2p} \pm \varepsilon = \frac{24}{4} = 6, \text{ dây quấn bước đủ}$$

$$y_G = y = +2, \text{ dây quấn quấn phải.}$$

Trình tự sắp xếp các bối dây theo thứ tự sau đây

Các cạnh phần tử lớp trên	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	1	Khép kín
Các cạnh phần tử lớp dưới	7	9	11	13	15	17	19	21	23	1	3	5		
Các cạnh phần tử lớp trên	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	2	Khép kín
Các cạnh phần tử lớp dưới	8	10	12	14	16	18	20	22	24	2	4	6		

Vì G chia hết cho m=2 nên dây quấn này hợp bởi hai dây quấn xếp đơn ứng với hai mạch khép kín.

Giản đồ triển khai dây quấn trên hình 5-18. Cách bố trí cực từ và chổi điện như ở dây quấn xếp đơn chỉ khác là bề rộng chổi điện ít nhất phải bằng bề rộng hai phiến đổi chiều để có thể tiếp xúc với cả hai dây quấn xếp đơn

5.5.2. Dây quấn sóng

Ở dây quấn sóng, hai phần tử nối tiếp nhau được đặt cách nhau khoảng một đôi cực dưới các cực từ cùng cực tính và có vị trí gần giống nhau trong từ trường để sức điện động của chúng cùng chiều và cộng với nhau được. Nếu máy có p đôi cực thì khi quấn vòng quanh bề mặt phần ứng một vòng phải có p phần tử và trở về cách phần tử đầu tiên m rãnh nguyên tố để lại quấn sang

vòng thứ hai và cứ thế tiếp tục vòng sau cách vòng trước m rãnh nguyên tố cho đến khi khép kín mạch.

Như vậy với mạch vòng quanh phần ứng phải có: $2py_1 = Z_{nt} \pm m$

Và bước trên phần ứng $y_1 = \dfrac{Z_{nt} \pm m}{2p}$, bước trên vành góp $y_{ci} = y = \dfrac{G \pm m}{p}$.

Khi m=1 ta có dây quấn sóng đơn, khi m≥2 ta có dây quấn sóng phức.

Dấu(-) ứng với dây quấn trái, dấu (+) ứng với dây quấn phải.

Ví dụ minh hoạ một dây quấn sóng đơn như sau: $Z_{nt}=S=G=15$, 2p=4, m=-1.

Ta có các bước dây quấn như sau:

$y_1 = \dfrac{Z_{nt}}{2p} \pm \varepsilon = \dfrac{15}{4} - \dfrac{3}{4} = 3$. Chọn bước ngắn.

$y = y_{ci} = \dfrac{15-1}{2} = 7$. Dây quấn phải.

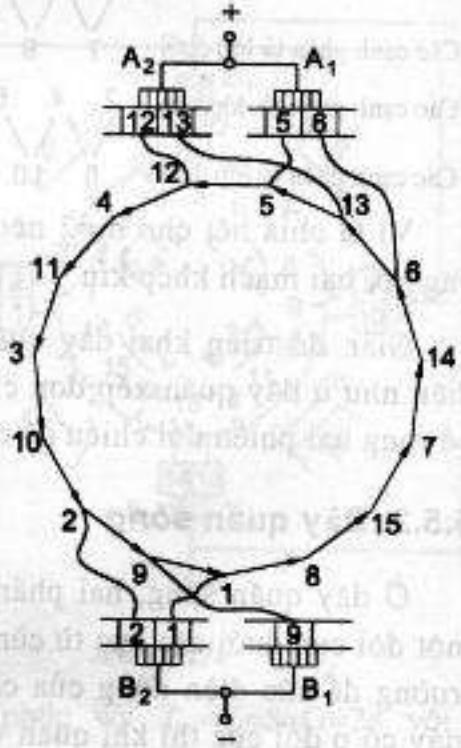
Thứ tự các phần tử như sau:

Lớp trên	1		8		15		7		14		6		13		5		12		4		11		3		10		2		9		1	Khép kín
Lớp dưới		4		11		3		10		2		9		1		8		15		7		14		6		13		5		12		

Cộng véctơ sức điện động của các phần tử nối tiếp nhau ta chỉ được một đa giác sức điện động (hình 5-19) một nửa đa giác gồm các véctơ sức điện động phần tử 1, 8, 15, 7, 14, 6, 13 nằm dưới các cực N, các véctơ sức điện động phần tử 12, 4, 11, 3, 10, 2, 9 nằm dưới các cực S. Vì vậy quy luật nối dây của dây quấn sóng đơn là trước hết nối tiếp tất cả các phần tử dưới các cực cùng cực tính, tiếp đến tất cả các phần tử ở dưới các cực khác cực tính cho đến khi khép kín mạch. Ở đây dây quấn sóng đơn chỉ có một đôi mạch song song hay: a=1.

Giản đồ khai triển của dây quấn sóng đơn như trên hình 5-20a.

Cũng lý luận như trên, đối với dây



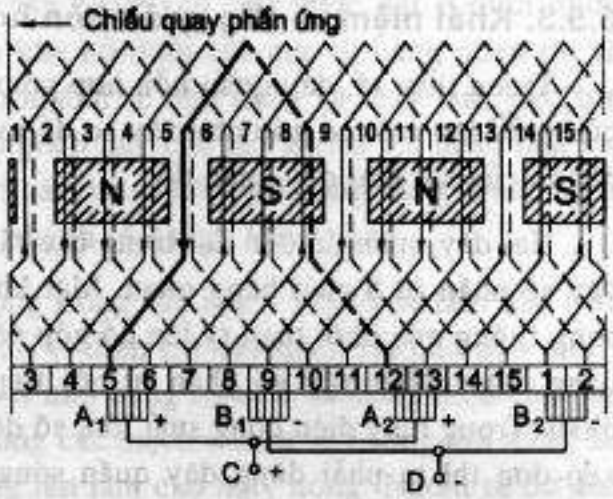
Hình 5-19. Đa giác sức điện động

quấn sóng phức sẽ có m mạch vòng khép kín và do đó số đôi mạch nhánh song song sẽ là:

a=m

Dây quấn sóng phức có m=2, 3, 4,..

Lấy ví dụ về dây quấn sóng phức với Z_{nt}=Z=S=G=18, 2p=4 và y_G=m=2.



Hình 5-20a. Giản đồ khai triển của dây quấn sóng đơn

Các bước dây quấn:

$$y_1 = \frac{Z_{nt}}{2p} \pm \frac{m}{2p} = \frac{18}{4} - \frac{2}{4} = 4 \text{ (bước ngắn)}$$

$$y_G = y = \frac{G \pm m}{p} = \frac{18-2}{2} = 8 \text{ (quấn phải)}$$

Trình tự nối các các phần tử:

Lớp trên 1 9 17 7 15 5 13 3 11 1

Lớp dưới 5 13 3 11 1 9 17 7 15

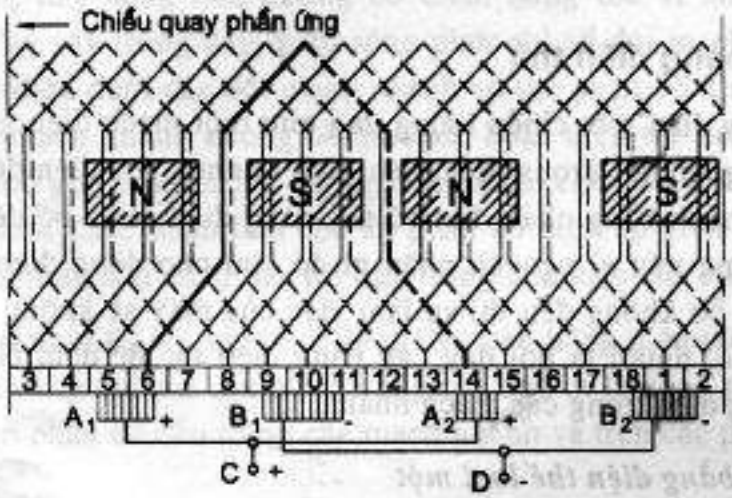
Khép kín

Lớp trên 2 10 18 8 16 6 14 4 12 2

Lớp dưới 6 14 4 12 2 10 18 8 16

Khép kín

Giản đồ khai triển như ở hình 5-20b. Trong đó bề rộng chổi điện ít nhất bằng 2 phiến đổi chiều để lấy điện ở các mạch nhánh ghép song song.

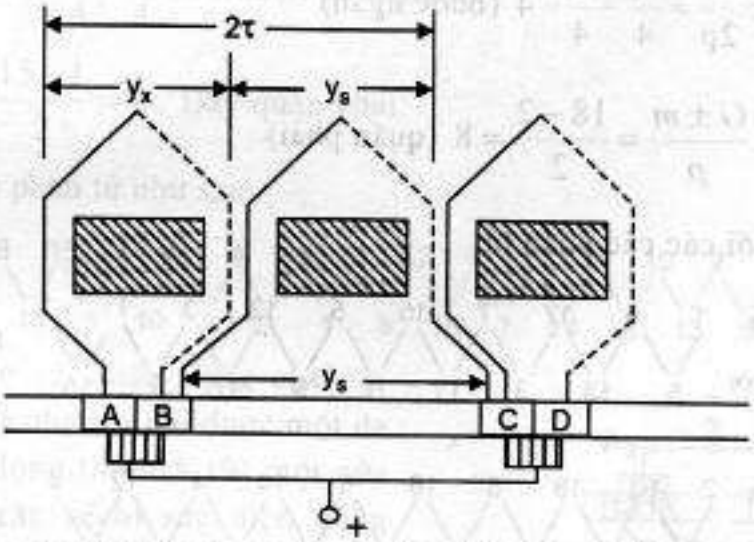


Hình 5-20b. Giản đồ triển khai dây quấn sóng phức

5.5.3. Khái niệm về dây quấn hỗn hợp

Trong thực tế, dây quấn hỗn hợp gồm hai dây quấn xếp đơn và sóng phức cũng nối lên một cổ góp như vậy sơ đồ mạch nhánh sẽ bằng tổng số đôi mạch nhánh của hai loại dây quấn đó.

Hai dây quấn đó đều đặt trong các rãnh và đều nối chung lên cổ góp . Vì vậy số phần tử S phải bằng nhau. Mặt khác hai dây quấn đó được ghép song song thông qua chổi than tỳ lên cổ góp nên các sức điện động của chúng phải bằng nhau. Như vậy số phần tử nối tiếp trong mỗi mạch nhánh phải bằng nhau. Trong máy điện công suất lớn, số đôi cực p>1 vì vậy nếu dùng dây quấn xếp đơn thì ta phải dùng dây quấn sóng phức có m=p để cho số đôi mạch nhánh của chúng bằng nhau. Quan hệ giữa dây quấn sóng và xếp trong dây quấn hỗn hợp như trong hình 5-21.



Hình 5-21. Bước cực của các phần tử dây quấn hỗn hợp

Loại dây quấn này thường dùng trong máy điện công suất lớn, tốc độ cao và đổi chiều khó khăn.

5.5.4. Dây cân bằng điện thế

Dây quấn máy điện một chiều tương ứng như một mạch điện gồm một số nhánh song song ghép lại. Trong điều kiện bình thường, sức điện động sinh ra trong các mạch nhánh bằng nhau; khi có tải, dòng điện phân bố đều trên các mạch nhánh. Nhưng nếu vì nguyên nhân gì đó làm cho dòng điện trong các mạch nhánh phân bố không đều thì sự làm việc của máy sẽ không có lợi. Để tránh tình trạng đó, người ta nối dây cân bằng điện thế để đảm bảo sự phân phối đều dặn dòng điện trong các mạch nhánh.

a) Dây cân bằng điện thế loại một

Dây dẫn của các mạch nhánh dây quấn xếp đơn được đặt ở dưới những cực từ khác dấu. Nếu từ thông qua khe hở dưới các cực từ bằng nhau thì sức điện động cảm ứng trong các mạch nhánh sẽ như nhau và máy làm việc bình thường. Nhưng trong thực tế do lắp ghép hay chế tạo không tốt hoặc làm việc lâu ngày ổ bi mòn nên khe hở dưới cáccực từ có thể không bằng nhau và sức điện động cảm ứng trong các mạch nhánh sẽ không bằng nhau .

Sự không cân bằng sức điện động trong các mạch nhánh sẽ làm cho trong dây quấn sinh ra dòng điện cân bằng vì điện trở dây quấn rất nhỏ nên một sự không cân bằng về sức điện động rất nhỏ cũng đủ sinh ra dòng điện cân bằng lớn làm cho khi có tải dòng điện trong các mạch nhánh sẽ không đối xứng làm cho tổn hao đồng của dây quấn tăng lên làm cho máy nóng. Ngoài ra do dòng điện qua chổi than không đối xứng nên dễ sinh ra tia lửa điện trên cổ góp.

Để giải quyết vấn đề này người ta nối các điểm về lý thuyết là đẳng thế trên dây quấn lại với nhau. Dây nối đó gọi là dây nối cân bằng điện thế.

Trong dây quấn xếp đơn, số đôi mạch nhánh song song bằng số đôi cực a = p nên bước dây cân bằng điện thế

$$y_t = \frac{G}{p} = \frac{G}{a}$$

Thường người ta không nối hết số dây cân bằng điện thế mà chỉ nối quãng 1/3 hay 1/2 tổng số dây có thể nối được.

Như vậy dây cân bằng thế loại một làm mất sự không đối xứng của mạch từ trong maý điện một chiều, cân bằng điện thế ở các mạch nhánh của dây quấn xếp nằm dưới các cực từ có cùng cực tính.

b) Dây cân bằng điện thế loại hai

Trong dây sóng đơn không có điểm đẳng thế vì chỉ có một đôi mạch nhánh. Tuy vậy trong dây quấn sóng phức thì số đôi mạch nhánh a=m khi có tải, dòng điện dưới các đôi mạch nhánh có thể phân bố không đều do điện trở giữa các mạch nhánh không bằng nhau, hoặc điện trở tiếp xúc giữa các chổi than với cổ góp ở hai mạch không bằng nhau chẳng hạn. Dòng điện trong các mạch nhánh khác nhau làm cho sự phân bố điện áp giữa các phiến đổi chiều kề nhau không đều nhau dẫn tới tình trạng làm việc của máy xấu.

Để tránh điều đó, người ta dùng dây cân bằng điện thế nối các điểm về lý thuyết là đẳng thế của các mạch vòng của dây quấn sóng phức đó lại, đảm bảo dòng điện phân bố đều trong các mạch nhánh và trên các phiếu đối chiều.

Bước của dây cân bằng điện thế loại hai bằng:

$$y_t = \frac{S}{a} = \frac{G}{a}.$$

Như vậy, trong dây quấn xếp phức thì các dây quấn xếp đơn dùng dây cân bằng loại một và giữa các dây quấn xếp đơn đó với nhau thì dùng dây cân bằng loại hai.

Các dây cân bằng điện thế được lắp ở phía cổ góp hoặc phía ngược lại. Tiết diện dây cân bằng có thể nhỏ hơn tiết diện dây dẫn một chút.

CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP

Câu hỏi

1. Một máy điện ba pha có Z=36 rãnh, 2p=2. Hỏi góc độ điện giữa hai rãnh kề nhau là bao nhiêu, góc cơ khí là bao nhiêu? Nếu đổi số cực 2p=4 thì góc độ điện và góc cơ khí có gì thay đổi?

2. Dây quấn máy điện xoay chiều khác dây quấn máy điện một chiều ở chỗ nào?

3. Nguyên tắc quấn dây quấn 3 pha 1 lớp và hai lớp khi q là số nguyên. Khi ghép song song các nhánh của 1 pha cần đảm bảo những điều kiện gì?

4. Vì sao dây quấn xoay chiều hay làm vùng pha $\gamma=60^0$.

5. Quy luật nối các phần tử của dây quấn xếp và sóng của máy điện một chiều có những điểm nào khác nhau? Quan hệ giữa các đôi mạch nhánh của chúng như thế nào?

6. Dây cân bằng điện thế dùng để làm gì? Có bao nhiêu loại dây cân bằng điện thế. Dây quấn xếp phức phải đặt những dây cân bằng điện thế nào?

Bài tập

1. Vẽ sơ đồ khai triển của dây quấn mắc xích, đồng tâm của máy điện có Z=36, m=3, 2p=4.

2. Có dây quấn 3 pha hai lớp bước ngắn với y=7/9. Số rãnh Z=36, 2p=4. Vẽ giản đồ khai triển với số đôi mạch nhánh a=2.

3. Một máy điện một chiều có $S=G=Z_{nt}=19$, p=2, sóng đơn. Tính các bước dây quấn, trình tự quấn dây. Xác định số mạch nhánh song song.

Chương 6

CÁC CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC VÀ CÁC DẠNG KHÁC CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Máy điện không đồng bộ ngoài chế độ làm việc chủ yếu là động cơ điện ba pha và một pha còn có thể làm việc ở chế độ máy phát điện và chế độ hãm.

Ngoài ra máy điện không đồng bộ rôto dây quấn khi đứng yên còn dùng làm các máy điều chỉnh cảm ứng, dịch pha... và trong hệ thống tự động cũng dùng nhiều các máy điện theo nguyên lý của máy điện không đồng bộ. Những máy này muôn hình muôn vẻ và công dụng cũng rất rộng rãi. Vì vậy trong chương này cũng sẽ nêu lên vài loại thông dụng.

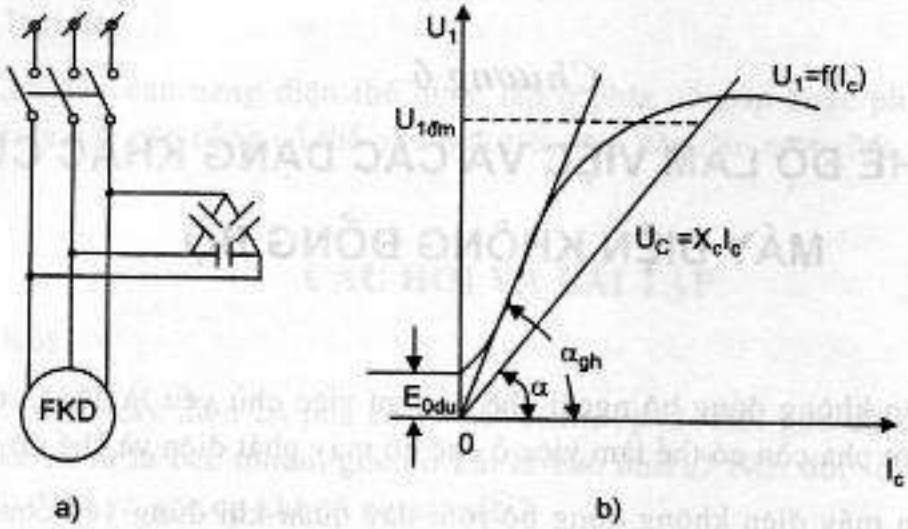
6.1. MÁY PHÁT ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Như đã nói ở phía trước, khi máy điện không đồng bộ đang làm việc với lưới điện mà dùng động cơ sơ cấp kéo nó quay nhanh hơn tốc độ đồng bộ thì máy điện phát ra công suất điện tác dụng vào lưới nhưng vẫn nhận công suất phản kháng từ lưới vào. Đó là nhược điểm chính của máy phát không đồng bộ. Tuy nhiên ưu điểm của nó là khởi động và hoà vào lưới dễ dàng, hiệu suất vận hành cao vì vậy nó có thể dùng làm các nguồn điện bổ trợ nhỏ.

Máy phát điện không đồng bộ cũng có thể làm việc độc lập với lưới, và công suất phản kháng cung cấp cho máy được lấy từ một bộ tụ điện 3 pha nối ở đầu cực máy phát như ở hình vẽ 6-1. Ta thấy dòng kích từ I_o của máy phát vượt trước sức điện động E_1 một góc 90^0 nghĩa là máy phát đã phát ra một dòng điện điện dung làm máy tự kích được. Điều kiện cuối cùng để xác lập điện áp là có đủ điện dung để cho đường đặc tính điện dung và đường từ hoá của máy phát giao nhau ở điểm làm việc định mức (hình 6-1b). Trị số điện

dung 3 pha cần thiết để kích từ cho máy đạt đến điện áp định mức lúc không tải bằng:

$$C_0 = \frac{\sqrt{3}I_0 10^6}{2\pi f_1 U_1}, \mu F$$



Hình 6-1. Máy phát điện không đồng bộ tự kích

Trong đó I_o dòng điện từ hoá coi như gần bằng dòng điện không tải

U_1, f_1 là điện áp dây và tần số của máy

Để tiết kiệm điện dung người ta thường đấu chúng thành tam giác (hình 6-1a). Khi có tải, để giữ cho điện áp không đổi phải thêm điện dung để bù vào điện kháng của stato và điện kháng của tải. Tụ bù thêm này C_1 được tính như sau:

$$C_1 = \frac{Q}{2\pi f_1 U_1}.10^6, \mu F$$

trong đó Q là công suất phản kháng của tải tính theo KVAr.

Máy phát điện không đồng bộ thường là loại rôto lồng sóc vì kết cấu đơn giản, dễ chế tạo và làm việc chắc chắn.

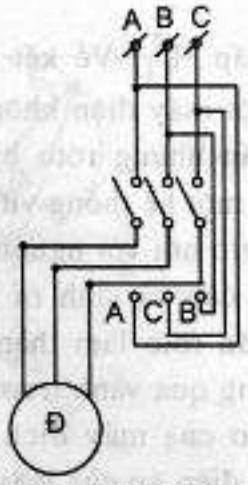
6.2.TRẠNG THÁI HÃM CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Trong thực tế khi muốn ngừng quay hoặc giảm tốc độ động cơ không đồng bộ một cách nhanh chóng và bằng phẳng, có thể dùng các phương pháp hãm điện sau:

6.2.1. Phương pháp hãm đổi thứ tự pha

Như đã nói trên khi s > 1 nghĩa là rôto quay ngược với chiều từ thông quay thì động cơ điện làm việc ở chế độ hãm. Sơ đồ hãm như ở hình 6-2.

Sau khi cắt điện ta đóng cầu dao về phía dưới để đảo thứ tự pha của stato làm từ trường quay ngược với chiều quay rôto dẫn tới rôto ngừng quay.



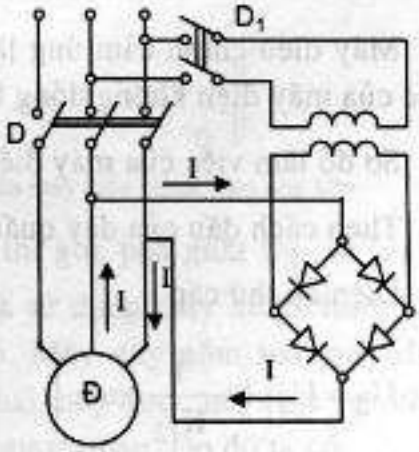
Hình 6-2. Hãm đổi thứ tự pha động cơ điện không đồng bộ

6.2.2. Phương pháp biến đổi thành máy phát điện

Như đã nói ở trên khi s < 0 nghĩa là rôto quay nhanh hơn tốc độ đồng bộ thì động cơ chuyển thành máy phát và sinh ra mômen điện từ ngược chiều mômen đà của động cơ. Việc đó được thực hiện bằng cách tăng số đôi cực của động cơ lên làm tốc độ quay của từ trường quay giảm xuống nên thấp hơn tốc độ đà của rôto và hãm động cơ xuống tốc độ từ trường quay mới.

6.2.3. Phương pháp hãm động năng

Theo sơ đồ hình 6-3 sau khi cắt nguồn điện vào động cơ điện thì lập tức đóng điện một chiều vào dây quấn stato. Dòng điện một chiều qua chỉnh lưu này sẽ cảm ứng nên từ trường trong stato. Rôto do còn quán tính sẽ quay trong từ trường đó và trong dây quấn rôto sẽ cảm ứng nên sức điện động và dòng điện cảm ứng tác dụng với từ trường nói trên tạo thành mômen điện từ quay ngược lại chiều quay của máy .

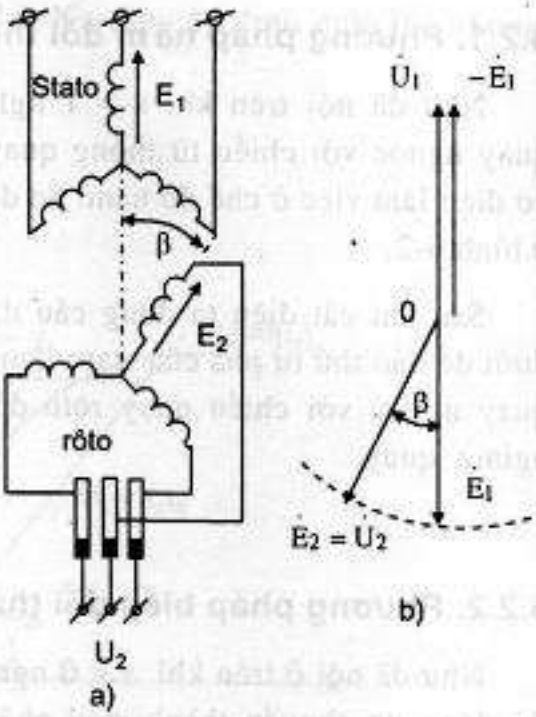


Hình 6-3. Hãm động năng động cơ điện không đồng bộ

6.3. MÁY DỊCH PHA

Máy dịch pha là một loại máy điện không đồng bộ rôto dây quấn có thể tạo nên một sức điện động E_2 phía thứ cấp lệch một góc pha tuỳ ý so với điện

áp sơ cấp U_1. Về kết cấu, máy giống như một máy điện không đồng bộ rôto dây quấn nhưng rôto bị giữ chặt đứng yên bởi một hệ thống vít (hình 6-4). Dây quấn stato nối với nguồn điện làm thành phía sơ cấp và sinh ra từ trường quay. Dây quấn rôto làm thành dây quấn thứ cấp thông qua vành trượt nối với tải. Đồ thị vectơ của máy dịch pha hình 6-4b. Ta thấy điện áp của máy dịch pha về trị số không đổi, chỉ thay đổi về góc pha.



Hình 6-4. Sơ đồ nguyên lý (a) và đồ thị vectơ (b)

6.4 MÁY ĐIỀU CHỈNH CẢM ỨNG

Máy điều chỉnh cảm ứng là một loại máy biến áp dựa trên nguyên lý làm việc của máy điện không đồng bộ ba pha rôto dây quấn với rôto đứng yên.

Sơ đồ làm việc của máy điều chỉnh cảm ứng đơn như ở hình 6.5

Theo cách đấu của dây quấn, lấy một pha ra nghiên cứu ta có:

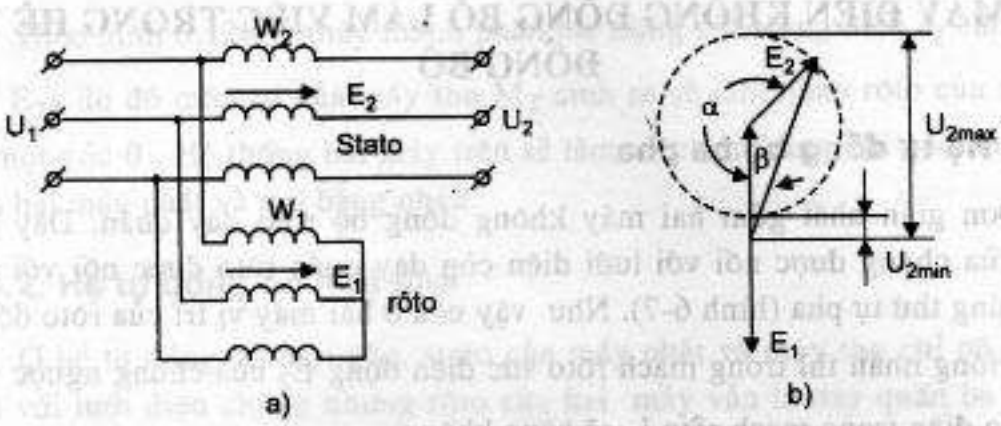
Điện áp thứ cấp

$$U_2 = U_1\left(1 - \frac{1}{K_{12}}\cos\alpha\right)$$

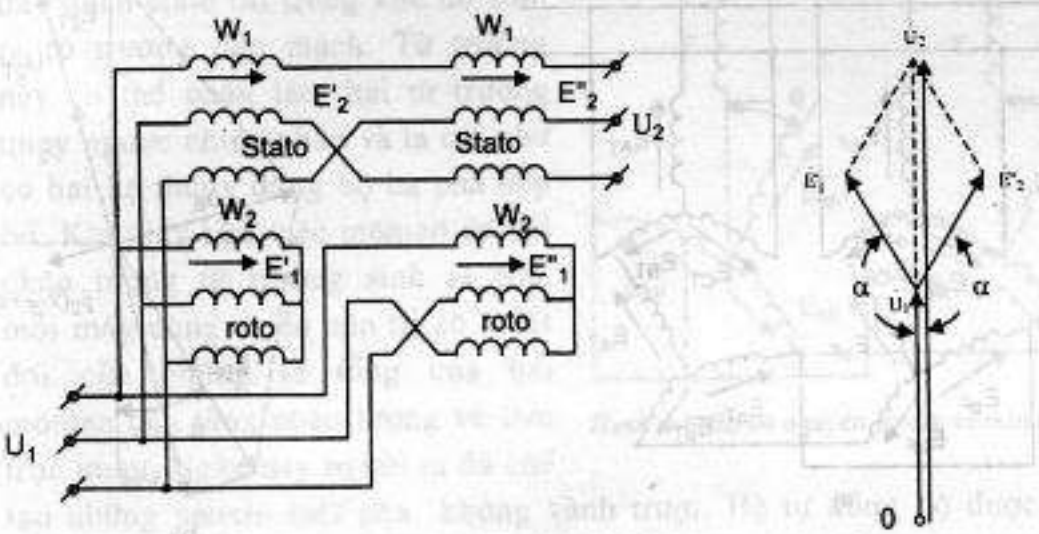
Khi $\alpha = 0$ thì $U_{2min} = U_1\left(1 - \frac{1}{K_{12}}\right)$

$\alpha = 180^0$ thì $U_{2max} = U_1\left(1 + \frac{1}{K_{12}}\right)$

trong đó $k_{12} = \frac{U_1}{U_2}$ là tỷ số biến áp của dây quấn stato và rôto.



Hình 6-5. Sơ đồ nguyên lý và đồ thị vectơ của máy điều chỉnh cảm ứng đơn



Hình 6-6. Sơ đồ nguyên lý và đồ thị vectơ của máy điều chỉnh cảm ứng kép

Cần chú ý là khi điều chỉnh trị số của U_2 thì góc pha giữa U_2 và U_1 có thay đổi một chút. Để tránh có góc pha β đó ta sử dụng máy điều chỉnh cảm ứng kép mà sơ đồ nguyên lý như ở hình 6.6. Máy này gồm hai máy điều chỉnh cảm ứng đơn 1 và 2 ghép lại vì rôto của hai máy được nối chặt với nhau về cơ khí và từ trường quay của hai máy quay ngược nhau. Do đó ta có:

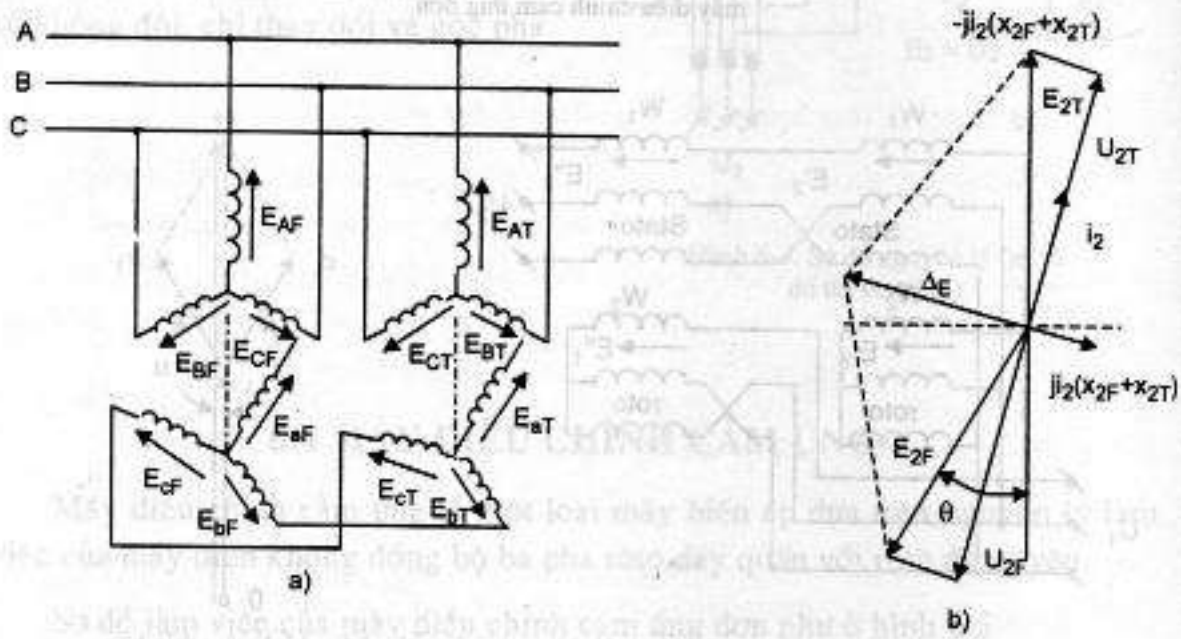
$$\alpha = 0 \text{ thì } U_{2min} = U_1\left(1 - \frac{2}{K_{12}}\right)$$

$$\alpha = 180^0 \text{ thì } U_{2max} = U_1\left(1 + \frac{2}{K_{12}}\right)$$

6.5. MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ LÀM VIỆC TRONG HỆ TỰ ĐỒNG BỘ

6.5.1. Hệ tự đồng bộ ba pha

Đơn giản nhất gồm hai máy không đồng bộ rôto dây quấn. Dây quấn stato của chúng được nối với lưới điện còn dây quấn rôto được nối với nhau theo đúng thứ tự pha (hình 6-7). Như vậy nếu ở hai máy vị trí của rôto đối với stato giống nhau thì trong mạch rôto sức điện động E_2 của chúng ngược nhau và dòng điện trong mạch rôto I_2 sẽ bằng không.



Hình 6-7. a) Sơ đồ nguyên lý của xenxin ba pha
b) Đồ thị véctơ của xenxin ba pha khi quay rôto máy phát đi một góc

Gọi F là máy phát tín hiệu và T là máy thu tín hiệu thì khi rôto của máy phát tín hiệu quay đi một góc θ (h.6.12b) thì giữa sđđ của máy phát E_{2F} và máy thu E_{2T} sẽ có một góc lệch pha do đó trong mạch rôto sẽ xuất hiện dòng điện I_2.

$$I_2 = \frac{E_{2F} + E_{2T}}{Z_{2F} + Z_{2T}}$$

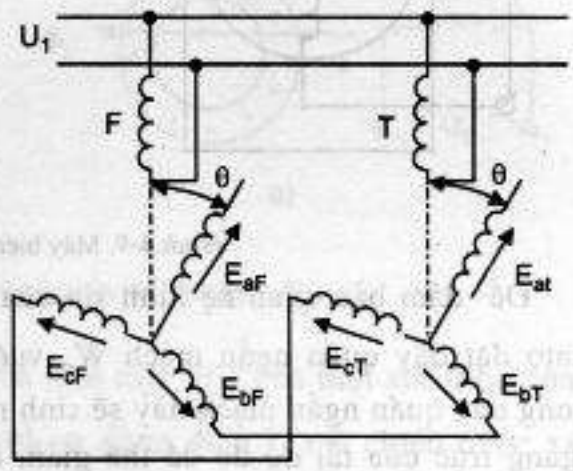
trong đó Z_{2F} và Z_{2t} là tổng trở rôto của máy phát và thu.

Theo hình 6.12b ta thấy thành phần tác dụng của dòng điện I_2 cùng chiều với E_{2T} do đó mômen của máy thu M_T sinh ra sẽ làm quay rôto của máy thu đi một góc θ . Hệ thống hai máy trên sẽ làm việc cân bằng khi góc lệch pha θ của hai máy phát và thu bằng nhau.

6.5.2. Hệ tự đồng bộ một pha

Ở hệ tự đồng bộ một pha, stato của máy phát và máy thu chỉ có một pha nối với lưới điện chung nhưng rôto của hai máy vẫn là dây quấn ba pha đấu với nhau theo đúng thứ tự pha (hình 6-8).

Khi cho dòng điện một pha vào dây quấn stato thì trong khe hở sinh ra từ trường đập mạch. Từ trường này có thể phân làm hai từ trường quay ngược chiều nhau và ta coi như có hai hệ thống đồng bộ ba pha hợp lại. Khi máy làm việc mômen do hai phân lượng từ trường sinh ra trên mỗi máy cùng chiều nên trị số tuyệt đối của chúng là tổng của hai mômen của từng phân lượng và làm trục quay. Ngày nay người ta đã chế tạo những xenxin một pha không vành trượt. Hệ tự đồng bộ được áp dụng rộng rãi trong ngành tự động hoá và điều khiển.



Hình 6-8. Sơ đồ nguyên lý của xenxin một pha

6.6. MÁY BIẾN ÁP XOAY

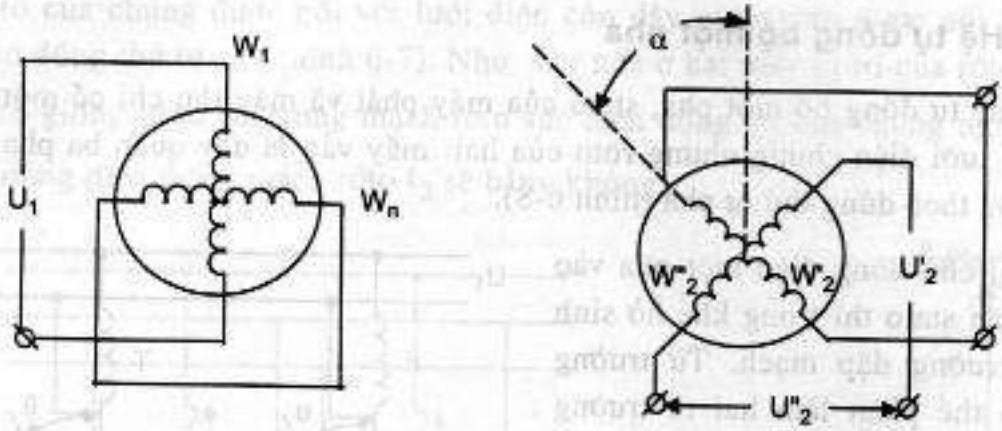
Máy biến áp xoay làm việc theo nguyên lý về cảm ứng điện từ. Máy biến áp xoay có thể cho ra một điện áp thay đổi theo góc xoay α của rôto.

Về cấu tạo, máy giống như một động cơ không đồng bộ rôto dây quấn. Trên stato và rôto có đặt dây quấn hai pha đặt lệch nhau 90^0 trong không gian (hình 6-9). Điện áp đầu ra của máy biến áp xoay có thể tỷ lệ với sinα, cosα hoặc với bản thân góc xoay α của rôto. Sơ đồ nguyên lý của máy biến áp xoay sin-cosin như ở h.6-9. Đặt vào dây quấn kích thích sơ cấp W_1 trên stato một điện áp xoay chiều U_1 thì ở dây quấn thứ cấp có thể đạt được các điện áp.

$$U'_2 = k_1 U_1 \sin\alpha$$

$$U''_2 = k_1 U_1 \cos\alpha$$

Trong đó $k_1 = k_{d2}W_2/k_{d1}W_1$.



Hình 6-9. Máy biến áp sin-cosin

Để đảm bảo quan hệ hình sin của sức điện động khi máy làm việc, trên stato đặt dây quấn ngắn mạch W_n vuông góc với dây quấn W_1. Dòng điện trong dây quấn ngắn mạch này sẽ sinh ra từ trường là với thành phần từ trường ngang trục của tải do đó có thể giảm tải rõ đến mức tối thiểu. Máy biến áp xoay được dùng trong các máy tính, các hệ tuỳ động và của sơ đồ hệ thống quay trong trạm rada.

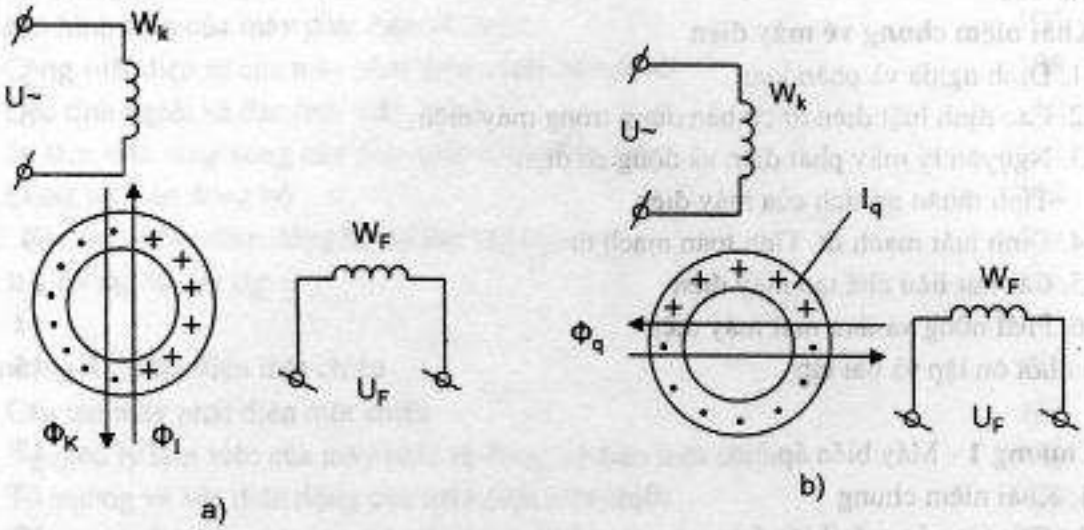
6.7. MÁY PHÁT TỐC ĐỘ

Máy phát tốc độ có nhiệm vụ biến đổi các tín hiệu cơ (thường là tốc độ quay của trục) sang các tín hiệu điện (thường là điện áp) để đo tốc độ quay trong các cơ cấu tự động.

Máy phát tốc độ không đồng bộ có cơ cấu giống như một động cơ thừa hành không đồng bộ rôto rỗng trên hình 6-10, W_k là cuộn dây kích thích, W_F là cuộn dây phát đặt lệch nhau 90^0 góc độ điện trong không gian.

Khi đưa dòng điện kích thích xoay chiều một pha tần số f_1 vào dây quấn kích thích W_k, trong máy xuất hiện một từ trường đập mạch Φ_k tần số f_1 có phương trùng với trục của dây quấn W_k. Khi rôto đứng yên, từ trường này

vuông góc với trục của cuộn dây W_F nên không cảm ứng lên sức điện động trong cuộn này.



Hình 6-10. Nguyên lý làm việc của máy phát tốc độ

Khi rôto quay từ trường Φ_k quét qua rôto cảm ứng nên một sức điện động e_q tỷ lệ với tốc độ quay với rôto và sinh ra dòng điện I_q mà chiều được xác định như trong hình 6-10 theo tần số f_1. Dòng điện I_q tạo ra từ trường Φ_q đập mạch qua cuộn dòng W_F và cảm ứng dòng đó một sức điện động xoay chiều e_F có tần số f và tỷ lệ với tốc độ quay n. Máy phát tốc độ không đồng bộ hiện đại thường dùng để đo tốc độ trong phạm vi 8000 ÷ 10000vg/ph với ΔU_F = 5÷10 v.

Mục lục

	Trang
Lời giới thiệu	3
Mở đầu	4
Khái niệm chung về máy điện	5
K.1. Định nghĩa và phân loại	5
K.2. Các định luật điện từ cơ bản dùng trong máy điện	6
K.3. Nguyên lý máy phát điện và động cơ điện	8
Tính thuận nghịch của máy điện	
K.4. Định luật mạch từ. Tính toán mạch từ	9
K.5. Các vật liệu chế tạo máy điện	11
K.6. Phát nóng và làm mát máy điện	14
Câu hỏi ôn tập và bài tập	15
Chương 1 - Máy biến áp	17
1.1. Khái niệm chung	17
1.2. Cấu tạo của máy biến áp	19
1.3. Nguyên lý làm việc của máy biến áp	20
1.4. Mô hình toán của máy biến áp	23
1.5. Sơ đồ thay thế máy biến áp	26
1.6. Chế độ không tải của máy biến áp	29
1.7. Chế độ ngắn mạch của máy biến áp	32
1.8. Chế độ có tải của máy biến áp	35
1.9. Máy biến áp ba pha	39
1.10. Sự làm việc song song của máy biến áp	42
Câu hỏi ôn tập và bài tập	45
Chương 2 - Máy điện không đồng bộ	56
2.1. Khái niệm chung	56
2.2. Cấu tạo của máy điện không đồng bộ ba pha	57
2.3. Từ trường của máy điện không đồng bộ	59
2.4. Nguyên lý làm việc của máy điện không đồng bộ	65
2.5. Mô hình toán của động cơ điện không đồng bộ	67
2.6. Sơ đồ thay thế động cơ điện không đồng bộ	70
2.7. Biểu đồ năng lượng và hiệu suất của động cơ điện không đồng bộ	73
2.8. Mômen quay của động cơ không đồng bộ ba pha	75
2.9. Mở máy động cơ không đồng bộ ba pha	77
2.10. Điều chỉnh tốc độ động cơ điện không đồng bộ	82
2.11. Các đặc tính làm việc của động cơ điện không đồng bộ	84
2.12. Động cơ điện không đồng bộ hai pha	86
2.13. Động cơ điện không đồng bộ một pha	87
Câu hỏi ôn tập và bài tập	93

Chương 3 - Máy điện đồng bộ 102
3.1. Định nghĩa và công dụng 102
3.2. Cấu tạo máy điện đồng bộ 103
3.3. Nguyên lý làm việc của máy phát điện đồng bộ 104
3.4. Phản ứng phần ứng của máy phát điện đồng bộ 105
3.5. Mô hình toán của máy phát điện đồng bộ 106
3.6. Công suất điện từ của máy phát điện đồng bộ cực lồi 108
3.7. Đặc tính ngoài và đặc tính điều chỉnh 110
3.8. Sự làm việc song song của máy phát điện đồng bộ 111
3.9. Động cơ điện đồng bộ 112
3.10. Các máy phát điện đồng bộ có cấu tạo đặc biệt 114
Câu hỏi ôn tập và bài tập 116

Chương 4 - Máy điện một chiều 120
4.1. Cấu tạo máy phát điện một chiều 121
4.2. Nguyên lý làm việc của máy phát và động cơ điện một chiều 122
4.3. Từ trường và sức điện động của máy điện một chiều 124
4.4. Công suất điện từ, mômen điện từ của máy điện một chiều 127
4.5. Tia lửa điện trên cổ góp và biện pháp khắc phục 128
4.6. Máy phát điện một chiều 129
4.7. Động cơ điện một chiều 133
Câu hỏi ôn tập và bài tập 141

Chương 5 - Dây quấn máy điện 147
5.1. Những vấn đề chung 147
5.2. Dây quấn xoay chiều ba pha 149
5.3. Dây quấn xoay chiều một pha 156
5.4. Dây quấn ngắn mạch kiểu lồng sóc 158
5.5. Dây quấn phần ứng máy điện một chiều 159
Câu hỏi ôn tập và bài tập 168

Chương 6 - Các chế độ làm việc và các dạng khác của máy điện không đồng bộ 169
6.1. Máy phát điện không đồng bộ 169
6.2. Trạng thái hãm của máy điện không đồng bộ 170
6.3. Máy dịch pha 171
6.4. Máy điều chỉnh cảm ứng 172
6.5. Máy điện không đồng bộ làm việc trong hệ tự đồng bộ 174
6.6. Máy biến áp xoay 175
6.7. Máy phát tốc độ 176

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

Biên tập lần đầu và tái bản :
TRẦN TRỌNG TIẾN

Trình bày bìa :
QUANG TUẤN

Sửa bản in :
THANH THẮM

Chế bản :
NGUYỄN THÙY LINH

GIÁO TRÌNH MÁY ĐIỆN

Mã số : 7K554y8 – DAI

In 1.500 cuốn (QĐ74), khổ 16 x 24 cm. In tại Công ty CP In Phúc Yên.
Địa chỉ: Đường Trần Phú, Thị xã Phúc Yên - Vĩnh Phúc.
Số ĐKKH xuất bản: 04-2008/CXB/344-1999/GD.
In xong và nộp lưu chiểu tháng 11 năm 2008.