

VŨ GIA HANH, TRẦN KHÁNH HÀ
PHAN TỬ THỰ, **NGUYỄN VĂN SÁU**

MÁY ĐIỆN

TẬP I



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
HÀ NỘI 1998

Chịu trách nhiệm xuất bản : Pgs, Pts. TÔ ĐĂNG HẢI
Biên tập : NGUYỄN NGỌC
Trình bày : VĂN CẨM
Vẽ bìa : HƯƠNG LAN

6.6C2.12
KHKT-98 544-30-98

In 1000 cuốn tại Nhà in Đại học quốc gia.
Giấy phép xuất bản số 544 - 30 - 3/10/98
In xong và nộp lưu chiểu tháng 10/1998

LỜI NÓI ĐẦU

Bộ sách "MÁY ĐIỆN" này được biên tập và chỉnh lý lại theo quyền "GIÁO TRÌNH MÁY ĐIỆN" của các tác giả Vũ Gia Hanh (Chủ biên), Trần Khánh Hà, Phan Tử Thu, **Nguyễn Văn Sáu** do Khoa Đại học tại chức Trường Đại học Bách Khoa xuất bản năm 1970-1971.

Bộ sách gồm sáu phần được chia làm hai tập. Tập một gồm ba phần: 1. Máy biến áp; 2. Lý thuyết chung của máy điện quay; 3. Máy điện không đồng bộ. Tập hai gồm ba phần: 4. Máy điện đồng bộ; 5. Máy điện một chiều; 6. Máy điện xoay chiều có vành góp. Sau mỗi phần đều có giới thiệu sơ lược một số máy điện đặc biệt và máy điện nhỏ dùng trong các mạch tự động và điều chỉnh. Phần 2, 4 và mở đầu do Vũ Gia Hanh biên soạn; phần 1,6 do Phan Tử Thu biên soạn; phần 3 do Trần Khánh Hà biên soạn; phần 5 do Nguyễn Văn Sáu biên soạn.

Sơ với lần xuất bản năm 1970-1971 trong sách có một số thay đổi như: bổ sung mô tả toàn học các quá trình biến đổi năng lượng cơ điện trong máy điện quay; đưa phân dây quấn, sức điện động cảm ứng mạch từ lúc không tải của máy điện một chiều vào phần lý thuyết chung của máy điện xoay chiều để thành Lý thuyết chung của máy điện quay và đáp số của các bài tập. Những thay đổi này do Trần Khánh Hà thực hiện.

Lần xuất bản năm 1997 do sai sót lúc biên tập, Bộ sách này đã chỉ đứng tên tác giả Trần Khánh Hà, lần tái bản này đã đính chính lại, sách đứng tên các tác giả đã tham gia biên soạn nó.

Đề thuận tiện cho việc dạy và học, sách chỉ nêu lên những vấn đề lý thuyết cơ bản, sau mỗi chương đều có những thí dụ bằng số cần thiết và những câu hỏi hướng dẫn tìm hiểu sâu thêm về lý thuyết và những bài tập ứng dụng có đáp số. Bộ sách có thể được dùng làm tài liệu giảng dạy cho các trường đại học, cao đẳng và làm tài liệu tham khảo cho các kỹ sư, kỹ thuật viên quan tâm nghiên cứu máy điện. Do trình độ và thời gian có hạn, bộ sách chắc không tránh khỏi còn thiếu sót, xin hoan nghênh mọi sự góp ý của bạn đọc. Các ý kiến đóng góp xin gửi về bộ môn Thiết bị điện-điện tử Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội.

Các tác giả

VŨ GIA HANH - TRẦN KHÁNH HÀ
PHAN TỬ THU - **NGUYỄN VĂN SÁU**

MỞ ĐẦU

0.1. CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN

Trong quá trình khai thác sử dụng các tài nguyên thiên nhiên phục vụ cho nền kinh tế quốc dân, không thể không nói đến sự biến đổi năng lượng từ dạng này sang dạng khác.

Các máy thực hiện sự biến đổi cơ năng thành điện năng hoặc ngược lại gọi là các máy điện.

Các máy điện biến cơ năng thành điện năng được gọi là máy phát điện và các máy điện dùng để biến đổi ngược lại được gọi là động cơ điện. Các máy điện đều có tính thuận nghịch, nghĩa là có thể biến đổi năng lượng theo hai chiều. Nếu đưa cơ năng vào phần quay của máy điện nó làm việc ở chế độ máy phát; nếu đưa điện năng vào thì phần quay của máy sẽ sinh ra công cơ học.

Máy điện là một hệ điện từ gồm có mạch từ và mạch điện liên quan với nhau. Mạch từ gồm các bộ phận dẫn từ và khe hở không khí. Các mạch điện gồm hai hoặc nhiều dây quấn có thể chuyển động tương đối với nhau cùng với các bộ phận mang chúng.

Sự biến đổi cơ điện trong máy điện dựa trên nguyên lý về cảm ứng điện từ. Nguyên lý này cũng đặt cơ sở cho sự làm việc của các bộ biến đổi cảm ứng dùng để biến đổi điện năng với những giá trị của thông số này (điện áp, dòng điện...) thành điện năng với những giá trị của thông số khác. Máy biến áp là một bộ biến đổi cảm ứng đơn giản thuộc loại này, dùng để biến đổi dòng điện xoay chiều từ điện áp này thành dòng điện xoay chiều có điện áp khác. Các dây quấn và mạch từ của nó đứng yên và quá trình biến đổi từ trường để sinh ra sức điện động cảm ứng trong các dây quấn được thực hiện bằng phương pháp điện.

Máy điện dùng làm máy biến đổi năng lượng là phần tử quan

trọng nhất của bất cứ thiết bị điện năng nào. Nó được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp, nông nghiệp, giao thông vận tải, các hệ điều khiển và tự động điều chỉnh, khống chế...

Máy điện có nhiều loại, có thể phân loại như sau:

Máy đứng yên: máy biến áp.

Máy điện quay : Tùy theo lưới điện có thể chia làm hai loại: máy điện xoay chiều và máy điện một chiều.

Máy điện xoay chiều có thể phân làm máy điện đồng bộ, máy điện không đồng bộ và máy điện xoay chiều có vành góp.

0.2. CÁC ĐỊNH LUẬT THƯỜNG DÙNG ĐỂ NGHIÊN CỨU MÁY ĐIỆN

Trong khi nghiên cứu máy điện, ta thường sử dụng các định luật sau:

1. Định luật về cảm ứng điện từ. Định luật Faraday

Trong các thiết bị điện từ, định luật này thường được viết dưới dạng Maxwell :

$$e = - \frac{d\Phi}{dt}$$

Điều đó nói rằng: một sự biến thiên của tổng từ thông móc vòng một mạch điện sẽ tạo ra một sức điện động tỷ lệ với đạo hàm của tổng từ thông biến thiên đó.

Cũng có thể viết dưới dạng:

$$e = Blv$$

trong đó v là tốc độ chuyển động của một thanh dẫn l nằm trong từ trường có từ cảm B vuông góc với chiều chuyển động của thanh dẫn đó.

2. Định luật toàn dòng điện

Định luật này được diễn tả như sau:

$$\oint Hdl = \sum i = F$$

Tích phân vòng của cường độ từ trường theo một đường khép kín bất kỳ quanh một số mạch điện bằng tổng dòng điện trong các mạch. F chỉ giá trị của sức từ động tổng tác động lên mạch từ đó.

3. Định luật về lực điện từ. Định luật Laplace

Đây là một định luật cho ta trị số của lực $\vec{dF}_M$ tác dụng trên một đơn vị dòng điện $\vec{idl}$ đặt ở điểm M có từ cảm $\vec{B}_M$. Lực này bằng tích vectơ của vectơ đơn vị dòng điện với vectơ từ cảm:

$$\vec{dF}_M = \vec{idl} \times \vec{B}_M$$

Lực tác dụng trên đoạn dây dẫn mang điện nằm trong một từ trường bằng:

$$f = \int_0^l B \sin \varphi dl$$

trong đó φ là góc giữa vectơ từ cảm $\vec{B}$ với vectơ dòng điện $\vec{i}$. Nếu từ trường đều và dây dẫn thẳng, ta có:

$$f = Bl \sin \varphi$$

4. Năng lượng trường điện từ

Năng lượng tổng trong một thể tích từ trường có μ không đổi bằng:

$$W = \int \frac{\mu H^2}{2} dV = \frac{1}{2} Li^2$$

Trong trường hợp này, $Li = \psi$ chỉ từ thông móc vòng bởi dòng điện i và L là từ cảm của cuộn dây.

Nếu thiết bị điện từ có hai hoặc nhiều mạch điện có hồ cảm điện từ thì năng lượng điện từ của hai mạch điện hồ cảm bằng:

$$W_{12} = \int \frac{\mu H^2}{2} dV = \frac{L_1 i_1^2}{2} + \frac{L_2 i_2^2}{2} + M_{12} i_1 i_2$$

Có thể dùng phương pháp tổng quát và thống nhất dựa trên cơ sở của phép tính tenxơ và ma trận để nghiên cứu, phân tích

tất cả các loại máy điện.

Tất cả các phương trình cân bằng điện áp của các loại máy điện được biểu thị theo định luật Kirihoff bằng một phương trình ma trận có dạng:

$$\bar{u} = \bar{Z}\bar{i}$$

trong đó: $\bar{u}$ - vectơ điện áp có các thành phần bằng các điện áp đặt vào các mạch điện tương ứng với các dây quấn của mạch điện.

$\bar{i}$ - vectơ dòng điện có các thành phần dòng điện chạy trong các mạch điện

$\bar{z}$ - ma trận tổng trở.

Mômen điện từ sinh ra trong máy điện sẽ bằng:

$$M = k |\bar{\psi} \times \bar{i}|$$

trong đó $\bar{\psi}$: - vectơ từ thông móc vòng có các thành phần bằng từ thông do các dây quấn sinh ra.

0.3. SƠ LƯỢC VỀ CÁC VẬT LIỆU CHẾ TẠO MÁY ĐIỆN

Các vật liệu dùng để chế tạo máy điện có thể chia làm ba loại: vật liệu tác dụng, vật liệu kết cấu và vật liệu cách điện.

1. Vật liệu tác dụng

Đó là vật liệu dẫn từ và dẫn điện. Các vật liệu này được dùng để tạo điều kiện cần thiết sinh ra các biến đổi điện từ.

a. *Vật liệu dẫn từ.* Để chế tạo mạch từ của máy điện, người ta dùng các loại thép từ tính khác nhau nhưng chủ yếu là thép lá kỹ thuật điện, có hàm lượng silic khác nhau nhưng không vượt quá 4,5%. Hàm lượng silic này dùng để hạn chế tổn hao do từ trễ và tăng điện trở của thép để giảm tổn hao do dòng điện xoáy. Người ta hay sử dụng các lá thép dày 0,35 mm dùng trong máy biến áp và 0,5 mm dùng trong máy điện quay, ghép lại làm lõi sắt để giảm tổn hao do dòng điện xoáy gây nên. Tùy theo cách chế tạo, người ta phân thép kỹ thuật điện làm hai loại: cán nóng và cán

nguội. Loại sau có những đặc tính từ tốt hơn như độ từ thẩm cao hơn, tổn hao thép ít hơn loại cán nóng. Thép lá cán nguội lại chia làm hai loại: đẳng hướng và vô hướng. Loại đẳng hướng có đặc điểm là dọc theo chiều cán thì tính năng từ tính tốt hơn hẳn so với ngang chiều cán, do đó thường được dùng trong máy biến áp; còn loại vô hướng thì đặc tính từ đều theo mọi hướng nên thường được dùng trong máy điện quay.

b. Vật liệu dẫn điện. Thường dùng đồng. Đồng dùng làm dây dẫn không được có tạp chất quá 0,1%. Điện trở suất của đồng ở 20°C là $\rho = 0,0172 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$. Nhôm cũng được dùng rộng rãi làm vật liệu dẫn điện. Điện trở suất của nhôm ở 20°C là $\rho = 0,0282 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, nghĩa là gấp gần 2 lần điện trở suất của đồng.

2. Vật liệu kết cấu

Các vật liệu này dùng để chế tạo các bộ phận và chi tiết truyền động hoặc kết cấu của máy theo các dạng cần thiết, đảm bảo cho máy điện làm việc bình thường. Người ta thường dùng gang, thép, các kim loại màu, hợp kim và các vật liệu bằng chất dẻo.

3. Vật liệu cách điện

Để cách điện các bộ phận mang điện với các bộ phận không mang điện của máy, người ta dùng vật liệu cách điện. Những vật liệu này đòi hỏi phải có độ bền điện cao, độ dẫn nhiệt tốt, chịu ẩm, chịu được hóa chất và có độ bền cơ nhất định.

Vì các vật liệu cách điện chịu nhiệt kém nên người ta chia vật liệu cách điện làm 7 cấp theo nhiệt độ làm việc cho phép của chúng.

Cấp cách điện	Y	A	E	B	F	H	C
Nhiệt độ làm việc cho phép °C	90	105	120	130	155	180	>180

Khi máy làm việc, do tác động của nhiệt độ, chấn động và các tác động hóa lý khác, cách điện sẽ bị lão hóa, nghĩa là mất dần các tính bền về điện và cơ. Thực nghiệm cho biết, khi nhiệt độ tăng quá nhiệt độ làm việc cho phép $8 \sim 10^{\circ}\text{C}$ thì tuổi thọ của vật liệu cách điện giảm đi một nửa. Ở nhiệt độ làm việc cho phép, tuổi thọ của vật liệu cách điện vào khoảng 15 ~ 20 năm. Vì vậy khi sử dụng máy điện, tránh để máy quá tải làm nhiệt độ tăng cao trong một thời gian dài.

PHẦN THỨ NHẤT
MÁY BIẾN ÁP

Chương I

KHÁI NIỆM CHUNG VỀ MÁY BIẾN ÁP

1.1. ĐẠI CƯƠNG

Để dẫn điện từ các trạm phát điện đến hộ tiêu thụ cần phải có đường dây tải điện (hình 1-1). Nếu khoảng cách giữa nơi sản xuất điện và hộ tiêu thụ lớn, một vấn đề rất lớn đặt ra và cần được giải quyết là : việc truyền tải điện năng đi xa làm sao cho kinh tế nhất.



Hình 1-1. Sơ đồ mang truyền tải điện đơn giản

Như ta đã biết, cùng một công suất truyền tải trên đường dây, nếu điện áp được tăng cao thì dòng điện chạy trên đường dây sẽ giảm xuống, như vậy có thể làm tiết diện dây nhỏ đi, do đó trọng lượng và chi phí dây dẫn sẽ giảm xuống, đồng thời tổn hao năng lượng trên đường dây cũng giảm xuống. Vì thế, muốn truyền tải công suất lớn đi xa, ít tổn hao và tiết kiệm kim loại màu, trên đường dây người ta phải dùng điện áp cao, thường là 35, 110, 220 và 500 kV. Trên thực tế, các máy phát điện không có khả năng phát ra những điện áp cao như vậy, thường chỉ từ 3 đến 21 kV là cùng, do đó, phải có thiết bị để tăng điện áp ở đầu đường dây lên. Mặt khác các hộ tiêu thụ thường yêu cầu điện áp thấp,

từ 0,4 đến 6 kV. do đó tới đây phải có thiết bị giảm điện áp xuống. Những thiết bị dùng để tăng điện áp ở đầu ra của máy phát điện, tức ở đầu đường dây dẫn điện và giảm điện áp khi tới các hộ tiêu thụ, tức là ở cuối đường dây dẫn điện gọi là các máy biến áp (viết tắt là m.b.a). Thực ra trong hệ thống điện lực, muốn truyền tải và phân phối công suất từ nhà máy điện đến tận các hộ tiêu thụ một cách hợp lý, thường phải qua ba, bốn lần tăng và giảm điện áp như vậy. Do đó tổng công suất của các m. b. a trong hệ thống điện lực thường gấp ba, bốn lần công suất của trạm phát điện. Những m.b.a dùng trong hệ thống điện lực gọi là m.b.a điện lực hay m.b.a công suất. Từ đó ta cũng thấy rõ, m.b.a chỉ làm nhiệm vụ truyền tải hoặc phân phối năng lượng chứ không phải là biến hóa năng lượng.

Ngoài m.b.a điện lực ra còn có nhiều loại, m.b.a dùng trong các ngành chuyên môn như: m.b.a chuyên dùng cho các lò điện luyện kim; m.b.a hàn điện; m.b.a dùng cho các thiết bị chỉnh lưu; m.b.a dùng cho đo lường, thí nghiệm...

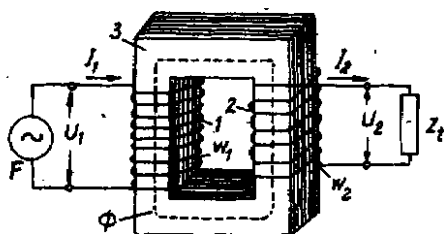
Khuynh hướng phát triển của m.b.a điện lực hiện nay là thiết kế chế tạo những m.b.a có dung lượng thật lớn, điện áp thật cao, dùng nguyên liệu mới để giảm trọng lượng và kích thước máy. Về vật liệu hiện nay đã dùng loại thép cán lạnh không những có từ tính tốt mà tổn hao sắt lại ít, do đó nâng cao được hiệu suất của m.b.a. Khuynh hướng dùng dây nhôm thay dây đồng vừa tiết kiệm được đồng, vừa giảm được trọng lượng máy cũng đang phát triển.

Ở nước ta, ngành chế tạo m.b.a đã ra đời ngay từ ngày hòa bình lập lại. Đến nay chúng ta đã sản xuất được một khối lượng m.b.a khá lớn với nhiều chủng loại khác nhau phục vụ cho nhiều ngành sản xuất ở trong nước và xuất khẩu. Hiện nay ta đã sản xuất được những m.b.a dung lượng 25000 kVA với điện áp 110 kV.

1.2. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CƠ BẢN CỦA M.B.A

Ta hãy xét sơ đồ nguyên lý của một m.b.a vẽ trên hình 1-2.

Đây là m.b.a một pha hai dây quấn. Dây quấn 1 có w_1 vòng dây và dây quấn 2 có w_2 vòng dây được quấn trên lõi thép 3. Khi đặt một điện áp xoay chiều u_1 vào dây quấn 1, trong đó sẽ có dòng điện i_1 . Trong lõi thép sẽ sinh ra từ thông Φ móc vòng với cả hai dây quấn 1 và 2,



Hình 1-2. Nguyên lý làm việc của m.b.a

cảm ứng ra các s.d.d e_1 và e_2 . Dây quấn 2 có s.d.d sẽ sinh ra dòng điện i_2 đưa ra tải với điện áp là u_2 . Như vậy năng lượng của dòng điện xoay chiều đã được truyền từ dây quấn 1 sang dây quấn 2.

Giá thử điện áp xoay chiều đặt vào là một hàm số hình sin, thì từ thông do nó sinh ra cũng là một hàm số hình sin :

$$\Phi = \Phi_m \sin \omega t \quad (1-1)$$

Do đó theo định luật cảm ứng điện từ, s.d.d cảm ứng trong các dây quấn 1 và 2 sẽ là:

$$\begin{aligned} e_1 &= - w_1 \frac{d\Phi}{dt} = - w_1 \frac{d\Phi_m \sin \omega t}{dt} = - w_1 \omega \Phi_m \cos \omega t \\ &= \sqrt{2E_1 \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})} \end{aligned} \quad (1-2a)$$

$$\begin{aligned} e_2 &= w_2 \frac{d\Phi}{dt} = w_2 \frac{d\Phi_m \sin \omega t}{dt} = w_2 \omega \Phi_m \cos \omega t \\ &= \sqrt{2E_2 \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})} \end{aligned} \quad (1-2b)$$

trong đó:

$$E_1 = \frac{\omega w_1 \Phi_m}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi f w_1 \Phi_m}{\sqrt{2}} = 4,44 f w_1 \Phi_m \quad (1-3a)$$

$$E_2 = \frac{\omega w_2 \Phi_m}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi f w_2 \Phi_m}{\sqrt{2}} = 4,44 f w_2 \Phi_m \quad (1-3b)$$

là giá trị hiệu dụng của các s.d.d dây quấn 1 và dây quấn 2.

Các biểu thức (1-2a,b) cho thấy s.d.d cảm ứng trong dây quấn chậm pha với từ thông sinh ra nó một góc $\frac{\pi}{2}$.

Dựa vào các biểu thức (1-3a,b), người ta định nghĩa tỷ số biến đổi của m.b.a như sau:

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{U_1}{U_2} \quad (1-4)$$

Nếu không kể điện áp rơi trên các dây quấn thì có thể coi $U_1 \approx E_1$; $U_2 \approx E_2$, do đó k được xem như là tỷ số điện áp giữa dây quấn 1 và 2:

$$k = \frac{E_1}{E_2} \approx \frac{U_1}{U_2} \quad (1-5)$$

1.3. ĐỊNH NGHĨA

Từ nguyên lý làm việc cơ bản trên ta có thể định nghĩa m.b.a như sau: M.b.a là một thiết bị điện từ đứng yên, làm việc trên nguyên lý cảm ứng điện từ, biến đổi một hệ thống dòng điện xoay chiều ở điện áp này thành một hệ thống dòng điện xoay chiều ở điện áp khác, với tần số không thay đổi.

M.b.a có hai dây quấn gọi là m.b.a hai dây quấn. Dây quấn nối với nguồn để thu năng lượng vào gọi là dây quấn sơ cấp. Dây quấn nối với tải để đưa năng lượng ra gọi là dây quấn thứ cấp. Dòng điện, điện áp, công suất... của từng dây quấn sẽ có kèm theo tên gọi sơ cấp và thứ cấp tương ứng (ví dụ dòng điện sơ cấp I_1 , điện áp thứ cấp U_2 ,...). Dây quấn có điện áp cao gọi là dây quấn cao áp (viết tắt là CA). Dây quấn có điện áp thấp gọi là dây quấn hạ áp (viết tắt là HA). Nếu điện áp thứ cấp bé hơn điện áp sơ cấp ta có m.b.a giảm áp, nếu điện áp thứ cấp lớn hơn điện áp sơ cấp ta có m.b.a tăng áp.

Ở m.b.a ba dây quấn, ngoài hai dây quấn sơ cấp và thứ cấp còn có dây quấn thứ ba với điện áp trung bình (viết tắt là TA). M.b.a biến đổi hệ thống dòng điện xoay chiều một pha gọi là m.b.a một pha; m.b.a biến đổi hệ thống dòng điện xoay chiều ba pha gọi là m.b.a ba pha. M.b.a ngâm trong dầu gọi là m.b.a dầu; m.b.a không ngâm trong dầu gọi là m.b.a khô.

1.4. CÁC LƯỢNG ĐỊNH MỨC

Các lượng định mức của m.b.a qui định điều kiện kỹ thuật của máy. Các lượng này do nhà máy chế tạo qui định và thường ghi trên nhãn m.b.a.

1. *Dung lượng hay công suất định mức S_{dm}* là công suất toàn phần (hay biểu kiến) đưa ra ở dây quấn thứ cấp của m.b.a, tính bằng kilô vôn-ampe (kVA) hay vôn-ampe (VA).

2. *Điện áp dây sơ cấp định mức U_{1dm}* là điện áp của dây quấn sơ cấp tính bằng kilôvôn (kV) hay vôn (V). Nếu dây quấn sơ cấp có các đầu phân nhánh thì người ta ghi cả điện áp định mức của từng đầu phân nhánh.

3. *Điện áp dây thứ cấp định mức U_{2dm}* là điện áp dây của dây quấn thứ cấp khi m.b.a không tải và điện áp đặt vào dây quấn sơ cấp là định mức, tính bằng kV hay V.

4. *Dòng điện dây định mức sơ cấp I_{1dm} và thứ cấp I_{2dm}* là những dòng điện dây của dây quấn sơ cấp và thứ cấp ứng với công suất và điện áp định mức, tính bằng ampe (A) hay kilô ampe (kA). Có thể tính các dòng điện như sau:

Đối với m.b.a một pha:

$$I_{1dm} = \frac{S_{dm}}{U_{1dm}} ; I_{2dm} = \frac{S_{dm}}{U_{2dm}} \quad (1-6a)$$

Đối với m.b.a ba pha:

$$I_{1dm} = \frac{S_{dm}}{\sqrt{3} U_{1dm}} ; I_{2dm} = \frac{S_{dm}}{\sqrt{3} U_{2dm}} \quad (1-6b)$$

5. Tần số định mức f_{dm} , tính bằng Hz. Thường các m.b.a điện lực có tần số công nghiệp là 50 Hz.

Ngoài ra trên nhãn của m.b.a còn ghi những số liệu khác như: số pha m; sơ đồ và tổ nối dây quấn; điện áp ngắn mạch $u_n\%$; chế độ làm việc (dài hạn hay ngắn hạn); phương pháp làm lạnh v.v...

Sau cùng nên hiểu rằng, khái niệm "định mức" còn bao gồm cả những tình trạng làm việc định mức của m.b.a nữa, mà có thể không ghi trên nhãn máy như: hiệu suất định mức; độ chênh nhiệt định mức; nhiệt độ định mức của môi trường xung quanh.

1.5. CÁC LOẠI M.B.A CHÍNH

Theo công dụng, m.b.a có thể gồm những loại chính sau đây:

1. *M.b.a điện lực* dùng để truyền tải và phân phối công suất trong hệ thống điện lực.

2. *M.b.a chuyên dùng* dùng cho các lò luyện kim, cho các thiết bị chỉnh lưu; m.b.a hàn điện;...

3. *M.b.a tự ngẫu biến đổi điện áp* trong một phạm vi không lớn lắm dùng để mở máy các động cơ điện xoay chiều.

4. *M.b.a đo lường* dùng để giảm các điện áp và dòng điện lớn để đưa vào các đồng hồ đo.

5. *M.b.a thí nghiệm* dùng để thí nghiệm các điện áp cao.

M.b.a có rất nhiều, song thực chất các hiện tượng xảy ra trong chúng đều giống nhau. Để thuận tiện cho việc nghiên cứu, sau đây chủ yếu ta sẽ xét đến m.b.a điện lực hai dây quấn một pha và ba pha. Các m.b.a khác sẽ được nghiên cứu trong Chương 7.

1.6. CẤU TẠO M.B.A

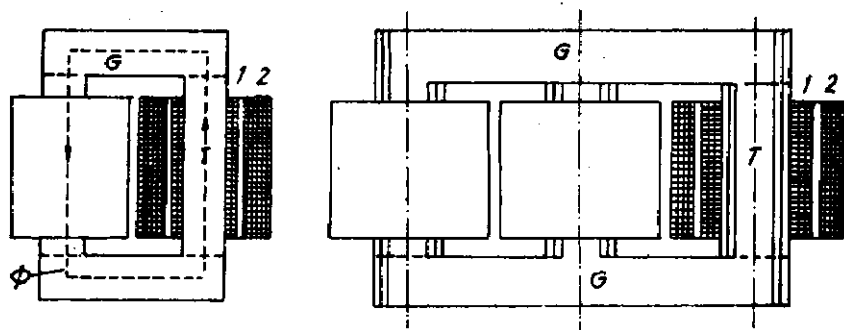
M.b.a có các bộ phận chính sau đây: lõi thép, dây quấn và vỏ máy.

1.6.1. Lõi thép

Lõi thép dùng làm mạch dẫn từ, đồng thời làm khung để quấn

dây quấn. Theo hình dáng lõi thép, người ta chia ra:

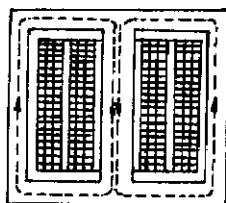
- *M.b.a kiểu lõi hay kiểu trụ* (hình 1-3): Dây quấn bao quanh trụ thép. Loại này hiện nay rất thông dụng cho các m.b.a một pha và ba pha có dung lượng nhỏ và trung bình.



Hình 1-3. M.b.a kiểu lõi: a. một pha; b. ba pha

- *M.b.a kiểu bọc* (hình 1-4): Mạch từ được phân nhánh ra hai bên và "bọc" lấy một phần dây quấn. Loại này thường chỉ dùng trong một vài ngành chuyên môn đặc biệt như m.b.a dùng trong lò điện luyện kim hay m.b.a một pha công suất nhỏ dùng trong kỹ thuật vô tuyến điện, âm thanh v.v...

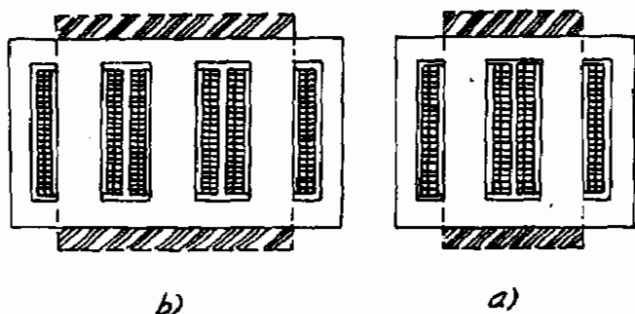
Ở các m.b.a hiện đại, dung lượng lớn và cực lớn ($80 \div 100$ MVA trên một pha), điện áp thật cao ($220 \div 400$ kV), để giảm chiều cao của trụ thép, tiện lợi cho việc vận chuyển trên đường, mạch từ của m.b.a kiểu trụ được phân nhánh sang hai bên nên m.b.a mang hình dáng vừa kiểu trụ, vừa kiểu bọc, gọi là m.b.a kiểu trụ - bọc. Hình 1-5a trình bày một kiểu m.b.a trụ - bọc ba pha (trường hợp này có dây quấn ba pha, nhưng có



Hình 1-4. M.b.a kiểu bọc

nắm trụ thép nên còn gọi là m.b.a ba pha nắm trụ).

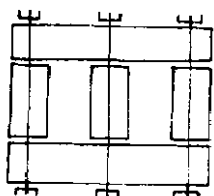
Lõi thép m.b.a gồm có hai phần: phần trụ - ký hiệu bằng chữ *T* và phần gông - ký hiệu bằng chữ *G* (xem hình 1-3). Trụ là phần lõi thép có quấn dây quấn; gông là phần lõi thép nối các trụ lại với nhau thành mạch từ kín và không có dây quấn (đối với



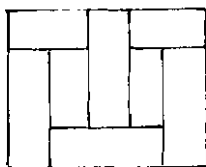
Hình 1-3. M.b.a kiểu trụ bọc: a. một pha và b. ba pha.

m.b.a kiểu bọc (hình 1-4) và kiểu trụ bọc (hình 1-5), hai trụ thép phía ngoài cũng đều thuộc về gông). Để giảm tổn hao do dòng điện xoáy gây nên, lõi thép được ghép từ những lá thép kỹ thuật điện dày 0,35 mm có phủ sơn cách điện trên bề mặt. Trụ và gông có thể ghép với nhau bằng phương pháp ghép nối hoặc ghép xen kẽ. Ghép nối thì trụ và gông ghép riêng, sau đó dùng xà ép và bulông vít chặt lại (hình 1-6). Ghép xen kẽ thì toàn bộ lõi thép phải ghép đồng thời và các lớp lá thép được xếp xen kẽ với nhau lần lượt theo trình tự a, b như ở hình 1-7. Sau khi ghép, lõi thép cũng được vít chặt bằng xà ép và bulông. Phương pháp sau tuy phức tạp song giảm được tổn hao do dòng điện xoáy gây nên và rất bền về phương diện cơ học, vì thế hầu hết các m.b.a hiện nay đều dùng kiểu ghép này.

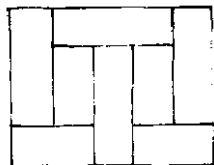
Do dây quấn thường quấn thành hình tròn, nên tiết diện ngang của trụ thép thường làm thành hình bậc thang gần tròn (hình 1-8). Gông từ vì không quấn dây, do đó, để thuận tiện cho



Hình 1-6. Ghép rời lưới thép
m.b.a



a)



b)

Hình 1-7. Ghép xen kẽ lưới
thép m.b.a ba pha

việc chế tạo, tiết diện ngang của gông có thể làm đơn giản: hình vuông, hình chữ thập hoặc hình chữ T (hình 1-9)

Vì lý do an toàn, toàn bộ lưới thép được nối đất với vỏ máy và vỏ máy phải được nối đất.



Hình 1-8. Tiết diện của trụ thép



a)



b)



c)

Hình 1-9. Các dạng tiết diện
của gông từ

1.6.2. Dây quấn

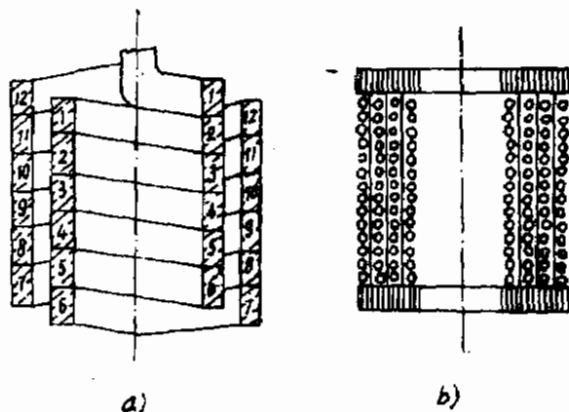
Dây quấn là bộ phận dẫn điện của m.b.a, làm nhiệm vụ thu năng lượng vào và truyền năng lượng ra. Kim loại làm dây quấn thường bằng đồng, cũng có thể bằng nhôm nhưng không phổ biến. Theo cách sắp xếp dây quấn CA và HA, người ta chia ra hai loại dây quấn chính: dây quấn đồng tâm và dây quấn xen kẽ.

1. Dây quấn đồng tâm: Ở dây quấn đồng tâm tiết diện

ngang là những vòng tròn đồng tâm. Dây quấn HA thường quấn phía trong gần trụ thép, còn dây quấn CA quấn phía ngoài bọc lấy dây quấn HA (hình 1-3). Với cách quấn này có thể giảm bớt được điều kiện cách điện của dây quấn CA (kích thước rãnh dầu cách điện, vật liệu cách điện dây quấn CA) bởi vì giữa dây quấn CA và trụ đã có cách điện bản thân của dây quấn HA.

Những kiểu dây quấn đồng tâm chính bao gồm:

a. *Dây quấn hình trụ*: Nếu tiết diện dây nhỏ thì dùng dây tròn, quấn thành nhiều lớp. (hình 1-10b); nếu tiết diện dây lớn thì dùng dây bẹt và thường quấn thành hai lớp (hình 1-10a). Dây

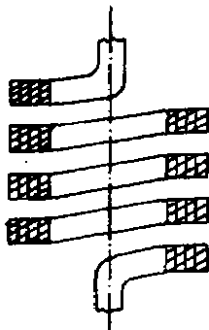


Hình 1-10. Dây quấn hình trụ a. dây tròn nhiều lớp và b. dây bẹt hai lớp

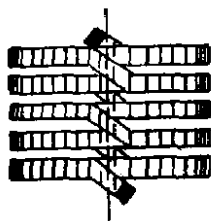
quấn hình trụ dây tròn thường làm dây quấn CA, điện áp tới 35 kV; dây quấn hình trụ dây bẹt chủ yếu làm dây quấn HA với điện áp từ 6 kV trở xuống. Nói chung dây quấn hình trụ thường dùng cho các m.b.a dung lượng 560 kVA trở xuống.

b. *Dây quấn hình xoắn*: Gồm nhiều dây bẹt chập lại quấn theo đường xoắn ốc, giữa các vòng dây có rãnh hở (hình 1-11). Kiểu này thường dùng cho dây quấn HA của các m.b.a dung lượng trung bình và lớn.

c) **Dây quấn xoáy ốc liên tục:** làm bằng dâyбет và khác với dây quấn hình xoắn ở chỗ, dây quấn này được quấn thành những bánh dây phẳng cách nhau bằng những rãnh hở (hình 1-12). Bằng cách hoán vị đặc biệt trong khi quấn, các bánh dây được nối tiếp một cách liên tục mà không cần mối hàn giữa chúng, cũng vì thế mà dây quấn được gọi là xoáy ốc liên tục. Dây quấn này chủ yếu dùng làm cuộn CA, điện áp 35 kV trở lên và dung lượng lớn.



Hình 1-11. Dây quấn hình xoắn



Hình 1-12. Dây quấn xoáy ốc liên tục

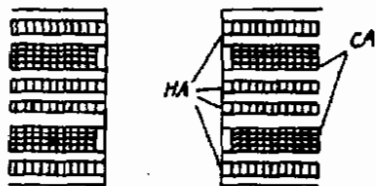
2. Dây quấn xen kẽ: Các bánh dây CA và HA lần lượt xen kẽ nhau dọc theo trụ thép (hình 1-13). Cần chú ý rằng, để cách điện được dễ dàng, các bánh dây sắt gông thương thuộc dây quấn HA. Kiểu dây quấn này hay dùng trong các m.b.a kiểu bọc. Vì chế tạo và cách điện khó khăn, kém vững chắc về cơ khí nên các m.b.a kiểu trụ hầu như không dùng kiểu dây quấn xen kẽ.

1.6.3. Vỏ máy

Vỏ máy gồm hai bộ phận: thùng và nắp thùng.

1. Thùng m.b.a: thùng máy làm bằng thép, thường là hình bầu dục. Lúc m.b.a làm việc, một phần năng lượng bị tiêu hao, thoát ra dưới dạng nhiệt đốt nóng lõi thép, dây quấn và các bộ phận khác làm cho nhiệt độ của chúng tăng lên. Do đó giữa m.b.a và môi trường xung quanh có một hiệu số nhiệt độ gọi là *độ*

chênh nhiệt. Nếu độ chênh nhiệt đó vượt quá mức quy định sẽ làm giảm tuổi thọ cách điện và có thể gây sự cố đối với m.b.a. Để bảo đảm cho m.b.a. vận hành với tải liên tục trong thời gian qui định (thường là 15 đến 20 năm) và không bị sự cố, phải tăng cường làm lạnh bằng cách ngâm m.b.a. trong thùng dầu. Nhờ sự đối lưu trong dầu, nhiệt truyền từ các bộ



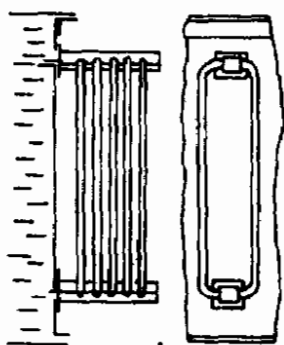
Hình 1-13. Dây quấn xen kẽ

phần bên trong m.b.a. sang dầu, rồi từ dầu qua vách thùng ra môi trường xung quanh. Lớp dầu sát vách thùng nguội dần sẽ chuyển động xuống phía dưới và lại tiếp tục làm nguội một cách tuần hoàn các bộ phận bên trong m.b.a. Mặt khác, dầu m.b.a. còn làm nhiệm vụ tăng cường cách điện.

Tùy theo dung lượng m.b.a. mà hình dáng và kết cấu thùng dầu có khác nhau. Loại thùng dầu đơn giản nhất là thùng dầu phẳng thường dùng cho các m.b.a. dung lượng từ 30 kVA trở xuống. Đối với các m.b.a. cỡ trung bình và lớn, người ta hay dùng loại thùng dầu có ống (hình 1-14) hoặc loại thùng có bộ tản nhiệt (hình 1-15).

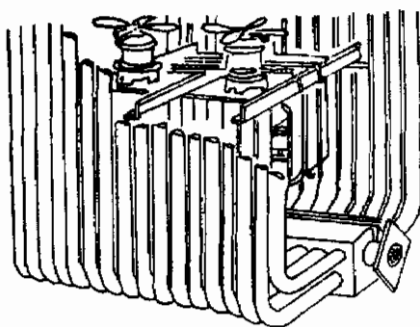


Hình 1-14. Thùng dầu kiểu ống



Hình 1-15. Thùng dầu có bộ tản nhiệt

Ở những m.b.a. dung lượng đến 10.000 kVA, người ta dùng những bộ tản nhiệt có thêm quạt gió để tăng cường làm lạnh (hình 1-16). Ở các m.b.a. dùng trong trạm thủy điện, dầu được bơm qua một hệ thống ống nước để tăng cường làm lạnh.

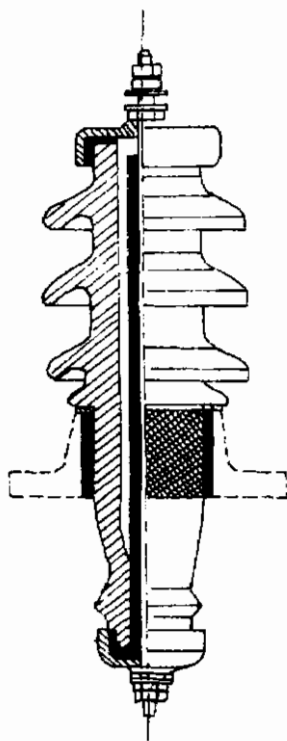


Hình 1-16. Bộ tản nhiệt có quạt gió

2. Nắp thùng: dùng để dặt thùng và trên đó đặt các chi tiết máy quan trọng như:

- Các sứ ra của dây quấn CA và HA: làm nhiệm vụ cách điện giữa dây dẫn ra với vỏ máy. Tùy theo điện áp của m.b.a. mà người ta dùng sứ cách điện thường hoặc có dầu. Hình 1-17 vẽ một sứ ra 35 kV có chứa dầu. Điện áp càng cao thì kích thước và trọng lượng sứ ra càng lớn.

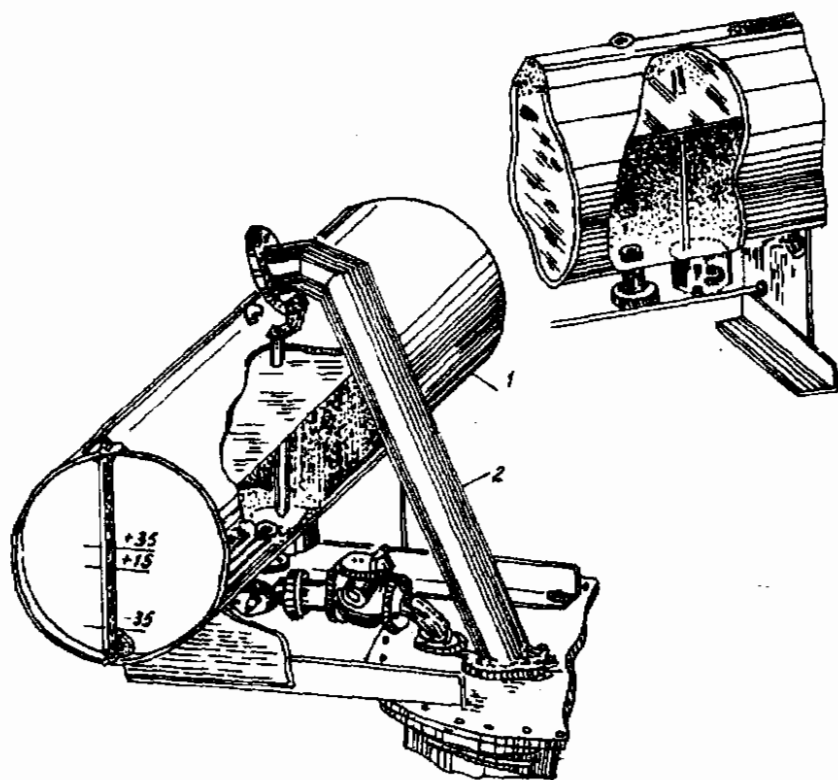
- Bình giãn dầu: là một thùng hình trụ bằng thép đặt trên nắp và nối với thùng bằng một ống dẫn dầu (hình 1-18). Để bảo đảm dầu trong thùng luôn luôn đầy, phải duy trì dầu ở một mức nhất định nào đấy. Dầu trong thùng m.b.a. thông qua bình giãn dầu giãn nở tự do. Ống chỉ mức dầu đặt bên cạnh bình giãn dầu dùng để theo



Hình 1-17. Sứ cách điện có dầu 35 kV

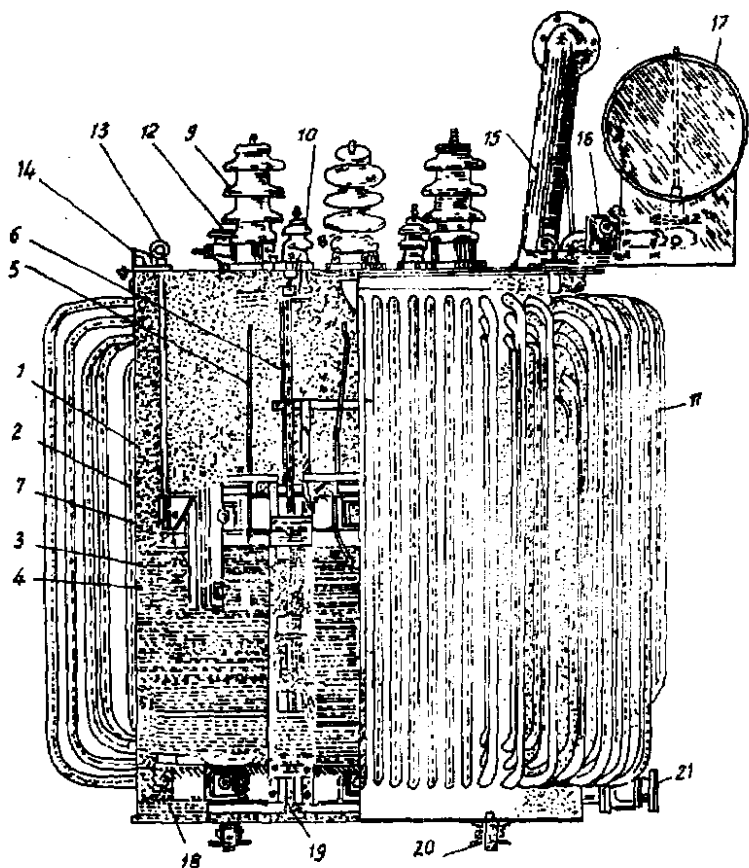
đổi mức dầu bên trong.

- Ống bảo hiểm: làm bằng thép, thường là hình trụ nghiêng. Một đầu nối với thùng, một đầu bịt bằng một đĩa thủy tinh (hình 1-18). Nếu vì một lý do nào đó, áp suất trong thùng tăng lên đột ngột, đĩa thủy tinh sẽ vỡ, dầu theo đó thoát ra ngoài để m.b.a không bị hư hỏng.



Hình 1-18. 1. Bình giãn dầu; 2. và ống bảo hiểm

Ngoài ra trên nắp còn đặt bộ phận truyền động của cầu dao đổi nối các đầu điều chỉnh điện áp của dây quấn CA.



Hình 1-19. M.b.a dầu ba pha

1. thép dẫn từ; 2. má sắt ép gông; 3. dây quấn điện áp thấp (HA);
4. dây quấn điện áp cao (CA); 5. ống dẫn dây ra của CA; 6) ống dẫn dây ra của HA; 7. cầu dao đổi nối ở trong của các dầu phân nhánh để điều chỉnh điện áp của dây quấn CA; 8. bộ phận truyền động của cầu dao đổi nối;
9. sứ ra của CA; 10. sứ ra của HA; 11. thùng dầu kiểu ống; 12. ống nhập dầu;
13. quạt để nâng ruột máy ra; 14. mặt bích để nối với bơm chân không;
15. ống có màng bảo hiểm; 16. rô le hơi; 17. bình giãn dầu; 18. giá đỡ góc ở đáy thùng dầu; 19. bu lông dọc để bắt chặt má sắt ép gông; 20. bánh xe lăn; 21 ống xả dầu

Câu hỏi

1. M.b.a là gì ? Vai trò của m.b.a trong hệ thống điện lực ?
Kết cấu của m.b.a ra sao ? tác dụng của từng bộ phận trong m.b.a ?

2. Trên m.b.a thường ghi những lượng định mức nào ? Ý nghĩa của từng lượng định mức, ví dụ: S_{dm} biểu thị công suất gì, phía nào ? U_{2dm} là điện áp ứng với tình trạng nào của m.b.a ?

Hãy tính các dòng điện định mức của một m.b.a ba pha khi biết các số liệu sau đây: $S_{dm} = 100 \text{ kVA}$; $U_{1dm}/U_{2dm} = 6000/230 \text{ V}$.

Đáp số: $I_{1dm} = 9,62 \text{ A}$; $I_{2dm} = 251 \text{ A}$

Chương 2

TỔ NỐI DÂY VÀ MẠCH TỪ CỦA M.B.A

Để m.b.a ba pha có thể làm việc được, các dây quấn pha sơ cấp hoặc thứ cấp phải được nối với nhau theo một qui luật nhất định. Ngoài ra, sự phối hợp kiểu nối dây quấn sơ cấp với kiểu nối dây quấn thứ cấp cũng hình thành các tổ nối dây quấn khác nhau. Hơn nữa, khi thiết kế, việc quyết định dùng tổ nối dây quấn cũng phải thích ứng với kiểu kết cấu của mạch từ để tránh những hiện tượng không tốt như: s.d.d pha không sin, tổn hao phụ tăng v.v...

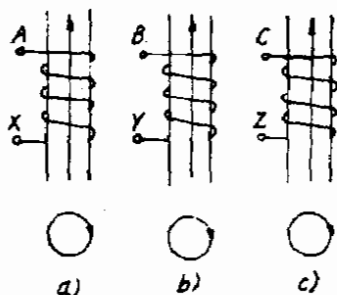
Trong chương này ta sẽ lần lượt xét các loại tổ nối dây và mạch từ, đồng thời xét các hiện tượng xảy ra khi từ hóa lõi thép và nêu lên cách tính toán về mạch từ của m.b.a.

2.1. TỔ NỐI DÂY CỦA M.B.A

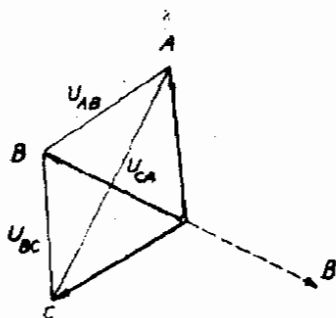
Trước khi nghiên cứu tổ nối dây của m.b.a, ta hãy xét ký hiệu các đầu dây và cách đấu các dây quấn pha với nhau.

2.1.1. Cách ký hiệu đầu dây

Các đầu tận cùng của dây quấn m.b.a, một đầu gọi là đầu đầu, đầu kia gọi là đầu cuối. Đối với dây quấn một pha có thể tùy ý chọn đầu đầu và đầu cuối. Đối với dây quấn ba pha, các đầu đầu và đầu cuối phải chọn một cách thống nhất : giả sử dây quấn pha A đã chọn đầu đầu đến đầu cuối đi theo chiều kim đồng hồ (hình 2-1a) thì dây quấn các pha B, C còn lại cũng phải được chọn như vậy (hình 2-1b và c). Điều này rất cần thiết, bởi vì nếu một pha dây quấn ký hiệu ngược thì điện áp dây lấy ra sẽ mất tính đối xứng (hình 2-2).



Hình 2-1. Cách qui ước các đầu đầu và đầu cuối của dây quấn ba pha



Hình 2-2. Điện áp dây không đối xứng lúc ký hiệu ngược hay dấu ngược một pha

Để đơn giản và thuận tiện cho việc nghiên cứu, người ta thường đánh dấu các đầu tận cùng lên sơ đồ ký hiệu dây quấn của m.b.a với quy ước sau đây:

Các đầu tận cùng	Dây quấn cấp áp CA	Dây quấn hạ áp HA	Sơ đồ ký hiệu dây quấn
Dầu đầu	A, B, C	a, b, c	
Dầu cuối	X, Y, Z	x, y, z	
Dầu trung tính	O hay N	O hay n	

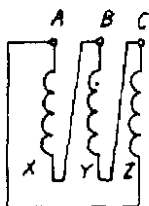
Đối với m.b.a ba dây quấn, ngoài hai dây quấn sơ cấp và thứ cấp còn có dây quấn điện áp trung. Dây quấn này được ký hiệu như sau: đầu đầu bằng các chữ A_m , B_m , và C_m ; đầu cuối bằng các chữ X_m , Y_m , và Z_m và đầu trung tính bằng chữ O_m .

2.1.2. Các kiểu đấu dây quấn

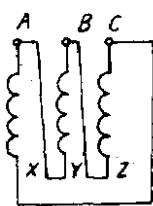
Dây quấn của m.b.a có thể đấu hình sao (ký hiệu bằng dấu "Y") hay hình tam giác (ký hiệu bằng dấu " Δ "). Đấu sao thì ba đầu X, Y, Z nối lại với nhau, còn ba đầu A, B, C để tự do (hình 2-3). Nếu đấu sao có dây trung tính thì ký hiệu bằng dấu " Y_0 ".



Hình 2-3. Dấu hình sao dây quấn m.b.a ba pha



a)



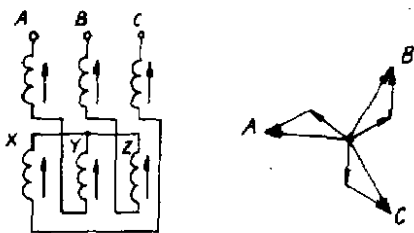
b)

Hình 2-4. Dấu hình tam giác dây quấn m.b.a ba pha

Dấu tam giác thì đầu cuối của pha này nối với đầu đầu của pha kia: hoặc theo thứ tự $AX - BY - CZ - A$ (hình 2-4a) hoặc theo thứ tự $AX - CZ - BY - A$ (hình 2-4b)

Cách đấu dây quấn CA và HA ở trong m.b.a thường được ký hiệu như sau: ví dụ m.b.a đấu Y/Δ có nghĩa là dây quấn CA đấu sao và dây quấn HA đấu tam giác. Ở các m.b.a truyền tải công suất, thường dây quấn CA được đấu Y , còn dây quấn HA đấu Δ , bởi vì đấu như vậy thì phía cao áp, điện áp pha nhỏ đi $\sqrt{3}$ lần so với điện áp dây, do đó có thể giảm bớt được chi phí và điều kiện cách điện; phía hạ áp thì dòng điện pha nhỏ đi $\sqrt{3}$ lần so với dòng điện dây, do đó có thể làm dây dẫn nhỏ hơn thuận tiện cho việc chế tạo. Cách đấu Δ được dùng nhiều khi không cần điện áp pha. Dây quấn đấu Y_0 thông dụng đối với m.b.a cung cấp cho tải hỗn hợp vừa dùng điện áp dây (chạy động cơ không đồng bộ), vừa dùng điện áp pha (thấp sáng).

Ngoài hai kiểu đấu dây chủ yếu trên, dây quấn m.b.a có thể đấu theo kiểu zig-zắc (ký hiệu bằng dấu "Z"). Lúc đó mỗi pha dây quấn gồm hai nửa cuộn dây ở trên hai trụ khác nhau nối nối tiếp



Hình 2-5. Kiểu đấu zig-zắc

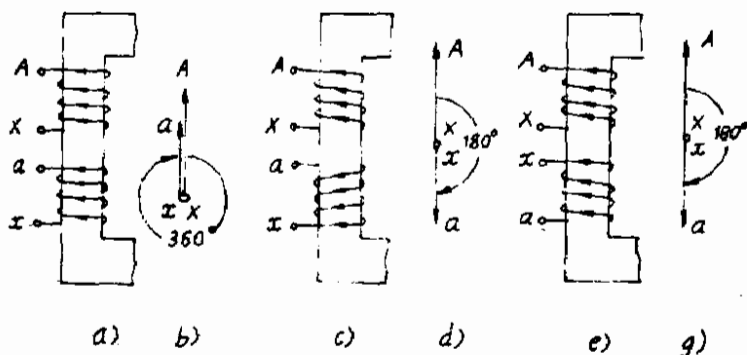
và mắc ngược nhau (hình 2-5). Kiểu đấu dây này rất ít dùng vì tốn nhiều đồng hơn và chỉ gặp trong m.b.a dùng cho các thiết bị chỉnh lưu hoặc trong m.b.a đo lường để hiệu chỉnh sai về số về góc lệch pha.

2.1.3. Tổ nối dây của m.b.a

Tổ nối dây của m.b.a. được hình thành do sự phối hợp kiểu đấu dây sơ cấp so với kiểu đấu dây thứ cấp. Nó biểu thị góc lệch pha giữa các s.d.đ. dây sơ cấp và dây thứ cấp của m.b.a. Góc lệch pha này phụ thuộc vào các yếu tố sau đây:

- chiều quấn dây;
- cách ký hiệu các đầu dây;
- kiểu đấu dây quấn ở sơ cấp và thứ cấp.

Thật vậy, ta hãy xét một m.b.a một pha có hai dây quấn sơ cấp AX và thứ cấp ax sau đây. Nếu có hai dây quấn được quấn cùng chiều trên trụ thép, ký hiệu các đầu dây như nhau (ví dụ A, a ở phía trên; X, x ở phía dưới (hình 2-6a) thì s.d.đ cảm ứng trong chúng khi có từ thông biến thiên đi qua sẽ hoàn toàn trùng pha nhau: hoặc từ đầu đầu đến đầu cuối hoặc từ đầu cuối đến đầu đầu - chẳng hạn từ đầu cuối đến đầu đầu dây quấn (hình 2-6b). Khi đổi chiều quấn dây của một trong hai dây quấn, ví dụ

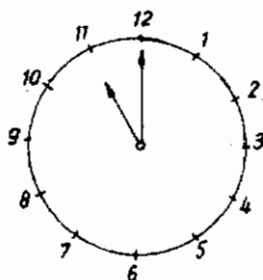


Hình 2-6. Tổ nối dây của m.b.a một pha

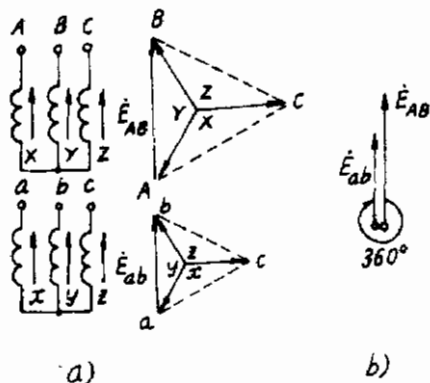
của dây quấn thứ cấp ax (hình 2-6c), hoặc đổi ký hiệu đầu dây. ví dụ cũng của dây quấn thứ cấp ax (hình 2-6e) thì s.d.d trong chúng sẽ hoàn toàn ngược pha nhau (hình 2-6d và g). Trường hợp thứ nhất, góc lệch pha giữa các s.d.d - kể từ vectơ s.d.d. sơ cấp đến vectơ s.d.d thứ cấp theo chiều kim đồng hồ là 360° ; hai trường hợp sau là 180° .

Ở m.b.a ba pha còn do cách đấu dây quấn hình Y hay Δ với những thứ tự khác nhau mà góc lệch pha giữa các s.d.d dây sơ cấp và thứ cấp có thể là $30^\circ, 60^\circ, \dots, 360^\circ$.

Trong thực tế, để thuận tiện, người ta không dùng "độ" để chỉ góc lệch pha đó mà dùng phương pháp kim đồng hồ để biểu thị và gọi tên tổ nối dây của m.b.a. Cách biểu thị đó như sau: kim dài của đồng hồ chỉ s.d.d dây sơ cấp đặt cố định ở con số 12, kim ngắn chỉ s.d.d dây thứ cấp đặt tương ứng ở các số 1, 2, ..., 12 tùy theo góc lệch pha giữa chúng là $30^\circ, 60^\circ, \dots, 360^\circ$ (hình 2-7). Với cách biểu thị này, đối với m.b.a một pha trong ví dụ trên, trường hợp thứ nhất sẽ thuộc tổ nối dây M-12, vì góc lệch pha giữa hai s.d.d là 360° , hai trường hợp sau thuộc tổ



Hình 2-7. Phương pháp ký hiệu tổ nối dây bằng kim đồng hồ

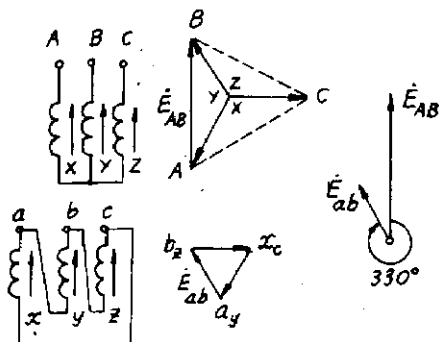


Hình 2-8 Tổ nối dây Y/Y-12

nối dây I/I-6 vì góc lệch pha là 180° (ký hiệu I dùng cho m.b.a một pha).

Đối với m.b.a ba pha sẽ có 12 tổ nối dây. Ví dụ một m.b.a ba pha có hai dây quấn nối hình Y, cùng chiều quấn dây và cùng ký hiệu đầu dây (hình 2-8,

a) thì hình sao s.d.đ pha giữa hai dây quấn hoàn toàn trùng nhau và góc lệch pha giữa hai điện áp dây sẽ bằng 0° , hay 360° (hình 2-8b). Ta nói m.b.a thuộc tổ nối dây 12 và ký hiệu là Y/Y-12. Nếu đổi chiều quấn dây hay đổi ký hiệu đầu dây của dây quấn thứ cấp ta có tổ nối dây Y/Y-6. Hoán



Hình 2-9. Tổ nối dây Y/Δ-11

vị thứ tự các pha thứ cấp, ta sẽ có các tổ nối dây chẵn 2, 4, 8, 10. Cũng với m.b.a trên, khi dây quấn đấu theo sơ đồ Y/Δ như hình 2-9, thì góc lệch pha giữa điện áp dây sơ cấp và thứ cấp là 330° - m.b.a thuộc tổ nối dây Y/Δ-11. Thay đổi chiều quấn dây hay đổi ký hiệu đầu dây của dây quấn thứ cấp ta có tổ nối dây Y/Δ-5. Hoán vị các pha thứ cấp ta sẽ có các tổ nối dây lẻ 1, 3, 7, 9.

Sản xuất nhiều m.b.a có tổ nối dây khác nhau rất bất tiện cho việc chế tạo và sử dụng, vì thế trên thực tế ở nước ta Liên xô (cũ) chỉ sản xuất các m.b.a điện lực thuộc các tổ nối dây sau: m.b.a một pha có tổ I/I-12, m.b.a ba pha có các tổ Y/Y₀-12, Y/Δ-11 và Y₀/Δ-11. Phạm vi ứng dụng của chúng được ghi trong bảng dưới đây:

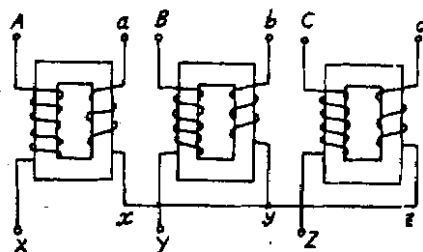
Tổ nối dây	Điện áp		Dung lượng của m.b.a (kVA)
	CA (kV)	HA (V)	
Y/Y _D -12	≤ 35	230	≤ 560
		400	≤ 1800
Y/Δ-11	≤ 35	525	≤ 1800
		> 525	≤ 5600
Y/Δ-11	≥ 110	≥ 3150	≥ 3200
Y ₀ /Δ-11	≥ 6,3	≥ 3300	≥ 7500

2.2. MẠCH TỪ CỦA M.B.A

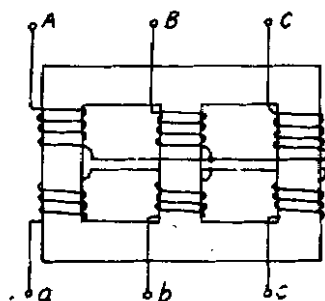
2.2.1. Các dạng mạch từ

Đối với m.b.a một pha có thể có hai loại kết cấu mạch từ: mạch từ kiểu lõi và mạch từ kiểu bọc (xem §1.4). Đối với m.b.a ba pha, dựa vào sự không liên quan hay có liên quan của các mạch từ giữa các pha người ta chia ra: m.b.a có hệ thống mạch từ riêng và m.b.a có hệ thống mạch từ chung.

Hệ thống mạch từ riêng là hệ thống mạch từ trong đó từ

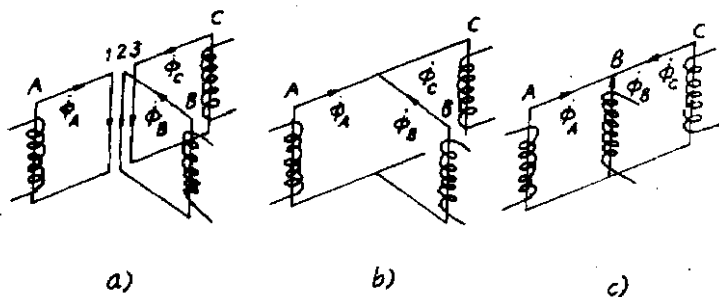


Hình 2-10. Tổ m.b.a ba pha



Hình 2-11. M.b.a ba pha ba trụ

thông của ba pha độc lập đối với nhau như ở trường hợp m.b.a ba pha ghép từ ba m.b.a một pha gọi tắt là tổ m.b.a ba pha (hình 2-10). Hệ thống mạch từ chung là hệ thống mạch từ trong đó từ thông ba pha có liên quan với nhau như ở m.b.a ba pha kiểu trụ để phân biệt với loại trên ta gọi là m.b.a ba pha ba trụ (hình 2-11). Thực ra kết cấu của loại sau là đi từ loại đầu mà ra. Thực vậy khi đem ghép ba m.b.a một pha lại (tức ghép ba m.b.a có mạch từ riêng như hình 2-12a), nếu điện áp vào ba pha là đối xứng, nghĩa là $\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C = 0$ thì tổng từ thông tương ứng của ba pha cũng bằng không $\Phi_A + \Phi_B + \Phi_C = \Sigma \Phi = 0$. Như vậy ở trụ ghép chung cả ba pha, từ thông không tồn tại ở mọi thời điểm, do đó có thể cắt bỏ trụ ghép chung (hình 2-12b) mà vẫn không ảnh hưởng gì đến tình trạng làm việc bình thường của m.b.a.



Hình 2-12. Cách tạo nên m.b.a ba pha ba trụ từ ba m.b.a một pha

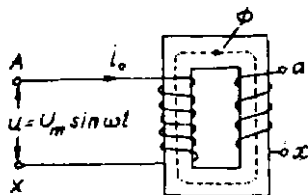
Nhưng kết cấu của lõi thép như hình 2-12b chế tạo rất khó khăn, nên để được đơn giản có thể rút ngắn trụ giữa lại, sao cho cả ba trụ cùng nằm trong một mặt phẳng (hình 2-12c), do đó m.b.a ba pha ba trụ mang hình dáng như đã nói ở trên. Tất nhiên kết cấu lõi sắt trong trường hợp này rõ ràng là không đối xứng, ở trụ giữa mạch từ ngắn hơn, do đó dòng điện từ hóa của ba pha cũng không đối xứng ($I_{OA} \approx I_{OC} = 1,2 + 1,5 I_{OB}$).

Nhưng sự không đối xứng này không ảnh hưởng tới sự làm việc bình thường của m.b.a bao nhiêu, vì bản thân dòng điện từ hóa rất nhỏ so với dòng điện định mức, nên có thể xem như không đáng kể.

Trên thực tế hiện nay, m.b.a ba pha ba trụ được dùng phổ biến với các cỡ dung lượng nhỏ và trung bình, vì loại này hình dáng gọn, nhỏ, ít tốn nguyên liệu và rẻ hơn. Còn loại tổ m.b.a ba pha chỉ dùng cho các m.b.a cỡ lớn (dung lượng từ 3.6000 kVA trở lên), vì vậy có thể vận chuyển từng pha m.b.a một cách dễ dàng và thuận lợi.

2.2.3. Những hiện tượng xuất hiện khi từ hóa lõi thép m.b.a

Khi từ hóa lõi thép m.b.a, do mạch từ bão hòa sẽ làm xuất hiện những hiện tượng mà trong một số trường hợp những hiện tượng ấy có thể ảnh hưởng đến tình trạng làm việc của m.b.a. Chúng ta hãy xét những ảnh hưởng đáng kể đó khi m.b.a làm việc không tải, nghĩa là khi đặt vào dây quấn sơ cấp điện áp hình sin, còn dây quấn thứ cấp hở mạch.



1. M.b.a một pha: Điện áp đặt vào dây quấn sơ cấp sẽ sinh ra dòng điện không tải i_0 chạy trong nó, dòng điện i_0 sinh ra từ thông Φ chạy trong lõi thép (hình 2-13).

Hình 2-13. Từ hóa m.b.a một pha

Như ta đã biết, nếu điện áp đặt vào biến thiên theo thời gian:

$$u = U_m \sin \omega t$$

và bỏ qua điện áp rơi trên điện trở dây quấn, thì:

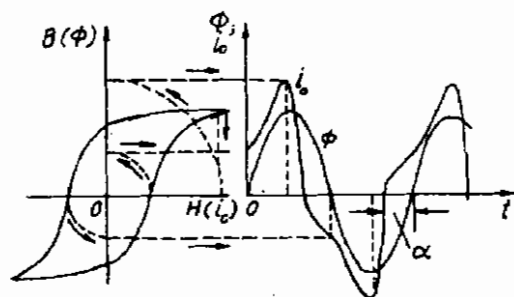
$$u = - e + w \frac{d\Phi}{dt}$$

nghĩa là từ thông sinh ra cũng biến thiên hình sin theo thời gian:

$$\Phi = \Phi_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

Trước tiên, nếu không kể đến tổn hao trong lõi thép thì dòng điện không tải i_0 thuần túy là dòng điện phản kháng dùng để từ hóa lõi thép $i_0 = i_{ox}$. Do đó quan hệ giữa $\Phi = f(i_0)$ cũng chính là quan hệ từ hóa $B = f(H)$. Theo lý thuyết cơ sở kỹ thuật điện ta đã biết do hiện tượng bão hòa của lõi thép, nếu Φ là hình sin, i_0 sẽ không hình sin mà có dạng nhọn, đầu và trùng pha với Φ , nghĩa là dòng điện i_0 ngoài thành phần sóng cơ bản i_{01} , còn có các thành phần sóng điều hòa bậc cao: bậc 3- i_{03} , bậc 5- i_{05} , bậc 7- i_{07} ,..., trong đó thành phần i_{03} lớn nhất và đáng kể hơn cả, còn các thành phần khác rất bé có thể bỏ qua. Ta có thể xem như chính thành phần bậc 3 có tác dụng làm cho dòng điện từ hóa có dạng nhọn đầu. Cũng từ lý luận đó ta thấy, nếu mạch từ càng bão hòa thì i_0 càng nhọn đầu, nghĩa là thành phần i_{03} càng lớn.

Khi có kể đến tổn hao trong lõi thép thì quan hệ giữa $\Phi(i_0)$ là quan hệ trễ $B(H)$. Từ quan hệ $\Phi(t)$ và $\Phi(i_0)$ ta có thể vẽ được



Hình 2-14. Ảnh hưởng của từ trễ đến đường cong dòng điện

Hình 2-15. Dòng điện từ hóa với các thành phần của nó

đường biểu diễn quan hệ $i_0(t)$ như hình 2-14. Đường cong $i_0(t)$ cho thấy nếu Φ là hình sin thì i_0 có dạng nhọn đầu nhưng vượt

pha với Φ một góc α nào đó. Góc α lớn hay bé là tùy theo mức độ trễ của B đối với H nhiều hay ít, nghĩa là tổn hao từ trễ trong lõi thép nhiều hay ít. Vì thế α được gọi là góc tổn hao từ trễ. Hình 2-15 biểu diễn vectơ dòng điện I_0 và từ thông Φ_m khi có kể đến tổn hao trong lõi thép. Nhưng cần chú ý, vì dòng điện i_0 là không sin nên trên đồ thị vectơ chỉ vẽ gần đúng với thành phần bậc 1 của i_0 , hoặc là phải thay i_0 bằng một dòng điện hình sin đẳng trị có trị số hiệu dụng bằng trị số hiệu dụng của dòng điện i_0 thực. Ta thấy lúc này dòng điện không tải I_0 gồm hai thành phần: thành phần phản kháng I_{0x} là dòng điện từ hóa lõi thép, tạo nên từ thông và cùng chiều với từ thông; thành phần tác dụng I_{0r} , vuông góc với thành phần trên, là dòng điện gây nên tổn hao sắt từ trong lõi thép:

$$I_0 = \sqrt{I_{0r}^2 + I_{0x}^2} \quad (2-1)$$

Trên thực tế $I_{0r} < 10\% I_0$, nghĩa là góc α thường rất bé, nên dòng điện I_{0r} thực ra không ảnh hưởng đến dòng điện từ hóa bao nhiêu và như vậy ta coi $I_{0x} \approx I_0$.

2. M.b.a. ba pha: khi không tải nếu xét từng pha riêng lẻ thì dòng điện bậc 3 trong các pha:

$$i_{03A} = I_{03m} \sin 3\omega t, \quad (2-2a)$$

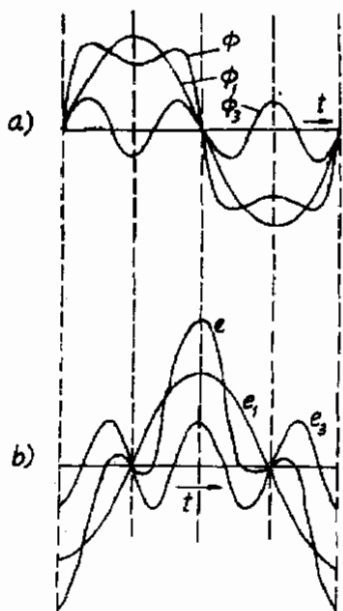
$$i_{03B} = I_{03m} \sin 3(\omega t - 120^\circ) = I_{03m} \sin 3\omega t, \quad (2-2b)$$

$$i_{03C} = I_{03m} \sin 3(\omega t - 240^\circ) = I_{03m} \sin 3\omega t. \quad (2-2c)$$

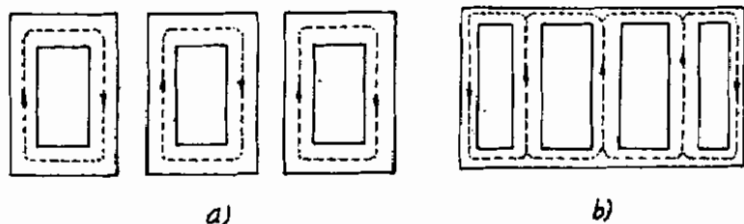
trùng pha nhau về thời gian, nghĩa là tại mọi thời điểm chiều của dòng điện trong có ba pha hoặc hướng từ đầu đến cuối dây quấn hoặc hướng ngược lại. Song chúng có tồn tại hay không và dạng sóng như thế nào còn phụ thuộc vào kết cấu mạch từ và cách đấu dây quấn nữa.

a. Trường hợp m.b.a nối Y/Y: vì dây quấn sơ cấp nối Y nên thành phần dòng điện bậc 3 không tồn tại, do đó dòng điện từ hóa i_0 sẽ có dạng hình sin và từ thông do nó sinh ra sẽ có dạng vạt đầu (đường đậm nét trên hình 2-16a). Như vậy có thể xem

từ thông tổng Φ gồm sóng cơ bản Φ_1 và các sóng điều hòa bậc cao $\Phi_3, \Phi_5, \dots$. Vì các thành phần điều hòa bậc cao hơn 3 rất nhỏ có thể bỏ qua do đó trên đồ thị hình 2-16a ta chỉ vẽ các từ thông Φ_1 và Φ_3 . Đối với tổ m.b.a ba pha, vì mạch từ của cả ba pha riêng rẽ, từ thông Φ_3 của cả ba pha cùng chiều tại mọi thời điểm sẽ dễ dàng khép kín trong từng lõi thép như từ thông Φ_1 (hình 2-17a). Do từ trở của lõi thép rất bé, nên Φ_3 có trị số khá lớn, có thể đạt tới $(15 + 20)\% \Phi_1$. Kết quả là trong dây quấn sơ cấp và thứ cấp, ngoài s.d.đ cơ bản e_1 do từ thông Φ_1 tạo ra và chậm sau Φ_1 90° còn có các s.d.đ bậc ba e_3 khá lớn (có thể đạt đến trị số $E_3 = (45 + 60)\% E_1$) do từ thông Φ_3 tạo ra và chậm sau Φ_3 một góc 90° . Do đó s.d.đ tổng trong pha $e = e_1 + e_3$ sẽ có dạng nhọn đầu (hình 2-16b), nghĩa là biên độ của s.d.đ pha tăng lên rõ rệt. Sự tăng vọt của s.d.đ lên



Hình 2-16. Đường biểu diễn từ thông (a) và s.d.đ (b) của tổ m.b.a ba pha nối Y/Y

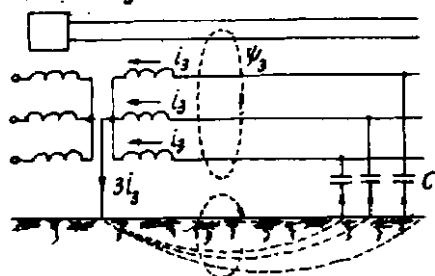


Hình 2-17. Từ thông điều hòa bậc ba: a. trong tổ m.b.a ba pha; b. trong m.b.a ba pha năm trụ

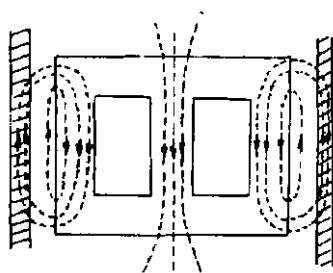
như vậy hoàn toàn không lợi và trong nhiều trường hợp rất nguy hiểm, như chọc thủng cách điện của dây quấn, làm hư hỏng thiết bị điện đo lường và nếu trung tính nối đất dòng điện bậc 3 sẽ gây ảnh hưởng đến đường dây thông tin (hình 2-18). Bởi những lý do đó, trên thực tế người ta không dùng kiểu đấu Y/Y cho tổ m.b.á ba pha. Cũng cần nói thêm rằng, dù s.d.đ pha có trị số và hình dáng biến đổi nhiều nhưng các s.d.đ. dây vẫn luôn luôn là hình sin, vì dây quấn nối Y thì s.d.đ dây không có thành phần bậc 3.

Những hiện tượng xuất hiện trong m.b.a ba pha năm trụ (hình 2-17b) cũng tương tự như vậy, do đó những kết luận trên đây cũng được áp dụng cho loại biến áp này.

thiết bị thông tin



Hình 2-18. Ảnh hưởng của dòng điện điều hòa bậc 3 đối với đường dây thông tin



Hình 2-19. Từ thông điều hòa bậc 3 trong m.b.a ba pha ba trụ

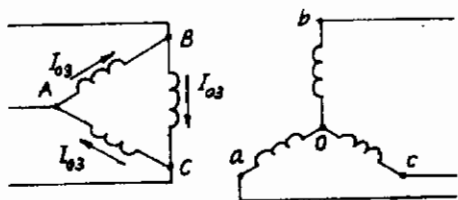
Đối với m.b.a ba pha ba trụ vì thuộc hệ thống mạch từ chung nên hiện tượng sẽ khác đi. Từ thông Φ_3 bằng nhau và cùng chiều trong ba trụ thép tại mọi thời điểm, nên chúng không thể khép mạch từ trụ này qua trụ khác được mà bị đẩy ra ngoài và khép mạch từ gông này đến gông kia qua không khí hoặc dầu là môi trường có từ trở lớn (hình 2-19). Vì thế Φ_3 không lớn lắm và có thể xem từ thông trong mạch từ là hình sin, nghĩa là s.d.đ pha thực tế là hình sin. Song cần chú ý rằng vì từ thông bậc 3 đập mạch với tần số $3f$ qua vách thùng, các bulông ghép v.v... sẽ gây nên những tổn hao phụ làm hiệu suất của m.b.a giảm xuống. Do

đó phương pháp đấu Y/Y đối với m.b.a ba pha ba trụ cũng chỉ áp dụng cho các m.b.a với dung lượng hạn chế từ 5600 kVA trở xuống.

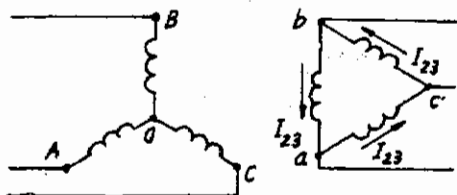
b. Trường hợp m.b.a pha nối Δ/Y (hình 2-20): Dây quấn sơ cấp nối Δ , nên dòng điện i_{03} sẽ khép kín trong tam giác đó, như vậy dòng điện từ hóa vì có thành phần bậc 3 sẽ có dạng nhọn đầu, cũng tương tự như đối với m.b.a một pha đã xét ở trên, từ thông tổng và các s.d.đ của dây quấn sơ cấp và thứ cấp đều có dạng hình sin. Do đó sẽ không có những hiện tượng bất lợi như trường hợp trên.

c. Trường hợp m.b.a ba pha nối Y/ Δ (hình 2-21). Do dây quấn sơ cấp nối Y nên dòng điện từ hóa trong đó sẽ không có thành phần điều hòa bậc 3, như vậy ta lại có kết luận như trường hợp a, từ thông sẽ có dạng vọt đầu, nghĩa là thành phần từ thông bậc 3 - $\Phi_{3\lambda}$. Từ thông $\Phi_{3\lambda}$ sẽ cảm ứng ra trong dây quấn thứ cấp s.d.đ. bậc 3 - e_{23} chậm sau $\Phi_{3\lambda}$ một góc 90° (hình 2-22). Đến lượt e_{23} gây ra dòng điện bậc 3 trong mạch vòng thứ cấp nối tam giác i_{23} . Vì điện kháng của dây quấn lớn nên có thể xem $i_{23} 90^\circ$ chậm so với $e_{23} 90^\circ$ (hình 2-23), rõ ràng i_{23} sẽ sinh ra từ thông cấp $\Phi_{3\Delta}$ (coi gần trùng pha với i_{23}) gần như ngược pha với $\Phi_{3\lambda}$. Do đó từ thông tổng bậc 3 trong lõi thép $\Phi'_3 = \Phi_{3\lambda} + \Phi_{3\Delta}$ gần như bị triệt tiêu. Ảnh hưởng của từ thông bậc 3 trong mạch từ không đáng kể nữa, s.d.đ. pha sẽ gần hình sin.

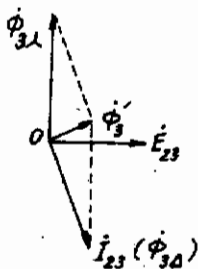
Tóm lại khi m.b.a. làm việc không tải, các cách đấu dây quấn Δ/Y hay Y/ Δ đều tránh được tác hại của từ thông và s.d.đ. điều hòa bậc 3.



Hình 2-20. Dòng điện điều hòa bậc 3 trong dây quấn nối Y/ Δ khi không tải



Hình 2-21. Dòng điện điều hòa bậc 3 trong dây quấn nối Y/Δ khi không tải



Hình 2-22. Tác dụng của dòng điện I_{23} khi dây quấn nối Y/Δ

2.2.4. Tính toán mạch từ

Mục đích của tính toán mạch từ m.b.a là xác định dòng điện cần thiết để từ hóa lõi thép và tổn hao trong mạch từ. Điều này rất cần thiết khi tính toán thiết kế m.b.a.

Dòng điện từ hóa (hay dòng điện không tải) i_0 gồm có hai thành phần: thành phần tác dụng i_{or} và thành phần phản kháng i_{ox} .

1. Thành phần dòng điện tác dụng i_{or} : Như ta đã biết, dòng điện tác dụng phụ thuộc vào tổn hao sắt từ ở trong lõi thép. Tổn hao này có thể tính gần đúng theo biểu thức:

$$P_{Fe} = P_{1/50} [B_t^2 G_t + B_g^2 G_g] \left(\frac{f}{50} \right)^{1,3}; W \quad (2-3)$$

trong đó:

$P_{1/50}$ - suất tổn hao trong thép khi cường độ từ cảm là 1 tesla (T) và tần số là 50 Hz.

B_t và B_g - cường độ từ cảm trong trụ và trong gông, (T).

G_t và G_g - trọng lượng trụ và gông tính theo kích thước hình học của lõi thép (kg).

Do đó thành phần tác dụng của dòng điện từ hóa:

$$i_{or} = \frac{P_{Fe}}{mU}; A \quad (2-4)$$

trong đó m là số pha của m.b.a.

2. Thành phần dòng điện phản kháng i_{ox} : Dòng điện phản kháng có thể tính được theo hai phương pháp.

Phương pháp thứ nhất: Dựa trên quan điểm của định luật toàn dòng điện tính toán mạch từ m.b.a :

$$\sqrt{2} I_{ox} W = F = \sum Hl \quad (2-5)$$

Đối với m.b.a một pha (hình 2-23a), sức từ động (viết tắt là s.t.d) :

$$F = 2H_l l_l + 2H_g l_g + n_k \frac{B_l}{\mu_0} \delta \quad (2-6)$$

trong đó:

H_l và H_g - cường độ từ trường trong trụ và gông, xác định theo đường cong từ hóa tương ứng với cường độ từ cảm B_l và B_g , A/cm;

l_l và l_g - chiều dài trung bình của các đoạn mạch từ tương ứng với trụ và gông, cm;

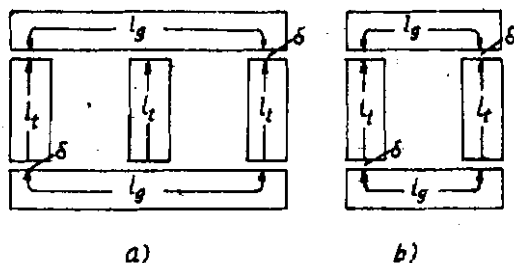
δ - chiều dài của khe không khí giữa trụ và gông, cm;

n_k là số khe không khí, đối với m.b.a một pha $n_k = 4$.

Đối với m.b.a ba pha ba trụ, do mạch không đối xứng (hình 2-23b) nên s.t.d phải tính theo trị số trung bình:

Nếu ghép các lá thép xen kẽ theo hình 1-7 (xem Chương 1) thì ở hai pha thuộc hai trụ ngoài cùng:

$$F' = H_l l_l + 2H_g l_g + n_k \frac{B_l}{\mu_0} \delta \quad (2-7a)$$



Hình 2-23. Mạch từ của m.b.a: a) một pha;
b) ba pha

trong đó $n_k = 3$ là số khe hở giữa trụ và gông; còn pha thuộc trụ giữa :

$$F'' = H_l l_l + n_k \frac{B_l}{\mu_o} \delta \quad (2-7b)$$

nhưng $n_k = 1$; do đó s.t.đ trung bình:

$$F = \frac{2F' + F''}{3} = H_l l_l + \frac{2}{3} H_g l_g + n'_k \frac{B_l}{\delta_o} \delta \quad (2-8)$$

trong đó $n'_k = \frac{7}{3}$ gọi là số khe hở tính toán giữa trụ và gông.

Biểu thức (2-8) cũng dùng để tính cho cả trường hợp lõi thép ghép nối (hình 2-23b) nhưng trong đó $n'_k = 2$.

Từ đó ta có thể tính được thành phần phản kháng của dòng điện từ hóa:

$$I_{ox} = \frac{F}{\sqrt{2}w} \quad (2-9)$$

Phương pháp thứ hai: Dựa vào việc tính toán năng lượng từ trường hay công suất từ hóa (còn gọi là công suất phản kháng) của mạch từ.

Ta biết rằng năng lượng từ trường cực đại trong 1 đơn vị thể tích (hay gọi là mật độ năng lượng) của trường biến thiên hình sin theo thời gian là:

$$W'_{max} = \frac{BH}{2}$$

Công suất phản kháng cho một đơn vị thể tích:

$$Q' = \omega W'_{max} = \pi f.BH$$

do đó công suất phản kháng của lõi thép có thể tích V hay trọng lượng G là:

$$Q = Q'V = \frac{Q'G}{\gamma} = \frac{\pi f.BH}{\gamma} G = q_l G \quad (2-10)$$

trong đó

γ - trọng lượng riêng của thép.

$$q_t = \frac{\pi f B H}{\gamma} = \frac{\pi f B^2}{\mu_0 \gamma} \quad - \text{ công suất phản kháng trên một đơn}$$

vị trọng lượng của thép, gọi tắt là suất từ hóa.

Đối với khe không khí thì công suất phản kháng được tính theo biểu thức:

$$Q = q_{k\delta} \delta S = n_k q_{\delta} S \quad (2-11)$$

trong đó:

S - diện tích của khe không khí,

n_k - số khe hở thực trên toàn bộ lõi thép,

q - công suất phản kháng trên một đơn vị thể tích khe hở,

$q_{\delta} = q_0$ là công suất phản kháng trên một đơn vị diện tích khe hở.

Căn cứ vào cường độ từ cảm B của mỗi loại thép đã cho có thể xác định được q_t và q_{δ} theo các đường cong $q_t = f(B)$ và $q_{\delta} = f(B)$ trên hình 2-24.

Vì công suất phản kháng dùng để từ hóa m.b.a là :

$$Q_o = m U_1 I_{ox} \quad (1-12)$$

do đó dòng điện phản kháng :

$$I_{ox} = \frac{Q_o}{m U_1} = \frac{q_{t,t} G_t + q_{t,g} G + n q_{\delta} S}{m U_1} \quad (2-13)$$

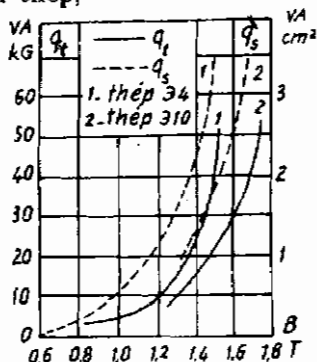
trong đó

$q_{t,t}$ và $q_{t,g}$ - suất từ hóa trong trụ và gông,

G_t và G - trọng lượng của trụ và gông.

Cuối cùng dòng điện từ hóa toàn phần:

$$I_o = \sqrt{I_{ot}^2 + I_{ox}^2} \quad (2-14)$$



Hình 2-24. Quan hệ $q_t = f(B)$ và $q_{\delta} = f(B)$

Dòng điện I_o trong m.b.a điện lực thường rất nhỏ, lúc điện áp định mức, trị số phần trăm của nó so với dòng điện định mức:

$$I_o \% = \frac{I_o}{I_{dm}} 100 \quad (2-15)$$

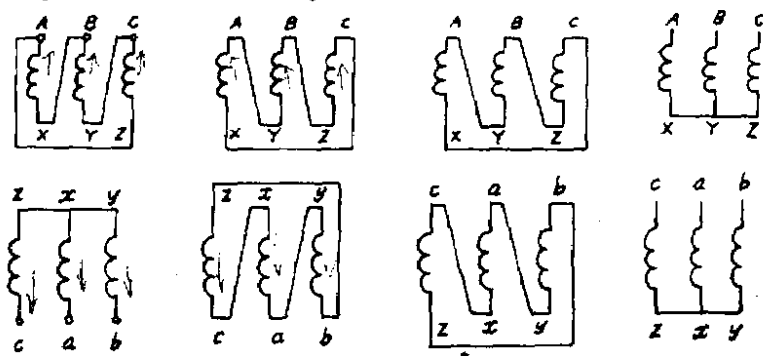
thường vào khoảng $2 \div 10$, trong đó trị số sau dùng cho m.b.a dung lượng bé.

Câu hỏi

1. Tổ nối dây của m.b.a là gì? Sự cần thiết phải xác định tổ nối dây.
2. Vẽ các sơ đồ dây quấn ứng với các tổ nối dây Y/Y - 2, 4, 8, 10 và các sơ đồ dây quấn ứng với các tổ nối dây Y/ Δ - 1, 3, 7, 9.
3. Dòng điện từ hóa m.b.a lớn hay bé, tại sao? Nó phụ thuộc vào những yếu tố nào?
4. Các kết cấu mạch từ khác nhau và cách đấu dây quấn khác nhau ảnh hưởng như thế nào đối với dòng điện và điện áp lúc không tải của m.b.a ba pha?
5. Nguyên tắc tính toán mạch từ của m.b.a như thế nào?

Bài tập

Hãy xác định tổ nối dây của các m.b.a trên hình 2-25.



Hình 2-25

Đáp số: Δ/Y -9 Δ/Δ -8; Δ/Δ -4; Y/Y-4.

Chương 3

QUAN HỆ ĐIỆN TỪ TRONG MÁY BIẾN ÁP

Trong chương này chúng ta sẽ nghiên cứu sự làm việc của m.b.a lúc tải đối xứng và mọi vấn đề có liên quan đều được xét trên một pha của m.b.a ba pha hay trên m.b.a một pha.

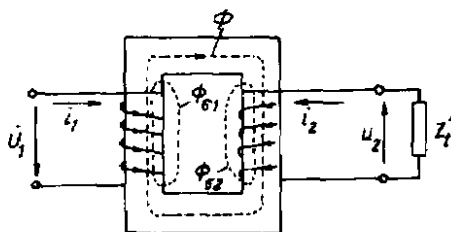
3.1. CÁC PHƯƠNG TRÌNH CƠ BẢN CỦA M.B.A

Để thấy rõ quá trình năng lượng trong m.b.a, ta hãy xét các quan hệ điện từ trong trường hợp này.

3.1.1. Phương trình cân bằng s.d.d

Hãy lấy m.b.a một pha hai dây quấn vẽ trên hình 3-1 làm ví dụ.

Khi đặt vào dây quấn sơ cấp một điện áp xoay chiều u_1 thì trong đó sẽ có dòng điện i_1 chạy qua. Nếu phía thứ cấp có tải thì trong dây quấn thứ cấp sẽ có dòng điện i_2 chạy qua. Những dòng điện i_1 và i_2 sẽ tạo nên các s.t.d sơ cấp $i_1 w_1$ và thứ cấp $i_2 w_2$. Phần lớn từ thông do $i_1 w_1$ và $i_2 w_2$ sinh



Hình 3-1. M.b.a một pha làm việc có tải

ra được khép mạch qua lõi thép móc vòng với cả hai dây quấn sơ cấp và được và thứ cấp gọi là từ thông chính Φ . Từ thông chính gây nên trong các dây quấn sơ cấp và thứ cấp những s.d.d chính như đã biết ở trên (xem §1.1.1):

$$e_1 = -w_1 \frac{d\Phi}{dt} = - \frac{d\psi_1}{dt} \quad (3-1a)$$

$$e_2 = -w_2 \frac{d\Phi}{dt} = - \frac{d\psi_2}{dt} \quad (3-1b)$$

trong đó $\psi_1 = w_1\Phi$ và $\psi_2 = w_2\Phi$ là từ thông móc vòng với dây quấn sơ cấp và thứ cấp ứng với từ thông chính Φ .

Còn một phần rất nhỏ từ thông do các s.t.đ i_1w_1 và i_2w_2 sinh ra bị tán ra ngoài lõi thép khép mạch qua không khí hay dầu gọi là các từ thông tán sơ cấp Φ_{o1} và từ thông tán thứ cấp Φ_{o2} . Từ thông tán Φ_{o1} do dòng điện i_1 sinh ra chỉ móc vòng với dây quấn sơ cấp; từ thông tán Φ_{o2} do dòng điện i_2 sinh ra chỉ móc vòng với dây quấn thứ cấp.

Các từ thông tán cũng gây nên các s.d.đ tản tương ứng

$$e_{o1} = -w_1 \frac{d\Phi_{o1}}{dt} = - \frac{d\psi_{o1}}{dt} \quad (3-2a)$$

$$e_{o2} = -w_2 \frac{d\Phi_{o2}}{dt} = - \frac{d\psi_{o2}}{dt} \quad (3-2b)$$

trong đó $\psi_{o1} = w_1\Phi_{o1}$ và $\psi_{o2} = w_2\Phi_{o2}$ là từ thông tán móc vòng với dây quấn sơ cấp và thứ cấp.

Vì các từ thông tán chủ yếu đi qua môi trường không từ tính, do đó từ thẩm $\mu = C^{te}$ (như dầu, không khí, đồng,...) và có thể xem ψ_{o1} và ψ_{o2} tỉ lệ với các dòng điện tương ứng sinh ra chúng qua các hệ số điện cảm tản L_{o1} và L_{o2} là những hằng số:

$$\psi_{o1} = L_{o1}i_1 \quad (3-3a)$$

$$\psi_{o2} = L_{o2}i_2 \quad (3-3b)$$

do đó các s.d.đ tản sơ cấp và thứ cấp có thể viết:

$$e_{o1} = -L_{o1} \frac{di_1}{dt} \quad (3-4a)$$

$$e_{o2} = -L_{o2} \frac{di_2}{dt} \quad (3-4b)$$

Theo định luật Kirchhoff 2, ta có phương trình cân bằng s.d.d của dây quấn sơ cấp:

$$u_1 + e_1 + e_{o1} = i_1 r_1 \quad (3-5)$$

trong đó r_1 là điện trở của dây quấn sơ cấp.

Phương trình (3-5) còn có thể viết dưới dạng:

$$u_1 = -e_1 - e_{o1} + i_1 r_1 \quad (3-6)$$

Đối với dây quấn thứ cấp ta có:

$$e_2 + e_{o2} = u_2 + i_2 r_2 \quad (3-7)$$

$$\text{hay : } u_2 = e_2 + e_{o2} - i_2 r_2 \quad (3-8)$$

trong đó r_2 là điện trở của dây quấn thứ cấp.

Để thấy rõ sự liên hệ về từ giữa các dây quấn sơ và thứ cấp, ta cũng có thể biểu thị các phương trình cân bằng s.d.d (3-6) và (3-8) dưới dạng khác. Như đã trình bày ở trên, ψ_1 và ψ_2 là những từ thông móc vòng với các dây quấn tương ứng khép mạch qua lõi thép và do tác dụng đồng thời của các dòng điện i_1 và i_2 sinh ra, nên ta có thể viết:

$$\psi_1 = L_{11}i_1 + L_{12}i_2 \quad (3-9a)$$

$$\psi_2 = L_{21}i_1 + L_{22}i_2 \quad (3-9b)$$

trong đó:

L_{11} , L_{22} - điện cảm của dây quấn sơ cấp và thứ cấp khi từ thông khép mạch trong lõi thép.

L_{12} , L_{21} - hồ cảm giữa các dây quấn sơ cấp và thứ cấp qua lõi thép.

Ta có thể thấy ngay rằng $L_{12} = L_{21} = M$. Vì sự liên hệ về từ nói trên được thực hiện qua lõi thép là môi trường sắt từ có: $\mu_{Fe} \neq C^{le}$ nên rõ ràng là các hệ số L_{11} , L_{22} và M không phải là những hằng số và phụ thuộc vào độ bão hòa của lõi thép.

Thay (3-9a,b) và (3-3a,b) vào các phương trình (3-6) và (3-8), ta được:

$$u_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt} + i_1 r_1 \quad (3-10a)$$

$$u_2 = - L_2 \frac{di_2}{dt} - M \frac{di_1}{dt} - i_2 r_2 \quad (3-10b)$$

trong đó:

$L_1 = L_{11} + L_{\sigma 1}$ là điện cảm toàn phần của dây quấn sơ cấp

$L_2 = L_{22} + L_{\sigma 2}$ là điện cảm toàn phần của dây quấn thứ cấp.

Các phương trình (3-10a và b) ít được dùng khi nghiên cứu sự làm việc bình thường của m.b.a mà được dùng chủ yếu khi phân tích các quá trình quá độ của m.b.a.

Nếu điện áp, s.d.đ, dòng điện là những lượng xoay chiều biến thiên theo qui luật hình sin đối với thời gian thì các phương trình cân bằng s.d.đ (3-6) và (3-8) ở trên có thể biểu diễn dưới dạng phức số như sau:

Với dây quấn sơ cấp:

$$\dot{U}_1 = - \dot{E}_1 - \dot{E}_{\sigma 1} + \dot{I}_1 r_1 \quad (3-11a)$$

Với dây quấn thứ cấp:

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 + \dot{E}_{\sigma 2} - \dot{I}_2 r_2 \quad (3-11b)$$

Khi dòng điện biến thiên hình sin theo thời gian thì trị số tức thời của s.d.đ tần sơ cấp được viết:

$$\begin{aligned} e_{\sigma 1} &= - L_{\sigma 1} \frac{dI_{1m} \sin \omega t}{dt} = - I_{1m} \omega L_{\sigma 1} \cos \omega t \\ &= \sqrt{2} I_{1x1} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \\ &= \sqrt{2} E_{\sigma 1} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \end{aligned} \quad (3-12)$$

nghĩa là s.d.đ $e_{\sigma 1}$ cũng biến thiên hình sin theo thời gian và chậm pha so với dòng điện i_1 sinh ra nó một góc 90° , do đó trị số hiệu dụng của nó có thể biểu diễn dưới dạng phức số như sau:

$$\dot{E}_{\sigma 1} = -j\dot{I}_1 x_1 \quad (3-13a)$$

trong đó $x_1 = \omega L_{\sigma 1}$ gọi là điện kháng tản của dây quấn sơ cấp.

Tương tự như vậy, ta cũng có s.d.đ. tản của dây quấn thứ cấp:

$$\dot{E}_{\sigma 2} = -j\dot{I}_2 x_2 \quad (3-13)$$

trong đó $x_2 = \omega L_{\sigma 2}$ gọi là điện kháng tản của dây quấn thứ cấp.

Thay các trị số của $\dot{E}_{\sigma 1}$ và $\dot{E}_{\sigma 2}$ vào các phương trình (3-11) cuối cùng ta có các phương trình cân bằng s.d.đ. cho mạch sơ cấp và thứ cấp viết dưới dạng phức số.

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 + j\dot{I}_1 x_1 + \dot{I}_1 r_1 \\ &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 (r_1 + jx_1) \\ &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 z_1 \end{aligned} \quad (3-14a)$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_2 &= \dot{E}_2 - j\dot{I}_2 x_2 - \dot{I}_2 r_2 \\ &= \dot{E}_2 - \dot{I}_2 (r_2 + jx_2) \\ &= \dot{E}_2 - \dot{I}_2 z_2 \end{aligned} \quad (3-14b)$$

Trong các phương trình này $z_1 = r_1 + jx_1$ và $z_2 = r_2 + jx_2$ là tổng trở của dây quấn sơ cấp và thứ cấp. Các thành phần I_{1z1} và I_{2z2} gọi là các điện áp rơi trên các dây quấn sơ cấp và thứ cấp.

3.1.2. Phương trình cân bằng s.t.đ

Như trên ta đã thấy, lúc m.b.a làm việc có tải, từ thông chính trong máy là do s.t.đ tổng sơ cấp và thứ cấp $(i_1 w_1 + i_2 w_2)$ tạo nên. Bây giờ nếu hở mạch thứ cấp ra, lúc này m.b.a làm việc ở tình trạng không tải và dòng điện trong dây quấn sơ cấp là i_0 , thì từ thông chính trong lõi thép còn do s.t.đ $i_0 w_1$ sinh ra. Nếu bỏ qua điện áp rơi trong m.b.a, ta có thể xem điện áp đặt vào dây quấn sơ cấp bằng s.d.đ cảm ứng trong nó do từ thông chính gây nên: $U_1 \approx E_1 = 4,44 f w_1 \Phi_m$. Nhưng điện áp U_1 đặt vào thường được giữ bằng điện áp định mức và luôn luôn không đổi dù m.b.a làm việc có hay không tải, nên s.d.đ E_1 và do đó từ thông Φ_m trong m.b.a cũng luôn luôn có trị số không đổi. Như vậy, nghĩa là s.t.đ. $(i_1 w_1 + i_2 w_2)$ sinh ra từ thông chính Φ_m lúc có tải phải bằng s.t.đ $i_0 w_1$ lúc không tải để bảo đảm cũng sinh ra được một

từ thông chính Φ_m .

Do đó ta có phương trình cân bằng s.t.đ:

$$i_1 w_1 + i_2 w_2 = i_0 w_1 \quad (3-15)$$

Khi dòng điện là những hàm số hình sin theo thời gian, ta có thể viết phương trình cân bằng s.t.đ dưới dạng phức số như sau:

$$\dot{I}_1 w_1 + \dot{I}_2 w_2 = \dot{I}_0 w_1 \quad (3-16)$$

Chia hai vế của phương trình (3-16) cho w_1 ta có:

$$\dot{I}_1 + \dot{I}_2 \frac{w_2}{w_1} = \dot{I}_0 \quad (3-17)$$

$$\text{hay: } \dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \left(- \frac{w_2}{w_1} \dot{I}_2 \right) \quad (3-18)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}'_2) \quad (3-19)$$

$$\text{trong đó: } \dot{I}'_2 = \dot{I}_2 \frac{w_2}{w_1}$$

Từ biểu thức (3-19) ta thấy, lúc m.b.a có tải, dòng điện trong dây quấn sơ cấp $\dot{I}_1$ gồm hai thành phần: một thành phần là $\dot{I}_0$ dùng để tạo nên từ thông chính trong lõi thép và một thành phần là $(-\dot{I}'_2)$ dùng để bù lại tác dụng của dòng điện thứ cấp. Do đó khi tải tăng lên, tức dòng điện thứ cấp $\dot{I}_2$ tăng lên thì thành phần $(-\dot{I}'_2)$ cũng tăng lên, nghĩa là dòng điện sơ cấp $\dot{I}_1$ cũng tăng lên để giữ sao cho dòng điện $\dot{I}_0$ bảo đảm sinh ra từ thông trong máy hầu như không đổi. Chính vì thế dây quấn sơ cấp nhận thêm năng lượng từ lưới để truyền sang dây quấn thứ cấp, cung cấp cho tải.

3.2. MẠCH ĐIỆN THAY THẾ CỦA M.B.A

Như đã trình bày ở trên, m.b.a truyền tải công suất dựa vào sự hổ cảm giữa các dây quấn sơ cấp và thứ cấp thông qua lõi thép là mạch từ có $\mu_{Fe} \neq C^{te}$. Việc nghiên cứu các chế độ làm việc của m.b.a dựa vào sự tính toán phối hợp mạch điện và mạch từ ứng với các mức độ bão hòa khác nhau của lõi thép gặp rất

nhiều khó khăn. Vì vậy để được đơn giản trong tính toán đối với bản thân m.b.a cũng như đối với toàn bộ lưới điện trong đó ngoài m.b.a ra còn có máy phát điện, đường dây và hệ dùng điện, người ta thay các mạch điện và mạch từ của m.b.a bằng một mạch điện tương đương gồm các điện trở và điện kháng đặc trưng cho m.b.a gọi là mạch điện thay thế của m.b.a.

Để có thể nối trực tiếp mạch sơ cấp và thứ cấp với nhau thành một mạch điện, các dây quấn sơ cấp và thứ cấp phải có cùng một điện áp. Trên thực tế, điện áp của các dây quấn đó lại khác nhau ($U_1 \neq U_2$). Vì vậy phải qui đổi một trong hai dây quấn về dây quấn kia để cho chúng có cùng một cấp điện áp. Muốn vậy hai dây quấn phải có số vòng dây như nhau. Thường người ta qui đổi dây quấn thứ cấp về dây quấn sơ cấp, nghĩa là coi như dây quấn thứ cấp cũng có số vòng dây bằng số vòng dây của dây quấn sơ cấp ($w_2 = w_1$). Như đã nói ở trên, việc qui đổi đó chỉ cốt để thuận tiện cho việc tính toán chứ tuyệt nhiên không được làm thay đổi các quá trình vật lý và năng lượng xảy ra trong m.b.a như công suất truyền tải, tổn hao, năng lượng tích lũy trong từ trường của m.b.a.

Dưới đây trước khi suy ra mạch điện thay thế của m.b.a, ta hãy qui đổi dây quấn thứ cấp về dây quấn sơ cấp.

3.2.1. Qui đổi m.b.a

Trước hết tất cả những lượng đã qui đổi từ thứ cấp về sơ cấp được gọi là những lượng qui đổi và được ký hiệu thêm một dấu phẩy (') trên đầu như s.d.d thứ cấp qui đổi E'_2 dòng điện thứ cấp qui đổi I'_2 ...

i. S.d.d và điện áp thứ cấp qui đổi E'_2 và U'_2 . Do qui đổi dây quấn thứ cấp về dây quấn sơ cấp $w_2 = w_1$ nên s.d.d thứ cấp qui đổi lúc này đúng bằng s.d.d sơ cấp:

$$E'_2 = E_1$$

Ta đã biết:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2}$$

nên :
$$E_1 = \frac{w_1}{w_2} E_2$$

do đó :
$$E'_2 = \frac{w_1}{w_2} E_2 = k E_2 \quad (3-20)$$

trong đó : $k = w_1/w_2$

gọi là hệ số qui đổi thứ cấp về sơ cấp.

Tương tự điện áp thứ cấp qui đổi:

$$U'_2 = k U_2 \quad (3-21)$$

Như vậy là khi m.b.a có tỷ số biến đổi k , việc qui đổi dây quấn thứ cấp về sơ cấp tương đương với việc thay đổi s.d.d (hay điện áp) thứ cấp k lần để có trị số bằng s.d.d (hay điện áp) sơ cấp.

2. *Dòng điện thứ cấp qui đổi I'_2 .* Việc qui đổi phải bảo đảm sao cho công suất thứ cấp của m.b.a trước và sau khi qui đổi không thay đổi, nghĩa là:

$$E_2 I_2 = E'_2 I'_2$$

Do đó dòng điện thứ cấp qui đổi:

$$I'_2 = \frac{E_2}{E'_2} I_2 = \frac{1}{k} I_2 \quad (3-22)$$

Điều đó cũng có nghĩa là để bảo đảm cho công suất trong mạch thứ cấp không đổi, thì nếu E_2 tăng lên k lần, I_2 phải giảm xuống k lần hay ngược lại.

3. *Điện trở, điện kháng và tổng trở thứ cấp qui đổi.* Khi qui đổi, vì công suất không thay đổi nên tổn hao đồng ở dây quấn thứ cấp trước và sau khi qui đổi phải bằng nhau:

$$I_2^2 r_2 = I'^2_2 r'_2$$

do đó điện trở thứ cấp qui đổi:

$$r'_2 = \left(\frac{I_2}{I'_2} \right)^2 r_2 = k^2 r_2 \quad (3-23a)$$

Về mặt vật lý, điều này có nghĩa là khi qui đổi, nếu dòng điện I_2 giảm đi k lần, để giữ cho tổn hao trong dây quấn không đổi, vì tổn hao đồng tỷ lệ với bình phương dòng điện, thì điện trở phải tăng lên k^2 lần.

Tương tự ta có điện kháng thứ cấp qui đổi:

$$x'_2 = k^2 x_2 \quad (3-23b)$$

tổng trở thứ cấp qui đổi:

$$\begin{aligned} z'_2 &= r'_2 + jx'_2 \\ &= k^2(r_2 + jx_2) \\ &= k^2 z_2. \end{aligned} \quad (3-23c)$$

Đối với tải ở mạch thứ cấp ta cũng có:

$$z'_1 = k^2 z_1 \quad (3-23d)$$

trong đó $z_1 = r_1 + jx_1$ là tổng trở tải lúc chưa qui đổi.

4. Các phương trình qui đổi. Thay các lượng qui đổi vào các phương trình cân bằng s.d.d và s.t.d ở trên, ta được hệ thống các phương trình đó viết dưới dạng qui đổi như sau:

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 z_1 \quad (3-24)$$

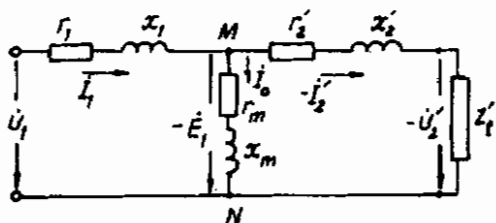
$$\dot{U}'_2 = \dot{E}'_2 - \dot{I}'_2 z'_2 \quad (3-25)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}'_0 - \dot{I}'_2 \quad (3-26)$$

Sau này việc nghiên cứu m.b.a chủ yếu dựa vào các phương trình qui đổi này.

3.2.2. Mạch điện thay thế của m.b.a

Dựa vào các phương trình s.d.d và s.t.d. dưới dạng đã qui đổi, ta có thể suy ra một mạch điện tương ứng gọi là mạch điện thay thế của m.b.a như trình



Hình 3-2. Mạch điện thay thế hình T của m.b.a

bày ở hình 3-2. Rõ ràng là phương trình Kirkhoff 2 viết cho điện áp và s.d.d. của các mạch vòng 1 và 2 và phương trình Kirkhoff 1 viết cho các dòng điện ở nút M của mạch điện đó hoàn toàn phù hợp với các phương trình cân bằng s.d.d. (3-24), (3-26) đã thành lập ở trên.

Trong mạch điện thay thế nói trên, tổng trở z_m được suy ra như sau: vì từ thông chính Φ được xem như do dòng điện i_o sinh ra, nên các từ thông móc vòng ψ_2 và ψ_1 ở các biểu thức : (3-1a,b), có thể viết dưới dạng:

$$\psi_2 = M i_o \quad (3-27a)$$

$$\text{và} \quad \psi_1 = k M i_o \quad (3-27b)$$

do đó:

$$e_1 = -kM \frac{di_o}{dt} \quad (3-28a)$$

$$e_2 = -M \frac{di_o}{dt} \quad (3-28b)$$

Giả thử rằng i_o biến thiên hình sin theo thời gian, ta có thể viết:

$$E_1 = E'_2 = -j\omega k M I_o = -j I_o x_m \quad (3-29)$$

trong đó x_m biểu thị cho sự hỗ cảm giữa mạch sơ cấp và thứ cấp ứng với từ thông chính Φ .

Tổn hao sắt từ trong lõi thép như đã biết trong giáo trình "Cơ sở kỹ thuật điện", có thể biểu thị được bằng tổn hao trên điện trở r_m đặt nối tiếp với x_m và có trị số:

$$r_m = \frac{P_{Fe}}{I_o^2} \quad (3-30)$$

Do đó cuối cùng ta có:

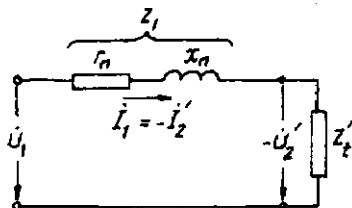
$$\dot{E}_1 = \dot{E}'_2 = \dot{I}_o (r_m + jx_m) = \dot{I}_o z_m \quad (3-31)$$

Như vậy ta đã thay thế m.b.a thực gồm các mạch điện sơ cấp, thứ cấp riêng biệt và mạch từ của nó bằng một mạch điện thống

nhất. Từ đó m.b.a được xem như một mạng 4 cực hình T có ba nhánh: hai nhánh sơ cấp và thứ cấp có tổng trở $z_1 = r_1 + jx_1$ và $z'_2 = r'_2 + jx'_2$ biểu thị điện trở và điện kháng tương ứng của từng dây quấn, các dòng điện chạy trong chúng là $\dot{I}_1$ và $(-\dot{I}'_2)$ và nhánh thứ ba còn gọi là nhánh từ hóa có tổng trở $z_m = r_m + jx_m$ với dòng điện từ hóa $\dot{I}_0$, biểu thị các hiện tượng trong lõi thép và liên hệ giữa các dây quấn sơ cấp và thứ cấp.

3.2.3. Mạch điện thay thế đơn giản

Trên thực tế thường $z_m \gg z_1$ và z'_2 (nếu biểu thị theo đơn vị tương đối, thường $z_{m*} = 10 \div 50$, còn $z_{1*} \approx z'_{2*} = 0,025 \div 0,010$) nên trong nhiều trường hợp có thể xem $z_m = \infty$, nghĩa là coi $\dot{I}_0 = 0$, do đó $\dot{I}_1 = -\dot{I}'_2$. Như vậy m.b.a có thể thay bằng một mạch điện rất đơn giản như ở hình 3-3 với một tổng trở đẳng trị của mạch sơ cấp và thứ cấp gọi là tổng trở ngắn mạch của m.b.a.



Hình 3-3. Mạch điện thay thế đơn giản của m.b.a

$$z_n = r_n + jx_n$$

với $r_n = r_1 + r'_2$

và $x_n = x_1 + x'_2$

Sở dĩ có tên như vậy là vì tổng trở đẳng trị trên đúng bằng tổng trở khi ngắn mạch thứ cấp m.b.a (nghĩa là $U_2 = 0$) mà nó có thể xác định được từ thí nghiệm ngắn mạch (xem §3.4).

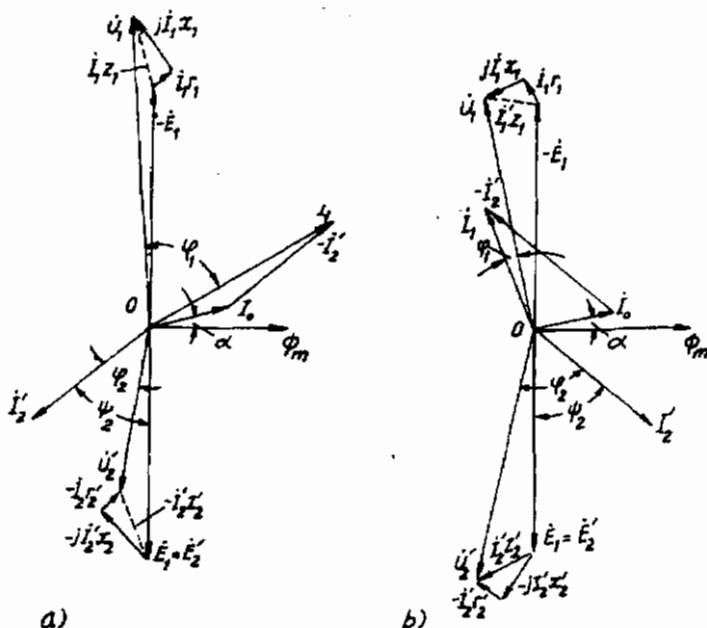
3.3. ĐỒ THỊ VECTƠ CỦA M.B.A

Để thấy rõ quan hệ về trị số và góc lệch pha giữa các lượng vật lý trong m.b.a như từ thông s.d.d, dòng điện... đồng thời, để thấy rõ được sự biến thiên của các lượng vật lý đó ở những chế độ làm việc khác nhau, ta vẽ đồ thị vectơ của m.b.a.

Hình 3-4a là đồ thị vectơ của m.b.a trong trường hợp tải có tính chất điện cảm. Đồ thị vectơ được vẽ dựa vào các phương trình cân bằng s.d.d và s.t.d (3-24) - (3-26). Đặt vectơ từ thông Φ_m theo chiều dương trục hoành, dòng điện không tải I_0 sinh ra Φ_m vượt trước một góc α . Các s.d.d E'_1 và $E'_2 \Rightarrow E_1$ do Φ_m sinh ra chậm sau nó một góc 90° . Vì tải có tính chất điện cảm, dòng điện I'_2 chậm sau s.d.d E'_2 một góc ψ_2 quyết định bởi điện kháng và điện trở của tải và đây quán thứ cấp:

$$\psi_2 = \arctg \frac{x'_1 + x'_2}{r'_1 + r'_2}$$

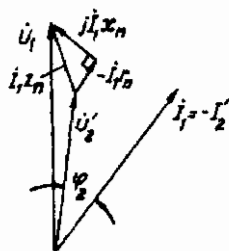
Theo phương trình (3-26) ta có vectơ dòng điện $\dot{I}_1$ bằng vectơ dòng điện $\dot{I}_0$ cộng với vectơ dòng điện $(-\dot{I}'_2)$. Theo phương trình (3-25) vectơ điện áp $\dot{U}'_2$ là tổng hình học của các vectơ $\dot{E}'_2$ với



Hình 3-4. Đồ thị vectơ của m.b.a: a. lúc tải có tính chất điện cảm; b. lúc tải có tính chất điện dung

s.d.d tần $\dot{E}'_{o2} = -j\dot{I}'_2 x'_2$ và điện áp rơi $-\dot{I}'_2 r'_2$. Ở trường hợp này $\dot{I}'_2$ chậm sau $\dot{U}'_2$ một góc φ_2 và trị số điện áp $U'_2 < E'_2$. Vectơ điện áp $\dot{U}_1$ được vẽ theo phương trình (3-24) là tổng của các vectơ $-\dot{E}_1$, $\dot{I}_1 r_1$ và $j\dot{I}_1 x_1$. Góc giữa $\dot{U}_1$ và $\dot{I}_1$ là φ_1 .

Đồ thị vectơ của m.b.a lúc tải có tính chất điện dung vẽ trên hình 3-4b. Cách vẽ không có gì đặc biệt so với trường hợp trên. Kết quả $\dot{I}'_2$ vượt trước $\dot{U}'_2$ một góc φ_2 và $U'_2 > E'_2$. Chú ý rằng để cho dễ thấy, ở đây tỉ lệ xích điện áp rơi ta vẽ lớn hơn thực tế nhiều.



Tương ứng với mạch điện thay thế đơn giản ta có đồ thị vectơ đơn giản ở hình 3-5. Trong đó $\dot{I}_0 = 0$. Để dễ thấy quan hệ giữa điện áp sơ cấp, thứ cấp và điện áp rơi trong m.b.a, ta vẽ các vectơ $-\dot{U}'_2$ và $-\dot{I}'_2$, tức $\dot{U}'_2$ và $\dot{I}'_2$ đã quay đi 180° . Lúc này điện áp:

Hình 3-5. Đồ thị vectơ của m.b.a ứng với giản đồ thay thế đơn giản lúc tải có tính chất điện cảm

$$\begin{aligned}\dot{U}_1 &= \dot{U}'_2 + \dot{I}_1 z_n \\ &= -\dot{U}'_2 + \dot{I}_1 r_n + j\dot{I}_1 x_n\end{aligned}\quad (3-32)$$

3.4. CÁCH XÁC ĐỊNH CÁC THAM SỐ CỦA M.B.A

Các tham số của m.b.a có thể xác định bằng thí nghiệm hoặc bằng tính toán.

3.4.1. Phương pháp xác định các tham số bằng thí nghiệm

Hai thí nghiệm dùng để xác định các tham số là thí nghiệm không tải và thí nghiệm ngắn mạch.

1. Thí nghiệm không tải

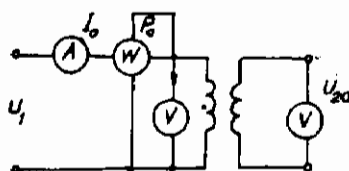
Sơ đồ thí nghiệm như ở hình 3-6. Đặt điện áp hình sin vào dây quấn sơ cấp với $U_1 = U_{1dm}$, hở mạch dây quấn thứ cấp. Nhờ

V_{met} , A_{met} và W_{met} sẽ đo được điện áp sơ cấp U_1 , thứ cấp U_{20} , dòng điện I_0 và công suất P_0 lúc không tải.

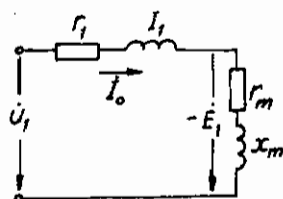
Từ các số liệu thí nghiệm ta xác định được tổng trở, điện trở và điện kháng m.b.a lúc không tải:

$$z_0 = \frac{U_1}{I_0}; r_0 = \frac{P_0}{I_0^2} \text{ và } x_0 = \sqrt{z_0^2 - r_0^2} \quad (3-33)$$

thường $z_{0*} \approx x_{0*} = 10 \div 50$ và $r_{0*} = 1,0 \div 5,0$



Hình 3-6. Sơ đồ thí nghiệm không tải của m.b.a một pha



Hình 3-7. Mạch điện thay thế của m.b.a lúc không tải

Ngoài ra còn xác định được tỉ số biến đổi của m.b.a:

$$k = \frac{w_1}{w_2} \approx \frac{U_1}{U_{20}} \quad (3-34)$$

và hệ số công suất lúc không tải:

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_1 I_0} \quad (3-35)$$

Lúc m.b.a không tải, tức $I'_2 = 0$, mạch điện thay thế của m.b.a có dạng như ở hình 3-7. Như vậy các tham số không tải z_0 , r_0 và x_0 chính là:

$$z_0 = |z_1 + z_m|; r_0 = r_1 + r_m \text{ và } x_0 = x_1 + x_m \quad (3-36)$$

Trong các m.b.a điện lực thường r_1 và x_1 nhỏ hơn rất nhiều so với r_m và x_m nên có thể xem tổng trở, điện trở và điện kháng không tải bằng các tham số từ hóa tương ứng:

$$z_o \approx z_m; r_o \approx r_m \text{ và } x_o \approx x_m \quad (3-37)$$

Cũng vì lý do đó, công suất lúc không tải P_o , thực tế có thể xem là tổn hao sắt P_{Fe} do từ trễ và dòng điện xoáy trong lõi thép gây nên:

$$P_o = P_{Fe} \quad (3-38)$$

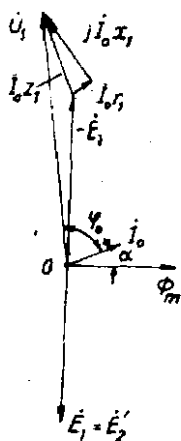
Vì điện áp sơ cấp đặt vào không thay đổi, nên Φ , do đó B không thay đổi, nghĩa là tổn hao sắt - tức tổn hao không tải không thay đổi.

Khi không tải, ta có hệ thống phương trình:

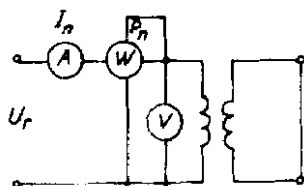
$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_o z_1 \\ &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_o (r_1 + jx_1) \end{aligned} \quad (3-39)$$

$$\dot{U}_{20} = \dot{E}'_2 \quad (3-40)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_o \quad (3-41)$$



Hình 3-8. Đồ thị vectơ của m.b.a không tải



Hình 3-9. Sơ đồ thí nghiệm ngắn mạch của m.b.a một pha

Do đó đồ thị vectơ tương ứng có dạng như vẽ ở hình 3-8. Từ đồ thị vectơ ta thấy, góc giữa U_1 và I_o là $\varphi_o \approx 90^\circ$, nghĩa là hệ số công suất lúc không tải rất thấp, thường $\cos \varphi_o \leq 0,1$. Điều này có ý nghĩa thực tế lớn là không nên để m.b.a vận hành không tải hoặc non tải, vì lúc đó sẽ làm xấu hệ số công suất của lưới điện.

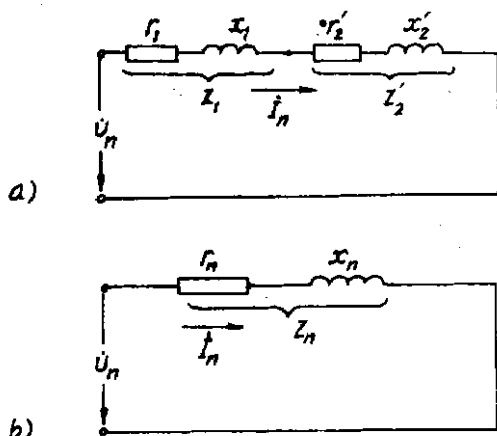
2. Thí nghiệm ngắn mạch.

Sơ đồ thí nghiệm như ở hình 3-9, trong đó dây quấn thứ cấp

bị nối ngắn mạch và điện áp đặt vào dây quấn sơ cấp phải được hạ thấp sao cho dòng điện trong đó bằng dòng điện định mức. Cũng như thí nghiệm không tải từ các số liệu thí nghiệm ngắn mạch U_n , I_n và P_n đo được, ta xác định được các tham số ngắn mạch của m.b.a:

$$z_n = \frac{U_n}{I_n}; \quad r_n = \frac{P_n}{I_n^2} \quad \text{và} \quad x_n = \sqrt{z_n^2 - r_n^2} \quad (3-42)$$

Vì lúc ngắn mạch, điện áp đặt vào rất bé, nên từ thông chính lúc ngắn mạch rất bé, nghĩa là dòng điện từ hóa trong trường hợp này cũng rất bé. Do đó, mạch điện thay thế của m.b.a có thể xem như hồ mạch từ hóa và còn lại một mạch nối tiếp của hai tổng trở sơ cấp và thứ cấp (hình 3-10a), hay đơn giản hơn ta thay bằng một tổng trở đẳng trị (hình 3-10b) gọi là tổng trở ngắn mạch của m.b.a.



Hình 3-10. Mạch điện thay thế của m.b.a lúc ngắn mạch

$$z_n = z_1 + z_2'; \quad r_n = r_1 + r_2' \quad \text{và} \quad x_n = x_1 + x_2' \quad (3-43)$$

Thường $z_1 \approx z_2' = 0,025 + j0,10$.

Vì lý do dòng điện i_0 rất nhỏ nên ta xem rằng công suất lúc ngắn mạch là công suất dùng để bù vào tổn hao đồng trong dây quấn sơ cấp và thứ cấp của m.b.a:

$$\begin{aligned}
 P_n &= P_{cu1} + P_{cu2} = I_{1n}^2 r_1 + I_{2n}^2 r'_2 = \\
 &= I_{1n}^2 (r_1 + r'_2) = I_{1n}^2 r_n \quad (3-44)
 \end{aligned}$$

Từ mạch điện thay thế lúc ngắn mạch (hình 3-10b) ta thấy rõ: điện áp đặt vào lúc ngắn mạch hoàn toàn cân bằng với điện áp rơi trong m.b.a, hay nói khác, điện áp ngắn mạch gồm hai thành phần:

Thành phần tác dụng:

$$U_{nr} = I_1 r_n \quad (3-45)$$

là điện áp rơi trên điện trở và thành phần phản kháng:

$$U_{nx} = I_1 x_n \quad (3-46)$$

là điện áp rơi trên điện kháng của m.b.a.

Đồ thị vectơ của m.b.a ngắn mạch với $I_n = I_{dm}$ vẽ ở trên hình 3-11a và b. Tam giác OAB gọi là tam giác điện áp ngắn mạch. Cạnh huyền biểu thị điện áp ngắn mạch toàn phần U_n , các cạnh góc vuông chính là điện áp rơi trên điện trở và điện kháng:

$$U_{nr} = U_n \cos \varphi_n \quad (3-47)$$

$$U_{nx} = U_n \sin \varphi_n$$

trong đó φ_n là góc giữa U_n và I_n .

Như vậy điện áp ngắn mạch có thể xem như một đại lượng đặc trưng cho điện trở và điện kháng tản của dây quấn m.b.a. Trong các m.b.a điện lực, điện áp ngắn mạch được ghi trên nhãn của máy và thường được biểu diễn bằng tỉ lệ phần trăm so với điện áp định mức:

$$u_n \% = \frac{U_n}{U_{dm}} \cdot 100 = \frac{I_{dm} \cdot z_n}{U_{dm}} \cdot 100 \quad (3-49)$$

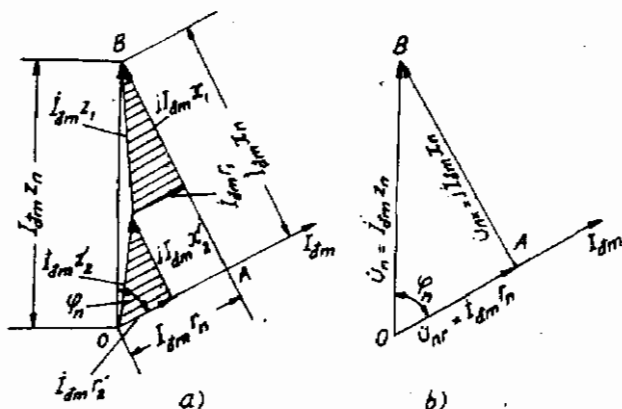
và các thành phần điện áp ngắn mạch là:

$$u_{nr} \% = \frac{U_{nr}}{U_{dm}} \cdot 100 = \frac{I_{dm} r_n}{U_{dm}} \cdot 100 \quad (3-50)$$

$$u_{nx} \% = \frac{U_{nx}}{U_{dm}} 100 = \frac{I_{dm} x_n}{U_{dm}} 100 \quad (3-51)$$

Thành phần điện áp ngắn mạch tác dụng cũng có thể tính như sau:

$$\begin{aligned} u_{nr} \% &= \frac{I_{dm} r_n}{U_{dm}} \frac{I_{dm}}{I_{dm}} \cdot 100 = \frac{I_{dm} r_n}{S} 100 \\ &= \frac{P_n (W)}{10 S_{dm} (kVA)} \end{aligned} \quad (3-52)$$



Hình 3-11. a. Đồ thị vectơ của m.b.a ngắn mạch;
b. tam giác điện áp ngắn mạch

Thường $u_n \% = 5,5 \div 15$. Số đầu là đối với các m.b.a điện lực $U_{dm} \leq 35 \text{ kV}$, số sau là đối với các m.b.a $U_{dm} = 500 \text{ kV}$.

Chú ý: Ngắn mạch ở trên là do ta tiến hành thí nghiệm với điện áp đặt vào rất nhỏ để cho $I_n = I_{dm}$, thường gọi là ngắn mạch thí nghiệm. Trường hợp m.b.a đang làm việc với điện áp sơ cấp định mức, nếu thứ cấp xảy ra ngắn mạch (như hai dây chập nhau, đứt dây, chạm đất...) thì ta gọi là ngắn mạch vận hành hay ngắn mạch sự cố. Lúc này toàn bộ điện áp định mức đặt lên tổng trở ngắn mạch rất nhỏ của m.b.a, nên dòng điện ngắn mạch

sự cố sẽ rất lớn:

$$I_n = \frac{U_{dm}}{z_n} \quad (3-53)$$

hay:

$$\begin{aligned} I_n &= \frac{U_{dm}}{z_n \frac{I_{dm}}{I_{dm}} 100} 100 = \frac{I_{dm}}{\frac{z_n I_{dm}}{U_{dm}} 100} 100 \\ &= \frac{I_{dm}}{u_n \%} 100 \end{aligned} \quad (3-54)$$

Ví dụ một m.b.a có $u_n \% = 10$ thì dòng điện ngắn mạch sự cố:

$$I_n = \frac{I_{dm}}{10} 100 = 10I_{dm}$$

Dòng điện ngắn mạch lớn sẽ gây nên sự cố hư hỏng m.b.a. Do đó trong những trường hợp đó cần phải bố trí những thiết bị role bảo vệ, tự động cắt phần sự cố ra khỏi lưới điện.

3.1.2. Xác định tham số bằng tính toán

Các tham số của mạch từ hoá có thể dễ dàng xác định từ cách tính toán mạch từ của m.b.a.

Điện trở từ hoá r_m có thể xác định theo biểu thức (3-30), trong đó p_{Fe} xác định theo biểu thức (2-3) và I_o theo biểu thức (2-14) (xem §2.2).

Điện kháng từ hóa x_m xác định đúng theo biểu thức:

$$x_m = \frac{E_1}{I_{ox}} \quad (3-35)$$

trong đó I_{ox} tính theo biểu thức (2-9) hoặc (2-13) (xem §2.2).

Dưới đây ta sẽ trình bày cách xác định các tham số ngắn mạch.

a. Điện trở ngắn mạch. Các điện trở của dây quấn sơ cấp và thứ cấp có thể tính được nếu biết các số liệu của dây quấn: tiết diện dây dẫn S_1 và S_2 , số vòng dây w_1 và w_2 và chiều dài trung bình của các vòng dây $l_{tb.1}$ và $l_{tb.2}$:

$$r_1 = k_r \rho_{75} \frac{w_1 \cdot l_{tb.1}}{S_1}, \Omega \quad (3-56a)$$

và

$$r_2 = k_r \rho_{75} \frac{w_2 \cdot l_{tb.2}}{S_2}, \Omega \quad (3-56b)$$

trong đó $k_r = 1,03 + 1,05$ là hệ số kể đến tổn hao gây nên bởi từ trường tản.

$\rho_{75} = \frac{1}{47}$ là điện trở suất của đồng ở 75°C ; (đối với nhôm thì

$$\rho_{75} = \frac{1}{29}).$$

Do đó điện trở ngắn mạch:

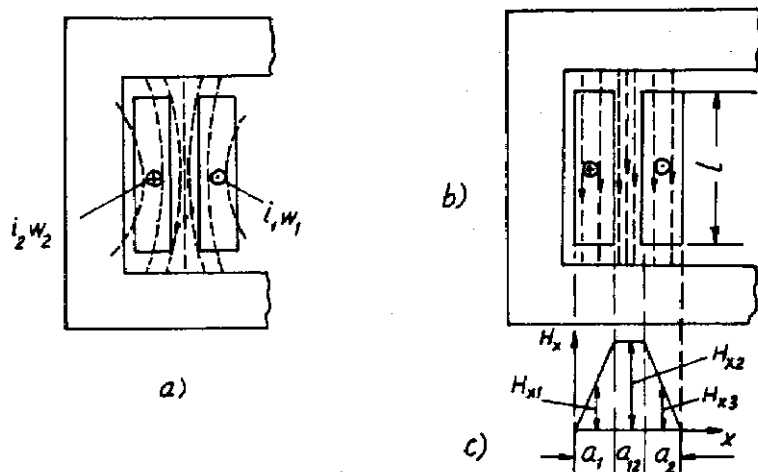
$$r_n = r_1 + \left(\frac{w_1}{w_2}\right)^2 r_2 \quad (3-57)$$

b. Điện kháng ngắn mạch. Việc xác định x_1 và x_2 liên quan đến việc xác định sự phân bố từ trường tản của từng dây quấn. Nhưng việc xác định một cách chính xác sự phân bố của từ trường này rất phức tạp, do đó x_1 và x_2 chỉ có thể tính toán gần đúng với những giả thiết đơn giản. Hãy lấy một trường hợp của dây quấn hình trụ vẽ trên hình 3-12a làm thí dụ. Trước hết ta giả thiết s.t.d $i_1 w_1 = -i_2 w_2$ (nghĩa là bỏ qua s.t.d $i_0 w_1$) và quan niệm một cách lý tưởng rằng các đường sức của từ trường tản chạy song song với trục dây quấn (hình 3-12b) với chiều dài tính toán l_0 lớn hơn chiều dài thực l của dây quấn một ít, nghĩa là:

$$l_r = \frac{l}{k_R} \quad (3-58)$$

trong đó $k_R = 0,93 + 0,98$ là hệ số qui đổi từ trường tản lý tưởng về

từ trường tản thực tế, còn gọi là hệ số Rôgôvski (xem tài liệu thiết kế m.b.a).



Hình 3-12. Từ trường tản của dây quấn hình trụ
(a, b) và đường biểu diễn cường độ từ trường (c)

Theo định luật toàn dòng điện:

$$\oint H dl = \sum w_i,$$

nhưng vì đối với lõi thép $\mu_{Fe} = \infty$ nên $H_{Fe} = 0$, do đó có thể xem:

Trong phạm vi a_1 ($0 \leq x \leq a_1$):

$$H_{x1} l_\sigma = \sum w_i = w_1 i_1 \frac{x}{a_1},$$

do đó:

$$H_{x1} = \frac{w_1 i_1}{l_\sigma} \frac{x}{a_1} \quad (3-59)$$

Trong phạm vi a_{12} ($a_1 \leq x \leq a_1 + a_{12}$):

$$H_{x2} l_\sigma = \sum w_i = w_1 i_1,$$

do đó :

$$H_{x2} = \frac{w_1 i_1}{l_\sigma} \quad (3-60)$$

Trong phạm vi a_2 ($a_1 + a_{12} \leq x \leq a_1 + a_{12} + a_2$) :

$$\begin{aligned} H_{x3} l_\sigma &= \sum w_i = w_1 i_1 + w_2 i_2 \frac{x - (a_1 + a_{12})}{a_2} \\ &= w_1 i_1 - \frac{x - a_1 - a_{12}}{a_2} w_1 i_1, \end{aligned}$$

do đó:

$$H_{x3} = \frac{w_1 i_1}{l_\sigma} \frac{a_1 + a_{12} + a_2 - x}{a_2} \quad (3-61)$$

Đồ thị biểu diễn sự phân bố cường độ từ trường theo x được vẽ trên hình 3-12c.

Xác định một cách chính xác biên giới phân chia từ trường tản của hai dây quấn rất khó khăn, do đó việc tính toán riêng lẻ các tham số x_1 và x_2 không thể thực hiện được. Song ta có thể xác định được diện kháng tổng $x_1 + x_2$ với qui ước biên giới phân chia từ trường tản của hai ống dây sơ cấp và thứ cấp là đường chấm gạch ở chính khe hở a_{12} (hình 3-12b).

Coi đường kính trung bình của cả hai ống dây là D_{th} và bỏ qua sự thay đổi của đường kính theo chiều x thì từ thông qua ống dây dày dx cách một khoảng x ở trong phạm vi a_1 là:

$$d\Phi_1 = \mu H_{x1} \pi D_{th} dx$$

móc vòng với một số vòng dây:

$$w_x = \frac{x}{a_1} w_1$$

Tương tự như vậy, trong phạm vi a_{12} , từ thông :

$$d\Phi_2 = \mu_0 H_{x2} \pi D_{th} dx$$

móc vòng với một số vòng dây là w_1 vòng.

Như vậy từ thông móc vòng với toàn bộ dây quấn 1 là:

$$\begin{aligned}\psi_1 &= \int_0^{a_1} \frac{x}{a_1} w_1 \mu_0 \frac{w_1 i_1}{l_\sigma} \frac{x_1}{a_1} \pi D_{tb} dx + \\ &+ \int_{a_1}^{a_1 + \frac{a_{12}}{2}} w_1 \mu_0 \frac{w_1 i_1}{l_\sigma} \pi D_{tb} dx = \\ &= \frac{\mu_0 w_1^2 i_1 \pi D_{tb}}{l_\sigma} \left(\frac{a_2}{3} + \frac{a_{12}}{2} \right).\end{aligned}\quad (3-62)$$

Đối với dây quấn 2 cũng tính toán tương tự ta có từ thông móc vòng:

$$\psi_2 = \frac{\mu_0 w_1^2 i_1 \pi D_{tb}}{l_\sigma} \left(\frac{a_2}{3} + \frac{a_{12}}{2} \right).\quad (3-63)$$

Do đó điện kháng ngắn mạch:

$$\begin{aligned}x_n &= x_1 + x_2 = 2\pi f \frac{\psi_1 + \psi_2}{i_1} = \\ &= 2\pi \mu_0 f w_1^2 \frac{\pi D_{tb} k_R}{l_\sigma} \left(a_{12} + \frac{a_1 + a_2}{3} \right).\end{aligned}\quad (3-64)$$

Biểu thức (3-64) cho thấy x_n phụ thuộc vào các kích thước hình học a_1 , a_2 , a_{12} và l_σ . Thông thường các kích thước này được chọn sao cho bảo đảm sự làm việc của m.b.a (về khoảng cách cách điện, khoảng cách làm lạnh...) và phí tổn về kim loại là ít nhất. Chiều cao của các dây quấn thường phải bảo đảm bằng nhau, bởi vì nếu không sẽ làm tăng x_n , tăng tổn hao do từ trường tản và những lực cơ học tác dụng lên các dây quấn khi ngắn mạch.

Thí dụ

Cho một m.b.a ba pha có các số liệu sau đây: $S_{dm} = 5600 \text{ kVA}$;
 $U_1/U_2 = 35000/66000 \text{ V}$; $I_1/I_2 = 92,5/490 \text{ A}$; $P_o = 18,5 \text{ kW}$;

$I_o = 4,5\%$; $u_n = 7,5\%$; $P_n = 57 \text{ kW}$; $f = 50 \text{ Hz}$; Y/ Δ -11.

Hãy xác định:

- a) Các tham số lúc không tải z_o , r_o và x_o .
b) Các tham số z_n , r_n , x_n và các thành phần của điện áp ngắn mạch.

Giải

- a) Điện áp pha sơ cấp:

$$U_{1f} = \frac{U_1}{\sqrt{3}} = \frac{35\,000}{\sqrt{3}} = 20\,200 \text{ V.}$$

Dòng điện pha không tải

$$I_{o1} = 0,045I = 0,045 \cdot 92,5 = 4,16 \text{ A.}$$

Các tham số không tải:

$$z_o = \frac{U_{1f}}{I_{o1}} = \frac{20.200}{4,16} = 4.850 \, \Omega,$$

$$r_o = \frac{P_o}{3I_{o1}^2} = \frac{18.500}{3 \times 4,16^2} = 356 \, \Omega,$$

$$x_o = \sqrt{z_o^2 - r_o^2} = \sqrt{4.850^2 - 356^2} = 4.700 \, \Omega.$$

- b) Điện áp pha ngắn mạch tính từ phía sơ cấp:

$$U_{1n} = U_{1f}u_n = 20.200 \times 0,075 = 1520 \text{ V}$$

Các tham số ngắn mạch:

$$z_n = \frac{U_{1n}}{I_{1f}} = \frac{1.520}{92,5} = 16,4 \, \Omega.$$

$$r_n = \frac{P_n}{3I_{1f}^2} = \frac{57.000}{3 \times 92,5^2} = 1,8 \, \Omega.$$

$$x_n = \sqrt{z_n^2 - r_n^2} = \sqrt{16,4^2 - 1,8^2} = 16,3 \, \Omega.$$

Các thành phần của điện áp ngắn mạch:

$$u_{nr} \% = \frac{I_{lf} r_n}{U_{lf}} = \frac{92,5 \times 1,8}{20200} = 0,825$$

$$u_{nx} \% = \frac{I_{lf} x_n}{U_{lf}} 100 = \frac{92,5 \times 16,3}{20200} 100 = 7,45.$$

Câu hỏi

1. Tại sao khi tăng dòng điện thứ cấp thì dòng điện sơ cấp lại tăng lên ? Lúc đó từ thông trong m.b.a có thay đổi không ?
2. Làm thế nào để xác định được tham số từ hóa của m.b.a ? Thực chất của dòng điện không tải, tổn hao không tải là gì ? Tại sao dung lượng m.b.a nhỏ thì dòng điện không tải lại lớn ? Khi không tải, tăng điện áp đặt vào m.b.a thì $\cos \varphi$ của m.b.a thay đổi ra sao ?
3. Làm thế nào để xác định được tổng trở của mạch sơ cấp và thứ cấp của m.b.a ? Tổn hao ngắn mạch là tổn hao gì ? Khi thí nghiệm ngắn mạch tại sao phải hạ điện áp xuống, thường bằng bao nhiêu ? Nếu đặt toàn bộ điện áp định mức vào lúc ngắn mạch thì sao ? Trị số điện áp ngắn mạch có ý nghĩa gì ?
4. Tổng trở z_n có liên quan gì đến dòng điện ngắn mạch I_n của m.b.a ? Muốn giảm bớt dòng điện ngắn mạch I_n của m.b.a thì phải thiết kế kích thước của dây quấn như thế nào ?
5. Vẽ đồ thị vectơ ứng với tải có tính chất điện dung?

Bài tập

1. Một m.b.a một pha có dung lượng 5 kVA có hai dây quấn sơ cấp và hai dây quấn thứ cấp giống nhau. Điện áp định mức của mỗi dây quấn sơ cấp là 11000 V và của mỗi dây quấn thứ cấp là 110 V. Thay đổi cách nối các dây quấn với nhau sẽ có các tỉ số biến đổi điện áp khác nhau. Với mỗi cách nối hãy tính các dòng điện định mức sơ và thứ cấp.

Đáp số:

a) Dây quấn sơ cấp và thứ cấp đều nối nối tiếp : $I_1 = 0,13 \text{ A}$; $I_2 = 13 \text{ A}$.

b) Dây quấn sơ cấp nối nối tiếp, dây quấn thứ cấp nối song song: $I_1 = 0,13 \text{ A}$; $I_2 = 26 \text{ A}$.

c) Dây quấn sơ cấp nối song song, dây quấn thứ cấp nối nối tiếp: $I_1 = 0,26 \text{ A}$; $I_2 = 13 \text{ A}$.

d) Dây quấn sơ cấp và thứ cấp đều nối song song: $I_1 = 0,26 \text{ A}$; $I_2 = 26 \text{ A}$.

2. Cho một m.b.a có dung lượng $S_{dm} = 20000 \text{ kVA}$, $U_1 = 126,8 \text{ kV}$, $U_2 = 11 \text{ kV}$, $f = 50 \text{ Hz}$, diện tích tiết diện lõi thép $S = 35,95 \text{ cm}^2$, mật độ từ thông $B = 1,35 \text{ T}$. Tính số vòng dây của dây quấn sơ cấp và thứ cấp.

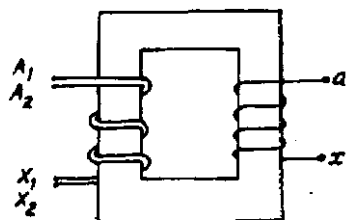
Đáp số: $w_1 = 117694$ vòng.

$w_2 = 10210$ vòng.

3. Một m.b.a có dây quấn sơ cấp quấn bằng hai sợi dây chập một $A_1 - X_1$, $A_2 - X_2$ và dây quấn thứ cấp $a - x$ như trên hình 3-13. Số vòng của hai dây quấn sơ cấp và thứ cấp bằng nhau $w_1 = w_2$. Đặt điện áp vào $A_1 - X_1$, dòng điện chạy trong $A_1 - X_1$ là I_{10} .

a) Dem nối $X_1 - X_2$ với nhau và đo điện áp giữa A_1 , A_2 được trị số U_A . Hỏi tỉ số U_A/I_{10} biểu thị cho tham số nào ?

b) Nối $X_2 - x$, đo điện áp giữa $A_2 - a$ được U_B . Hỏi tỉ số U_B/I_{10} biểu thị cho tham số nào ?



Hình 3-13.

Đáp số:

a) Đo bằng r_o

b) Đo bằng r_o .

4. Một m.b.a ba pha Y/Y - 12 có các số liệu sau đây :
 $S_{dm} = 180 \text{ kVA}$; $U_1/U_2 = 6000/400 \text{ V}$; dòng điện không tải $I_o\% = 6,4$;
 tổn hao không tải $P_o = 1000 \text{ W}$; điện áp ngắn mạch $u_n\% = 5,5$; tổn
 hao ngắn mạch $P_n = 4000 \text{ W}$. Giả thử $r_1 = r_2$, $x_1 = x_2$.

Hãy vẽ mạch điện thay thế của m.b.a và tính các thành phần
 của điện áp ngắn mạch.

Đáp số: $u_{nr}\% = 2,23$

$u_{nx}\% = 5.$

5. Cho một m.b.a một pha có các số liệu $S_{dm} = 6637 \text{ kVA}$
 $U_1/U_2 = 35/10 \text{ kV}$, $P_n = 53500 \text{ W}$, $u_n\% = 8$.

a) Tính z_n , r_n .

b) Giả thử $r_1 = r_2$. Tính điện trở không qui đổi của dây quấn
 thứ cấp.

Đáp số: a) $z_n = 14,8 \Omega$; $r_n = 1,5 \Omega$;

b) $r_2 = 0,061 \Omega$.

Chương 4

CÁC ĐẶC TÍNH LÀM VIỆC Ở TẢI ĐỐI XỨNG CỦA M.B.A

Trong điều kiện làm việc bình thường của lưới điện, ta có thể phân phối tải đều cho ba pha, lúc đó m.b.a làm việc với điện áp đối xứng và dòng điện ở các pha bằng nhau. Ta hãy xét sự cân bằng năng lượng trong m.b.a, các đặc tính khi m.b.a làm việc riêng lẻ và khi làm việc song song với các điều kiện điện áp sơ cấp $U_1 = C^{lc}$, và tần số $f = C^{lc}$. Vì tải đối xứng, ta có thể xét riêng đối với một pha. Trường hợp tải không đối xứng sẽ được phân tích ở chương sau.

4.1. GIÁN ĐỒ NĂNG LƯỢNG CỦA M.B.A

Trong lúc truyền tải năng lượng qua m.b.a, một phần công suất tác dụng và công suất phản kháng bị tiêu hao trong máy. Ta hãy xét sự cân bằng công suất tác dụng và phản kháng trong m.b.a. Sự cân bằng này có thể suy ra từ mạch điện thay thế của m.b.a ở hình 3-2.

Gọi $P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1$ là công suất đưa vào một pha của m.b.a. Một phần của công suất này bị tiêu hao trên điện trở của dây quấn sơ cấp $p_{Cu1} = r_1 I_1^2$ và trong lõi thép $p_{Fe} = r_m I_o^2$. Phần còn lại là công suất điện từ truyền qua phía thứ cấp. Ta có:

$$P_{dt} = P_1 - p_{Cu1} - p_{Fe} = E_2' I_2' \cos \varphi_2 \quad (4-1)$$

Công suất đầu ra P_2 của m.b.a sẽ nhỏ hơn công suất điện từ một lượng tổn hao trên điện trở của dây quấn thứ cấp $p_{Cu2} = r_2 I_2^2$:

$$P_2 = P_{dt} - p_{Cu2} = U_2 I_2 \cos \varphi_2 \quad (4-2)$$

Cũng tương tự như vậy, ta có công suất phản kháng đầu vào:

$$Q_1 = U_1 I_1 \sin \varphi_1$$

Công suất này trừ đi công suất để tạo ra từ trường tản của dây quấn sơ cấp $q_1 = I_1^2 x_1$ và từ trường trong lõi thép $q_m = x_m I_1^2$, phần còn lại sẽ được đưa sang phía thứ cấp.

$$Q_{dt} = Q_1 - q_1 - q_m = E_2 I_2 \sin \varphi_2 \quad (4-3)$$

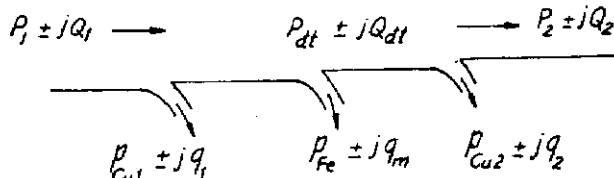
Công suất phản kháng đầu ra bằng:

$$Q_2 = Q_{dt} - q_2 = U_2 I_2 \sin \varphi_2 \quad (4-4)$$

trong đó $q_2 = I_2^2 x_2$ là công suất để tạo ra từ trường tản của dây quấn thứ cấp.

Khi tải có tính chất điện cảm ($\varphi_2 > 0$) $Q_2 > 0$. Lúc đó $Q_1 > 0$ và công suất phản kháng được truyền từ phía sơ cấp sang phía thứ cấp.

Khi tải có tính chất điện dung ($\varphi_2 < 0$) $Q_2 < 0$. Trong trường hợp này công suất phản kháng được truyền



Hình 4-1. Giản đồ năng lượng của m.b.a

theo chiều ngược lại từ phía thứ cấp sang phía sơ cấp nếu $Q_1 < 0$, hoặc toàn bộ công suất phản kháng từ hai phía thứ cấp và sơ cấp đều dùng để từ hóa m.b.a nếu $Q_1 > 0$.

Sự cân bằng công suất tác dụng và công suất phản kháng được biểu thị ở hình 4-1.

4.2. ĐỘ THAY ĐỔI ĐIỆN ÁP CỦA M.B.A VÀ CÁCH ĐIỀU CHỈNH ĐIỆN ÁP

Khi m.b.a làm việc, điện áp đầu ra U_2 thay đổi theo trị số và tính chất điện cảm hoặc điện dung của dòng điện tải I_2 , do có điện áp rơi trên các dây quấn sơ cấp và thứ cấp. Hiệu số số học giữa các trị số của điện áp thứ cấp lúc không tải U_{20} và lúc có

$$U_{2*} = \sqrt{1 - n^2} \cdot m \approx 1 - \frac{n^2}{2} \cdot m$$

Do đó:

$$\Delta U_* = 1 - U_{2*} \approx m + \frac{n^2}{2} \quad (4-6)$$

Vì theo hình 4-2:

$$m = Ca + aP = \beta(u_{nr} \cos \varphi_2 + u_{nx} \sin \varphi_2)$$

$$n = Ab - bP = \beta(u_{nx} \cos \varphi_2 - u_{nr} \sin \varphi_2)$$

nên :

$$\Delta U_* \approx \beta(u_{nr} \cos \varphi_2 + u_{nx} \sin \varphi_2) + \frac{\beta^2(u_{nx} \cos \varphi_2 - u_{nr} \sin \varphi_2)^2}{2} \quad (4-7)$$

Số hạng sau của biểu thức trên thường rất nhỏ, có thể bỏ qua và ta có:

$$\Delta U_* = \beta(u_{nr} \cos \varphi_2 + u_{nx} \sin \varphi_2) \quad (4-8)$$

Muốn biểu thị ΔU theo phần trăm của U_{ldm} ta chỉ việc nhân hai vế của biểu thức (4-8) với 100. Vì:

$$\Delta U_* = \frac{\Delta U \%}{100} \quad u_{nr} = \frac{u_{nr} \%}{100}; \quad u_{nx} = \frac{u_{nx} \%}{100} \quad \text{nên biểu thức (4-8)}$$

trở thành:

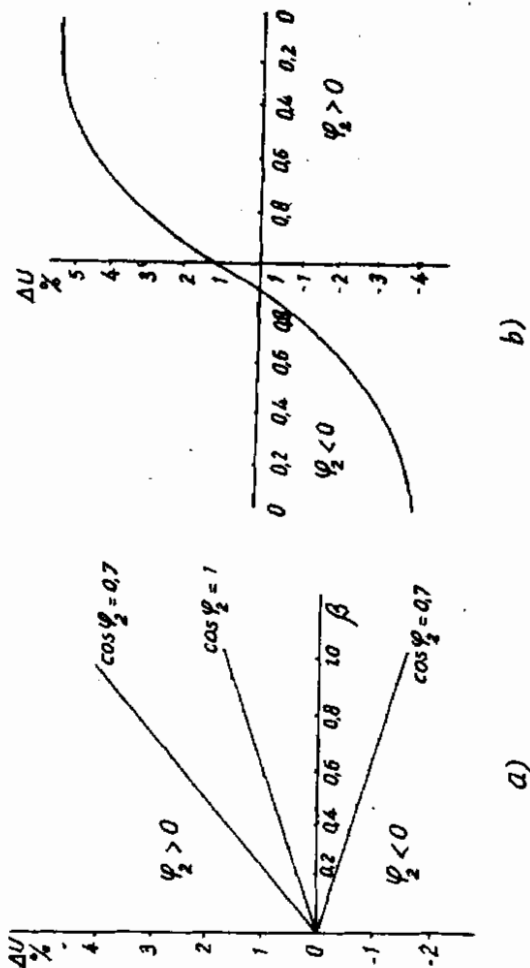
$$\Delta U \% = \beta(u_{nr} \% \cos \varphi_2 + u_{nx} \% \sin \varphi_2) \quad (4-9)$$

Trong biểu thức (4-8) u_{nr} , u_{nx} đã được xác định do cấu tạo của máy nên ΔU_* phụ thuộc vào hệ số tải và tính chất của tải. Hình 4-3 cho biết các quan hệ $\Delta U = f(\beta)$ khi $\cos \varphi_2 = C^{le}$ và $\Delta U = f(\cos \varphi_2)$ khi $\beta = C^{le}$.

Trong thực tế muốn giữ cho điện áp U_2 không đổi khi m.b.a làm việc với các tải khác nhau thì phải điều chỉnh điện áp bằng cách thay đổi lại số vòng dây, nghĩa là thay đổi tỉ số biến đổi

$k = \frac{w_1}{w_2}$. Muốn vậy, ở giữa hoặc cuối dây quấn CA người ta đưa

ra một số đầu dây ứng với các số vòng dây khác nhau (hình 4-4). Nếu các đầu phân nhánh ở cuối dây quấn thì việc cách điện được dễ dàng còn nếu ở giữa dây quấn thì từ trường tản sẽ đều và lực điện từ tác dụng lên dây quấn cũng sẽ đối xứng hơn. Cũng cần



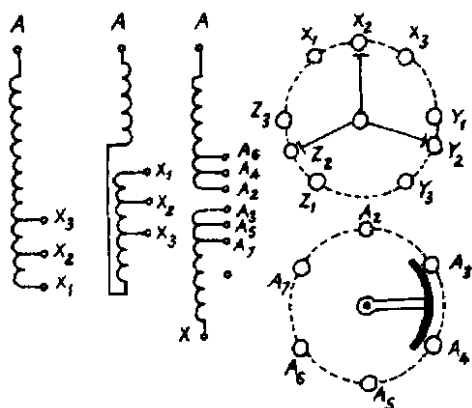
Minh 4-3.

- a. Quan hệ $\Delta U = f(\beta)$ khi $\cos \varphi_2 = C^{te}$;
 b. Quan hệ $\Delta U = f(\cos \varphi_2)$ khi $\beta = C^{te}$

nói thêm là các đầu phân nhánh được bố trí ở dây quấn CA vì ở dây quấn CA dòng điện nhỏ hơn so với dòng điện trong dây quấn HA do đó thiết bị đối nối cũng gọn nhỏ hơn.

Việc thay đổi số vòng dây có thể được thực hiện khi máy ngừng làm việc. Trường hợp này thường ứng dụng với các m.b.a hạ áp khi điện áp sơ cấp thay đổi hoặc khi cần điều chỉnh điện áp thứ cấp theo đồ thị tải hàng năm.

Nếu công suất nhỏ thì loại m.b.a này thường có ba đầu phân nhánh ở mỗi pha để có thể điều chỉnh điện áp trong phạm vi $\pm 5\% U_{dm}$, nếu công suất lớn thì một pha có năm đầu phân nhánh để điều chỉnh điện áp trong phạm vi $\pm 2,5\% U_{dm}$ và $\pm 5\% U_{dm}$. Vì việc đối nối thực hiện khi máy ngừng làm việc nên thiết bị đối nối tương đối đơn giản và rẻ tiền. Thiết bị đối nối được đặt trong thùng dầu còn tay quay được đặt ở trên nắp thùng.



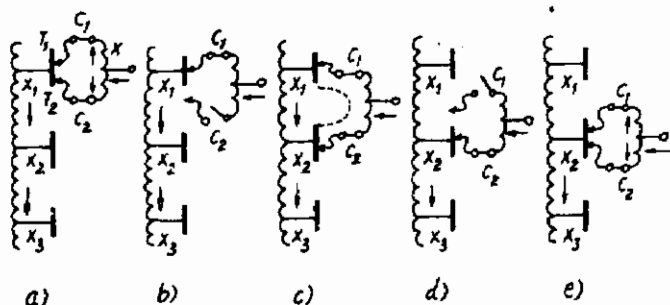
Hình 4-4. Các kiểu điều chỉnh điện áp

Trong hệ thống điện lực công suất lớn, nhiều khi cần phải điều chỉnh điện áp khi m.b.a đang làm việc để phân phối lại công suất tác dụng và phản kháng giữa các phân đoạn của hệ thống. Điện áp thường được điều chỉnh từng 1% trong phạm vi $\pm 10\% U_{dm}$.

Ở trường hợp này

thiết bị đối nối phức tạp hơn và phải có cuộn kháng K (hình 4-5) để hạn chế dòng điện ngắn mạch của bộ phận dây quấn bị nối ngắn mạch khi thao tác đối nối. Hình 4-5 cũng trình bày quá

trình đổi nối từ đầu nhánh X_1 đến đầu nhánh X_2 , trong đó T_1, T_2 là những cái tiếp xúc trượt, C_1, C_2 là những côngtắc tơ. Ở những vị trí làm việc a, e, dòng điện chạy trong hai nửa của K theo chiều ngược nhau nên hầu như từ thông trong lõi của K bằng không do đó điện kháng rất nhỏ. Ngược lại ở vị trí trung gian c dòng điện ngắn mạch chạy cùng chiều trong K nên từ thông và điện kháng lớn, do đó có tác dụng làm giảm trị số của dòng điện ngắn mạch. Để tránh cho dầu m.b.a khỏi bị bắn, vì đóng cắt mạch điện, các công tắc tơ C_1, C_2 được đặt riêng trong một thùng phụ gắn vào vách thùng dầu của m.b.a.



Hình 4-5. Thiết bị đổi nối và quá trình điều chỉnh điện áp của m.b.a điều chỉnh dưới tải

4.3. HIỆU SUẤT CỦA M.B.A

Hiệu suất η của m.b.a là tỉ số giữa công suất đầu ra P_2 và công suất đầu vào P_1 :

$$\eta\% = \frac{P_2}{P_1} 100 \quad (4-10)$$

Trị số của η nhỏ hơn 1 vì theo giản đồ năng lượng ở hình 4-1 ta thấy, trong quá trình truyền tải công suất qua m.b.a có tổn hao đồng p_{Cu} trên điện trở của các dây quấn sơ cấp và thứ cấp và tổn hao sắt từ p_{Fe} trong lõi thép do dòng điện xoáy và do từ

trở. Ngoài ra còn phải kể đến tổn hao do dòng điện xoáy trên vách thùng dầu và các bulông lắp ghép; tổn hao này tỉ lệ với bình phương của dòng điện nên thuộc vào loại tổn hao đồng P_{Cu} .

Như vậy biểu thức (4-10) có thể viết:

$$\eta\% = (1 - \frac{\sum P}{P_1})100 = (1 - \frac{P_{Cu} + P_{Fe}}{P_2 + P_{Cu} + P_{Fe}})100 \quad (4-11)$$

Khi thiết kế m.b.a ta có thể tính được các tổn hao kể trên và xác định hiệu suất η bằng tính toán.

Lúc vận hành hiệu suất η của m.b.a làm việc ở tải có I_2 và $\cos\varphi_2$ cho biết, có thể tính gián tiếp được bằng cách xác định các tổn hao ứng với tải đó căn cứ theo tổn hao không tải P_0 tổn hao ngắn mạch P_n ghi trong thuyết minh máy. Các tổn hao P_0 và P_n được xác định do các thí nghiệm không tải và ngắn mạch như đã trình bày ở mục 3.4.

Ở tải ứng với I_2 , $\cos\varphi_2$ ta có công suất đầu ra:

$$P_2 = U_2 I_2 \cos\varphi_2$$

$$\text{Đặt } \frac{I_2}{I_{2dm}} = \beta - \text{hệ số tải và vì } U_2 \approx U_{20}, S_{dm} = U_{20} I_{2dm}$$

$$\approx U_2 I_{2dm}, \text{ do đó:}$$

$$P_2 \approx \beta S_{dm} \cos\varphi_2 \quad (4-12)$$

Tổn hao sắt từ trong lõi thép p_{Fe} có thể xem gần như không phụ thuộc vào tải và bằng tổn hao không tải P_0 ($p_{Fe} = P_0$) vì trên thực tế trong điều kiện $U_1 = C^{te}$ khi tải thay đổi, từ thông trong lõi thép thay đổi rất ít.

Tổn hao đồng ở các dây quấn phụ thuộc vào dòng điện tải I_2 và bằng $P_{Cu} = r_n I_2^2$. Tổn hao này có thể biểu thị theo tổn hao ngắn mạch $P_n = r_n I_{2dm}^2$ như sau:

$$P_{Cu} = r_n I_2^2 = r_n I_{2dm}^2 \left(\frac{I_2}{I_{2dm}}\right)^2 = \beta^2 P_n \quad (4-13)$$

Như vậy công thức (4-11) có thể viết như sau:

$$\eta\% = (1 - \frac{P_o + \beta^2 P_n}{\beta S_{dm} \cos \varphi_2 + P_o + \beta^2 P_n}) 100 \quad (4-14)$$

Thường thì các tổn hao rất nhỏ so với công suất truyền tải nên hiệu suất η của m.b.a rất cao. Đối với m.b.a dung lượng lớn, hiệu suất η đạt tới trên 99%.

Từ biểu thức (4-14) ta thấy, nếu $\cos \varphi_2 = C^{te}$ thì η chỉ phụ thuộc vào β và có trị số cực đại ở hệ số tải nào đó ứng với điều kiện:

$$\frac{d\eta}{d\beta} = 0 \quad (4-15)$$

Sau khi tính toán ta được $\beta = \sqrt{\frac{P_o}{P_n}}$ hay $P_o = \beta^2 P_n$.

Như vậy là hiệu suất của m.b.a sẽ cực đại ở một tải nhất định ứng với khi tổn hao không đổi bằng tổn hao biến đổi hay là tổn hao sắt bằng tổn hao đồng.

Thông thường m.b.a không làm việc thường xuyên ở định mức mà ở hệ số tải $\beta = 0,5 \div 0,7$ nên người ta thiết kế để hiệu suất η_{max} ở trong giới hạn đó của β . Muốn vậy cấu tạo m.b.a phải đảm bảo sao cho $P_o/P_n \approx 0,25 \div 0,5$.

Cũng cần nêu ra rằng, để đánh giá hiệu suất của m.b.a khi tải thay đổi, người ta xét hiệu suất của máy trong một năm. Đó là tỉ số giữa điện năng ở đầu ra của m.b.a tính theo kilôwat giờ với điện năng ở đầu vào m.b.a cũng trong thời gian đó.

Thí dụ:

Với các số liệu m.b.a cho ở thí dụ 6 ở Chương 3, hãy tính:

- 1) Độ thay đổi điện áp ΔU khi tải định mức với $\cos \varphi_2 = 0,8$;
- 2) Hiệu suất ở tải định mức;
- 3) Hệ số tải ứng với hiệu suất cực đại.

Giải

- 1) Trong thí dụ 6 ở Chương 3, ta đã tìm được $u_{nr} = 0,825\%$,

$u_{nx} = 7,45\%$. Theo biểu thức (4-9) ở trường hợp tải có tính chất điện cảm ta có:

$$\begin{aligned}\Delta U\% &= \beta(u_{nr}\% \cos\varphi_2 + u_{nx}\% \sin\varphi_2) \\ &= 1(0,825 \times 0,8 + 7,45 \times 0,6) = 5,13.\end{aligned}$$

(Nếu tính theo biểu thức (4-7) thì $\Delta U\% = 5,16\%$, nghĩa là sai số nhỏ hơn 1%).

Khi tải có tính chất điện dung: $\sin\varphi_2 = -0,6$, ta có:

$$\Delta U\% = 1(0,825 \times 0,8 - 7,45 \times 0,6) = -3,81.$$

2) Hiệu suất của m.b.a ở tải định mức trên:

$$\begin{aligned}\eta\% &= 1 - \frac{P_o + \beta^2 P_n}{\beta S_{dm} \cos\varphi_2 + P_o + \beta^2 P_n} 100 \\ &= 1 - \frac{18,5 + 1^2 \times 57}{1 \times 5600 \times 0,8 + 18,5 + 1^2 \times 57} 100 = 98,34.\end{aligned}$$

3) Hiệu suất cực đại của m.b.a sẽ ứng với hệ số tải:

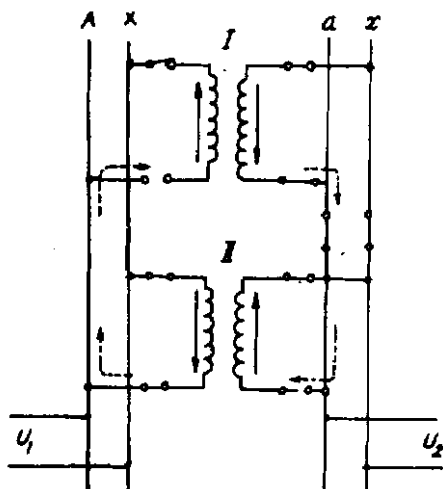
$$\beta = \sqrt{\frac{P_o}{P_n}} = \sqrt{\frac{18,5}{57}} = 0,57.$$

4.4. MÁY BIẾN ÁP LÀM VIỆC SONG SONG

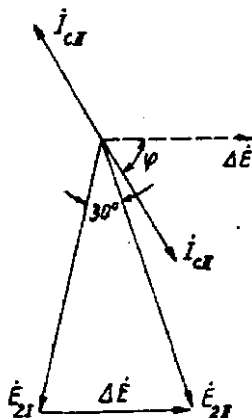
Trong các trạm biến áp, để đảm bảo các điều kiện kinh tế và kỹ thuật như tổn hao vận hành tối thiểu, liên tục truyền tải công suất khi xảy ra sự cố hay khi phải sửa chữa m.b.a, người ta thường cho hai hoặc nhiều m.b.a làm việc song song (hình 4-6).

M.b.a làm việc song song tốt nhất nếu điện áp thứ cấp của chúng bằng nhau về trị số và trùng nhau về góc pha và nếu tải được phân phối theo tỉ lệ công suất máy giống nhau (hay hệ số tải bằng nhau). Muốn vậy phải có các điều kiện cùng tổ nối dây, hệ số biến đổi điện áp k và điện áp ngắn mạch u_n như nhau.

Ta hãy xét ảnh hưởng riêng rẽ của từng điều kiện kể trên đối với sự làm việc song song của các m.b.a.



Hình 4-6. Sơ đồ ghép song song m.b.a một pha.



Hình 4-7. Sơ đồ điện áp và dòng điện của các m.b.a có tổ nối dây khác nhau làm việc song song

4.4.1. Điều kiện cùng tổ nối dây

Nếu các m.b.a làm việc song song có cùng tổ nối dây thì điện áp thứ cấp của chúng sẽ trùng pha nhau. Trái lại nếu tổ nối dây của chúng khác nhau thì giữa các điện áp thứ cấp sẽ có góc lệch pha và góc lệch này do các tổ nối dây quyết định. Thí dụ nếu m.b.a I có tổ nối dây Y/ Δ -11 còn m.b.a II nối Y/Y-12 thì điện áp thứ cấp của hai m.b.a sẽ lệch nhau 30° như hình 4-7. Trong mạch nối liền các dây quấn thứ cấp của hai m.b.a sẽ xuất hiện một s.d.d:

$$\Delta E = 2E \sin 15^\circ = 0,518E_2$$

Kết quả là ngay khi không tải trong các dây quấn sơ cấp và thứ cấp của các m.b.a sẽ có dòng điện:

$$I_{cb} = \frac{\Delta E}{z_{nI} + z_{nII}} \quad (4-16)$$

Giả thử $z_{nI} = z_{nII} = 0,05$, thì:

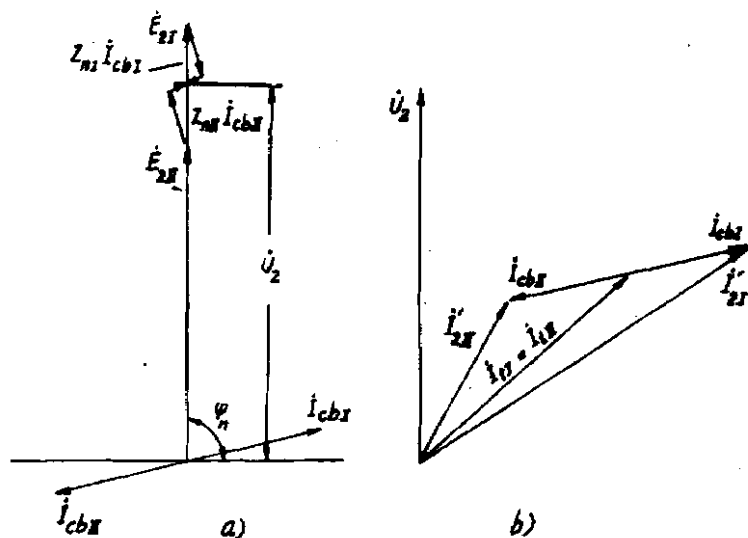
$$I_{cb} = \frac{0,518}{0,05 + 0,05} = 5,18$$

Trị số dòng điện gấp hơn năm lần dòng điện định mức này sẽ làm hỏng m.b.a. Vì vậy quy định rằng các m.b.a làm việc song song bắt buộc phải có cùng tổ nối dây.

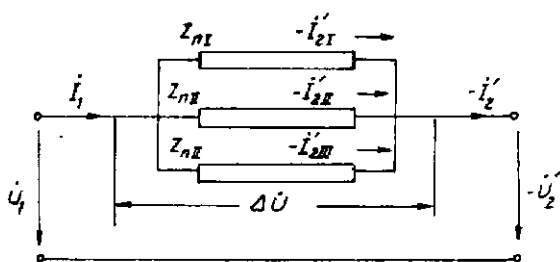
Cần chú ý rằng có thể có trường hợp đổi lại ký hiệu hoặc đầu lại các đầu dây của các m.b.a, ta có thể biến các m.b.a vốn không cùng tổ nối dây trở thành có tổ nối dây giống nhau và làm việc song song được.

4.4.2. Điều kiện tỉ số biến đổi bằng nhau

Nếu tỉ số biến đổi bằng nhau thì khi làm việc song song điện áp thứ cấp lúc không tải của các m.b.a sẽ bằng nhau ($E_{2I} = E_{2II}$), trong mạch nối liền các dây quấn thứ cấp của các m.b.a sẽ không



Hình 4-3. Đồ thị vectơ và sự phân phối tải của các m.b.a làm việc song song: a. khi không tải; b. khi có k khác nhau



Hình 4-9. Mạch điện thay thế của các m.b.a làm việc song song

có dòng điện.

Giả sử tỉ số biến đổi khác nhau thì $E_{2I} \neq E_{2II}$ và ngay khi không tải trong dây quấn thứ cấp của các m.b.a đã có dòng điện cân bằng I_{ch} sinh ra bởi điện áp $\Delta E = E_{2I} - E_{2II}$.

Dòng điện đó sẽ chạy trong dây quấn của các m.b.a theo chiều ngược nhau, thí dụ ở m.b.a I từ x đến a còn ở m.b.a II từ a đến x, và chậm pha sau ΔE một góc 90° vì trong dây quấn $x \gg r$. Điện áp rơi trên các dây quấn m.b.a do dòng điện cân bằng sinh ra sẽ bù trừ với các điện áp E_{2I} , E_{2II} và kết quả là trên mạch thứ cấp sẽ có một điện áp thống nhất U_2 như trên hình 4-8a. Khi có tải, dòng điện cân bằng I_{ch} sẽ cộng vào dòng điện tải I_l làm cho hệ số tải lệch ra bằng nhau trở thành khác nhau ảnh hưởng xấu tới việc lợi dụng công suất các máy (hình 4-8b).

Vì vậy qui định rằng Δk của các m.b.a làm việc song song không được lớn quá 0,5% trị số trung bình của chúng.

4.4.3. Điều kiện trị số điện áp ngắn mạch bằng nhau

Trị số điện áp ngắn mạch u_n có liên quan trực tiếp đến sự phân phối tải giữa các m.b.a làm việc song song. Ta hãy xét sự làm việc song song của m.b.a có các điện áp ngắn mạch u_{nI} , u_{nE} , u_{nIII} . Nếu bỏ qua dòng điện từ hóa thì mạch điện thay thế của chúng có dạng như ở hình 4-9 và đồ thị vectơ tương ứng trên hình 4-10.

Tổng trở tương đương của mạch điện:

$$z = \frac{1}{\frac{1}{z_{nI}} + \frac{1}{z_{nII}} + \frac{1}{z_{nIII}}} = \frac{1}{\sum_{i=I}^{III} \frac{1}{z_{ni}}} \quad (4-17)$$

và điện áp rơi trên mạch điện bằng:

$$\Delta U = U_1 - U_2 = z \cdot I \quad (4-18)$$

trong đó $I = I_1 = I_2$ là dòng điện tổng của các m.b.a, do đó dòng điện tải của mỗi m.b.a:

$$I_{2I} = \frac{zI}{z_{nI}} = \frac{I}{z_{nI} \cdot \sum \frac{1}{z_{ni}}} \quad (4-19a)$$

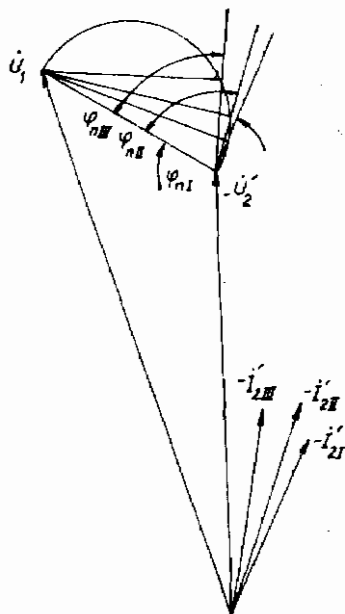
$$I_{2II} = \frac{zI}{z_{nII}} = \frac{I}{z_{nII} \cdot \sum \frac{1}{z_{ni}}} \quad (4-19b)$$

$$I_{2III} = \frac{zI}{z_{nIII}} = \frac{I}{z_{nIII} \cdot \sum \frac{1}{z_{ni}}} \quad (4-19c)$$

Trên thực tế góc φ_n của các tam giác điện kháng khác nhau không nhiều ($\varphi_{nI} \approx \varphi_{nII} \approx \varphi_{nIII}$) nên các dòng điện tải được xem như trùng pha do đó trong lúc tính toán có thể thay các số phức bằng môđun của chúng. Ta có:

$$z_n = u_n \frac{U_{dm}}{I_{dm}}$$

và biểu thức (4-19a) có thể viết:



Hình 4-10. Đồ thị vectơ của các m.b.a làm việc song song

$$I_{21} = \frac{I}{\frac{u_{n1}}{I_{dml}} \sum \frac{I_{dmi}}{u_{ni}}} \quad (4-20)$$

Nhân hai vế của đẳng thức trên với $\frac{U_{ldm}}{S_{dml}} = \frac{U_{ldm}}{U_{ldm} \cdot I_{dml}}$,

ta được:

$$\beta_I = \frac{S_I}{S_{dml}} = \frac{S}{u_{n1} \sum \frac{S_{dmi}}{u_{ni}}} \quad (4-21a)$$

trong đó $S = U_{ldm} I$ là tổng các công suất truyền tải của các m.b.a.

Cũng như vậy đối với các m.b.a II và III, ta có:

$$\beta_{II} = \frac{S}{u_{nII} \sum \frac{S_{dmi}}{u_{ni}}} \quad (4-21b)$$

$$\beta_{III} = \frac{S}{u_{nIII} \sum \frac{S_{dmi}}{u_{ni}}} \quad (4-21c)$$

Từ các biểu thức (4-21a, b và c) ta có kết luận là hệ số tải của các m.b.a làm việc song song tỉ lệ nghịch với điện áp ngắn mạch của chúng:

$$\beta_I : \beta_{II} : \beta_{III} = \frac{1}{u_{nI}} : \frac{1}{u_{nII}} : \frac{1}{u_{nIII}}, \quad (4-22)$$

nghĩa là nếu u_n của các máy bằng nhau thì β bằng nhau, tải sẽ phân phối theo tỉ lệ công suất. Ngược lại nếu u_n khác nhau thì m.b.a nào có u_n nhỏ sẽ có β lớn (tải nặng) còn m.b.a có u_n lớn sẽ có β nhỏ (tải nhẹ hơn). Khi m.b.a có u_n nhỏ làm việc ở định mức ($\beta = 1$) thì m.b.a có u_n lớn vẫn hút tải ($\beta < 1$). Kết quả là không

sử dụng được hết công suất thiết kế của các m.b.a.

Thông thường m.b.a có dung lượng nhỏ thì u_n nhỏ, dung lượng lớn thì u_n lớn. Như vậy dung lượng các m.b.a càng khác nhau quá nhiều thì khi làm việc song song càng không lợi. Cho nên theo qui định u_n của các m.b.a làm việc song song không được khác nhau quá $\pm 10\%$ và tỉ lệ dung lượng máy vào khoảng 3:1.

Thí dụ

Cho ba m.b.a có cùng tổ nối dây quấn và tỉ số biến đổi với các số liệu: $S_{\text{dmi}} = 180 \text{ kVA}$, $S_{\text{dmII}} = 240 \text{ kVA}$, $S_{\text{dmIII}} = 320 \text{ kVA}$; $u_{nI}\% = 5,4$, $u_{nII}\% = 6$, $u_{nIII}\% = 6,6$. Hãy xác định tải của mỗi m.b.a khi tải chung của m.b.a bằng tổng công suất định mức của chúng: $S = 180 + 240 + 320 = 740 \text{ kVA}$ và tính xem tải tổng tối đa để không m.b.a nào bị quá tải bằng bao nhiêu ?

Giải

Ta có:

$$\sum \frac{S_{\text{dmi}}}{u_{ni}\%} = \frac{180}{5,4} + \frac{240}{6,0} + \frac{320}{6,6} = 121,8$$

Theo biểu thức (4-21):

$$\beta_I = \frac{740}{5,4 \times 121,8} = 1,125; S_I = 1,125 \times 180 = 202,5 \text{ kVA}$$

$$\beta_{II} = \frac{740}{6 \times 121,8} = 1,01; S_{II} = 1,01 \times 240 = 243 \text{ kVA}$$

$$\beta_{III} = \frac{740}{6,6 \times 121,8} = 0,92; S_{III} = 0,92 \times 320 = 294,5 \text{ kVA}$$

Ta thấy m.b.a I có u_n nhỏ nhất bị quá tải nhiều trong khi đó m.b.a III có u_n lớn bị hụt tải. Tải tổng tối đa để không m.b.a nào bị quá tải ứng với khi $\beta_I = 1$. Lúc đó theo (4-21b), ta có:

$$\frac{S}{5,4 \times 121,8} = 1$$

hay là : $S = 657,72 \text{ kVA}$.

Rõ ràng là phần công suất đặt của các m.b.a không được lợi dụng sẽ bằng: $740 - 658 = 82 \text{ kVA}$.

Câu hỏi

1. Xét về mặt kết cấu của dây quấn, muốn giảm ΔU của m.b.a phải làm như thế nào ?
2. Sự liên quan giữa các thí nghiệm không tải và ngắn mạch của m.b.a đến việc xác định ΔU và η như thế nào ?
3. Nếu xét thật chặt chẽ thì tổn hao tổng lõi thép p_{Fe} khi có tải khác với tổn hao không tải P_0 như thế nào ? Tính chất của tải như thế nào sẽ ứng với $p_{Fe} > P_0$ và $p_{Fe} < P_0$.
4. Cho hai m.b.a nối Y/Y-12 và Y/Y-6 có cùng tỉ số biến đổi k và điện áp ngắn mạch u_n . Muốn cho chúng có thể làm việc song song với nhau phải làm thế nào ? Cũng với các điều kiện trên nếu hai m.b.a có tổ nối dây Y/ Δ -11 và Y/ Δ -3 ?

Bài tập

1. Cho ba m.b.a làm việc song song với các số liệu sau:

Máy	S_{dm}, kVA	U_{1dm}, kV	U_{2dm}, kV	$u_n, \%$	Tổ nối dây
I	1 000	35	6,3	6,25	Y/ Δ - 11
II	1 800	35	6,3	6,6	Y/ Δ - 11
III	2 400	35	6,3	7	Y/ Δ - 11

Tính:

- a) Tải của m.b.a khi tải chung là $4\,500 \text{ kVA}$.
- b) Tải lớn nhất có thể cung cấp cho hệ dùng điện với điều kiện không một m.b.a nào bị quá tải.
- c) Giả sử máy I được phép quá tải 20%, thì tải chung của các máy là bao nhiêu ?

- Đáp số: a. $S_1 = 928 \text{ kVA}$; $S_2 = 1582 \text{ kVA}$
 $S_3 = 1990 \text{ kVA}$;
 b. 4548 kVA ;
 c. 5817 kVA

2. Tính dòng điện cân bằng khi hai m.b.a có số liệu sau đây làm việc song song:

Các số liệu	Máy I	Máy II
S_{dm} kVA	320	420
U_1 kV	$6 \pm 5\%$	$6 \pm 5\%$
U_2 V	230	220
u_n %	4	4
u_{nr} %	1,8	1,7
Tổ nối dây	Y/ Δ -11	Y/ Δ -11

Đáp số: $I_{cb} = 496 \text{ A}$.

3. Cho một m.b.a ba pha với các số liệu sau: $S_{dm} = 20 \text{ kVA}$.
 $U_1/U_2 = 6/0,4 \text{ kV}$, $P_n = 0,6 \text{ kW}$, $u_n\% = 5,5$, nối Y/Y. Tính:

- a) $u_n(V)$, $u_{nr}(V)$, $u_{nx}(V)$ (điện áp thấp bị nối ngắn mạch).
 b) z_n , r_n , x_n , $\cos\varphi_n$.
 c) $\Delta U\%$ lúc hệ số tải 0,25; 0,5; 0,75; 1 và hệ số công suất $\cos\varphi_2 = 0,8$ (điện cảm).
 d) Biết $P_o = 0,18 \text{ kW}$, tính hiệu suất của máy ở các tải nói trên.

Đáp số: a. $U_n = \sqrt{3 \times 190 \text{ V}}$; $U_{nr} = \sqrt{3 \times 104 \text{ V}}$;
 $U_{nx} = \sqrt{3 \times 159 \text{ V}}$

b. $Z_n = 99 \Omega$; $x_n = 83 \Omega$; $r_n = 54,3 \Omega$

c. $\Delta U = 1,29\%$; $2,58\%$; $3,87\%$; $5,16\%$

d. $\eta\% = 94,84\%$; $96,04\%$; $95,86\%$;
 $95,35\%$.

4. Cho một m.b.a ba pha có $S_{dm} = 1000 \text{ kVA}$, $U_1/U_2 = 10/0,4 \text{ kV}$ đấu Y/Y_0 , $u_n(\%) = 5,5$, $P_m = 12500 \text{ W}$. Tính:

a) u_{nr} , u_{nx} .

b) ΔU khi m.b.a làm việc ở $3/4$ tải định mức với $\cos\varphi_2 = 0,8$.

Đáp số: a. $u_{nr} = 1,25\%$; $u_{nx} = 5,356\%$
 b. $\Delta U = 3,16\%$.

Chương 5

MÁY BIẾN ÁP LÀM VIỆC VỚI TẢI KHÔNG ĐỐI XỨNG

5.1. ĐẠI CƯƠNG

M.b.a làm việc không đối xứng khi tải phân phối không đều cho ba pha, ví dụ: một pha cung cấp cho lò điện do đó tải nặng hơn hai pha kia hoặc khi xảy ra ngắn mạch không đối xứng (ngắn mạch một pha, hai pha,...). Dòng điện không bằng nhau ở các pha gây ảnh hưởng xấu đến tình trạng làm việc bình thường của m.b.a như điện áp dây và pha sẽ không đối xứng, tổn hao phụ trong dây quấn và lõi thép tăng lên, độ chênh nhiệt của máy vượt quá qui định...

Để nghiên cứu tình trạng làm việc không đối xứng của m.b.a, ta dùng phương pháp phân lượng đối xứng. Hệ thống dòng điện không đối xứng I_a, I_b, I_c được phân tích thành ba hệ thống dòng điện đối xứng: thứ tự thuận I_{a1}, I_{b1}, I_{c1} ; thứ tự ngược I_{a2}, I_{b2}, I_{c2} và thứ tự không I_{a0}, I_{b0}, I_{c0} . Quan hệ giữa chúng như sau:

$$\begin{vmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{vmatrix} \quad (5-1)$$

$$\text{và} \quad \begin{vmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{vmatrix} = \frac{1}{3} \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{vmatrix} \begin{vmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{vmatrix} \quad (5-2)$$

trong đó: $a = e^{j120^\circ}$, $a^2 = e^{j240^\circ}$ và $1 + a + a^2 = 0$

Khi tải của m.b.a không đối xứng bao giờ ta cũng có thể phân

tích thành các phân lượng, thứ tự thuận và ngược, riêng phân lượng thứ tự không trong ba pha do có trị số bằng nhau và trùng pha về thời gian nên chỉ tồn tại khi dây quấn nối Y_0 hoặc Δ .

Cần chú ý rằng phương pháp phân lượng đối xứng dựa trên cơ sở của nguyên lý xếp chồng. Để ứng dụng được nguyên lý đó, ta giả thiết rằng mạch từ của m.b.a không bão hòa ($\mu = C^{10}$). Ngoài ra khi phân tích ta xem như đã tính đối các lượng thứ cấp về phía sơ cấp và để đơn giản bỏ qua dấu phẩy.

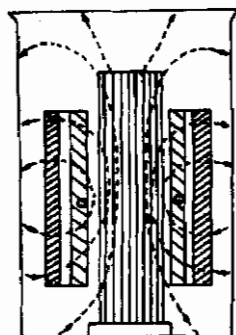
5.2. MẠCH ĐIỆN THAY THẾ VÀ TỔNG TRỞ CỦA M.B.A ĐỐI VỚI CÁC THÀNH PHẦN ĐỐI XỨNG

Hệ thống dòng điện thứ tự thuận chính là hệ thống dòng điện đối xứng mà mạch điện thay thế và các tham số của m.b.a đối với hệ thống dòng điện này ta đã xét ở Chương 3.

Hệ thống dòng điện thứ tự ngược trong m.b.a cũng có tác dụng hoàn toàn giống như hệ thống dòng điện thứ tự thuận bởi vì nếu đem tráo trộn hai trong ba pha phía sơ cấp (thí dụ B và C) và phía thứ cấp (thí dụ b và c) thì hiện tượng trong m.b.a không có gì thay đổi. Cho nên mạch điện thay thế và tham số của m.b.a đối với hệ thống dòng điện thứ tự ngược không có gì khác so với hệ thống dòng điện thứ tự thuận.

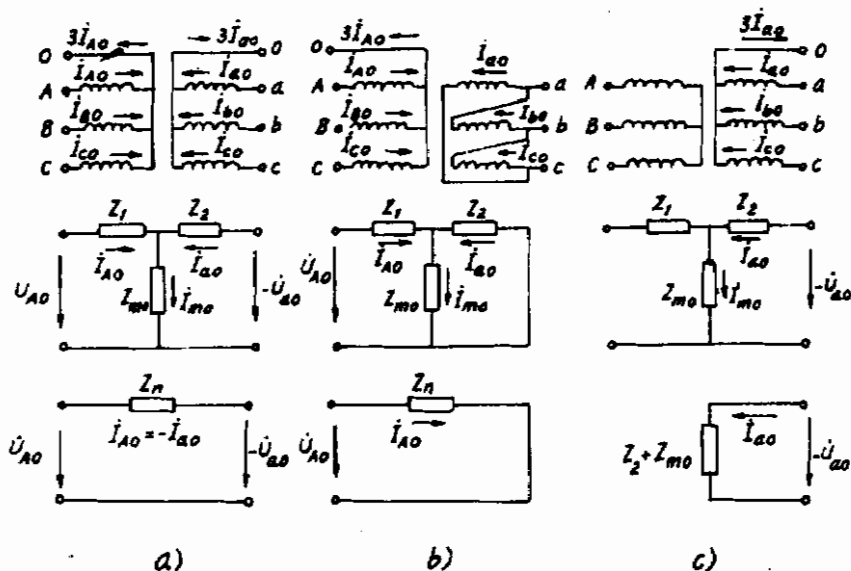
Hệ thống dòng điện thứ tự không ở ba pha sinh ra trong m.b.a các từ thông thứ tự không Φ_{10} trùng pha về thời gian. Trong tổ m.b.a ba pha, từ thông Φ_{10} khép mạch trong lõi thép: do từ trở của lõi thép nhỏ nên ngay khi $I_{a0} = I_{b0} = I_{c0}$ nhỏ cũng có thể sinh ra được Φ_{10} lớn. Trong m.b.a ba trụ, từ thông Φ_{10} phải khép mạch qua vách thùng dầu và dầu m.b.a ở đó từ trở lớn nên từ thông Φ_{10} nhỏ hơn (hình 5-1). Từ thông Φ_{10} và I_{a0} cũng sinh ra trong các dây quấn sơ cấp và thứ cấp các s.d.d tự cảm và hổ cảm và ta cũng có thể thành lập được mạch điện thay thế hình T tương tự như đối với trường hợp dòng điện thứ tự thuận. Ta hãy xét những trường hợp có dòng điện thứ tự không, khi m.b.a có tổ nối dây quấn: Y_0/Y_0 , Y_0/Δ và Y/Y_0 như ở hình 5-2.

Khi m.b.a nối Y_0/Y_0 hoặc Y_0/Δ , dòng điện thứ tự không tồn tại cả trong dây quấn sơ cấp và dây quấn thứ cấp, nên dạng mạch điện thay thế đối với phân lượng thứ tự không không có gì khác với dạng mạch điện thay thế của phân lượng thứ tự thuận (hình 5-2a và b). Chú ý rằng khi m.b.a nối Y_0/Δ thì phía thứ cấp của mạch điện thay thế bị nối tắt vì ở trường hợp dây quấn thứ cấp nối hình Δ dòng điện thứ tự không không chạy ra mạch ngoài.



Hình 5-1. Từ trường do dòng điện thứ tự không trong m.b.a ba pha ba trụ

Nếu m.b.a nối Y/Y_0 thì vì phía nối Y không có dây trung tính, dòng điện thứ tự không không tồn tại, nên phía đó được xem như để hở mạch (hình 5-2c)



Hình 5-2. Các mạch điện thay thế m.b.a đối với thành phần thứ tự không

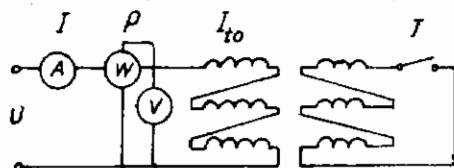
Trong các mạch điện thay thế của m.b.a ứng với phân lượng thứ tự không trình bày ở hình 5-2 các tổng trở $z_1 = r_1 + jx_1$ và $z_2 = r_2 + jx_2$ không có gì khác với các tổng trở tương ứng của phân lượng thứ tự thuận và ngược. Tổng trở từ hóa của phân lượng thứ tự không z_{m0} có trị số phụ thuộc vào cấu tạo của mạch từ. Nếu là tổ m.b.a ba pha thì $z_{m0} = z_m$. Nếu là m.b.a ba pha ba trụ thì vì Φ_{10} khép mạch qua dầu và vách thùng dầu nên z_{m0} nhỏ hơn (thường $z_{m0} = (7 \div 15) z_n$).

Cũng như đối với trường hợp phân lượng thứ tự thuận, s.d.đ thứ tự không E_{10} do từ thông Φ_{10} sinh ra có thể được biểu thị như sau:

$$E_{10} = - z_{m0} \dot{I}_{m0} \quad (5-3)$$

Trên hình 5-2 cũng trình bày các mạch điện thay thế đơn giản hóa. Ở các trường hợp Y_0/Y_0 , Y_0/Δ , dòng điện thứ tự không tồn tại cả ở hai phía sơ và thứ cấp và gần cân bằng nhau. ($\dot{I}_{A0} \approx -\dot{I}_{B0}$), nên dòng điện từ hóa thứ tự không $\dot{I}_{m0}$ cần thiết để sinh ra Φ_{10} rất nhỏ. Trong những trường hợp này có thể bỏ qua nhánh từ hóa và có $z_n = z_1 + z_2$.

Từ những mạch điện thay thế ở hình 5-2, ta thấy rằng tổng trở thứ tự không của m.b.a z_{10} , tức là tổng trở có được khi đo ở một phía với điều kiện dây quấn phía kia nối ngắn mạch có trị số giới hạn giữa tổng trở ngắn mạch z_n và tổng trở không tải z_0 .



Hình 5-3. Sơ đồ nối dây xác định tổng trở thứ tự không của m.b.a

Trị số z_{10} có thể xác định được bằng thí nghiệm theo sơ đồ nối dây ở hình 5-3. Với sơ đồ đó ta có $I_a = I_b = I_c = I_{10}$. Nếu phía thứ cấp không có dòng điện thứ tự không thì cầu dao T để mở,

ngược lại nếu có dòng điện thứ tự không thì T đóng mạch.

Theo số liệu U , I và P đo được ta có:

$$z_{to} = \frac{U}{3I} \quad (5-4)$$

$$r_{to} = \frac{P}{3I^2} \quad (5-5)$$

$$x_{to} = \sqrt{z_{to}^2 - r_{to}^2} \quad (5-6)$$

5.3. TẢI KHÔNG ĐỐI XỨNG CỦA M.B.A

5.3.1. Khi có dòng điện thứ tự không

a) Trường hợp dây quấn nối Y/Y_0

Với tổ nối dây này khi tải không đối xứng ta có:

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0 \quad (5-7)$$

$$\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = \dot{I}_d \quad (5-8)$$

Phân tích các dòng điện pha sơ cấp và thứ cấp thành các phân lượng đối xứng ta thấy rằng, các dòng điện thứ tự thuận và ngược sơ cấp và thứ cấp cân bằng nhau. Các dòng điện từ hóa thứ tự thuận và ngược I_{m1} , I_{m2} của các pha sẽ sinh ra các s.d.d

E_A , E_B , E_C . Riêng dòng điện thứ tự không $I_{A0} = I_{B0} = I_{C0} = \frac{I_d}{3}$ tồn tại

ở phía thứ cấp không được cân bằng vì $I_{A0} = I_{B0} = I_{C0} = 0$ nên sẽ sinh ra Φ_{10} và s.d.d thứ tự không E_{m0} tương đối lớn.

Như vậy các phương trình điện áp phía sơ cấp sẽ như sau:

$$\begin{aligned} \dot{U}_A &= \dot{I}_A Z_1 - \dot{E}_A - \dot{E}_{m0} \\ \dot{U}_B &= \dot{I}_B Z_1 - \dot{E}_B - \dot{E}_{m0} \\ \dot{U}_C &= \dot{I}_C Z_1 - \dot{E}_C - \dot{E}_{m0} \end{aligned} \quad (5-9)$$

Vì $\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$ và $\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0$, ta suy ra được

$$\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C = -3\dot{E}_{m0} = 3\dot{I}_{m0} Z_{m0} \quad (5-10)$$

Mặt khác khi dây quấn sơ cấp nối Y ,

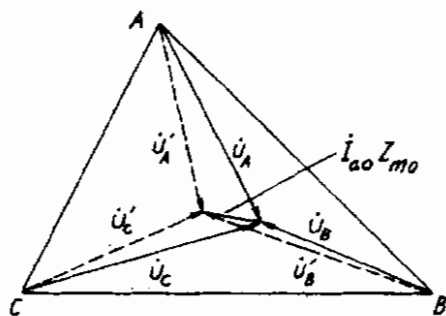
$$\begin{aligned}\dot{U}_{AB} &= \dot{U}_A - \dot{U}_B \\ \dot{U}_{BC} &= \dot{U}_B - \dot{U}_C \\ \dot{U}_{CA} &= \dot{U}_C - \dot{U}_A\end{aligned}\quad (5-11)$$

Từ các biểu thức (5-10) và (5-11) ta tìm được các điện áp pha sơ cấp:

$$\begin{aligned}\dot{U}_A &= \frac{1}{3}(\dot{U}_{AB} - \dot{U}_{CA}) + \dot{I}_{a0}z_{m0} = \dot{U}'_A + \dot{I}_{a0}z_{m0} \\ \dot{U}_B &= \frac{1}{3}(\dot{U}_{BC} - \dot{U}_{AB}) + \dot{I}_{b0}z_{m0} = \dot{U}'_B + \dot{I}_{b0}z_{m0} \\ \dot{U}_C &= \frac{1}{3}(\dot{U}_{CA} - \dot{U}_{BC}) + \dot{I}_{c0}z_{m0} = \dot{U}'_C + \dot{I}_{c0}z_{m0}\end{aligned}\quad (5-12)$$

Đồ thị vectơ tương ứng với các phương trình (5-12) được biểu thị ở hình 5-4. Ta thấy rằng ảnh hưởng của dòng điện thứ tự không làm cho điểm trung tính của điện áp sơ cấp bị lệch đi một khoảng bằng $\dot{I}_{a0}z_{m0}$.

Các phương trình điện áp thứ cấp sẽ có dạng:



Hình 5-4. Điện áp không đối xứng do điểm trung tính bị xô dịch

$$\begin{aligned}- \dot{U}_a &= \dot{U}_A - \dot{I}_A z_1 + \dot{I}_a z_2 = \dot{U}'_A + \dot{I}_{a0} z_{m0} \\ &- (\dot{I}_{A1} + \dot{I}_{A2}) z_1 + (\dot{I}_{a1} + \dot{I}_{a2} + \dot{I}_{a0}) z_2.\end{aligned}\quad (5-13)$$

Vì $\dot{I}_{A1} = -\dot{I}_{a1}$; $\dot{I}_{A2} = -\dot{I}_{a2}$ và $z_{m0} + z_2 = z_{10}$, nên:

$$- \dot{U}_a = \dot{U}'_A - \dot{I}_A z_n + \dot{I}_{a0} z_{10}$$

Cũng như vậy:

$$\begin{aligned}- \dot{U}_b &= \dot{U}'_B - \dot{I}_B z_n + \dot{I}_{b0} z_{10} \\ - \dot{U}_c &= \dot{U}'_C - \dot{I}_C z_n + \dot{I}_{c0} z_{10}.\end{aligned}\quad (5-14)$$

Các phương trình (5-14), chứng tỏ rằng do có dòng điện thứ tự không, điểm trung tính của điện áp thứ cấp bị lệch đi một

khoảng $\dot{I}_{a0}z_{10}$ lớn hơn so với khoảng lệch của điện áp sơ cấp $\dot{I}_{a0}Z_{m0}$. Thực ra sự khác nhau đó không đáng kể, vì $z_{m0} \approx z_{10}$.

Sự xô dịch điểm trung tính làm cho điện áp pha không đối xứng và bất lợi cho các tải làm việc với điện áp pha như đèn điện. Để hạn chế sự xô dịch điểm trung tính người ta qui định dòng điện trong dây trung tính $I_d < 25\%I_{dm}$. Ngoài ra tổ m.b.a ba pha không được dùng tổ nối dây Y/Y₀ vì z_{m0} quá lớn. Đối với m.b.a ba pha ba trụ, vì z_{m0} nhỏ hơn nên cho phép dùng tổ nối dây Y/Y₀ với điều kiện $S_{dm} < 6000 \text{ kVA}$.

b) Trường hợp dây quấn nối Y₀/Y₀, Y₀/Δ

Ở những trường hợp này, dòng điện thứ tự không tồn tại cả ở phía sơ và thứ cấp và cân bằng nhau: $\dot{I}_{AO} = -\dot{I}_{a0}; \dots$ nên không sinh ra từ thông Φ_{10} và s.d.đ E_{10} . Như vậy các phương trình điện áp thứ cấp sẽ như sau:

$$\begin{aligned} - \dot{U}_a &= \dot{U}_A - \dot{I}_A z_n \\ - \dot{U}_b &= \dot{U}_B - \dot{I}_B z_n \\ - \dot{U}_c &= \dot{U}_C - \dot{I}_C z_n \end{aligned} \quad (5-15)$$

Vì: $\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = \dot{I}_d$
nên từ (5-16) suy ra được:

$$\dot{U}_a + \dot{U}_b + \dot{U}_c = z_n \dot{I}_d \quad (5-16)$$

Điểm trung tính sẽ bị lệch một khoảng $I_{a0}z_n = \frac{1}{3} I_d z_n$. Sự xô dịch này không đáng kể vì z_n rất nhỏ.

5.3.2. Khi không có dòng điện thứ tự không

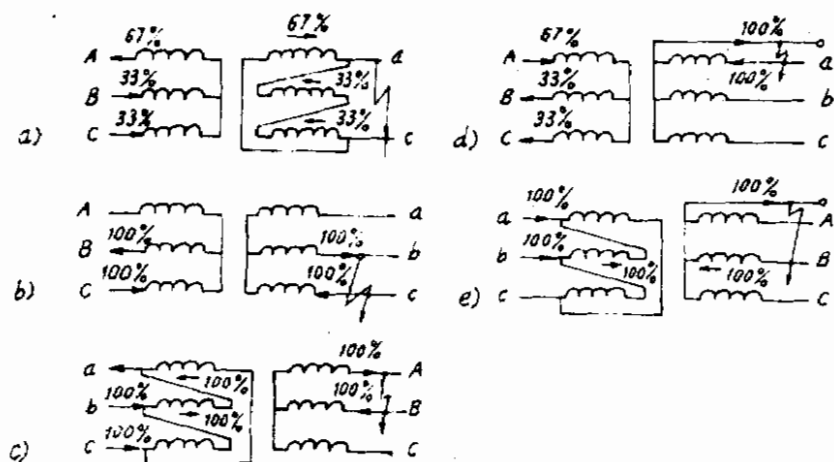
Trường hợp này ứng với các tổ nối dây Y/Y, Δ/Y, Y/Δ và Δ/Δ. Do không có dòng điện thứ tự không, hơn nữa các dòng điện thuận và ngược phía sơ cấp và phía thứ cấp hoàn toàn cân bằng nhau nên không cần thiết phải phân tích thành phân lượng đối xứng và có thể dùng phương pháp thông thường để nghiên cứu điện áp từng pha. Sự liên quan giữa các pha chỉ cần thiết khi xét đến điện áp dây và dòng điện dây. Chú ý rằng ở đây khi tải không cân bằng, ΔU ở các pha không bằng nhau, nhưng vì z_n nhỏ

nên sự không cân bằng về điện áp pha và điện áp dây không nghiêm trọng. Trên thực tế, nếu tải không đối xứng với mức phân lượng thứ tự ngược I_2 khác phân lượng thứ tự thuận I_1 không quá 5% thì điện áp được xem như đối xứng.

5.4. NGẮN MẠCH KHÔNG ĐỐI XỨNG CỦA M.B.A

Ngắn mạch không đối xứng xảy ra khi do sự cố ở phía thứ cấp một pha bị nối tắt với dây trung tính, hai pha nối tắt nhau hoặc hai pha nối tắt với dây trung tính. Những trường hợp kể trên có thể xem như là những trường hợp giới hạn của tải không đối xứng. Để phân tích các trường hợp ngắn mạch không đối xứng, ta cũng áp dụng phương pháp phân lượng đối xứng nói ở trên. Chú ý rằng dòng điện ở những pha bị nối tắt là dòng điện ngắn mạch có trị số rất lớn còn dòng điện tải ở các pha khác được xem như bằng không vì rất nhỏ so với dòng điện ngắn mạch.

Hình 5-5 trình bày kết quả phân tích về sự phân phối dòng điện giữa các pha của một số trường hợp ngắn mạch khi không



Hình 5-5. Sự phân bố dòng điện giữa các pha khi ngắn mạch

có dòng điện thứ tự không (hình 5-5a, b và c) và khi có dòng điện thứ tự không (hình 5-5d và e).

Câu hỏi

1. Tổng trở từ hóa của thành phần thứ tự không z_{m0} của tổ m.b.a ba pha và m.b.a ba pha ba trụ trong hệ đơn vị tương đối vào khoảng bao nhiêu ? So sánh với trị số của tổng trở ngắn mạch z_n .

2. Từ thông Φ_{10} và từ thông Φ_3 (xem Chương 2) của ba pha đều trùng pha với nhau về thời gian và có thể khép mạch trong lõi thép của tổ m.b.a ba pha nhưng khác nhau như thế nào ?

3. Phân tích trường hợp ngắn mạch một pha của m.b.a nối Y/ Y_0 vẽ ở hình 5-5d. Vẽ đồ thị vectơ điện áp ứng với trường hợp đó.

Chương 6

QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ TRONG MÁY BIẾN ÁP

6.1. ĐẠI CƯƠNG

Quá trình quá độ trong m.b.a xảy ra khi có sự thay đổi đột ngột trong chế độ làm việc của máy, ví dụ như khi thao tác đóng máy vào nguồn, khi tải thay đổi hoặc khi xảy ra ngắn mạch... Trong thời gian rất ngắn của quá trình quá độ, có thể xuất hiện dòng điện rất lớn hoặc điện áp rất cao làm hỏng dây quấn của m.b.a, vì vậy cần được phân tích và chú ý khi thiết kế cũng như khi vận hành. Ở đây ta sẽ nghiên cứu hai hiện tượng chính sau:

- a. Hiện tượng quá dòng điện;
- b. Hiện tượng quá điện áp.

6.2. QUÁ DÒNG ĐIỆN TRONG M.B.A

Hiện tượng quá dòng điện thường xảy ra khi đóng m.b.a vào lưới điện lúc không tải hoặc khi xảy ra ngắn mạch đột nhiên.

6.2.1. Đóng m.b.a vào lưới điện khi không tải

Như ta đã biết, khi m.b.a làm việc không tải, dòng điện không tải I_0 rất nhỏ và không vượt quá 10% I_{dm} . Nhưng trong quá trình quá độ khi đóng m.b.a không tải vào lưới điện thì dòng điện I_0 tăng gấp nhiều lần dòng điện định mức. Ta hãy xét hiện tượng đó đối với m.b.a một pha vẽ ở hình 6-1.

Khi đóng m.b.a vào nguồn điện áp hình sin thì theo định luật cân bằng s.d.d ta có:

$$U_{1m} \sin(\omega t + \psi) = i_0 r_1 + w_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad (6-1)$$

trong đó ψ - góc pha của điện áp lúc đóng mạch.

Quan hệ giữa Φ và i_0 trong m.b.a là quan hệ của đường cong từ hóa, vì vậy phương trình vi phân không đường thẳng. Để việc tính toán được đơn giản, ta giả thiết rằng từ thông tỉ lệ với dòng điện i_0 , nghĩa là:

$$i_0 = \frac{w_1 \Phi}{L_1}$$

trong đó điện cảm của dây quấn sơ cấp L_1 là hằng số và phương trình (6-1) có dạng:

$$\frac{U_{1m}}{w_1} \sin(\omega t + \psi) = \frac{r_1}{L_1} \Phi + \frac{d\Phi}{dt} \quad (6-2)$$

Như đã biết từ môn học Cơ sở kỹ thuật điện, trong quá trình quá độ từ thông Φ , nghiệm của phương trình (6-2) gồm hai thành phần:

$$\Phi = \Phi' + \Phi'' \quad (6-3)$$

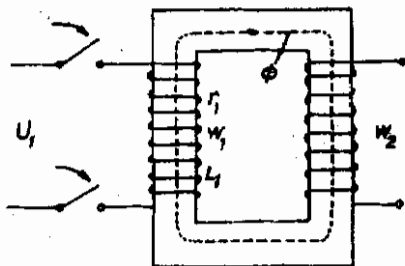
trong đó:

- Thành phần xác lập của từ thông:

$$\Phi' = \Phi_m \sin(\omega t + \psi - \frac{\pi}{2}) = -\Phi_m \cos(\omega t + \psi) \quad (6-4)$$

với:

$$\Phi_m = \frac{L_1 U_{1m}}{w_1 \sqrt{r_1^2 + (\omega L_1)^2}}$$



Hình 8-1. Sơ đồ đóng m.b.a vào lưới điện lúc không tải.

(*) Phương trình (6-1) không thể giải được bằng phương pháp giải tích mà chỉ có thể giải được gần đúng bằng phương pháp phân đoạn liên tiếp hoặc bằng máy tính điện tử.

- Thành phần từ thông tự do:

$$\Phi'' = C e^{-\frac{r_1}{L_1} t} \quad (6-5)$$

Hằng số tích phân C được xác định theo điều kiện ban đầu, khi $t = 0$ trong lõi thép có một từ thông dư $\pm \Phi_{du}$ nào đó:

$$\Phi_{t=0} = [\Phi' + \Phi'']_{t=0} = -\Phi_m \cos \psi' + C = \pm \Phi_{du} \quad \text{hay là:}$$

$$C = \Phi_m \cos \psi' \pm \Phi_{du}$$

Như vậy:

$$\Phi'' = (\Phi_m \cos \psi' \pm \Phi_{du}) e^{-\frac{r_1}{L_1} t} \quad (6-6)$$

Theo các biểu thức (6-3), (6-4) và (6-6), ta được:

$$\Phi = -\Phi_m \cos(\omega t + \psi') + (\Phi_m \cos \psi' \pm \Phi_{du}) e^{-\frac{r_1}{L_1} t} \quad (6-7)$$

Từ biểu thức (6-7) ta thấy rằng, điều kiện thuận lợi nhất khi đóng m.b.a không tải vào lưới điện xảy ra lúc $\psi' = \pi/2$ (điện áp có trị số cực đại) và $\Phi_{du} = 0$.

Lúc đó:

$$\Phi = -\Phi_m \cos(\omega t + \frac{\pi}{2}) = \Phi_m \sin \omega t, \quad (6-8)$$

nghĩa là trạng thái xác lập được thành lập ngay và không xảy ra quá trình quá độ.

Ngược lại điều kiện bất lợi nhất xảy ra nếu khi đóng mạch $\psi' = 0$ (điện áp lúc đó bằng không) và Φ_{du} có dấu dương. Lúc đó:

$$\Phi = -\Phi_m \cos \omega t + (\Phi_m + \Phi_{du}) e^{-\frac{r_1}{L_1} t} \quad (6-9)$$

và đường biểu diễn tương ứng trình bày ở hình 6-2. Từ hình 6-2 ta thấy rằng từ thông Φ sẽ đạt tới trị số cực đại ở thời gian nửa chu kỳ sau khi đóng mạch, nghĩa là khi $\omega t \approx \pi$.

Vì $r_1 \ll \omega L_1$, nên:

$$e^{-\frac{r_1}{L_1} t} = e^{-\frac{r_1 \pi}{\omega L_1}} \approx 1$$

do đó theo biểu thức (6-9) ở thời điểm ứng với $\omega t = \pi$, ta được:

$$\Phi_{\max} \approx 2\Phi_m + \Phi_{du} \quad (6-10)$$

Như vậy $\Phi_{\max}$ lớn gấp hai lần trị số từ thông lúc làm việc bình thường cho nên lõi thép rất bão hòa và dòng điện từ hóa i_0 trong quá trình quá độ sẽ lớn gấp hàng trăm lần trị số dòng điện từ

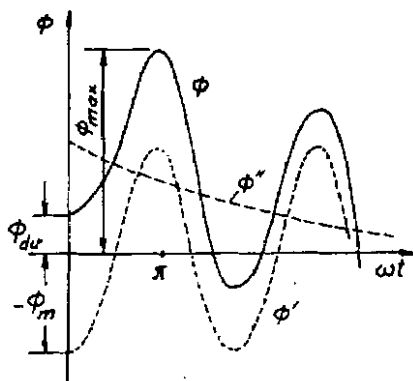
hóa xác lập I_0 . Giả thử khi làm việc bình thường $I_0 = 5\% I_{dm}$, thì trong trường hợp đóng mạch nói trên, dòng điện quá độ bằng $100 I_0 \approx 5 I_{dm}$.

Vì thời gian quá độ rất ngắn ($6 \div 8$ s) nên dòng điện quá độ không nguy hiểm đối với m.b.a, nhưng có thể làm cho role bảo vệ tác động, cắt m.b.a ra khỏi lưới điện, vì vậy cần phải chú ý để tính toán và chỉnh định role cho đúng.

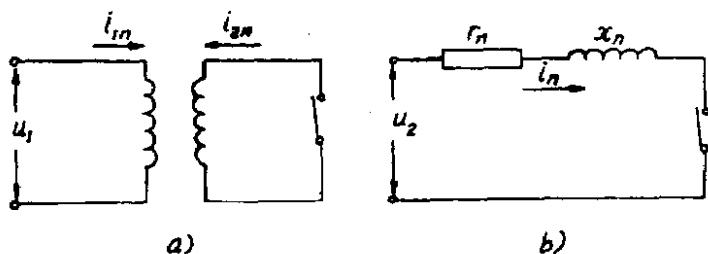
6.2.2. Ngắn mạch đột nhiên

Chế độ ngắn mạch xác lập đã được nghiên cứu ở Chương 5. Ở đây ta xét quá trình quá độ từ khi bắt đầu xảy ra ngắn mạch cho tới khi thành lập chế độ ngắn mạch xác lập. Trong quá trình quá độ nói trên, dòng điện sẽ rất lớn và có thể làm hỏng m.b.a, vì vậy cần phải được chú ý đặc biệt.

Giả thử mạch thứ cấp của m.b.a vì cách điện hỏng hoặc vì thao tác lầm lẫn bị nối ngắn mạch như hình 6-3a. Cũng như trường hợp ngắn mạch xác lập, lõi thép m.b.a không bão hòa và mạch điện thay thế của m.b.a như hình 6-3b trong đó các tham



Hình 6-2: Sự biến thiên của từ thông $\Phi = f(t)$ lúc đó đóng mạch với điều kiện không thuận lợi nhất



Hình 6-3. Sơ đồ lúc m.b.a bị ngắn mạch

số $r_n = r_1 + r_2$ và $x_n = x_1 + x_2 = \omega L_n$ là những hằng số.

Phương trình biểu thị quá trình quá độ khi nối ngắn mạch đột nhiên mạch điện hình 6-3b có dạng:

$$U_{1m} \sin(\omega t + \psi_n) = r_n i_n + L_n \frac{di_n}{dt} \quad (6-11)$$

trong đó ψ_n - góc pha lúc xảy ra ngắn mạch.

Giải phương trình trên với điều kiện ban đầu khi $t = 0$, $i_n = 0$, ta được:

$$\begin{aligned} i_n &= i_n' + i_n'' \\ &= - \frac{U_{1m}}{\sqrt{r_n^2 + (\omega L_n)^2}} \cos(\omega t + \psi_n) + \\ &+ \frac{U_{1m}}{\sqrt{r_n^2 + (\omega L_n)^2}} \cos \psi_n e^{-\frac{r_n}{L_n} t} \\ &= - \sqrt{2} I_n \cos(\omega t + \psi_n) + \sqrt{2} I_n \cos \psi_n e^{-\frac{r_n}{L_n} t} \end{aligned} \quad (6-12)$$

trong đó số hạng đầu là thành phần dòng điện xác lập và số hạng thứ hai là thành phần dòng điện ngắn mạch tự do.

Từ biểu thức (6-12), ta thấy rằng ngắn mạch xảy ra bất lợi nhất khi $\psi_n = 0$. Với $r_n \ll \omega L_n$, ta có:

$$i_n = -\sqrt{2}I_n \cos \omega t + \sqrt{2}I_n e^{-\frac{r_n}{T_n} t}$$

và dòng điện đó sẽ đạt tới trị số lớn nhất (hoặc trị số xung)

sau thời gian $t = \frac{\pi}{\omega}$, lúc đó:

$$i_{xg} = \sqrt{2}I_n \left(1 + e^{-\frac{\pi r_n}{x_n}}\right) = \sqrt{2}I_n k_{xg} \quad (6-13)$$

Dung lượng của m.b.a càng lớn thì trị số k_{xg} càng lớn. Thường trị số đó nằm trong giới hạn $k_{xg} = 1,2 \div 1,8$.

Thí dụ đối với m.b.a dung lượng 1000 kVA với các số liệu $u_n\% = 6,5$; $u_{nr}\% = 1,5$; $u_{nx}\% = 6,32$, thì:

$$k_{xg} = 1 + e^{-\frac{\pi r_n}{x_n}} = 1 + e^{-\frac{\pi u_{nr}}{u_{nx}}} = 1,475$$

và dòng điện xung bằng:

$$i_{xg} = \sqrt{2}I_n \cdot k_{xg} = \sqrt{2} \frac{100}{u_n\%} 1,475 = 22,7$$

nghĩa là gấp hơn hai mươi lần dòng điện định mức.

Khi ngắn mạch giữa các vòng dây bên trong m.b.a, dòng điện xung còn lớn hơn cả trị số trên.

Với trị số lớn như vậy, dòng điện ngắn mạch làm cho dây quấn nóng kịch liệt và bị cháy, đồng thời gây ra những lực cơ học lớn, phá hoại kết cấu của dây quấn.

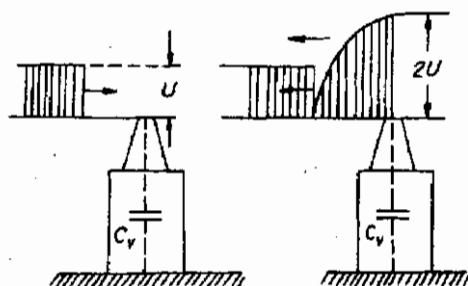
Để bảo vệ ngắn mạch, bên ngoài m.b.a, người ta thường dùng những role tác động nhanh để tách chỗ cơ sở cố ngắn mạch ra làm cho dây quấn m.b.a không bị nóng đến mức hỏng. Dây quấn m.b.a thường bị hỏng khi xảy ra ngắn mạch bên trong giữa các vòng dây. Để bảo vệ ngắn mạch bên trong m.b.a, người ta thường dùng role hơi để cắt m.b.a ra khỏi lưới điện.

6.3. QUÁ ĐIỆN ÁP TRONG M.B.A

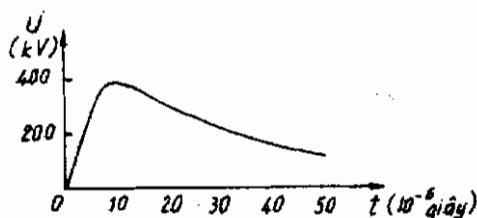
Khi làm việc trong lưới điện, m.b.a thường chịu những điện áp xung kích, còn gọi là quá điện áp, có trị số lớn gấp nhiều lần trị số điện áp định mức. Nguyên nhân dẫn đến quá điện áp có thể là do thao tác đóng cắt các đường dây, các máy điện hoặc do ngắn mạch nối đất kèm theo hồ quang hoặc do sét

đánh trên đường dây và sóng sét truyền đến m.b.a. Quá điện áp do sét đánh trên đường dây còn gọi là quá điện áp do khí quyển có tác dụng nguy hiểm đối với m.b.a hơn cả, vì có trị số rất lớn, đến hàng triệu vôn.

Khi xảy ra quá điện áp trên một bộ phận nào đó của trạm biến áp với tốc độ gần bằng tốc độ ánh sáng. Để bảo vệ các thiết bị trong trạm lưới điện, sóng điện áp xung kích truyền nhanh đến các thiết bị của biến áp, người ta đặt những bộ chống sét có những khe hở thích đáng để sau khi dẫn điện tích của sóng xung kích xuống đất không xảy ra hồ quang ở khe hở do tác dụng của điện áp làm việc của lưới điện. Sau tác động của bộ chống sét, điện áp của sóng xung kích giảm đi nhiều và các



Hình 6-4. Sóng điện áp xung kích tới và phản xạ ở đầu m.b.a



Hình 6-5. Sóng điện áp xung kích do khí quyển

như m.b.a chỉ còn chịu tác dụng của điện áp có trị số bằng 4 ~ 5 lần điện áp của lưới điện. Cũng cần phải chú ý rằng, khi sóng xung kích điện áp truyền từ đường dây đến m.b.a do có sự thay đổi của tổng trở (tổng trở của đường dây nhỏ so với tổng trở của m.b.a) nên sóng phản xạ điện áp có biên độ tăng gấp đôi như hình 6-4.

Sóng điện áp xung kích do khí quyển thường có dạng không chu kỳ với đầu sóng Oa rất dốc và đuôi sóng bằng phẳng hơn (hình 6-5). Thời gian tác dụng của sóng xung kích chỉ vào khoảng vài phần triệu giây, nên đầu sóng có thể coi như một phần tư chu kỳ của một sóng điện áp chu kỳ có tần số rất cao ($f = 10.000 + 50.000 \text{ Hz}$).

Dưới đây ta xét tác dụng và hậu quả của sóng điện áp xung kích đối với m.b.a và đưa ra phương pháp bảo vệ cần thiết.

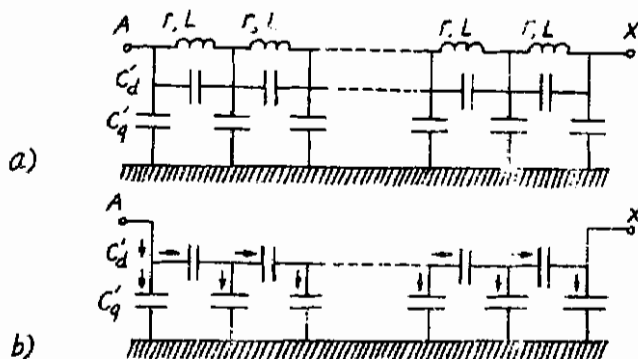
6.3.1. Mạch điện thay thế của m.b.a khi có quá điện áp

Ta biết rằng ngoài điện trở r và điện kháng $x_L = \omega L$, dây quấn m.b.a còn có dung kháng $x_C = \frac{1}{2\pi f C}$ do có điện dung giữa các vòng dây và giữa dây quấn đối với đất (lỗi thép như trình bày ở hình 6-6a). Trong hình, C_d - điện dung giữa các vòng dây hoặc giữa các cuộn dây và C_q - điện dung giữa các vòng dây hoặc các cuộn dây đối với đất. Ở chế độ làm việc bình thường với tần số $f = 50 \text{ Hz}$ của lưới điện, các dung kháng x_C kể trên rất lớn so với r và x_L nên không có ảnh hưởng đáng kể đến sự làm việc của m.b.a và ta có mạch điện thay thế m.b.a chỉ gồm có r và x_L như đã trình bày ở những chương trước. Ngược lại, khi xảy ra quá điện áp với tần số rất cao như đã nói ở trên, dung kháng x_C rất nhỏ so với r và x_L và có tác dụng quyết định. Lúc đó mạch điện thay thế của m.b.a có dạng như trình bày ở hình 6-6b và dây quấn m.b.a được xem như một mạch điện đồng nhất có tổng điện dung dọc:

$$C_d = \frac{1}{\sum \frac{1}{C_d}}$$

và tổng điện dung ngang:

$$C_q = \sum C_q$$



Hình 6-5. Sơ đồ biểu thị dây quấn của m.b.a và tác dụng của sóng điện áp xung kích

6.3.2. Sự phân bố điện áp dọc dây quấn

Theo hình 6-6b, do có các điện dung C_q , nên lúc sóng xung kích truyền vào dây quấn trong quá trình nạp điện ban đầu, các điện tích phân bố không đều trên các điện dung C_d dọc dây quấn. Kết quả là điện áp rơi trên các phần tử C_d không đều nhau và giảm dần từ đầu A đến đầu X của dây quấn theo qui luật sau đây:

Nếu dây quấn nối đất:

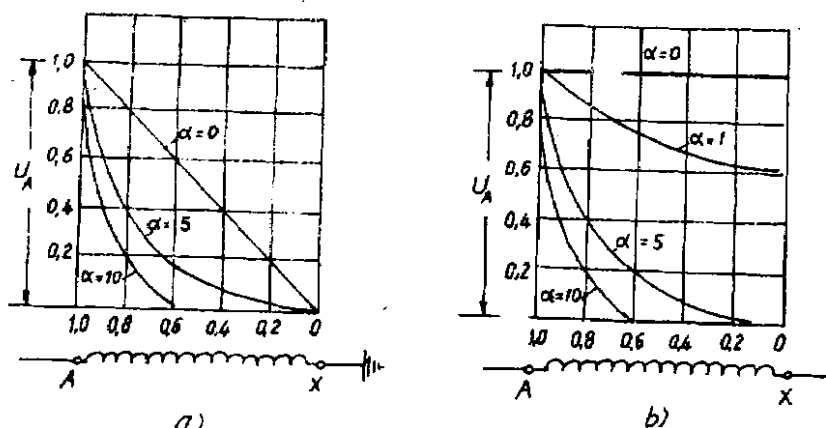
$$u_x = U_A \frac{\sinh \alpha x}{\sinh \alpha l} \quad (6-14)$$

và nếu dây quấn không nối đất:

$$u_x = U_A \frac{\cosh \alpha x}{\cosh \alpha l} \quad (6-15)$$

trong đó U_A - biên độ của sóng điện áp xung kích; $\alpha = \sqrt{\frac{C_q}{C_d}}$ với qui ước chiều dài dây quấn bằng một.

Đường biểu diễn sự phân bố ban đầu của điện áp dọc dây quấn như trên hình 6-7. Ta thấy rằng khi $\alpha = 0$, thì điện áp sẽ phân bố đều dọc theo chiều dài của dây quấn ($u_x = xU_A$). Nếu α càng lớn, sự phân bố điện áp ban đầu dọc dây quấn càng không đều, điện áp rơi tập trung chủ yếu vào đầu của dây quấn. Khi $\alpha > 5$, sự phân bố điện áp ban đầu không phụ thuộc vào vấn đề nối đất của dây quấn.



Hình 6-7. Sự phân bố điện áp ban đầu dọc dây quấn khi nối đất; và khi không nối đất

Để thấy rõ mức độ phân bố điện áp không đều, ta hãy xét gradien điện áp đối với trường hợp dây quấn nối đất:

$$\frac{du_x}{dx} = \alpha U_A \frac{\cosh \alpha x}{\sinh \alpha} \quad (6-16)$$

và đối với trường hợp dây quấn không nối đất:

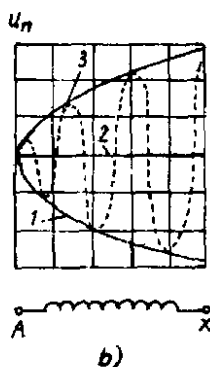
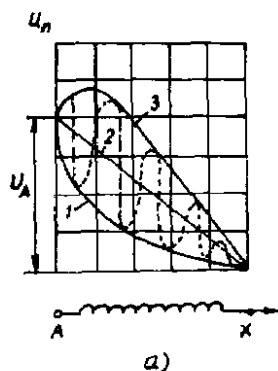
$$\frac{du_x}{dx} = \alpha U_A \frac{\sinh \alpha x}{\cosh \alpha} \quad (6-17)$$

Giá thử $\alpha \geq 3$, thì ở đầu dây quấn ($x = 1$), $th\alpha = cth = 1$ nên trong cả hai trường hợp:

$$\left. \frac{du_x}{dx} \right|_{x=1} = xU_A$$

và điện áp ban đầu trong trường hợp phân bố không đều ở cuộn dây đầu tiên lớn gấp α lần điện áp ban đầu trong trường hợp phân bố đều. Vì vậy phải tăng cường cách điện của các vòng dây và các cuộn dây dẫn đầu tiên của dây quấn.

Vì ngoài điện dung C còn có điện trở r và điện cảm L , toàn bộ dây quấn là một mạch dao động nên sau sự phân bố điện áp ban đầu là một quá trình dao động điện từ tần số cao. Do đó tổn hao trên dây dẫn, chất cách điện và trong lõi thép nên dao động đó tắt dần và sự phân bố điện áp cuối cùng sẽ như đường 2 trên hình 6-8. Biên độ của dao động ở một điểm tùy ý trên dây quấn bằng hiệu số trị số điện áp ban đầu và trị số điện áp lúc cuối ở điểm đó, vì vậy đường biểu diễn điện áp cực đại của các điểm dọc dây quấn đối với đất là đường 3. [Đường đứt nét trên hình 6-8 cho thấy sự phân bố điện áp dọc dây quấn ở một thời điểm của quá trình quá độ.



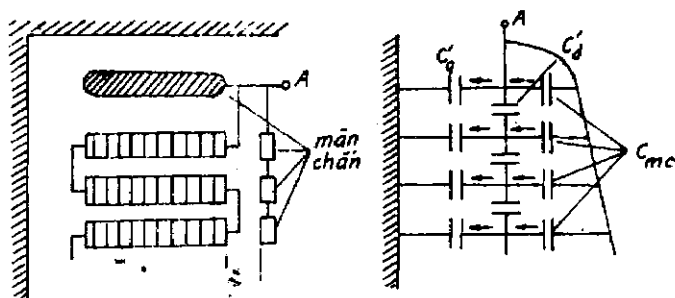
Hình 6-8. Quá trình quá độ trong dây quấn m.b.a do sóng điện áp xung kích:
a. dây quấn nối đất; b. dây quấn không nối đất

Từ hình 6-8 ta thấy rằng, trong quá trình quá độ dọc dây quấn có chỗ điện áp với đất lớn hơn U_A và ở cuối dây quấn không nối đất điện áp gấp hai lần U_A . Gradient điện áp cũng rất lớn cả ở giữa và đặc biệt ở cuối đầu quấn, vì vậy cần phải tăng cường cách điện ở đó.

6.3.3. Bảo vệ m.b.a khỏi quá điện áp

Do tác dụng của quá điện áp cách điện của dây quấn m.b.a có thể bị xuyên thủng, vì vậy cần có những biện pháp ngăn ngừa. Thông thường các cuộn dây ở đầu và ở cuối dây quấn được tăng cường cách điện bằng cách quấn thêm nhiều lớp giấy cách điện. Điểm trung tính (điểm cuối) của dây quấn của những m.b.a điện áp bằng hoặc lớn hơn 35 kV cũng thường được nối đất.

Ngoài ra người ta còn dùng một số biện pháp có hiệu lực khác để bảo vệ m.b.a khỏi quá điện áp bằng cách làm giảm hoặc triệt tiêu quá trình dao động điện từ nói trên. Muốn vậy phải làm sao cho đường phân bố điện áp ban đầu gần giống đường phân bố điện áp cuối cùng. Muốn vậy, trên thực tế người ta chế tạo những điện dung màn chắn C_{mc} như trình bày ở hình 6-9 sao cho các dòng điện qua chúng lúc nạp điện bằng hoặc gần bằng các dòng điện đi qua các điện dung C_q . Như vậy dòng điện đi qua các điện



Hình 6-9. Vành màn chắn và các vòng màn chắn ở đầu dây quấn

dung dọc dây quấn C_d sẽ không đổi, do đó ngay lúc ban đầu điện áp đã phân bố đều hoặc gần đều dọc dây quấn (hình 6-10). Kết quả là biên độ của dao động sẽ rất nhỏ hoặc dao động sẽ không xảy ra. Các điện dung màn chắn thường được chế tạo thành những vành hoặc vòng kim loại, khuyết một đoạn để tránh trở thành những vòng ngắn mạch và nối với dây quấn, đồng thời có bọc cách điện. Vành điện dung được đặt giữa cuộn dây đầu tiên và gông từ, còn các vòng điện dung thì ôm lấy các cuộn dây đầu tiên.

Câu hỏi

1. Quá dòng điện là gì ? Tại sao có hiện tượng dòng điện i_0 tăng lên khi đóng m.b.a không tải vào lưới điện ?
2. Quá điện áp là gì ? Tại sao lúc quá điện áp các vòng dây đầu và cuối của dây quấn CA lại chịu tác dụng của điện áp lớn ? Các phương pháp bảo vệ quá điện áp ?
3. Vì sao khi ngắn mạch bên trong m.b.a dòng điện xung có trị số lớn hơn khi ngắn mạch bên ngoài m.b.a ?

Chương 7

CÁC LOẠI MÁY BIẾN ÁP KHÁC VÀ MÁY BIẾN ÁP ĐẶC BIỆT

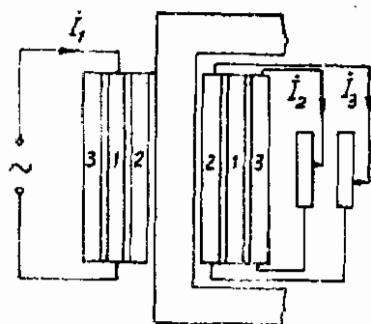
7.1. MÁY BIẾN ÁP BA DÂY QUẤN

Trong hệ thống điện lực, những m.b.a có một dây quấn sơ và hai dây quấn thứ cấp gọi là máy biến áp ba dây quấn dùng để cung cấp điện cho các tải điện có những điện áp khác nhau, ứng với các tỉ số biến đổi:

$$k_{12} = \frac{w_1}{w_2} = \frac{U_1}{U_2} ; \quad k_{13} = \frac{w_1}{w_3} = \frac{U_1}{U_3} \quad (17-1)$$

M.b.a ba dây quấn có ưu điểm nâng cao được tiêu chuẩn kinh tế và kỹ thuật của trạm biến áp vì số m.b.a cần thiết của trạm sẽ ít hơn và tổn hao vận hành cũng nhỏ hơn.

Cũng giống như đối với m.b.a hai dây quấn, người ta chế tạo m.b.a ba dây quấn theo kiểu tổ m.b.a ba pha hoặc m.b.a ba pha ba cột. Ở mỗi pha có đặt ba dây quấn như hình 7-1. Các tổ nối dây đều chuẩn như sau: $Y_0/Y_0/\Delta$, $12-11$ và $Y_0/\Delta/\Delta$, $11-11$



Hình 7-1. M.b.a ba dây quấn

Theo qui định, công suất của ba dây quấn được chế tạo theo những tỉ lệ sau đây:

- 1) 100%, 100%, 100%.
- 2) 100%, 100%, 67%.
- 3) 100%, 67%, 100%.
- 4) 100%, 67%, 67%.

Công suất của m.b.a ba dây quấn lấy theo công suất của dây quấn sơ cấp (có công suất lớn nhất).

7.1.1. Phương trình cơ bản, mạch điện thay thế và đồ thị của m.b.a ba dây quấn

Cũng như trong m.b.a hai dây quấn, dòng điện từ hóa của m.b.a ba dây quấn rất nhỏ nên sau khi đã tính đối các dây quấn 2 và 3 về dây quấn 1 ta có phương trình cơ bản sau đây:

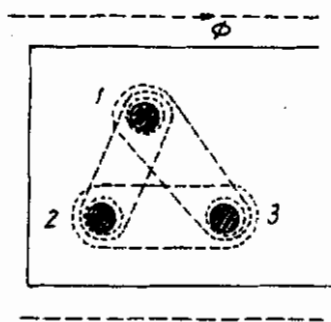
$$\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 = \dot{I}_0 \approx 0 \quad (7-2)$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 - \dot{I}_1 z_1 &= -(\dot{U}'_2 + \dot{I}_2 z_2) \\ &= -(\dot{U}_3 + \dot{I}_2 z_2) \end{aligned} \quad (7-3)$$

trong đó $r_1 = r_1 + jx_1$; $z_2 = r_2 + jx_2$; $z_3 = r_3 + jx_3$.

Cần chú ý rằng các điện kháng tản ở đây không phải chỉ quyết định bởi từ thông tản riêng biệt của từng dây quấn như trong m.b.a hai dây quấn mà quyết định do sự ngẫu hợp từ thông tản của ba dây quấn (hình 7-2).

Mạch điện thay thế và đồ thị vectơ ứng với các phương trình (7-2) và (7-3) được trình bày trên hình 7-3 và 7-4.

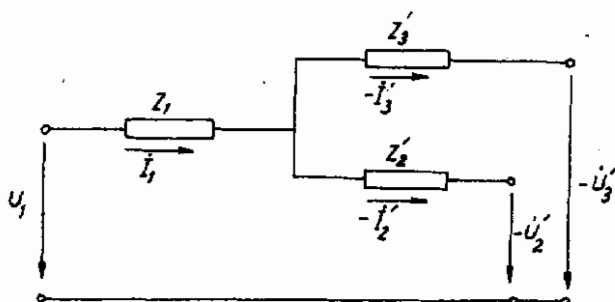


Hình 7-2. Từ thông tản trong m.b.a ba dây quấn

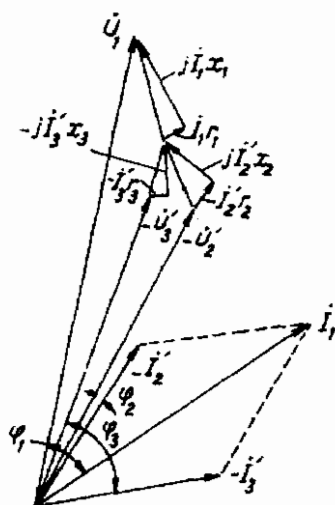
Các tham số của mạch điện thay thế m.b.a ba dây quấn được xác định từ ba thí nghiệm ngắn mạch theo hình 7-5. Theo các số

liệu của những thí nghiệm đó ta được:

$$\begin{aligned} z_{n12} &= r_{n12} + jx_{n12} = (r_1 + r_2) + j(x_1 + x_2) \\ z_{n13} &= r_{n13} + jx_{n13} = (r_1 + r_3) + j(x_1 + x_3) \\ z_{n23} &= r_{n23} + jx_{n23} = (r_2 + r_3) + j(x_2 + x_3) \end{aligned} \quad (7-4)$$



Hình 7-3. Mạch điện thay thế của m.b.a ba dây quấn



Hình 7-4. Đồ thị vectơ của m.b.a ba dây quấn

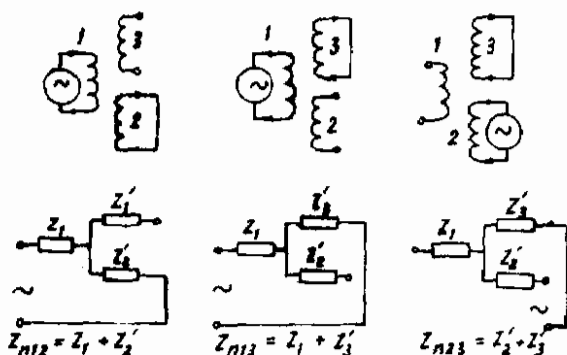
Các lượng trong các biểu thức trên đều được tính đối về dây quấn 1. Từ các biểu thức đó suy ra

$$r_1 = \frac{r_{n12} + r_{n13} - r_{n23}}{2}$$

$$r_2 = \frac{r_{n12} + r_{n23} - r_{n13}}{2}$$

(7-5)

$$r_3 = \frac{r_{n13} + r_{n23} - r_{n12}}{2}$$



Minh 7-5. Sơ đồ và mạch điện thay thế ứng với thí nghiệm ngắn mạch của m.b.a ba dây quấn

Các biểu thức của x_1 , x_2 và x_3 cũng có dạng tương tự. Các thí nghiệm ngắn mạch cũng cho phép xác định được các điện áp ngắn mạch u_{n12} , u_{n13} và u_{n23} tương ứng với các tổng trở ngắn mạch z_{n12} , z_{n13} và z_{n23} .

7.1.2. Độ thay đổi điện áp của m.b.a ba dây quấn

Cũng như ở trường hợp m.b.a hai dây quấn, các điện áp đầu ra U_2 , U_3 của m.b.a ba dây quấn thay đổi theo trị số và tính chất của các dòng điện tải I_2 , I_3 . Chú ý rằng ở đây nếu tải của một dây quấn thứ cấp thay đổi thì sẽ ảnh hưởng đến điện áp của dây quấn thứ cấp kia do có điện áp rơi trên dây quấn sơ cấp $z_1 I_1$...

Độ thay đổi điện áp ở các tải I_2 , I_3 với hệ số công suất $\cos \varphi_2$, $\cos \varphi_3$ sẽ như sau:

$$\begin{aligned}\Delta U_{12*} &= \frac{U_{ldm} - U_2}{U_{ldm}} \\ &= u_{nr12*} \cos \varphi_2 + u_{nx12*} \sin \varphi_2 + \\ &+ u_{nr(3)*} \cos \varphi_3 + u_{nx(3)*} \sin \varphi_3,\end{aligned}\quad (7-6)$$

trong đó:

$$\begin{aligned}u_{nr12*} &= \frac{r_{n12} I_2}{U_{ldm}} ; u_{nx12*} = \frac{x_{n12} I_2}{U_{ldm}} ; \\ u_{nr(3)*} &= \frac{r_1 I_3}{U_{ldm}} ; u_{nx(3)*} = \frac{x_1 I_3}{U_{ldm}}\end{aligned}$$

Biểu thức của ΔU_{13*} cũng có dạng tương tự:

$$\begin{aligned}\Delta U_{13*} &= \frac{U_{ldm} - U_3}{U_{ldm}} \\ &= u_{nr13*} \cos \varphi_3 + u_{nx13*} \sin \varphi_3 + \\ &+ u_{nr(2)*} \cos \varphi_2 + u_{nx(2)*} \sin \varphi_2\end{aligned}\quad (7-7)$$

trong đó:

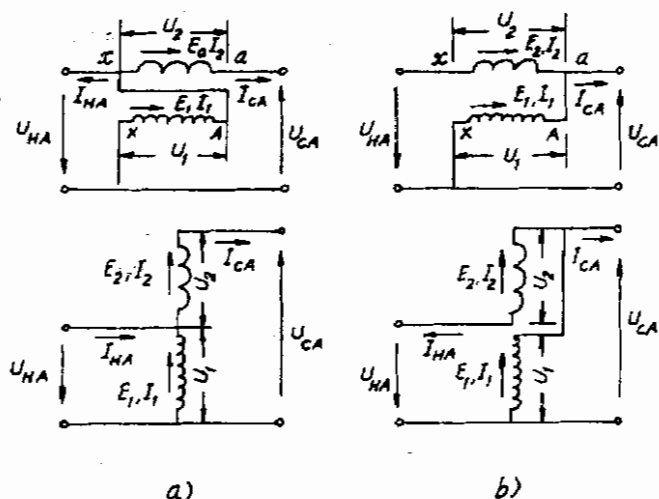
$$\begin{aligned}u_{nr13*} &= \frac{r_{n13} I_3}{U_{ldm}} ; u_{nx13*} = \frac{x_{n13} I_3}{U_{ldm}} ; \\ u_{nr(2)*} &= \frac{r_1 I_2}{U_{ldm}} ; u_{nx(2)*} = \frac{x_1 I_2}{U_{ldm}}\end{aligned}$$

7.2. MÁY BIẾN ÁP TỰ NGẪU

Trong trường hợp điện áp của các lưới điện sơ cấp và thứ cấp khác nhau không nhiều, nghĩa là tỉ số biến đổi điện áp nhỏ, để được kinh tế hơn về chế tạo và vận hành người ta dùng máy biến áp tự ngẫu thay cho m.b.a hai dây quấn.

M.b.a tự ngẫu khác m.b.a hai dây quấn ở chỗ dây quấn thứ cấp là một bộ phận của dây quấn sơ cấp, nên ngoài sự liên hệ qua hồ cảm các dây quấn sơ cấp và thứ cấp còn liên hệ trực tiếp với nhau về điện. Dây quấn sơ cấp của m.b.a tự ngẫu được nối

song song với lưới điện còn dây quấn thứ cấp được nối nối tiếp với lưới điện. Hình 7-6 trình bày hai kiểu nối dây của m.b.a tự ngẫu trong đó: a) ứng với chiều các s.d.d E_1, E_2 thuận nhau và b) ứng với chiều các s.d.d ngược nhau.



Hình 7-6. Sơ đồ của m.b.a tự ngẫu một pha
a. nối thuận; b. nối ngược

Với cách nối dây như vậy, công suất truyền tải qua m.b.a tự ngẫu gồm hai phần, một phần qua từ trường của lõi thép và một phần truyền dẫn trực tiếp. Ta hãy so sánh dung lượng thiết kế $S_{L,k}$ với dung lượng truyền tải $S_{L,t}$ của m.b.a tự ngẫu. Giống như đối với m.b.a hai dây quấn, dung lượng thiết kế m.b.a tự ngẫu tức là dung lượng truyền qua từ trường bằng:

$$S_{L,k} = E_1 I_1 = E_2 I_2 \quad (7-8)$$

và tỉ số biến đổi của m.b.a tự ngẫu:

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{I_2}{I_1} = k$$

Trên thực tế, lúc vận hành dung lượng truyền tải của m.b.a tự ngẫu bằng:

$$S_{11} = U_{CA} I_{CA} = U_{HA} I_{HA} \quad (7-9)$$

và tỉ số biến đổi điện áp của lưới điện:

$$\frac{I_{CA}}{U_{HA}} = \frac{I_{HA}}{I_{CA}} = k'$$

Như vậy theo hình 7-6a ta có:

$$\frac{S_{1k}}{S_{11}} = \frac{E_2 I_2}{U_{CA} I_{CA}} = \frac{(U_{CA} - U_{HA}) I_{CA}}{U_{CA} I_{CA}} = 1 - \frac{1}{k'} \quad (7-10)$$

và đối với hình 7-6b:

$$\frac{S_{1k}}{S_{11}} = \frac{E_2 I_2}{U_{CA} I_{CA}} = \frac{(U_{CA} - U_{HA}) I_{HA}}{U_{CA} I_{CA}} = k' - 1 \quad (7-11)$$

Bảng 7-1 cho biết các trị số của $\frac{S_{1k}}{S_{11}}$ ứng với các trị số k' khác

nhau của hai kiểu nối dây m.b.a tự ngẫu ở hình 7-6. Ta thấy rằng kiểu nối dây theo hình 7-6a ưu việt hơn vì với cùng trị số k' tỉ số S_{1k}/S_{11} nhỏ hơn, do đó trên thực tế được dùng nhiều. Cũng từ bảng 7-1 ta thấy rằng, nếu k' càng gần bằng 1 thì càng có lợi. Thông thường thì m.b.a tự ngẫu có $k' \leq 2,5$ và dùng để nối liên lạc các lưới điện có điện áp khác nhau: 110, 154, 220, 330, 500 kV.

Như vậy là m.b.a tự ngẫu kinh tế hơn so với m.b.a hai dây quấn về mặt chế tạo. Trong vận hành, tổn hao trong m.b.a tự ngẫu cũng nhỏ hơn, vì nếu lấy tỉ số giữa tổn hao Σp với dung lượng truyền tải S_{11} , ta có:

$$\frac{\Sigma p}{S_{11}} = \frac{\Sigma p}{S_{1k}} \left(1 - \frac{1}{k'} \right)$$

nghĩa là giảm còn $(1 - \frac{1}{k'})$ so với tổn hao tính theo dung lượng thiết kế S_{tk} hay là tổn hao của m.b.a hai dây quấn có cùng dung lượng.

Bảng 7.1.

k'	S_{tk}/S_{tt}	
	Sơ đồ nối thuận	Sơ đồ nối ngược
100	0	0
125	0,20	0,25
150	0,33	0,50
175	0,43	0,75
200	0,50	1,00
250	0,60	1,50
3,00	0,67	2,00
5,00	0,80	4,00

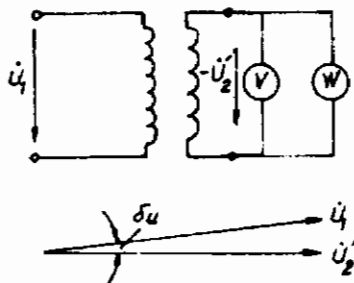
Cũng tương tự như vậy, điện áp ngắn mạch của m.b.a tự ngẫu giảm còn $(1 - \frac{1}{k'})$ so với điện áp ngắn mạch của m.b.a hai dây quấn, do đó độ thay đổi điện áp ΔU hay điện áp rơi trong m.b.a tự ngẫu cũng nhỏ hơn. Cần chú ý rằng do điện áp ngắn mạch của m.b.a tự ngẫu nhỏ nên dòng điện ngắn mạch của nó sẽ tăng lên tương ứng.

Ngoài ứng dụng trong hệ thống điện lực để truyền tải điện năng, m.b.a tự ngẫu còn được dùng để mở máy động cơ điện không đồng bộ. M.b.a tự ngẫu cũng còn được dùng rộng rãi trong phòng thí nghiệm để thay đổi liên tục điện áp. Trong trường hợp này, số dòng dây thứ cấp được thay đổi bằng cách dùng chổi than tiếp xúc trượt với dây quấn.

7.3. CÁC MÁY BIẾN ÁP ĐẶC BIỆT

7.3.1. Máy biến áp đo lường

M.b.a đo lường gồm hai loại máy biến điện áp và máy biến dòng điện dùng để biến đổi điện áp cao hoặc dòng điện lớn thành những lượng nhỏ đo được bằng dụng cụ đo tiêu chuẩn ($1 \div 100$ V hoặc $1 \div 5$ A) hoặc dùng trong mạch bảo vệ. Máy biến điện áp được chế tạo với công suất $25 \div 1000$ VA và máy biến dòng điện với công suất $5 \div 100$ VA.



Hình 7-7. Sơ đồ nối dây và đồ thị vectơ của máy biến điện áp

Máy biến điện áp có dây quấn sơ cấp nối song song với lưới điện và dây quấn thứ cấp nối với vônmet, hoặc với cuộn dây song song oátmet, hoặc với cuộn dây của role bảo vệ (hình 7-7). Tổng trở z của những dụng cụ này rất lớn nên máy biến điện áp làm việc ở trạng thái gần như không tải, điện áp rơi trong máy nhỏ, do đó sai số về trị số:

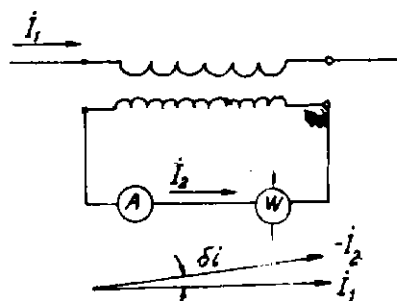
$$\Delta U\% = \frac{\frac{w_1}{w_2} U_2 - U_1}{U_1} 100 \quad (7-12)$$

và sai số về góc δ_u giữa U_1 và U_2 (hình 7-7) đều nhỏ.

Tùy theo mức độ sai số, máy biến điện áp có các cấp chính xác 0,5 ; 1 ; 3, nghĩa là $\Delta U\%$ tương ứng bằng $\pm 0,5\%$; $\pm 1\%$; $\pm 3\%$ và δ_u tương ứng bằng $\pm 20'$, $\pm 40'$ (đối với cấp 3 không có qui định tiêu chuẩn về δ_u). Khi sử dụng máy biến điện áp chú ý không được nối tắt mạch thứ cấp vì như vậy sẽ tương đương với nối tắt mạch sơ cấp, nghĩa là gây sự cố ngắn mạch ở lưới điện.

Máy biến dòng điện có dây quấn sơ cấp gồm ít vòng dây và nối tiếp với mạch cần đo dòng điện, còn dây quấn thứ cấp gồm nhiều vòng dây được nối với amperemet hoặc với các cuộn dây nối tiếp oátmet hay role bảo vệ (hình 7-8). Tổng trở z của những dụng cụ này rất nhỏ và trạng thái làm việc của máy biến dòng điện là trạng thái ngắn mạch, lõi thép không bão hòa ($\Phi = 0,8 \div 1 \text{ Wb}$) và $I_0 \approx 0$ do đó các sai số đo lường về trị số:

$$\Delta i\% = \frac{\frac{w_2}{w_1} I_2 - I_1}{I_1} \cdot 100 \quad (7-13)$$



Hình 7-8. Sơ đồ nối dây và đồ thị vectơ của máy biến dòng

và sai số về góc δ_i (hình 7-8) cũng sẽ nhỏ. Tùy theo mức độ sai số, máy biến dòng điện có các cấp chính xác 0,2 ; 0,5 ; 1 ; 3 ; 10, nghĩa là $\Delta i\%$ tương ứng bằng $\pm 0,2\%$; $\pm 0,5\%$... ; $\pm 10\%$ và δ_i tương ứng bằng $\pm 10'$; $\pm 40'$; $\pm 80'$ (đối với hai cấp 3 và 10 không có qui định tiêu chuẩn về δ_i).

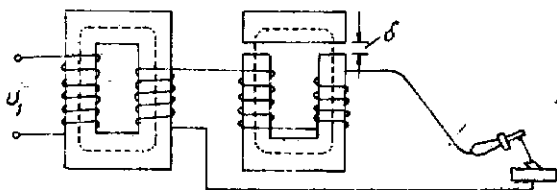
Khi sử dụng chú ý không được để dây quấn thứ cấp hở

mạch vì như vậy dòng điện từ hóa rất lớn ($I_0 = I_1$), lõi thép bão hòa nghiêm trọng ($\Phi = 1,4 \div 1,8 \text{ Wb}$) sẽ nóng lên và làm cháy dây quấn, hơn nữa khi bão hòa, từ thông bằng đầu sẽ sinh ra s.d.đ nhọn đầu, do đó ở đầu dây quấn thứ cấp có thể xuất hiện điện áp cao hàng nghìn vôn, không an toàn cho người sử dụng.

7.3.2. Máy biến áp hàn

Các máy biến áp hàn được chia thành nhiều loại có cấu tạo và đặc tính khác nhau tùy theo phương pháp hàn (hồ quang, hàn điện...). Ở đây ta chỉ xét đến loại m.b.a hàn hồ quang (hình 7-9).

Các m.b.a hàn hồ quang được chế tạo sao cho có đặc tính ngoài $U_2 = f(I_2)$ rất dốc để hạn chế được dòng điện ngắn mạch và bảo đảm cho hồ quang được ổn định. Muốn điều chỉnh dòng điện hàn cần phải có thêm một cuộn cảm phụ có điện kháng thay đổi được bằng cách thay đổi khe hở δ của lõi thép của cuộn cảm.

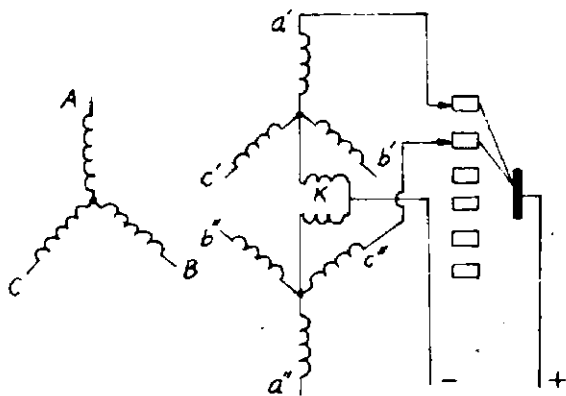


Hình 7-9. M.b.a làm việc có cuộn kháng

M.b.a hàn hồ quang thường có điện áp không tải bằng $60 + 75$ V và điện áp ở tải định mức bằng 30 V. Công suất của m.b.a hàn thông thường vào khoảng 20 kVA và nếu dùng cho hàn tự động thì có thể tới hàng 100 kVA.

7.3.3. Máy biến áp chỉnh lưu

Máy biến áp chỉnh lưu có đặc điểm là tải của các pha không đồng thời mà luân phiên nhau theo sự làm việc của các dương cực của các bộ chỉnh lưu thủy ngân hoặc bán dẫn đặt ở mạch thứ cấp của m.b.a như trên hình 7-10. Như vậy m.b.a luôn luôn làm việc trong tình trạng không đối xứng, do đó phải chọn sơ đồ nối dây sao cho đảm bảo được điều



Hình 7-10. Sơ đồ m.b.a chỉnh lưu

kiện từ hóa bình thường của các trụ lõi thép và giảm nhỏ được sự đập mạch của điện áp và dòng điện chỉnh lưu.

Muốn vậy phải tăng số pha của dây quấn thứ cấp (thường chọn số pha bằng sáu) và ở phía thứ cấp có đặt thêm cuộn cảm cân bằng K giữa các điểm trung tính của ba pha thuận ($a'b'c'$) và ba pha ngược ($a''b''c''$). Tác dụng của cuộn cảm K là làm cân bằng điện áp trong mạch của hai pha có góc lệch 60° làm việc song song, ví dụ như của a' và c'' trên hình 7-10.

Khi hai dây quấn thứ cấp làm việc song song với nhau, bộ chỉnh lưu sáu pha làm việc tương tự như bộ chỉnh lưu ba pha và mỗi dương cực làm việc không phải trong thời gian một phần sáu mà trong một phần ba chu kỳ.

Câu hỏi

1. Cấu tạo, nguyên lý làm việc và đặc điểm của m.b.a ba dây quấn.
2. Vì sao trong m.b.a ba dây quấn từ thông s.d.d và điện áp pha luôn luôn là hình sin ?
3. Nguyên lý làm việc và đặc điểm của m.b.a tự ngẫu. So sánh m.b.a tự ngẫu với m.b.a hai dây quấn.
4. Cấu tạo, nguyên lý làm việc và ứng dụng của m.b.a đo lường. Những điểm cần chú ý khi sử dụng chúng.

Bài tập

1. Cho một m.b.a ba pha ba dây quấn $Y_0/Y_0/\Delta$ -12-11; 10000/6667/10000 kVA; 121/38,5/11 kV; $u_{n12}\% = 15$; $u_{n13}\% = 10,5$; $u_{n23}\% = 6$; $u_{nr12}\% = 1$, $u_{nr13}\% = 0,65$; $u_{nr23}\% = 0,8$.

a) Tính các tham số r_1, r'_2, r'_3 ; x_1, x'_2, x'_3 và vẽ giản đồ thay thế m.b.a.

b) Phía điện áp cao được nối với nguồn. Dây quấn điện áp trung bình có tải bằng 3000 kVA; $\cos\varphi_2 = 0,8$ và dây quấn điện áp thấp có tải bằng 6000 kVA; $\cos\varphi_3 = 0,8$. Tính $\Delta U_{12}\%$ và $\Delta U_{13}\%$.

Đáp số: a. $r_1 = 6,2 \, \Omega$; $r'_2 = 8,1$; $r'_3 = 3,3$;
 $x_1 = 142,7 \, \Omega$; $x'_2 = 76,4 \, \Omega$;
 $x'_3 = 10,65 \, \Omega$

b. $\Delta U_{12} = 11,7\%$; $\Delta U_{13} = 6,9\%$.

2. Cho một m.b.a ba pha dây quấn $S_{dm} = 3200 \, kVA$; $35/6 \, kV$; $52,5/307,5 \, A$; $Y/Y-12$; $u_n\% = 6,94$; $u_{nr}\% = 1,04$; $p_{Fe} = 9,53 \, kW$, $p_{Cu} = 32,5 \, kW$. Bây giờ đem nối lại thành m.b.a tự ngẫu $41/35 \, kV$, hãy:

a) Trình bày cách nối dây của m.b.a tự ngẫu.

b) Tính công suất truyền tải của m.b.a tự ngẫu; công suất của dây quấn sơ cấp và dây quấn thứ cấp.

c) Hiệu suất của m.b.a tự ngẫu ở tải định mức với $\cos\varphi = 0,8$.

d) Dòng điện ngắn mạch của m.b.a tự ngẫu.

Đáp số: a. Theo hình 7-6a;

b. $S_{11} = 12600$; $S_1 = 11755$;

$S_2 = 1845 \, kVA$;

c. $\eta = 99,58\%$;

d. $I_n = 5184 \, A$.

PHẦN THỨ HAI

**LÝ THUYẾT CHUNG
CỦA CÁC MÁY ĐIỆN QUAY**

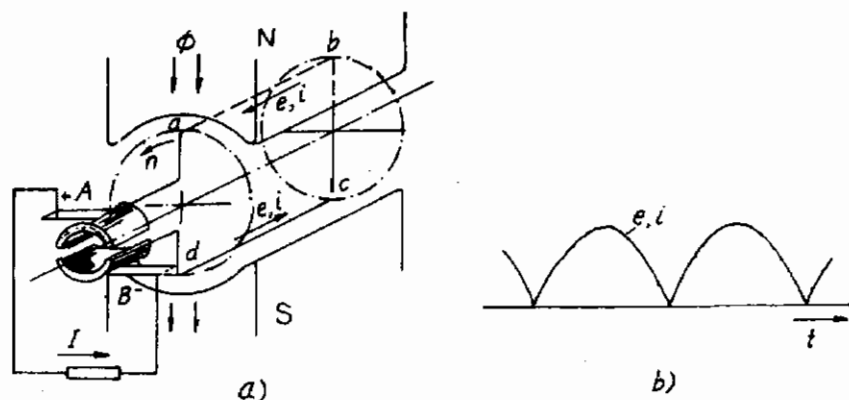
Chương 8

NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC VÀ SỰ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG CƠ ĐIỆN TRONG MÁY ĐIỆN QUAY

8.1. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CƠ BẢN CỦA MÁY ĐIỆN QUAY

8.1.1. Nguyên lý làm việc của máy điện một chiều

Sơ đồ nguyên lý làm việc của máy điện một chiều như hình 8-1a. Máy gồm có một khung dây $abcd$ đầu nối với hai phiến gập. Khung dây và phiến gập được quay quanh trục của nó với một tốc độ không đổi trong từ trường của hai cực nam châm $N-S$. Các chổi điện A, B đặt cố định và luôn tì sát vào phiến gập.



Hình 8-1. Sơ đồ nguyên lý làm việc của máy điện một chiều

Khi cho khung quay, theo định luật về cảm ứng điện từ, trong thanh dẫn sẽ cảm ứng nên sức điện động (viết tắt là s.d.d), trị số tức thời của nó được xác định theo biểu thức:

$$e = Blv$$

trong đó:

- B - từ cảm ở nơi dây dẫn quét qua;
- l - chiều dài thanh dẫn nằm trong từ trường;
- v - tốc độ quét của thanh dẫn.

Chiều của s.d.d được xác định theo quy tắc bàn tay phải. Như vậy theo hình 8-1a, s.d.d của thanh dẫn *ab* nằm dưới cực *N* có chiều đi từ *b* đến *a*, còn của thanh dẫn *cd* nằm dưới cực *S* có chiều đi từ *d* đến *c*. Nếu mạch ngoài khép kín qua tải thì s.d.d trong khung dây sẽ sinh ra trong mạch ngoài một dòng điện chạy từ chổi than *A* đến chổi than *B*.

Khi khung quay, nếu từ cảm thẳng góc với hướng quay của thanh dẫn phân bố hình sin thì theo công thức trên, s.d.d cũng có dạng xoay chiều hình sin. Nhưng do chổi than *A* luôn luôn tiếp xúc với thanh dẫn nằm dưới cực *N*, chổi *B* tiếp xúc với thanh dẫn nằm dưới cực *S*, nên dòng điện mạch ngoài chỉ chạy theo chiều từ *A* (cực dương) đến *B* (cực âm). Nói một cách khác, s.d.d xoay chiều cảm ứng trong thanh dẫn và dòng điện tương ứng đã được chỉnh lưu thành s.d.d và dòng điện một chiều (hình 8-1b) nhờ vào hệ thống vành góp và chổi than.

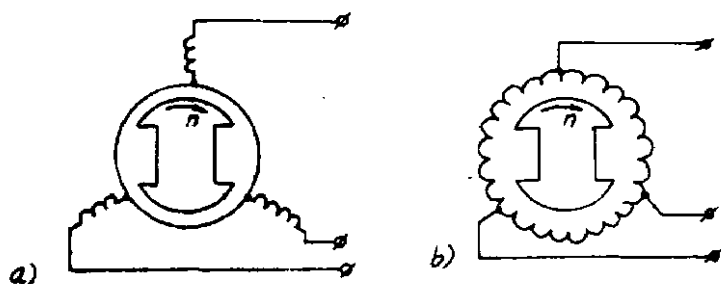
Để có một s.d.d. lớn giữa các chổi điện và giảm bớt sự đập mạch của s.d.d đó, người ta dùng nhiều khung dây đặt lệch nhau một góc trong không gian làm thành dây quấn phần ứng. Cũng do đó có nhiều phiên đổi chiều cách điện với nhau và ghép lại thành một cổ góp điện (còn gọi là vành góp).

Nếu ngược lại ta cho dòng điện một chiều vào chổi than *A* và ra ở *B* thì do dòng điện chỉ đi vào thanh dẫn nằm dưới cực *N* và đi ra ở các thanh dẫn nằm dưới cực *S*, nên dưới tác dụng của từ trường lên các thanh dẫn sẽ sinh ra mômen có chiều không đổi làm cho máy quay. Đó là nguyên lý làm việc của động cơ điện một chiều.

8.1.2. Nguyên lý làm việc của máy điện đồng bộ

Nếu trong sơ đồ ở hình 8-1a ta thay hai vành đối chiều bằng hai vành trượt trên đó tỉ hai chổi than A và B thì khi khung dây $abcd$ quay với tốc độ không đổi n , trên hai vành trượt và mạch điện ngoài khép kín qua tải ta sẽ được một sức điện động và một dòng điện xoay chiều có tần số $f = \frac{pn}{60}$ trong đó p là số đôi cực của máy. Đó là nguyên lý làm việc của máy điện đồng bộ một pha.

Thường trong máy điện đồng bộ, cực từ được đặt trong rôto còn dây quấn phần ứng (khung dây) được đặt trên phần tĩnh gồm ba cuộn dây đặt lệch nhau trong không gian 120° góc độ điện dấu thành hình Y hay Δ (hình 8-2).



Hình 8-2. Sơ đồ nguyên lý của máy điện đồng bộ ba pha
a. Đấu hình sao Y; b. Đấu tam giác Δ

Khi cực từ quay với tốc độ n , dây quấn phần ứng nối với một tải ngoài ba pha đối xứng thì trong dây quấn phần ứng sẽ cảm ứng nên một sức điện động và dòng điện ba pha lệch nhau một góc 120° về thời gian và do đó sẽ tạo ra một từ trường quay với

tốc độ $n_1 = \frac{60f}{p}$, nghĩa là bằng tốc độ quay của rôto. Chính vì

vậy mà ta gọi là máy điện đồng bộ ba pha.

Trong máy điện đồng bộ, từ trường của cực từ và từ trường

quay do dòng điện xoay chiều ba pha sinh ra trong dây quấn phần ứng không có sự chuyển động tương đối. Tổng hợp của hai từ trường đó sẽ cho từ trường khe hở làm cơ sở cho các quan hệ điện từ và sự biến đổi năng lượng trong máy điện đồng bộ.

8.1.3. Nguyên lý làm việc của máy điện không đồng bộ

Khi trong lõi sắt stato của máy điện không đồng bộ, ta tạo một từ trường quay với tốc độ đồng bộ $n_1 = 60 f_1/p$, trong đó f_1 là tần số dòng điện lưới đưa vào. p là số đôi cực của máy, thì từ trường này quét qua dây quấn nhiều pha tự ngắn mạch đặt trên lõi sắt rôto và cảm ứng trong dây quấn đó s.d.d và dòng điện. Từ thông do dòng điện này sinh ra hợp với từ thông của stato tạo thành từ thông tổng ở khe hở. Dòng điện trong dây quấn rôto tác dụng với từ thông khe hở này sinh ra mômen. Tác dụng đó có quan hệ mật thiết với tốc độ quay n của rôto. Trong những phạm vi tốc độ khác nhau thì chế độ làm việc của máy cũng khác nhau. Sau đây sẽ nghiên cứu tác dụng của chúng trong ba phạm vi tốc độ.

Để chỉ phạm vi tốc độ của máy, thường người ta còn dùng hệ số trượt s . Theo định nghĩa hệ số trượt bằng:

$$s\% = \frac{n_1 - n}{n_1} 100$$

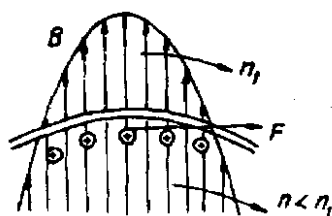
Như vậy khi $n = n_1$ thì $s = 0$, $s = 1$; khi $n > n_1$, $s < 0$ và khi rôto quay ngược chiều từ trường quay $n < 0$ thì $s > 1$.

1. Trường hợp rôto quay thuận với từ trường quay nhưng tốc độ nhỏ hơn tốc độ đồng bộ ($0 < n < n_1$, hay $1 > s > 0$).

Giả thiết chiều tốc độ quay n_1 của từ trường tổng Φ và của rôto n như trong hình 8-3. Do $n < n_1$, nên từ trường đó vẫn quét qua thanh dẫn theo chiều quay của từ trường và chiều s.d.d sinh ra có thể xác định theo quy tắc bàn tay phải. Dòng điện sinh ra trong dây quấn rôto cùng chiều với s.d.d. và tác dụng với từ trường tổng trong khe hở, sinh ra lực F và mômen M mà chiều

được xác định theo quy tắc bàn tay trái

Mômen đó kéo rôto quay theo chiều từ trường quay. Điện năng đưa tới rôto đã biến thành cơ năng trên trục, nghĩa là máy điện làm việc trong chế độ động cơ điện. Nhưng máy chỉ làm việc ở chế độ đó khi $n < n_1$, vì chỉ khi $n < n_1$ mới có sự chuyển động tương đối giữa từ trường và dây quấn rôto và như vậy trong dây quấn rôto mới có dòng điện và mômen kéo rôto quay.



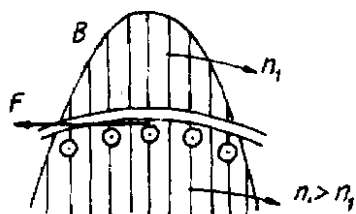
Hình 8-3. Chế độ động cơ điện của máy điện không đồng bộ

2. Trường hợp rôto quay thuận và nhanh hơn tốc độ đồng bộ ($n > n_1$ hay $s < 0$)

Dùng một động cơ sơ cấp nào đó quay rôto của máy điện không đồng bộ vượt tốc độ đồng bộ $n > n_1$. Lúc đó chiều của từ trường quay quét qua dây dẫn sẽ ngược lại, s.d.d. và dòng điện trong dây dẫn rôto cũng đổi chiều nên chiều của mômen cũng ngược với chiều quay của n_1 , nghĩa là ngược với chiều của rôto, nên đó là mômen hãm (hình 8-4). Máy đã biến cơ năng tác dụng lên trục động cơ điện, do động cơ sơ cấp kéo thành điện năng cung cấp cho lưới điện, nghĩa là máy điện làm việc ở chế độ máy phát điện.

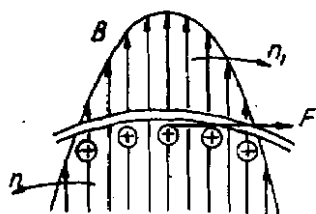
3. Trường hợp rôto quay ngược với chiều từ trường quay ($n < 0$ hay $s > 1$)

Vì một nguyên nhân nào đó rôto quay ngược chiều với chiều từ trường quay (hình 8-5) thì lúc



Hình 8-4. Chế độ máy phát điện của máy điện không đồng bộ

đó chiều của s.d.d. dòng điện và mômen vẫn giống như lúc ở chế độ động cơ điện. Vì mômen sinh ra ngược với chiều quay của rôto nên có tác dụng hãm rôto đứng lại. Trong trường hợp này, máy vừa lấy điện năng ở lưới điện vào, vừa lấy cơ năng từ động cơ sơ cấp. Chế độ làm việc như vậy gọi là chế độ hãm điện từ.



Hình 8-8 Chế độ hãm của máy điện không đồng bộ

Tóm lại, có thể biểu thị các chế độ làm việc theo phạm vi hệ số trượt và tốc độ như sau:

Hãm điện từ			Động cơ điện			Máy phát điện	
$s > 1$	$s = 1$	$1 > s > 0$	$s = 0$	$s < 0$	$s \rightarrow -\infty$		
$n < 0$	$n = 0$	$0 < n < n_1$	$n = n_1$	$n > n_1$	$n \rightarrow +\infty$		

Vì máy điện làm việc ở những tốc độ khác tốc độ đồng bộ của từ trường quay nên ta gọi là máy điện không đồng bộ.

8.1.4. Máy điện xoay chiều có vành góp

Máy điện xoay chiều có vành góp có rôto quay khác với tốc độ của từ trường quay vì vậy thuộc loại máy điện không đồng bộ. Tuy nhiên do có vành góp giống như của máy điện một chiều nên được xếp riêng thành một loại. Máy điện xoay chiều có vành góp được dùng chủ yếu làm động cơ điện. Do cấu tạo phức tạp nên các động cơ điện xoay chiều có vành góp ít được sử dụng.

Nguyên lý làm việc của các loại máy điện xoay chiều nói trên đều dựa vào nguyên lý về cảm ứng điện từ, nên trước khi xét riêng từng loại cần nghiên cứu những vấn đề lý luận chung như:

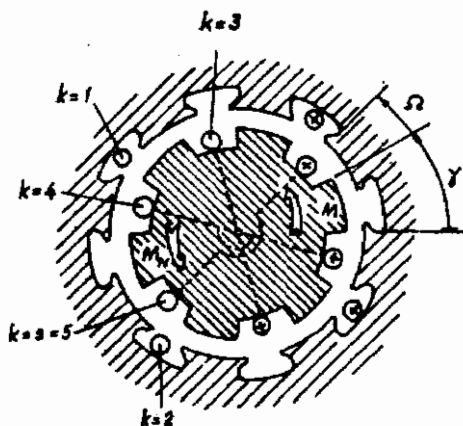
dây quấn phản ứng, sức điện động, sức từ động, từ trường và điện kháng của dây quấn máy điện xoay chiều và các vấn đề tổn hao phát nóng, làm lạnh của máy điện xoay chiều.

8.2. MÔ TẢ TOÁN HỌC CÁC QUÁ TRÌNH BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG CƠ ĐIỆN TRONG CÁC MÁY ĐIỆN QUAY

Các quá trình điện từ trong máy điện được mô tả bằng hệ phương trình Kirkhôff cho các mạch vòng dây quấn và phương trình chuyển động của rôto.

Giả thiết máy có $s = 5$ mạch vòng trong đó trên stato có hai mạch vòng (1 và 2), rôto có ba mạch vòng (4,5,6) được mô tả trong hình 8-6.

Với sự tuyến tính gần đúng, từ thông móc vòng của một mạch vòng bất kỳ, thí dụ mạch vòng k ($1 < k < s$), có thể biểu diễn theo các dòng điện i_n trong các dây quấn như sau:



Hình 8-6. Máy điện quay nhiều cuộn dây

$$\psi_k = \sum_{n=1}^s \psi_{kn} = \sum_{n=1}^s i_n L_{kn}$$

Trong trường hợp chung, tất cả các tự cảm L_{kk} và hồ cảm L_{kn} phụ thuộc vào kích thước dây quấn và mạch từ, và là hàm của góc vị trí của rôto $L_{kn} = f(\alpha)$. Hệ phương trình Kirkhôff cho các điện áp dây quấn gồm s phương trình thành lập cho từng mạch vòng.

Phương trình cho mạch vòng thứ k bằng:

$$u_k = R_k i_k + \frac{d\psi_k}{dt} = R_k i_k + \sum_{n=1}^s (L_{kn} \frac{di_n}{dt} + i_n \omega \frac{dL_{kn}}{d\alpha})$$

trong đó:

$L_{kn} \frac{di_n}{dt}$ - các sức điện động biến áp liên quan đến sự biến đổi

của dòng điện trong mạch vòng thứ n;

$i_n \omega \frac{dL_{kn}}{d\alpha} = - i_n \omega \frac{dL_{kn}}{dt}$ - các sức điện động quay liên quan

đến sự biến đổi hồ cảm với mạch vòng thứ k (khi $n \neq k$) hay với sự biến đổi tự cảm của mạch vòng k (khi $n = k$).

Như vậy các sức điện động cảm ứng trong mạch vòng k được biểu thị dưới dạng tổng các sức điện động có bản chất khác nhau. Sức điện động biến áp do sự biến đổi của dòng điện trong các dây

quấn khi hồ cảm (hoặc tự cảm) là cố định ($-\sum_{n=1}^s L_{kn} \frac{di_n}{dt}$) và sức

điện động quay do sự biến đổi của hồ cảm (hoặc tự cảm) khi

dòng điện cố định ($-\omega \sum_{n=1}^s i_n \frac{dL_{kn}}{d\alpha}$) ở đây tốc độ góc $\omega = \frac{d\alpha}{dt}$.

Đối với các mạch vòng nối với lưới điện ngoài, điện áp u_k được hiểu là sức điện động của lưới điện đó. Đối với các mạch vòng ngắn mạch, $u_k = 0$.

Công suất cơ do máy biến đổi thành công suất điện có thể biểu thị theo các đại lượng của mạch điện xuất phát từ định luật bảo toàn năng lượng.

Công suất điện tức thời đưa từ lưới điện vào mạch vòng k nối với lưới điện đó bằng:

$$P_k = u_k i_k + R_k i_k^2 + i_k \sum_{n=1}^s L_{kn} \frac{di_n}{dt} + i_k \omega \sum_{n=1}^s i_n \frac{dL_{kn}}{d\alpha}$$

Lấy tổng công suất của tất cả các mạch vòng ta tìm được toàn bộ công suất điện tức thời đưa vào các mạch vòng của máy:

$$\sum_{k=1}^s P_k = \sum_{k=1}^s R_k i_k^2 + \sum_{k=1}^s I_k \sum_{n=1}^s L_{kn} \frac{di_n}{dt} + \omega \sum_{k=1}^s i_k \sum_{n=1}^s i_n \frac{dL_{kn}}{d\alpha}$$

Ta thấy một phần của công suất $\sum_{k=1} P_k$ đưa vào các mạch vòng là $P_d = \sum_{k=1}^s R_k i_k^2$ được tiêu hao trên các điện trở R_k của các mạch vòng. Phần còn lại để biến đổi năng lượng từ trường trong máy do sự biến đổi dòng điện trong các mạch vòng và sự biến đổi của các tự cảm và hổ cảm.

Vì năng lượng từ trường $W = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^s i_k \sum_{n=1}^s i_n L_{kn}$ gia tăng trong thời gian dt khi i_k , i_n và L_{kn} gia tăng, do đó:

$$\begin{aligned} dW &= \frac{\partial W}{\partial i_k} di_k + \frac{\partial W}{\partial i_n} di_n + \frac{\partial W}{\partial L_{kn}} dL_{kn} = \\ &= \sum_{k=1}^s i_k \sum_{n=1}^s L_{kn} di_n + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^s i_k \sum_{n=1}^s i_n dL_{kn} \end{aligned}$$

Vì vậy để biến đổi năng lượng từ trường phải tiêu hao một công suất:

$$P_w = \frac{dW}{dt} = \sum_{k=1}^s i_k \sum_{n=1}^s L_{kn} \frac{di_n}{dt} + \frac{\omega}{2} \sum_{k=1}^s i_k \sum_{n=1}^s i_n \frac{dL_{kn}}{d\alpha}$$

Công suất còn lại được biến đổi thành công suất cơ truyền qua trục máy:

$$P_{cơ} = \sum_{k=1}^s P_k - P_d - P_w = \frac{\omega}{2} \sum_{k=1}^s i_k \sum_{n=1}^s i_n \frac{dL_{kn}}{d\alpha}$$

Ta thấy công suất cơ bằng một nửa tổng công suất xác định theo tích các dòng điện mạch vòng với sức điện động quay. Điều đó cho phép kết luận rằng, sự biến đổi năng lượng cơ điện chỉ liên quan đến sức điện động quay trong khi sức điện động biến áp không tham gia vào sự biến đổi đó. Sở dĩ như vậy vì công suất làm biến đổi năng lượng từ trường không mất đi mà biến đổi tuần hoàn nên bình quân bằng không.

Công suất phản kháng được hiểu là công suất tức thời cực đại

lấy từ lưới điện để tạo thành từ trường trong máy:

$$Q = \left| \frac{dW}{dt} \right|_{\max}$$

Mômen điện từ tác động lên rôto ở thời điểm này được biểu thị theo công suất cơ:

$$M = \frac{P_{cơ}}{\omega} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^s i_k \sum_{n=1}^s \frac{dL_{kn}}{d\alpha} = \frac{dW}{d\alpha} \text{ với } i_k = \text{const}$$

Quan hệ giữa mômen điện từ với mômen cân đầu trục có thể biểu thị bằng:

$$M = M_c + J \frac{d\omega}{dt}$$

trong đó:

- ω - tốc độ góc của rôto;
- J - hằng số mômen quán tính.

Chương 9

DÂY QUẤN PHẦN ỨNG MÁY ĐIỆN QUAY

A. DÂY QUẤN PHẦN ỨNG MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

9.1. ĐẠI CƯƠNG

Dây quấn phần ứng là phần dây đồng đặt trong các rãnh của phần ứng và làm thành một hoặc nhiều mạch vòng kín. Dây quấn là bộ phận quan trọng nhất của máy điện vì nó trực tiếp tham gia các quá trình biến đổi năng lượng từ điện năng thành cơ năng hay ngược lại, đồng thời về mặt kinh tế thì giá thành của dây quấn cũng chiếm một tỷ lệ khá cao trong toàn bộ giá thành máy.

Các yêu cầu đối với dây quấn bao gồm:

- Sinh ra được một s.d.d cần thiết, có thể cho một dòng điện nhất định chạy qua mà không bị nóng quá một nhiệt độ nhất định để sinh ra một mômen cần thiết, đồng thời đảm bảo đổi chiều tốt.

- Triệt để tiết kiệm vật liệu, kết cấu đơn giản, làm việc chắc chắn và an toàn.

Dây quấn phần ứng có thể phân ra làm các loại chủ yếu sau:

- Dây quấn xếp đơn và xếp phức tạp.
- Dây quấn sóng đơn và sóng phức tạp.

Trong một số máy điện cỡ lớn còn dùng dây quấn hỗn hợp, đó là sự kết hợp giữa hai dây quấn xếp và sóng.

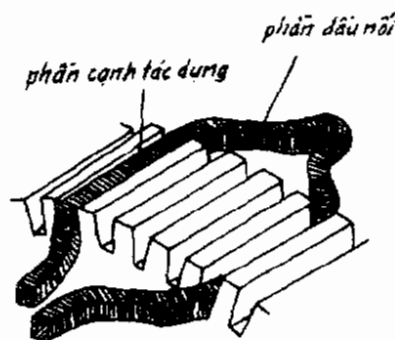
9.1.1. Cấu tạo của dây quấn phần ứng

Dây quấn phần ứng gồm nhiều "phần tử dây quấn" nối với

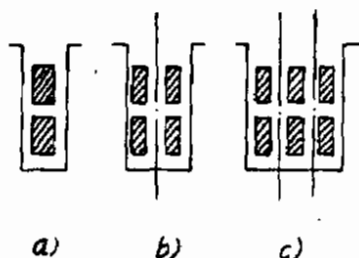
nhau theo một quy luật nhất định. Phần tử thường là một bồi dây gồm một hay nhiều vòng dây mà hai đầu của nó nối vào hai phiến góp. Các phần tử nối với nhau thông qua các phiến góp đó và làm thành mạch vòng kín. Mỗi phần tử có hai cạnh tác dụng, đó là phần đặt vào rãnh của lõi sắt. Phần nối hai cạnh tác dụng của phần tử nằm ngoài lõi sắt gọi là phần đầu nối (hình 9-1).

Để dễ chế tạo, một cạnh tác dụng của phần tử đặt ở lớp dưới của một rãnh, còn cạnh tác dụng kia đặt ở lớp trên của một rãnh khác. Các phần tử khác cũng xếp theo thứ tự như vậy vào các rãnh kề bên cho đến khi đầy các rãnh. Nếu trong một rãnh phần ứng (gọi là rãnh thực) chỉ đặt hai cạnh tác dụng (một cạnh nằm ở lớp trên và một cạnh nằm ở lớp dưới rãnh) thì ta gọi rãnh đó là rãnh nguyên tố (hình 9-2a). Nếu trong một rãnh thực đó có đặt $2u$ cạnh tác dụng (trong đó $u = 1, 2, 3 \dots n$) thì ta có thể chia rãnh thực đó ra làm u rãnh nguyên tố (hình 9-2b và c). Vì vậy quan hệ giữa số rãnh thực Z của phần ứng với số rãnh nguyên tố Z_{nt} như sau:

$$Z_{nt} = uZ \quad (9-1)$$



Hình 9-1. Vị trí của phần tử trong rãnh phần ứng



Hình 9-2. Rãnh thực có 1, 2 và 3 rãnh nguyên tố

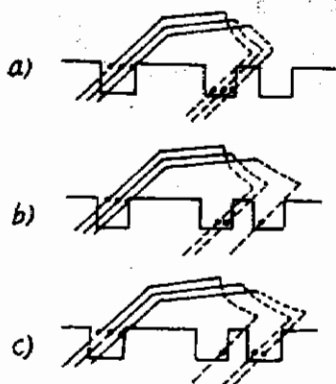
Giữa số phần tử của dây quấn S , số rãnh nguyên tố Z_{nt} và số phiên gộp G cũng có một số quan hệ nhất định. Vì mỗi phần tử có hai đầu nối với hai phiên gộp, đồng thời ở mỗi phiên gộp lại nối hai đầu của hai phần tử lại với nhau, nên số phần tử S phải bằng số phiên gộp G . Ta có:

$$S = G \quad (9-2)$$

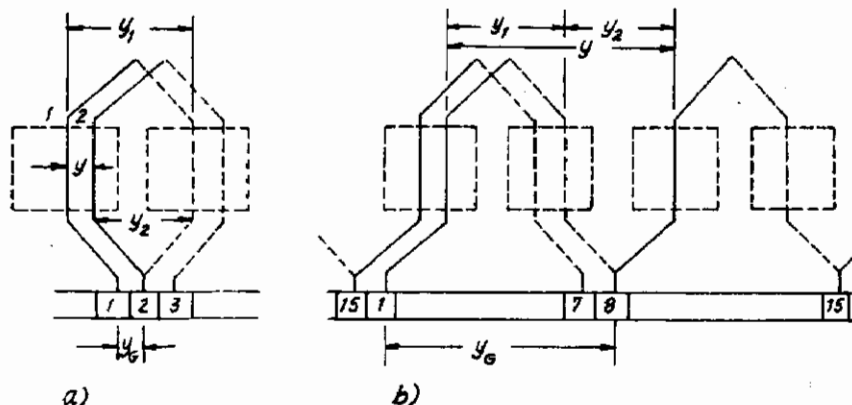
Do trong mỗi rãnh nguyên tố đặt hai cạnh tác dụng mà mỗi phần tử cũng có hai cạnh tác dụng nên ta có quan hệ:

$$Z_{nt} = S = G \quad (9-3)$$

Tùy theo kích thước của các phần tử mà ta chia dây quấn ra làm dây quấn có phần tử đồng đều và dây quấn theo cấp.



Hình 9-3. Dây quấn có phần tử đồng đều và theo cấp



Hình 9-4. Các bước dây quấn
a. dây quấn xếp; b. dây quấn sóng

- Dây quấn có phần tử đồng đều là dây quấn mà kích thước các phần tử hoàn toàn giống nhau (hình 9-3a).

- Dây quấn theo cấp là dây quấn mà khi cạnh tác dụng thứ nhất của các phần tử cùng nằm trong một rãnh thực thì cạnh tác dụng thứ hai của chúng lại nằm trong các rãnh thực khác nhau (hình 9-3b, c). Vì vậy trong dây quấn theo cấp, kích thước của các phần tử không giống nhau.

9.1.2. Các bước dây quấn

Quy luật nối các phần tử dây quấn có thể được xác định theo các bước dây quấn sau (hình 9-4):

a. *Bước dây quấn thứ nhất y_1* . Đó là khoảng cách giữa hai cạnh tác dụng của một phần tử đo bằng số rãnh nguyên tố.

b. *Bước dây quấn thứ hai y_2* . Đó là khoảng cách giữa cạnh tác dụng thứ hai của phần tử thứ nhất với cạnh tác dụng thứ nhất của phần tử thứ hai nối tiếp ngay sau đó và đo bằng số rãnh nguyên tố.

c. *Bước dây tổng hợp y* . Đó là khoảng cách giữa hai cạnh tương ứng của hai phần tử liên tiếp nhau đo bằng số rãnh nguyên tố.

d. *Bước trên vành góp y_c* . Đó là khoảng cách giữa hai phiến góp có hai cạnh tác dụng của cùng một phần tử nối vào đó và đo bằng số phiến góp.

9.2. DÂY QUẤN XẾP ĐƠN

9.2.1. Bước dây quấn

a. Bước dây thứ nhất y_1

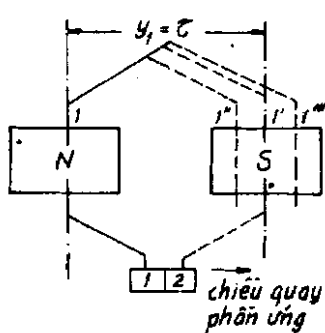
Bước dây thứ nhất phải chọn sao cho s.d.d cảm ứng trong phần tử lớn nhất. Muốn thế thì hai cạnh tác dụng của phần tử phải cách nhau một bước cực, vì lúc đó trị số tức thời của s.d.d của hai cạnh tác dụng bằng nhau về trị số và ngược chiều nhau và do trong một phần tử dưới của hai cạnh tác dụng nối với nhau

nên s.d.d tổng của phần tử bằng tổng số học của hai s.d.d của hai cạnh tác dụng.

Nếu biểu thị s.d.d của mỗi cạnh tác dụng bằng một vectơ thì hai s.d.d của hai cạnh tác dụng này cùng phương và vectơ s.d.d tổng của phần tử bằng hai lần vectơ s.d.d của mỗi cạnh tác dụng

(hình 9-5a). Vì số rãnh nguyên tố dưới mỗi bước cực bằng $\frac{Z_{n1}}{2p}$ (trong đó p là số đôi cực) nên tốt nhất là $y_1 = \frac{Z_{n1}}{2p}$. Nếu $y_1 = \frac{Z_{n1}}{2p}$ không phải là số nguyên thì phải chọn y_1 bằng một số nguyên gần bằng

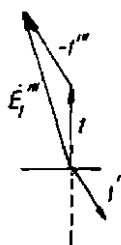
$\frac{Z_{n1}}{2p}$, nên tổng quát ta có:



a)



b)



c)

Hình 9-5. S.d.d của phần tử: a. khi bước đủ; b. bước ngắn; c. bước dài

$$y_1 = \frac{Z_{n1}}{2p} \pm \epsilon = \text{số nguyên}$$

Khi $y_1 = \frac{Z_{n1}}{2p}$ ta có dây quấn bước đủ;

$y_1 = \frac{Z_{n1}}{2p} + \epsilon$ ta có dây quấn bước dài;

$$y_1 = \frac{Z_{nt}}{2p} - \varepsilon \text{ ta có dây quần bước ngắn.}$$

Dây quần thường được thực hiện theo bước ngắn vì đỡ tốn đồng hơn. Dù là bước dài hay bước ngắn thì s.d.d của phần tử cũng hơi nhỏ hơn so với bước đủ vì vectơ s.d.d của hai cạnh tác dụng không cùng phương nữa nên phải cộng vectơ hai s.d.d đó mà không thể cộng trị số số học của chúng được (hình 9-5b và c).

b. Bước dây tổng hợp y và bước vành góp y_G

Đặc điểm của dây quần xếp đơn là hai đầu dây của một phần tử nối liền vào hai phiên đối chiều kề nhau nên $y_G = 1$.

Cũng từ đây ta thấy bước tổng hợp y cũng phải bằng 1, ta có:

$$y = y_G = 1 \quad (9-5)$$

c. Bước dây thứ hai y_2

Có thể xác định y_2 theo y_1 và y. Theo định nghĩa và hình 9-4, ta có:

$$y_2 = y_1 - y \quad (9-6)$$

Từ hình vẽ ta thấy, do đặc điểm về bước dây của kiểu dây quần này nên các phần tử nối nối tiếp nhau đều xếp lên nhau nên gọi là dây quần xếp.

9.2.2. Giản đồ khai triển của dây quần

Có thể phân tích cách đầu dây của các phần tử bằng giản đồ khai triển. Đó là hình vẽ khai triển của dây quần khi cắt bề mặt phần ứng theo trục rồi trải ra thành mặt phẳng. Để hiểu rõ cách phân tích hơn có thể xét thí dụ sau.

Có dây quần xếp đơn $Z_{nt} = S = G = 16, 2p = 4$.

a) Các bước dây quần:

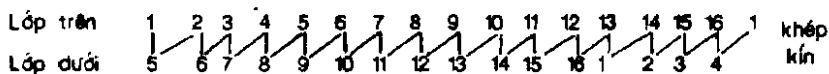
$$y_1 = \frac{Z_{nt}}{2p} \pm \varepsilon = \frac{16}{4} = 4$$

$$y = y_G = 1$$

$$y_2 = y_1 - y = 4 - 1 = 3.$$

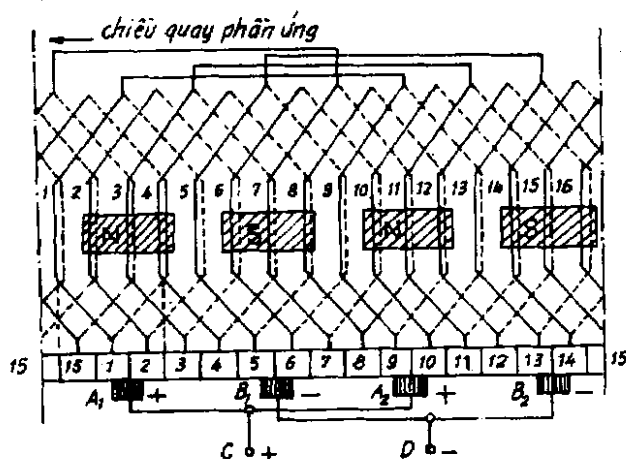
b) Thứ tự nối các phần tử:

Căn cứ vào các bước dây quấn có thể bố trí cách nối các phần tử để thực hiện dây quấn. Đánh số các rãnh từ 1 đến 16. Phần tử thứ nhất có cạnh tác dụng thứ nhất (coi như đặt nằm trên rãnh) đặt vào rãnh nguyên tố thứ nhất thì cạnh tác dụng thứ hai của phần tử đó phải đặt vào phía dưới của rãnh nguyên tố thứ 5 (vì $y_1 = 5 - 1 = 4$). Hai đầu của phần tử nối vào phiên đối chiều 1 và 2. Cạnh thứ nhất của phần tử thứ hai phải đặt ở rãnh nguyên tố thứ hai và nằm ở lớp trên (vì $y_2 = 5 - 2 = 3$), và cứ tiếp tục như vậy cho đến khi mạch khép kín. Ta có thể diễn tả bằng sơ đồ sau:



c) Giản đồ khai triển:

Ta có thể theo trình tự nối các phần tử để vẽ giản đồ khai triển (hình 9-6).



Hình 9-6. Giản đồ khai triển dây quấn xếp đơn

Khi vẽ quy ước các cạnh của phần tử ở lớp trên bằng nét liền còn ở lớp dưới bằng nét đứt.

Vị trí của các cực từ trên hình vẽ phải đối xứng, nghĩa là khoảng cách giữa chúng phải đều nhau, chiều rộng cực từ vào khoảng 0,7 bước cực. Theo cực tính của cực từ và chiều quay của phần ứng mà chiều s.d.đ cảm ứng như trong hình vẽ. Vị trí của chổi than trên phiến đối chiều cũng phải đối xứng, nghĩa là khoảng cách giữa các chổi than phải bằng nhau. Chiều rộng của chổi than có thể lấy bằng một phiến đối chiều. Vị trí tương đối giữa chổi than với cực từ phải có một quan hệ nhất định. Chổi than phải đặt ở vị trí để s.d.đ lấy ra ở hai đầu chổi than lớn nhất, mặt khác để dòng điện trong phần tử khi chổi than bị ngắn mạch nhỏ nhất. Dòng điện trong phần tử bị ngắn mạch nhỏ nhất khi hai cạnh của phần tử nằm ở vị trí trùng với đường trung tính hình học của phần ứng và như vậy thì vị trí của chổi than đặt trên vành góp phải trùng với trục cực từ. Để tiện lợi, có khi trong một số hình vẽ ta quy ước vẽ vị trí của các chổi than ở đúng đường trung tính hình học trên phần ứng.

Theo hình 9-6, khi chổi than trên vành góp đặt đúng giữa trục cực từ thì s.d.đ của các phần tử giữa hai chổi than đều cộng với nhau nên s.d.đ giữa hai chổi than lớn nhất, nếu dịch chổi than đến vị trí khác thì s.d.đ sẽ giảm đi.

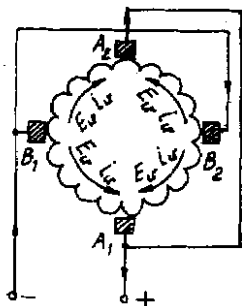
9.2.3. Số đôi mạch nhánh

Giả thiết ở một điểm nào đấy dây quấn quay đến vị trí như trong giản đồ khai triển trên. Ta thấy s.d.đ của các phần tử giữa hai chổi than cùng chiều và chổi A_1 , A_2 cùng cực tính (cực +). Cực tính của các chổi B_1 , B_2 cũng giống nhau (cực -). Vì vậy ta thường nối A_1A_2 và B_1B_2 lại. Từ ngoài nhìn vào, dây quấn có thể biểu thị bằng sơ đồ ký hiệu như hình 9-7.

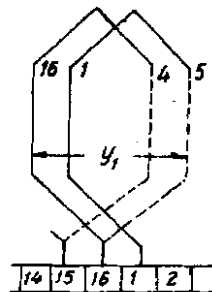
Từ đó ta thấy dây quấn là một mạch điện gồm bốn mạch nhánh ghép song song hợp lại. Khi phần ứng quay, vị trí của phần tử thay đổi nhưng nhìn từ ngoài vào vẫn là bốn mạch

nhánh song song. Ở ví dụ trên, máy có bốn cực nên có bốn mạch nhánh song song. Nếu số cực là $2p$ thì số mạch nhánh cũng sẽ bằng $2p$. Vì vậy, đặc điểm của dây quấn xếp đơn là số mạch nhánh ghép song song của dây quấn phản ứng bằng số cực từ:

$$2a = 2p$$



Hình 9-7. Sơ đồ ký hiệu dây quấn xếp đơn



Hình 9-8. Dây quấn xếp trái

Vì số cực và số mạch nhánh đều là số chẵn nên ta có:

$$a = p \quad (9-7)$$

nghĩa là số đôi mạch nhánh bằng số đôi cực từ.

Trong thí dụ trên $y_G = 1$ nên dây quấn được xếp theo thứ tự từ trái sang phải, ta gọi là dây quấn phải. Nếu $y_G = -1$ thì đầu cuối của phần tử phải nằm bên trái của đầu đầu phần tử nên ta có *dây quấn trái* (hình 9-8). Cách quấn này tốn đồng hơn nên nói chung không được dùng.

9.2.4. Dùng đa giác s.d.d nghiên cứu dây quấn phản ứng

Giả thiết từ cảm dưới cực từ phân bố hình sin, như vậy các phần tử của dây quấn khi quét qua từ trường thì s.d.d cảm ứng trong phần tử cũng biến đổi hình sin và có thể dùng một vectơ quay mà trị số tức thời là hình chiếu của vectơ lên trục tung để biểu thị. Như vậy có thể biểu thị s.d.d của tất cả các phần tử bằng hình sao s.d.d(*).

(*) Hay còn gọi là hình tia s.d.d.

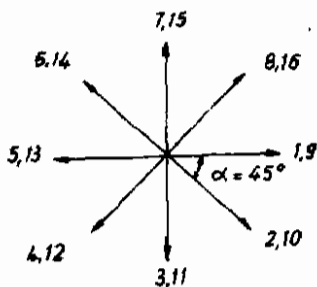
Vì cứ qua mỗi đôi cực, s.d.đ biến đổi một chu kỳ 360° và số rãnh nguyên tố dưới mỗi đôi cực là $\frac{Z_{nt}}{p}$, nên nếu coi như các phần tử dây quấn phân bố đều trên bề mặt phần ứng thì góc độ điện giữa hai rãnh nguyên tố (cũng là góc độ điện về s.d.đ của hai phần tử kề nhau) sẽ là:

$$\alpha = \frac{360^\circ}{\frac{Z_{nt}}{p}} = \frac{p360^\circ}{Z_{nt}} = \frac{p360^\circ}{S} \quad (9-8)$$

Theo thí dụ trên $p = 2$, $Z_{nt} = S = 16$ thì ta có $\alpha = \frac{2 \times 360^\circ}{16} = 45^\circ$.

Với chiều quay của phần ứng cho trước như trong hình 9-6 thì các phần tử 1, 2, 3... lần lượt quét qua cực từ nên s.d.đ của phần tử 2 (tức vectơ 2) chậm sau s.d.đ của phần tử 1 (tức vectơ 1) một góc α . Theo quy ước đó mà vẽ, ta có hình tia s.d.đ như hình 9-9. Từ hình vẽ ta thấy từ rãnh 1 đến rãnh 8 phân bố dưới một đôi cực (chiếm 360° góc độ điện) còn từ rãnh 9 đến rãnh 16 phân bố dưới một đôi cực khác. Hai tổ vectơ đó trùng lên nhau (như vectơ 3 và 11...). Sở dĩ như vậy vì chúng có vị trí tương đối giống nhau ở dưới cực từ nên s.d.đ hoàn toàn giống nhau mặc dù không cùng ở dưới một cực từ.

Khi đã có hình tia s.d.đ, nếu theo cách đấu của các phần tử để nối tiếp các vectơ của chúng lại thì được đa giác s.d.đ. Theo thí dụ trên thì các phần tử 1, 2, 3... nối nối tiếp nhau nên vẽ ra ta thấy dây quấn này có hai đa giác s.d.đ trùng nhau (hình 9-10).



Hình 9-9. Hình tia s.d.đ của dây quấn xếp đơn ở hình 9-6

Dùng đa giác s.d.đ có thể thấy rõ được các vấn đề sau:

a) Nếu đa giác s.d.đ khép kín thì chứng tỏ tổng s.d.đ trong mạch vòng phần ứng bằng 0 và trong điều kiện làm việc bình thường không có dòng điện cân bằng.

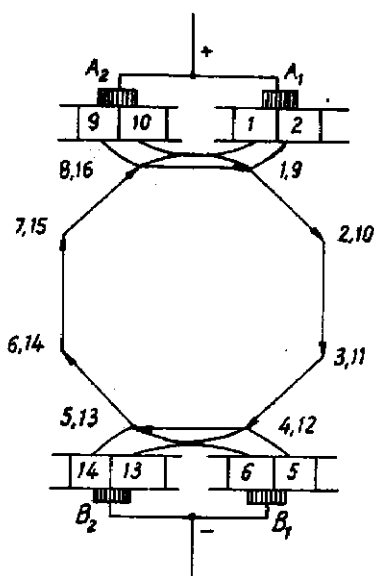
b) Hình chiếu của đa giác s.d.đ lên trục tung là trị số cực đại của các vectơ s.d.đ của một số phần tử nối với nhau trong mạch vòng phần ứng, nên muốn cho s.d.đ lấy ra ở hai đầu chổi than cực đại thì chổi than phải đặt ở các phần tử ứng với các vectơ ở đỉnh và đáy của đa giác. Khi rôto quay thì đa giác quay, ta thấy hình chiếu của đa giác lên trục tung có thay đổi chút ít theo chu kỳ. Điều đó nói lên điện áp phần ứng lấy ra ở chổi than có đập mạch.

c) Các vectơ s.d.đ của đa giác cũng có thể biểu thị cho cách nối tiếp của các phần tử. Do đó từ đa giác s.d.đ có thể thấy số đôi mạch nhánh a (cứ mỗi đa giác tương ứng với một đôi mạch nhánh)

d) Những điểm trùng nhau trên đa giác là những điểm đẳng thế của dây quấn. Có thể nối dây cân bằng điện thế được như điểm 1-9, 2-10 v.v...

9.2.5. Sự đập mạch của điện áp ở các chổi điện

Như đã nói ở trên, nếu số cạnh của đa giác s.d.đ không nhiều (nghĩa là số phần tử của dây quấn có hạn) thì khi rôto quay,



Hình 9-10. Đa giác s.d.đ của dây quấn xếp đơn ở hình 9-6

s.d.d lấy ra ở chổi điện đập mạch trong giới hạn từ U_1 (hình 9-11a) đến U_2 (hình 9-11b) một cách chu kỳ.

Từ hình vẽ ta được $U_1 = U_2 \cos \frac{\alpha}{2}$

Trị số điện áp trung bình trên chổi điện bằng:

$$U_{tb} = \frac{U_1 + U_2}{2} = \frac{1}{2} U_2 (1 + \cos \frac{\alpha}{2})$$

Hiệu số điện áp giữa U_1 hay U_2 với U_{tb} bằng:

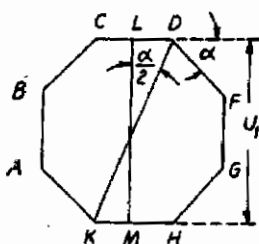
$$\Delta U = U_2 - U_{tb} = U_{tb} - U_1 = \frac{1}{2} U_2 (1 - \cos \frac{\alpha}{2})$$

Sự đập mạch của điện áp được xác định bởi quan hệ:

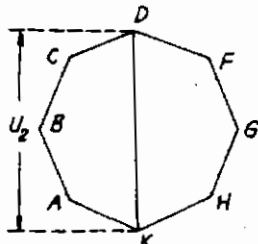
$$\frac{\Delta U}{U_{tb}} = \frac{\frac{1}{2} U_2 (1 - \cos \frac{\alpha}{2})}{\frac{1}{2} U_2 (1 + \cos \frac{\alpha}{2})} = \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2} \quad (9-9)$$

Theo công thức (9-8), góc độ điện $\alpha = \frac{p360^\circ}{S} = \frac{180^\circ}{S/2p} = \frac{180^\circ}{G/2p}$,

trong đó $\frac{G}{2p}$ là số phiên đổi chiều dưới mỗi cực từ.



a)



b)

Hình 9-11. Sự đập mạch của điện áp ở các chổi điện với số phần tử chắn trong nhánh dây quấn phản ứng

Ta thấy nếu $\frac{G}{2p}$ càng lớn thì α càng nhỏ và như vậy sự dập

mạch điện áp càng ít. Khi $\frac{G}{2p} = 8$ thì sự dập mạch đó đã nhỏ

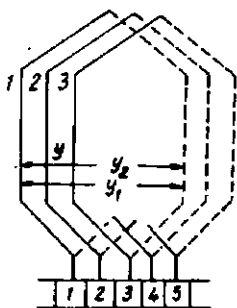
hơn 1% nên đã khó nhận thấy và điện áp của máy điện được coi như không đổi.

9.3. DÂY QUẮN XẾP PHỨC TẠP

9.3.1. Bước dây quấn

Điểm khác nhau giữa dây quấn xếp đơn và dây quấn phức tạp chỉ

ở bước dây y_G . Nếu $y_G = m$, trong đó $m = 2, 3 \dots$ số nguyên thì ta có dây quấn xếp phức tạp. Thường chỉ dùng $m = 2$ và trong máy công suất thật lớn mới dùng $m > 2$. Theo hình 9-12 ta thấy, khi $y_G = 2$ thì phần tử thứ nhất không nối với phần tử thứ hai kề bên mà nối với phần tử thứ 3 và cứ nối như vậy cho đến khi khép kín mạch. Nếu có những phần tử chừa lại thì lại nối chúng với nhau thành một dây quấn xếp khác, thành ra có hai dây quấn xếp xen kẽ nhau và nối song song với nhau thông qua chổi than hình thành dây quấn xếp phức tạp.



Hình 9-12. Cách nối các phần tử trong dây quấn xếp phức tạp

9.3.2. Giảm đồ khai triển

Để thấy rõ cách bố trí dây quấn xếp phức tạp ta nêu một thí dụ để dễ phân tích.

Có dây quấn xếp phức tạp $y_G = m = 2$ với $2p = 4$; $Z_{n1} = S = G = 24$.

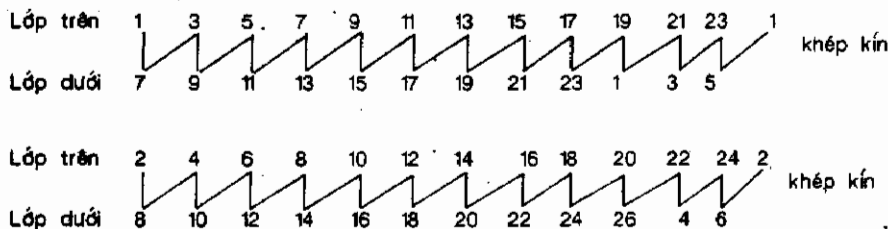
a) Các bước dây quấn

$$y_1 = \frac{Z_{nt}}{2p} \pm \varepsilon = \frac{24}{4} = 6$$

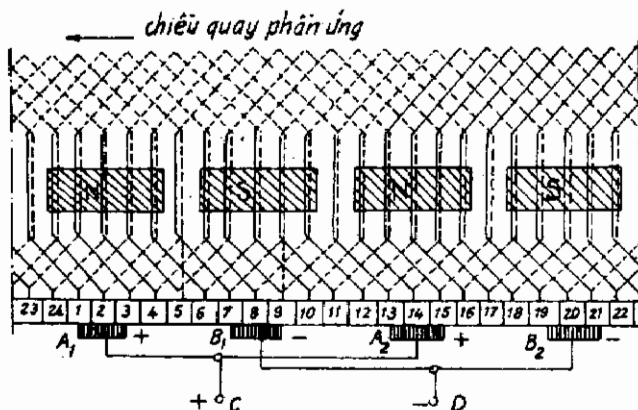
$$y = y_G = 2$$

$$y_2 = y_1 - y = 6 - 2 = 4.$$

b) Trình tự nối các phần tử



Từ trình tự nối dây ta thấy, dây quấn này gồm có hai dây quấn đơn không liên quan với nhau hợp lại làm thành hai mạch điện kín độc lập (*)



Hình 9-13. Giản đồ khai triển dây quấn xếp phức tạp

(*) Hay còn gọi là mạch vòng kín độc lập.

c) Giảm đồ khai triển

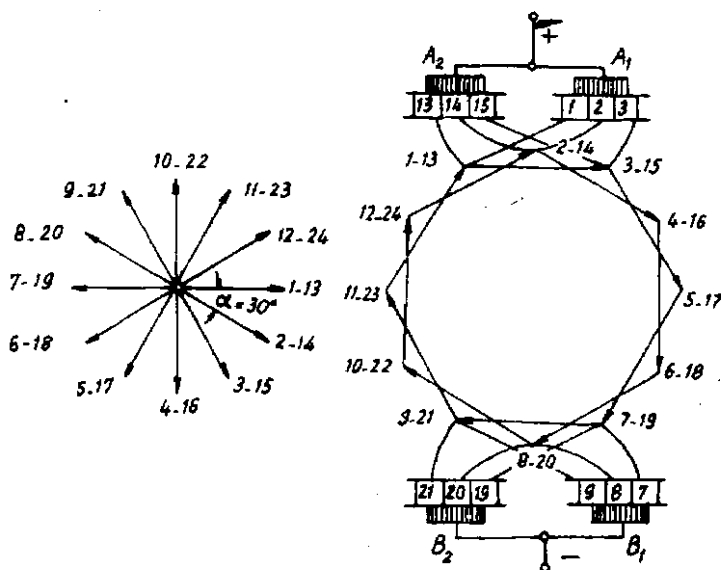
Theo thứ tự nối các phần tử có thể vẽ giảm đồ khai triển của dây quấn.

Cách bố trí cực từ và chổi điện như ở dây quấn xếp đơn, chỉ có khác là bề rộng chổi điện ít nhất là bằng hai phiên đối chiều để có thể lấy điện đồng thời ở hai dây quấn ra được (hình 9-13).

9.3.3. Số mạch nhánh song song

Dây quấn xếp phức tạp thực tế là do 2 hay m dây quấn đơn hợp lại cùng đầu chung với chổi than, do đó từ phía ngoài chổi than nhìn vào số mạch nhánh song song của dây quấn gấp hai hay gấp m lần số mạch nhánh song song của dây quấn xếp đơn. Vì vậy số đôi mạch nhánh của dây quấn xếp phức tạp bằng:

$$a = mp \quad (9-10)$$



Hình 9-14. Hình tia và đa giác s.d.d của dây quấn xếp phức tạp ở hình 9-13.

mạch điện kín thì vẫn có $a = mp$ và khi làm việc, hai loại dây quấn đó không có gì khác nhau.

9.4. DÂY QUẤN SÓNG ĐƠN

9.4.1. Bước dây quấn

Đặc điểm của dây quấn sóng là hai đầu của phần tử nối với hai phiên đối chiều cách rất xa nhau và hai phần tử nối tiếp nhau cũng cách xa nhau nên nhìn cách đấu gần giống như làn sóng (hình 9-4b).

Cách xác định bước dây thứ nhất y_1 , giống như đối với dây quấn xếp đơn, chỉ khác ở y_G . Khi chọn y_G trước hết yêu cầu s.d.đ sinh ra trong hai phần tử nối tiếp nhau cùng chiều, như vậy s.d.đ mới có thể cộng số học với nhau được. Muốn thế thì hai phần tử đó phải nằm dưới các cực từ cùng cực tính, có vị trí tương đối gần giống nhau trong từ trường, nghĩa là cách nhau khoảng hai bước cực. Mặt khác các phần tử nối tiếp nhau sau khi quấn vòng quanh bề mặt phần ứng phải trở về bên cạnh phần tử đầu tiên để lại tiếp tục nối với các phần tử khác quấn vòng thứ hai. Nếu số đôi cực là p thì muốn cho các phần tử nối tiếp nhau đi một vòng bề mặt phần ứng, phải có p phần tử, hai phiên đối chiều nối với hai đầu của phần tử cách nhau y_G phiên, do đó muốn cho khi quấn xong vòng thứ nhất đầu cuối của phần tử phải kề với đầu đầu của phần tử đầu tiên và số phiên đối chiều mà các phần tử vượt qua phải bằng:

$$py_G = G \pm 1$$

$$\text{và ta có: } y_G = \frac{G \pm 1}{p} \quad (9-11)$$

Nếu lấy dấu "-" ta có dây quấn trái, nếu lấy dấu "+" thì ta có dây quấn phải. Thường dùng dây quấn trái cho đỡ tốn đồng.

Theo định nghĩa của các bước dây quấn ta có:

$$y = y_G \quad (9-12)$$

$$y_2 = y - y_1 \quad (9-13)$$

Từ các công thức về bước dây y_G trên, ta thấy mặc dầu hai phần tử nối tiếp với nhau ở dưới các cực từ cùng cực tính nhưng vị trí tương đối trong từ trường không hoàn toàn như nhau, vì khoảng cách rãnh giữa hai phần tử đó là:

$$y = y_G = \frac{G \pm 1}{p} = \frac{Z_{nt} \pm 1}{p} = \frac{Z_{nt}}{p} \pm \frac{1}{p} \text{ mà khoảng cách giữa}$$

hai bước cực tính bằng số rãnh lại là $\frac{Z_{nt}}{p}$, do đó hai cạnh tương

ứng của hai phần tử nối tiếp nhau lệch nhau đi một góc bằng $\frac{1}{p}$ bước rãnh trong từ trường. Đó là hiện tượng tất nhiên trong dây quấn sóng.

9.4.2. Giản đồ khai triển

Ví dụ có dây quấn sóng đơn với $2p = 4$, $G = S = Z_{nt} = 15$.

a) Bước dây quấn

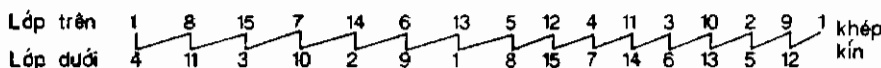
$$y_1 = \frac{Z_{nt}}{2p} \pm \epsilon = \frac{15}{4} - \frac{3}{4} = 3, \text{ (chọn bước ngắn)}$$

$$y_G = \frac{G \pm 1}{p} = \frac{15 - 1}{2} = 7, \text{ (dây quấn trái)}$$

$$y = y_G = 7$$

$$y_2 = y - y_1 = 7 - 3 = 4.$$

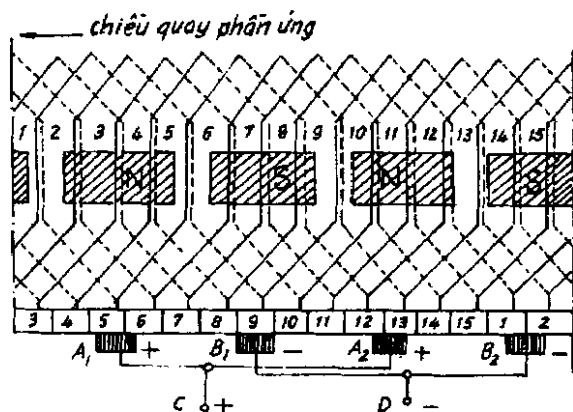
b) Thứ tự nối các phần tử



c) Giản đồ khai triển

Cách vẽ vị trí cực từ và chổi than trong giản đồ khai triển giống như ở dây quấn xếp. Theo thứ tự nối các phần tử ta thấy, phần tử 1 nối với phần tử 8 rồi với phần tử 15, cách nhau bảy phần tử. Nhìn trên giản đồ khai triển (hình 9-16) ta thấy, những

cạnh tương ứng của các phần tử ấy đều nằm dưới các cực từ cùng cực tính, ví dụ cạnh thứ nhất của các phần tử nối tiếp nhau



Hình 9-16. Giản đồ khai triển dây quấn sóng đơn

phần tử ở dưới các cực cùng cực tính lại rồi nối các phần tử ở dưới các cực có cực tính khác cho đến khi hết. Dù máy có bao nhiêu đôi cực thì cách đấu cũng vẫn như thế.

9.4.3. Số đôi mạch nhánh

Có thể dùng đa giác s.d.đ để xác định nhanh chóng số đôi mạch nhánh của dây quấn sóng đơn. Theo hình tia s.d.đ, góc độ điện giữa hai phần tử kề nhau là $\alpha = \frac{p360^\circ}{S} = \frac{2 \times 360^\circ}{15} = 48^\circ$

Khi vẽ hình tia s.d.đ (hình 9-17a) ta thấy không có vectơ s.d.đ nào trùng nhau do đó ta chỉ được một đa giác s.d.đ (hình 9-17b).

Vì chỉ có một đa giác s.d.đ nên chỉ có một đôi mạch nhánh, ta có :

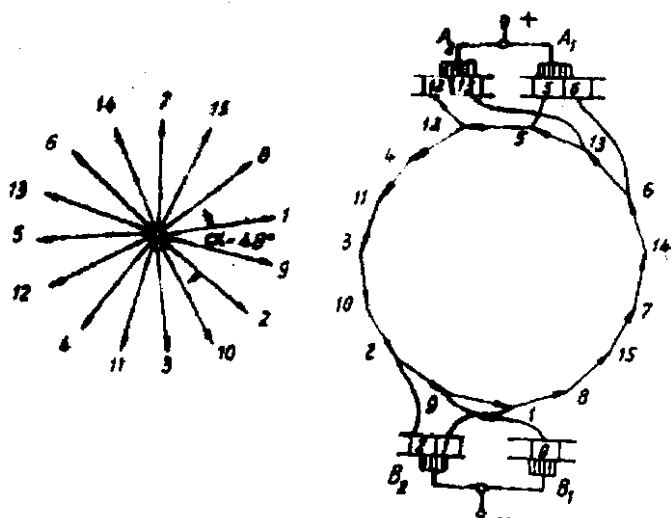
$$a = 1 \quad (9-14)$$

Về lý luận ta thấy có thể chỉ cần hai chổi than cũng đủ (vì chỉ có một đôi mạch nhánh) nhưng thường vẫn đặt số chổi than bằng

1, 8, 15... đều nằm dưới cực S. Nhưng sau khi nối đến phần tử 5 trở đi thì tất cả các cạnh sẽ nằm ở dưới cực N cho đến khi nối thành mạch kín.

Vì vậy quỹ luật nối dây của dây quấn này là trước hết nối nối tiếp tất cả các

số cực từ. Làm như vậy một phần để phân bố dòng điện trên nhiều chổi điện hơn, làm cho kích thước chổi điện ngắn đi, giảm được chiều dài của vành góp, nhưng chủ yếu là để đảm bảo tính đối xứng của cả hai mạch nhánh. Theo hình 9-17b ta thấy có năm phần tử bị ngắn mạch và khép kín qua chổi than (2, 5, 6, 9 và 13) nên trong mỗi mạch nhánh còn lại năm phần tử, nghĩa là chúng đối xứng nhau.



Hình 9-17. Hình tia và đa giác s.d.d của dây quấn sóng đơn theo hình 9-16.

9.5. DÂY QUẤN SÓNG PHỨC TẠP

9.5.1. Bước dây quấn

Trong dây quấn sóng, nếu các phần tử nối tiếp nhau, khi quay một vòng quanh bề mặt phần ứng không trở về vị trí phần tử đầu mà cách 2 hoặc m phần tử thì ta được dây quấn sóng phức tạp.

Cứ tiếp tục quấn như vậy thì vòng sau cách vòng trước 2 hay m phần tử cho đến khi mạch kín. Nếu có những phần tử còn lại thì chúng lại nối với nhau theo quy luật trên hợp thành 2 hay m mạch kín khác.

Căn cứ vào cách quấn trên ta có: $py_G = G \pm m$, do đó bước vành góp bằng:

$$y_G = \frac{G \pm m}{p} \quad (9-15)$$

Các bước dây quấn khác giống như ở dây quấn sóng đơn.

9.5.2. Gián đồ khai triển

Ví dụ có dây quấn sóng phức tạp $m = 2$, $2p = 4$, $S = G = Z_{nt} = 18$.

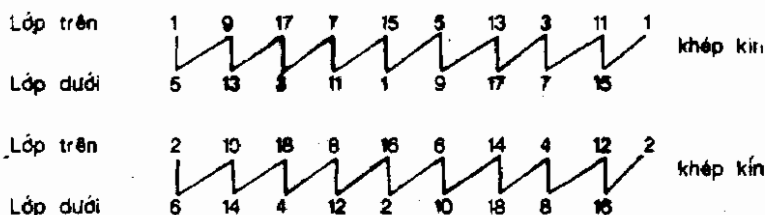
a) Các bước dây quấn

$$y_1 = \frac{Z_{nt}}{2p} \pm \varepsilon = \frac{18}{4} \pm \frac{2}{4} = 4, \text{ bước ngắn}$$

$$y = y_G = \frac{G - m}{p} = \frac{18 - 2}{2} = 8.$$

$$y_2 = y - y_1 = 8 - 4 = 4.$$

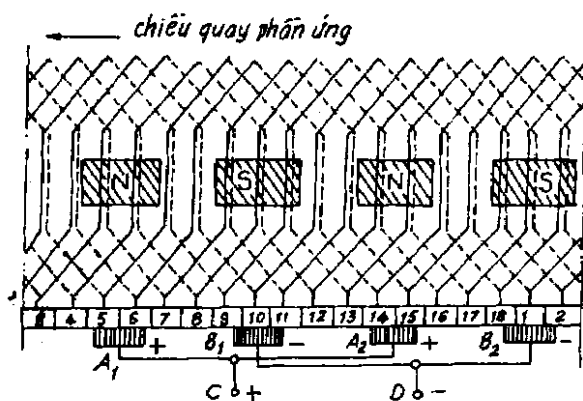
b) Trình tự nối các phần tử



Đây là một dây quấn sóng phức tạp có hai mạch vòng kín.

c) Giản đồ khai triển

Giản đồ khai triển như hình 9-18, trong đó bề rộng chổi than ít nhất bằng 2 hoặc m phiên đổi chiều để lấy điện ở các mạch vòng ra.



Hình 9-18. Giản đồ khai triển dây quấn sóng phức tạp

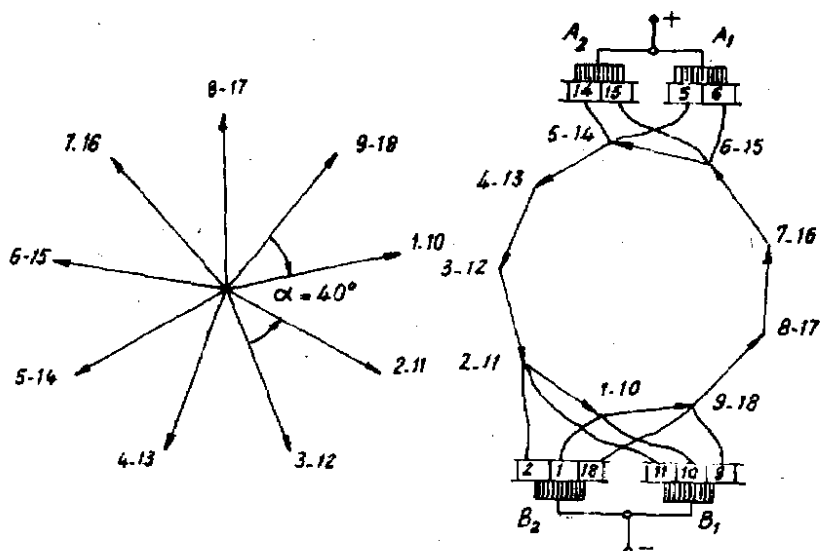
2.5.3. Số đôi mạch nhánh

Dây quấn sóng phức tạp có thể coi như gồm m dây quấn sóng đơn hợp lại, do số đôi mạch nhánh của dây quấn sóng phức tạp bằng m lần số đôi mạch nhánh của dây quấn sóng đơn. Ta có số đôi mạch nhánh của dây quấn sóng phức tạp bằng:

$$a = m \quad (9-16)$$

Từ hình tia và đa giác s.d.d (hình 9-19) ta thấy được điều đó.

Cũng giống như đối với dây quấn xếp phức tạp đã nói ở trên, dây quấn sóng phức tạp có thể gồm nhiều mạch kín độc lập hay cũng có thể chỉ nối thành một mạch kín. Khi máy làm việc, hai loại dây quấn đó không có gì khác nhau. Nói chung nếu y_G và $a = m$ có ước số chung lớn nhất là t thì có t mạch vòng độc lập.



Hình 9-19. Hình tia và đa giác s.d.d của dây quấn sóng phức tạp ở hình 9-18.

9.6. KHÁI NIỆM VỀ DÂY QUẤN HỖN HỢP

Trên thực tế, dây quấn hỗn hợp hai loại dây quấn xếp đơn và sóng phức tạp cùng nối lên một cổ góp. Như vậy số đôi mạch nhánh bằng tổng số số đôi mạch nhánh của hai loại dây quấn đó.

Hai dây quấn đều đặt chung trong các rãnh và đều nối chung lên vành góp, vì vậy số phần tử S của chúng phải bằng nhau. Mặt khác hai dây quấn đó được ghép song song thông qua chổi than tỉ lên vành góp nên s.d.d cảm ứng của chúng phải bằng nhau, như vậy số phần tử nối tiếp trong mỗi mạch nhánh phải bằng nhau và số mạch nhánh của chúng cũng phải bằng nhau. Trong máy điện công suất lớn, số đôi cực $p > 1$, vì vậy nếu dùng dây quấn xếp đơn thì theo công thức về số đôi mạch nhánh ta phải dùng dây quấn sóng phức tạp 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 2-20.

Loại dây quấn này thường dùng trong máy điện công suất lớn, tốc độ cao và đổi chiều khó khăn.

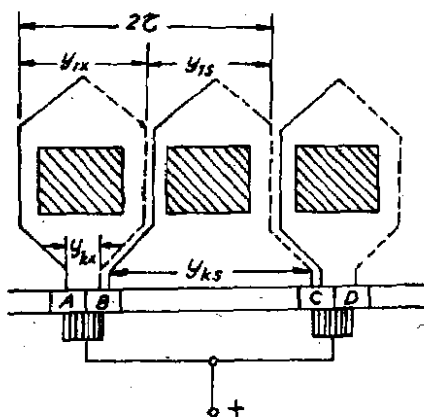
9.7. DÂY CÂN BẰNG ĐIỆN THẾ

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, s.d.đ sinh ra trong các mạch nhánh đó bằng nhau, khi có tải dòng điện phân bố đều trên các mạch nhánh. Nhưng nếu có nguyên nhân gì đó làm cho dòng điện trong các mạch nhánh phân bố không đều nhau thì sự làm việc của máy sẽ không có lợi. Để tránh tình trạng đó ta nối dây cân bằng điện thế để đảm bảo sự phân phối đều đặn dòng điện trong các mạch nhánh. Sau đây sẽ nói đến dây cân bằng điện thế cho các loại dây quấn.

9.7.1. Dây cân bằng loại một

Dây dẫn của các mạch nhánh dây quấn xếp đơn được đặt ở dưới những cực từ khác nhau. Nếu từ thông qua khe hở dưới các cực từ bằng nhau thì s.d.đ cảm ứng trong các mạch nhánh sẽ như nhau và máy làm việc bình thường. Nhưng trên thực tế, do lắp ghép hay chế tạo không tốt hoặc do làm việc lâu ngày ổ bị mòn nên khe hở dưới các cực từ có thể không bằng nhau vì vậy từ thông dưới các cực từ không bằng nhau và s.d.đ cảm ứng trong các mạch nhánh sẽ không giống nhau. Sự không cân bằng s.d.đ 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



Hình 9-20. Bước cực của các phần tử dây quấn hỗn hợp

không cân bằng rất nhỏ về s.d.đ cũng đủ sinh ra dòng điện cân bằng lớn làm cho máy khi có tải thì dòng điện trong các mạch nhánh sẽ không đối xứng nghiêm trọng, tổn hao đồng trong dây quấn tăng lên, máy nóng... Ngoài ra do dòng điện qua chổi than không đối xứng nên có thể có chổi than quá tải làm cho đổi chiều khó khăn.

Để giải quyết vấn đề đó, ta nối các điểm về lý luận là đẳng thế lại với nhau. Trong thí dụ về dây quấn xếp đơn ở trên hình 3-6 và 3-10, các phần tử 1 và 9; 2 và 10, 3 và 11... nằm ở vị trí tương ứng giống nhau dưới các cực từ cùng cực tính nên các điểm tương ứng trên hai phần tử đó đẳng thế và ta có thể nối dây cân bằng. Từ đó ta thấy bước thế y_2 bằng số phiên đổi chiều dưới mỗi đôi cực và vì trong dây quấn xếp đơn $a = p$, nên ta có:

$$y_1 = \frac{G}{p} = \frac{G}{a} \quad (9-17)$$

Thường người ta không đấu hết các dây cân bằng điện thế mà chỉ nối quãng 1/3 hay 1/4 số dây cân bằng có thể nối được (xem dây cân bằng điện thế ở hình 9-6).

Dây cân bằng điện thế trên làm mất sự không đối xứng của mạch từ trong máy điện để cân bằng điện thế ở các mạch nhánh của dây quấn xếp, nằm dưới các cực có cùng cực tính được gọi là dây cân bằng loại một.

9.7.2. Dây cân bằng loại hai

Dây quấn sóng đơn chỉ có một đôi mạch nhánh nên không có điểm đẳng thế. Có thể thấy điều đó từ công thức $y_G = \frac{G \pm 1}{p}$

Do $y_1 = \frac{G}{p}$ không thể là số nguyên nên không thể có điểm đẳng thế được. Thực tế thì ở dây quấn sóng đơn cũng không cần nối dây cân bằng điện thế vì các phần tử nối tiếp để làm thành một mạch nhánh song song đều phân bố đều ở dưới các cực từ cho nên dù từ thông dưới các cực từ khác nhau thì s.d.đ trong hai

mạch nhánh vẫn bằng nhau.

Trong dây quấn sóng phức tạp thì $a > 1$, nhưng cũng vì lý do trên nên không thể có trường hợp s.d.đ không bằng nhau trong các mạch nhánh. Tuy nhiên khi có tải, dòng điện giữa các mạch nhánh có thể phân bố không đều do điện trở giữa các mạch nhánh không bằng nhau, như điện trở tiếp xúc giữa chổi than với vành 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 đối chiều kề nhau không đều nhau và làm cho tình trạng làm việc của máy xấu đi. Để tránh điều đó ta dùng dây cân bằng điện thế nối các điểm đẳng thế về lý thuyết của các mạch vòng của dây quấn sóng phức tạp, đảm bảo dòng điện phân bố đều trong các mạch nhánh và làm cho điện thế phân bố đều trên các phiến đối chiều.

Dây cân bằng dùng để làm mất sự phân bố không đối xứng của điện áp trên vành góp này gọi là dây cân bằng loại hai.

Bước thế của dây cân bằng loại hai bằng:

$$y_1 = \frac{S}{a} = \frac{G}{a}$$

Trong dây quấn xếp phức tạp thì các dây quấn xếp đơn phải dùng dây cân bằng loại một và giữa các dây quấn xếp đơn đó với nhau dùng dây cân bằng loại hai.

Các dây cân bằng điện thế có thể lắp ở phía vành góp, cũng có thể lắp ở đầu bên kia. Tiết diện của dây cân bằng điện thế có thể nhỏ hơn tiết diện dây dẫn của các phần tử một ít.

9.8. CHỌN KIỂU DÂY QUẤN

Sự khác nhau giữa các dây quấn chủ yếu là số đôi mạch nhánh. Với số phần tử như nhau, nếu số đôi mạch nhánh càng nhiều thì số phần tử nối tiếp trong mỗi mạch sẽ giảm đi nên s.d.đ của mạch nhánh nhỏ, dòng điện phản ứng lớn. Về nguyên tắc, khi máy có dòng điện lớn, điện áp thấp thì các dây quấn có

số đôi mạch nhánh nhiều và ngược lại khi dòng điện nhỏ điện áp cao cần dây quấn có số đôi mạch nhánh ít mà số phần tử nối tiếp nhiều.

Khi chọn dây quấn còn phải xét đến công suất của máy và kỹ thuật chế tạo cũng như tính kinh tế. Phạm vi ứng dụng của các loại dây quấn không được phân chia một cách rõ ràng, tham khảo theo bảng sau.

Tên dây quấn	Đặc điểm của dây quấn				Phạm vi ứng dụng
	$y=y_G$	y_1	y_2	Số đôi mạch nhánh a	
Xếp đơn	± 1	$\frac{Z_{nt}}{2p} \pm \epsilon$	$y_1 - y$	p	Máy công suất vừa, điện áp thường và công suất lớn, điện áp cao.
Xếp phức tạp	$\pm m$	$\frac{Z_{nt}}{2p} \pm \epsilon$	$y_1 - y_m$	p	Máy công suất nhỏ, điện áp thấp hoặc công suất lớn, điện áp thường.
Sóng đơn	$\frac{G \pm 1}{p}$	$\frac{Z_{nt}}{2p} \pm \epsilon$	$y - y_1$	1	Máy công suất nhỏ và vừa, điện áp cao hoặc tương đối cao.
Sóng phức tạp	$\frac{G \pm m}{p}$	$\frac{Z_{nt}}{2p} \pm \epsilon$	$y - y_1$	m	Máy công suất vừa, điện áp cao.

B. DÂY QUẤN PHẦN ỨNG MÁY ĐIỆN XOAY CHIỀU

9.9. ĐẠI CƯƠNG

Dây quấn phần ứng của máy điện xoay chiều có nhiệm vụ cảm ứng được s.d.d. nhất định đồng thời cũng tham gia vào việc tạo nên từ trường cần thiết cho sự biến đổi năng lượng cơ điện trong máy. Kết cấu của dây quấn phải đảm bảo được những yêu cầu như tiết kiệm dây đồng (chủ yếu ở phần đầu nối), bền về cơ, điện, nhiệt đồng thời chế tạo đơn giản, lắp ráp sửa chữa dễ dàng.

Dây quấn 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 được xem như dây quấn có số pha m bằng số rãnh Z_2 của rôto). Thường thì số rãnh của một pha dưới một cực q là số nguyên nhưng trong một số trường hợp cần thiết q có thể là phân số. Dây quấn của máy điện xoay chiều có thể đặt trong rãnh thành một lớp hoặc hai lớp và tương ứng là dây quấn một lớp và dây quấn hai lớp.

Trong thực tế có rất nhiều kiểu dây quấn máy điện xoay chiều nhưng trong chương này ta chỉ đề cập đến một số kiểu dây quấn và đối với mỗi loại chủ yếu chỉ nêu lên phương pháp phân tích và sơ đồ nối dây.

9.10. DÂY QUẤN CÓ q LÀ SỐ NGUYÊN

9.10.1. Dây quấn một lớp

Dây quấn một lớp thường được dùng trong các động cơ điện công suất dưới 7 kW và trong các máy phát điện tuabin nước. Đó là loại dây quấn mà trong mỗi rãnh chỉ đặt một cạnh tác dụng của một phần tử (hay còn gọi là bối dây). Vì mỗi phần tử chỉ có hai cạnh tác dụng nên đối với dây quấn một lớp số phần tử $S = \frac{Z}{2}$. Trên thực tế ta thường gặp dây quấn một lớp ba pha nhưng cũng có những trường hợp dây quấn một lớp một pha.

Ta hãy xét thí dụ dây quấn một lớp với số pha $m = 3$; $Z = 24$; $2p = 4$. Để có thể thiết lập sơ đồ nối dây, trước hết ta hãy vẽ hình sao s.d.d. của dây quấn đó.

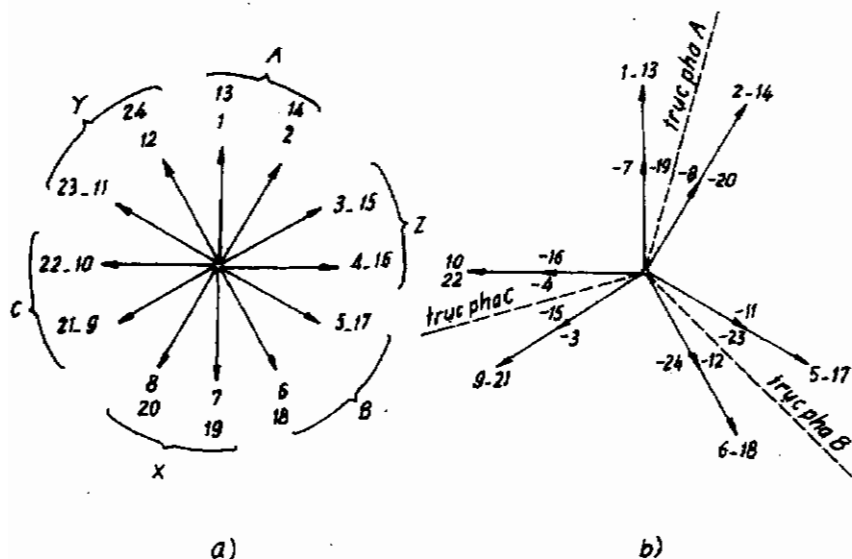
Vì góc lệch pha giữa hai rãnh liên tiếp:

$$\alpha = \frac{p360^\circ}{Z} = 30^\circ$$

nên s.d.d. của các cạnh tác dụng từ 1 đến 12 dưới đôi cực thứ nhất làm thành một hình sao s.d.d. có 12 tia như trên hình 9-21a. Do vị trí của các cạnh $13 + 24$ dưới đôi cực thứ hai cũng hoàn toàn giống vị trí của các cạnh $1 + 12$ dưới đôi cực thứ nhất nên s.d.d. của chúng cũng có thể biểu thị được bằng hình sao s.d.d. trùng với hình sao s.d.d. thứ nhất. Vì số rãnh của một pha

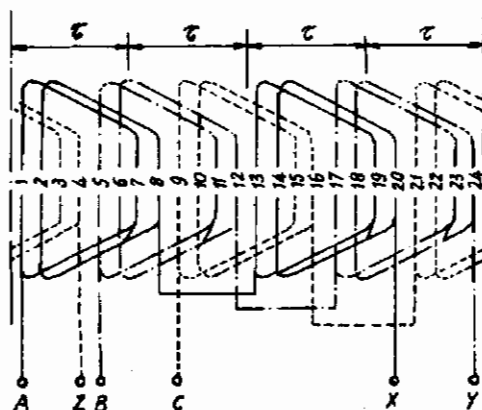
dưới một cực $q = \frac{Z}{2mq} = 2$ (ta có vùng pha $\gamma = q\alpha = 2 \times 30^\circ = 60^\circ$), hơn nữa hai cạnh của mỗi phần tử cạnh nhau $y = r = mq = 6$ rãnh, nên pha A gồm hai phần tử tạo thành bởi các cạnh tác dụng (1-7), (2-8) dưới đôi cực thứ nhất và hai phần tử (13-19), (14-20) dưới đôi cực thứ hai. Do các pha lệch nhau 120° nên pha B gồm các phần tử (5-11), (6-12), (17-23), (18-24) và pha C gồm các phần tử (9-15), (10-16), (21-3), (22-4). Hình sao s.d.d. của các phần tử trình bày trên hình 9-21b. Cộng tất cả các vectơ s.d.d. của các phần tử thuộc cùng một pha ta sẽ được các s.d.d. E_A , E_B và E_C .

Dem nối tiếp các phần tử thuộc cùng một pha với nhau ta được dây quấn ba pha. Hình 9-22 trình bày một kiểu dây quấn với các phần tử có kích thước hoàn toàn giống nhau có tên là dây quấn đồng khuôn. Vì mỗi pha có hai nhóm phần tử có vị trí dưới hai đôi cực hoàn toàn giống nhau, nên có thể tạo thành hoặc một mạch nhánh - nếu nối cuối của nhóm phần tử trước với đầu của nhóm phần tử sau, hoặc thành hai mạch nhánh ghép song song - nếu nối đầu của hai nhóm phần tử với nhau và cuối của chúng



Hình 9-21. Hình sao s.d.d. rãnh (a) và hình sao s.d.d. phần tử (b) của dây quấn có $Z = 24$; $m = 3$; $2p = 4$; $q = 2$

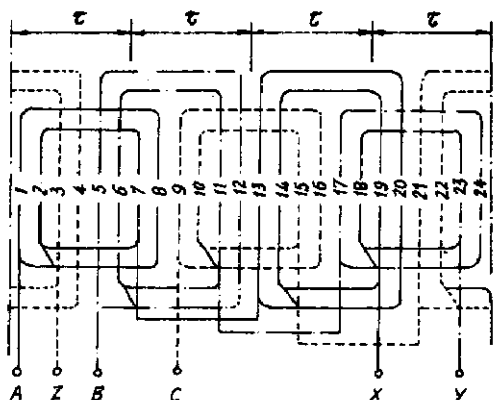
với nhau. Đầu của nhóm phần tử, thí dụ của pha A có ghi ký hiệu "*" như trên hình 9-22. Cách nối dây trên hình 9-22 ứng với trường hợp mỗi pha có một mạch nhánh. Khi nối thành hai mạch nhánh, s.d.d. của mỗi pha sẽ giảm đi một nửa nhưng dòng điện của



Hình 9-22. Dây quấn ba pha đồng khuôn đơn giản với $Z = 24$; $2p = 4$; $q = 2$

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 là k với điều kiện là k chia hết cho p .

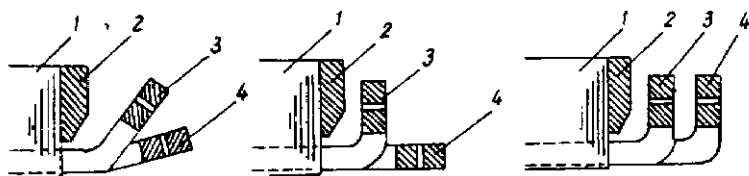
Từ hình 9-21b ta nhận thấy rằng, trị số s.d.đ. của mỗi pha không phụ thuộc vào thứ tự nối các rãnh tác dụng. Lấy thí dụ đối với pha A có thể nối các cạnh tác dụng theo thứ tự 1-8 - 2-7 ở dưới đôi cực thứ nhất và 13-20 - 14-19 dưới đôi cực



Hình 9-23. Dây quấn ba pha đồng tâm hai mặt với $Z = 24$; $2p = 4$; $q = 2$

thứ hai và được hai

nhóm có hai phần tử kích thước không giống nhau (hình 9-23). Loại dây quấn như vậy gọi là dây quấn đồng tâm. Khi thực hiện dây quấn đồng tâm, để cho các phần đầu nối không đè chéo lên nhau cần bố trí chúng lên các mặt khác nhau như trên hình 9-24. Ở đây phần đầu nối được bố trí trên hai mặt. Cũng có thể bố trí phần đầu nối của ba pha trên

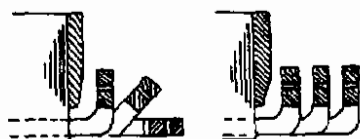


Hình 9-24. Bố trí phần đầu nối của dây quấn đồng tâm trên hai mặt khác nhau. 1. lõi thép stato; 2. vành ép lõi thép; 3. nhóm nối dây ngắn; 4. nhóm nối dây dài

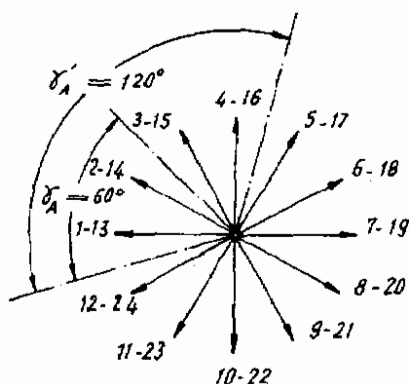
ba mặt khác nhau như trình bày trên hình 9-25. Tương ứng lúc đó sẽ có dây quấn đồng tâm hai mặt và ba mặt. Rõ ràng là ở dây quấn đồng tâm khó thực hiện được các nhánh song song hoàn toàn giống nhau, vì chiều dài của các nhóm phần tử trong từng pha không bằng nhau.

9.10.2. Dây quấn hai lớp

Dây quấn hai lớp là loại dây quấn mà trong mỗi rãnh có đặt hai cạnh tác dụng của phần tử. Như vậy đối với dây quấn hai lớp, số phần tử S bằng số rãnh Z . Giống như ở dây quấn của máy điện một chiều khi quấn dây, cạnh thứ nhất của mỗi phần tử 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 thực hiện được bước ngắn, làm yếu được s.d.đ. bậc cao do đó cải thiện được dạng sóng s.d.đ. Tuy nhiên nó cũng có nhược điểm là khiến cho việc lồng dây quấn vào rãnh cũng như việc sửa chữa dây quấn gặp khó khăn hơn. Cũng như dây quấn của máy điện một chiều, dây quấn hai lớp của máy điện xoay



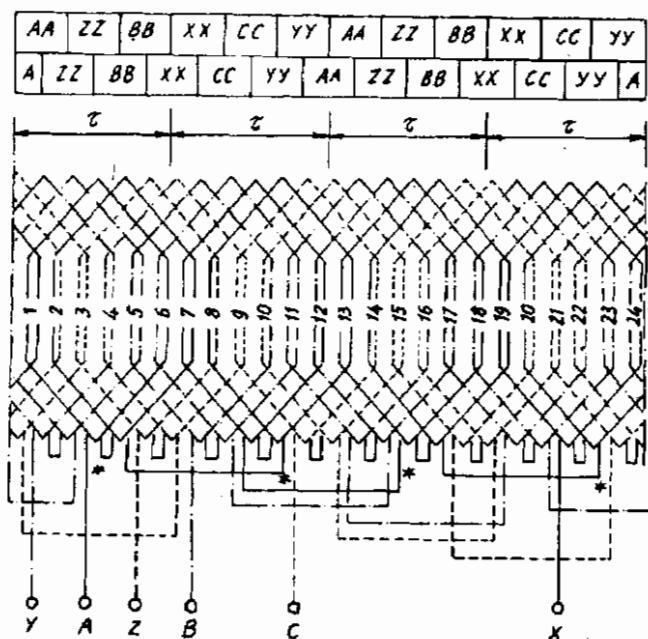
Hình 9-25. Bố trí phần tử nối trên ba mặt khác nhau



Hình 9-26. Vòng pha $\gamma = 60^\circ$ và $\gamma = 120^\circ$ của dây quấn có $Z = 24$; $2p = 4$; $m = 3$

chiều có thể chế tạo thành kiểu quấn xếp hoặc quấn sóng, trong đó dây quấn xếp là chủ yếu còn dây quấn sóng chỉ dùng đối với rôto dây quấn của động cơ điện không đồng bộ và đối với máy phát điện tuabin nước công suất lớn.

Dây quấn hai lớp ba pha có thể quấn với vùng pha γ bằng 60° hoặc 120° nhưng thường sử dụng vùng pha 60° . Hình 9-26 trình bày hình sao s.d.đ. của các phần tử của dây quấn có $Z = 24$, $2p = 4$, $m = 3$, trong đó góc của các vectơ s.d.đ. của hai phần tử kề nhau $\alpha = 30^\circ$. Theo công thức (10-10) ta thấy hệ số quấn rải khi vùng pha $\gamma = 60^\circ$ lớn hơn hệ số quấn rải khi $\gamma' = 120^\circ$, vì vậy với cùng một số vòng dây, s.d.đ. với vùng pha $\gamma = 60^\circ$ sẽ lớn hơn khi $\gamma' = 120^\circ$.

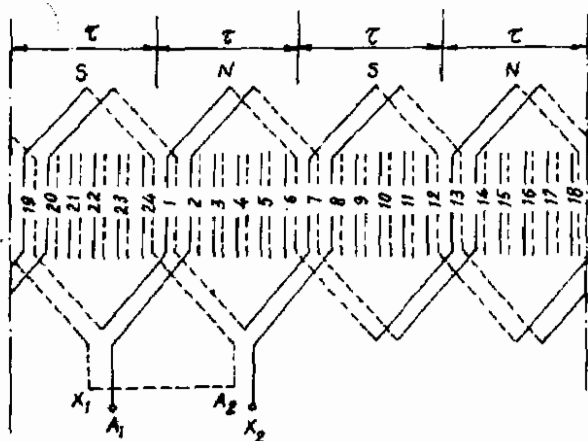


Hình 9-27. Dây quấn xếp ba pha hai lớp với $Z = 24$; $2p = 4$; $q = 2$; $\gamma = 5$; $\beta = 5/6$

Hình 9-27 trình bày sơ đồ khai triển của dây quấn xếp đó khi thực hiện với vùng pha $\gamma = 60^\circ$ và bước ngắn $y = \beta\tau = 5$ rãnh ($\beta = 5/6$). Ta thấy rằng ở dây quấn hai lớp, dưới mỗi cực từ hình thành một nhóm $q = 2$ phần tử của một pha. Vì các nhóm phần tử của một pha liên tiếp được đặt dưới các cực khác nhau nên s.d.d. cảm ứng của chúng có chiều ngược nhau (đầu của các nhóm phần tử, thí dụ của pha A có ghi ký hiệu "***"). Để mỗi pha hình thành một mạch nhánh phải nối cuối của nhóm phần tử trước với đầu của nhóm phần tử tiếp theo như trên hình 9-27.

Nếu muốn mỗi pha có nhiều mạch nhánh song song phải nối đầu của các nhóm phần tử của pha đó với nhau và cuối các nhóm phần tử đó với nhau. Nói chung số nhánh song song của một pha có thể là k với điều kiện k chia hết cho $2p$.

Hình 9-28 trình bày dây quấn sóng có các số liệu giống như của dây quấn xếp trên hình 9-27 (Để đơn giản, trên hình chỉ trình bày cách nối dây của một pha). Vì mỗi pha chiếm số rãnh vẫn giống như ở dây quấn xếp nên s.d.d. cảm ứng của hai loại dây quấn đó hoàn toàn bằng nhau mặc dù cách quấn dây của chúng khác nhau. Dùng số hiệu rãnh trong đó có



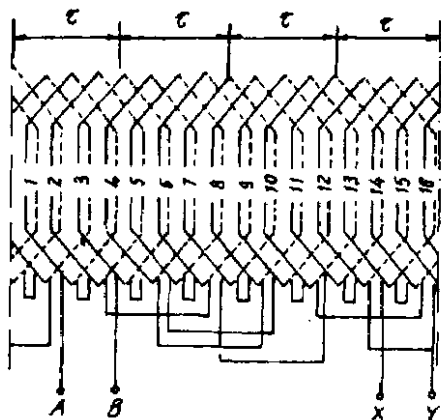
Hình 9-28. Dây quấn ba pha hai lớp với $Z = 24$;
 $2p = 4$; $q = 2$; $y = 5$; $\beta = 5/6$

đặt cạnh tác dụng thứ nhất của phần tử để đánh số phần tử đó ta thấy, trong dây quấn sóng nếu bắt đầu từ A_1 đến X_1 thì sau khi đi quanh phần ứng q vòng (ở đây $q = 2$) ta đặt được các phần tử 2, 14, 13 nằm dưới các cực N . Cũng như vậy nếu bắt đầu từ X_2 đến A_2 thì sau khi đi quanh phần ứng 2 vòng ta có các phần tử 8, 20, 7, 19 nằm dưới các cực S . S.đ.đ của các phần tử nằm dưới các cực khác tên sẽ có chiều ngược nhau, vì vậy nếu muốn mỗi pha có một nhánh thì phải nối X_1 với A_2 .

Ở trên đã trình bày dây quấn ba pha một lớp và hai lớp. Trong các máy điện nhỏ dùng trong tự động còn thường gặp dây quấn một pha hoặc hai pha. Các dây quấn một pha và hai pha cũng có thể quấn thành một lớp hoặc hai lớp.

Dây quấn một pha thường được chế tạo với vùng pha $\gamma = 120^\circ$, nghĩa là được đặt vào $2/3$ số rãnh. Khi dây quấn một pha được quấn thành hai lớp bước ngắn thì sẽ có một số rãnh chỉ có một cạnh phần tử và phải được lấp đầy bằng vật liệu không dẫn điện. Trong trường hợp muốn chuyển dây quấn ba pha có vùng pha $\gamma = 60^\circ$ (thí dụ dây quấn trên hình 9-29 thành dây quấn một pha có thể nối các đầu X và Z với nhau là chuyển hai pha A và C thành dây quấn một pha, có vùng pha $\gamma = 120^\circ$; còn pha B thì bỏ không sử dụng.

Dây quấn hai pha khác với dây quấn ba pha ở chỗ chỉ có hai dây quấn đặt lệch nhau góc điện bằng 90° . Hình 9-29 trình bày một thí



Hình 9-29. Dây quấn hai pha hai lớp
với $Z = 16$; $2p = 2$; $q = 2$; $\beta = 3/4$

dụ về dây quấn hai pha hai lớp với $Z = 16$; $2p = 4$; $q = 2$; $y = 3$; $\beta = 3/4$. Ở đây vì góc điện giữa hai rãnh cạnh nhau $\alpha = 45^\circ$ nên hai dây quấn phải đặt cách hai bước rãnh (đầu pha A đi vào rãnh 1 thì đầu pha B phải đi vào rãnh 3). Cách nối các nhóm phần tử của một pha dưới các cực khác nhau hoàn toàn giống như đã xét ở trên.

9.11. DÂY QUẤN CÓ q PHÂN SỐ

Trong các máy điện tốc độ thấp, nhiều cực, thí dụ như, trong các máy phát điện tuabin nước, số rãnh của mỗi pha dưới một cực q không thể lớn, vì nếu q lớn thì số rãnh Z sẽ rất nhiều, khiến lượng chất cách điện của dây quấn tăng, làm cho kích thước và trọng lượng của máy tăng. Nhưng nếu q nhỏ thì từ trường sóng bậc cao nhất là sóng răng sẽ mạnh hơn. Kết quả là dạng sóng s.d.đ không được cải thiện để có dạng gần hình sin. Để tránh tình trạng đó người ta dùng dây quấn có q là phân số: $q = b + \frac{c}{d}$. Dây quấn có q phân số có thể quấn thành một lớp hoặc hai lớp và cũng có thể theo kiểu quấn xếp hoặc quấn sóng. Ở đây dây quấn sóng được dùng nhiều hơn do tiết kiệm được dây đồng ở phần đầu nối.

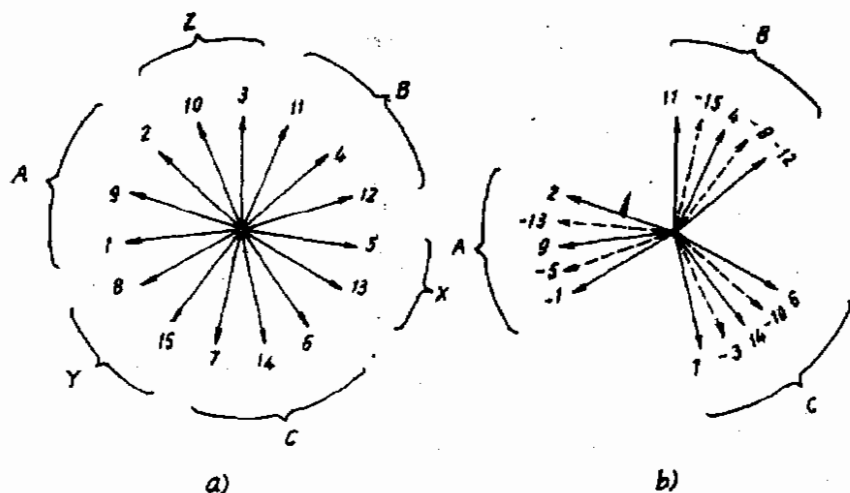
Ta hãy xét dây quấn hai lớp có các số liệu: $Z = 15$; $2p = 4$; $m = 3$. Số rãnh của một pha dưới một cực:

$$q = \frac{Z}{2mp} = \frac{15}{2 \times 3 \times 2} = \frac{5}{4} = 1\frac{1}{4}$$

Góc giữa hai rãnh liên tiếp:

$$\alpha = \frac{p \times 360}{Z} = 48^\circ$$

Để có thể hiểu và thiết lập sơ đồ nối dây ta bắt đầu nghiên cứu từ hình sao s.d.đ. Với $\alpha = 40^\circ$ ta có hình sao s.d.đ. ứng với 15 phần tử như trên hình 9-30a. Phân khu vực theo vùng pha



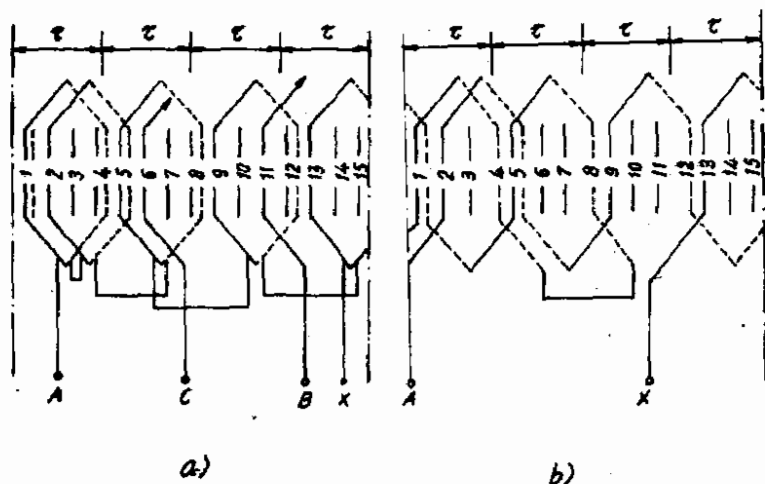
Hình 9-30. Hình sao s.d.d. phần tử (a) và các vectơ s.d.d. phần tử đẳng trị của các pha (b) của dây quấn ba pha hai lớp với $Z = 15$; $2p = 4$; $q = 1\frac{1}{4}$

$\gamma = 60^\circ$ ta thấy mỗi pha có năm vectơ ứng với năm phần tử, thí dụ pha A có các vectơ 1, 2, 5, 9, 13. Vì có năm phần tử phân bố dưới bốn cực nên sẽ có ba phần tử nằm dưới ba cực và hai phần tử còn lại nằm dưới cực thứ tư.

Sơ đồ khai triển (đối với một pha) của dây quấn q phân số đó được trình bày trên hình 9-31. Ở đây dây quấn được quấn với

$$\text{bước ngắn } \beta = \frac{y}{\tau} = \frac{3}{15/4} = 0,8.$$

Từ hình sao s.d.d. trên hình 9-30a ta có thể xem như 15 phần tử của dây quấn đều nằm dưới một đôi cực (vì một hình sao s.d.d. ứng với một đôi cực). Như vậy số phần tử hoặc rãnh đẳng trị của một pha dưới một cực $q' = 5$ (hình 9-30b). Vì vùng pha $\gamma = 60^\circ$ nên góc lệch đẳng trị giữa hai phần tử cách nhau là $\alpha' = \frac{60^\circ}{q'} = 12^\circ$



Hình 9-31. Dây quấn xếp (a) và dây quấn sóng (b) ba pha hai lớp với
 $Z = 15$; $2p = 4$; $q = 1\frac{1}{4}$

và từ các biểu thức (10-10) và (10-14) ta thấy hệ số quấn rải k_{rv} của các sóng điều hòa sẽ nhỏ đi rất nhiều, kết quả là có thể cải thiện được dạng sóng s.d.d.

9.12. 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 nối trên cũng có thể được đúc bằng nhôm.

S.d.d. của các thanh dẫn kế tiếp lệch pha một góc $\alpha = \frac{2\pi p}{Z}$ và có thể biểu thị thành hình sao s.d.d. có Z/t vectơ, trong đó t là ước số chung lớn nhất của Z và p . Ở trường hợp dây quấn lồng sóc mỗi vectơ s.d.d. ứng với một pha và như vậy số pha $m = \frac{Z}{t}$

và nếu có t hình sao s.d.đ. trùng nhau thì mỗi pha có t thanh dẫn ghép song song. Trên thực tế, lúc tính toán để đơn giản, thường xem như mỗi thanh dẫn ứng với một pha và như vậy $m = Z$, số vòng dây của một pha $w = \frac{1}{2}$ và các hệ số bước ngắn, hệ số quấn rải đối với tất cả các sóng điều hòa $k_{nv} = k_{rv} = 1$.

Sơ đồ mạch điện của dây quấn lồng sóc như trên hình 9-32a, trong đó r_t - điện trở thanh dẫn và r_v - điện trở của từng đoạn

giữa hai thanh dẫn của vòng ngắn mạch. Để xem dây quấn m pha đấu hình sao và bị nối ngắn mạch, ta thay thế mạch điện thực nối trên bằng mạch điện tương đương (hình 9-32b) dựa trên cơ sở tổn hao trên điện trở của hai mạch điện đó phải bằng nhau.

Đối với một nút bất kỳ, thí dụ nút 2, ta có:

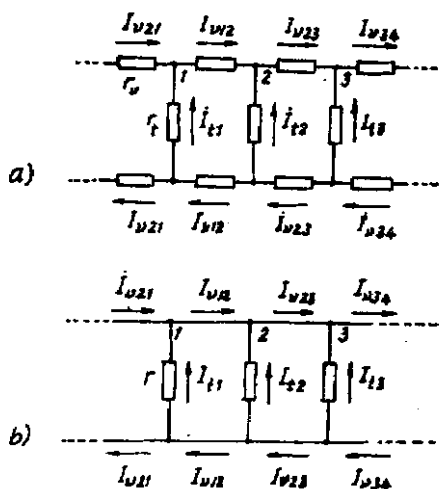
$$i_{t2} = i_{v23} - i_{v12}$$

Do dòng điện trong các đoạn của vòng ngắn mạch cũng lệch pha nhau góc α như trên hình 9-33, nên:

$$I_t = 2I_v \sin \frac{\alpha}{2} = 2I_v \sin \frac{p\pi}{Z} \quad (9-18)$$

$$\text{và} \quad I_v = \frac{I_t}{2 \sin \frac{p\pi}{Z}} \quad (9-19)$$

Vì tổn hao trên điện trở của mạch điện thực và mạch điện



Hình 9-32. Sơ đồ mạch điện thực (a) và tương đương (b) của lồng sóc

thay thế của dây quấn phải bằng nhau, nghĩa là:

$$ZI_1^2 r_l + 2ZI_1^2 r_v = ZI_1^2 r$$

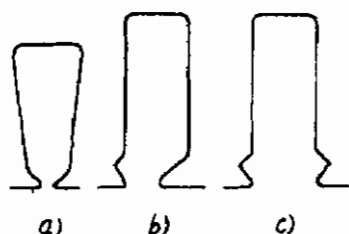
nên kết hợp với (9-19) suy ra được điện trở mỗi pha của dây quấn:

$$r = r_l + \frac{r_v}{2 \sin^2 \frac{p\pi}{Z}} \quad (9-20)$$

9.13. CÁCH THỰC HIỆN DÂY QUẤN MÁY ĐIỆN XOAY CHIỀU

Dây quấn máy điện xoay chiều được đặt trong các rãnh trên stato hoặc rôto.

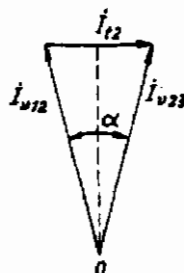
Các rãnh này có thể có miệng rãnh nửa kín, nửa hở và hở như trình bày trên hình 9-34.



Hình 9-34. Rãnh nửa kín (a), rãnh nửa hở (b) và rãnh hở của máy điện xoay chiều.

vòng dây qua miệng rãnh.

Rãnh nửa hở thường dùng cho các máy có công suất lớn đến 300 + 400 kW ở tốc độ 1500 v/gph và đến 650 V. Ở trường hợp này bố dây (hay phần tử) được chia làm hai nửa bố theo chiều rộng của rãnh; các nửa bố đó gồm nhiều vòng dây tiết diện chữ



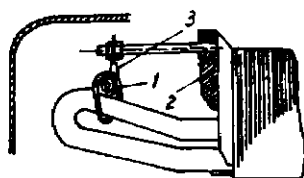
Hình 9-33. Quan hệ giữa dòng điện trong thanh dẫn và dòng điện trong đoạn vòng ngắn mạch

Rãnh nửa kín thường dùng cho dây quấn stato của máy công suất tới 100 kW và điện áp đến 650 V. Cách điện rãnh thường dày khoảng 0,35 + 0,65 mm và gồm ba lớp (hai lớp bìa cách điện, giữa có một lớp màng bằng chất tổng hợp). Trong trường hợp này, dây quấn gồm những phần tử nhiều vòng dây tiết diện tròn với đường kính 2,2 + 2,5 mm. Khi lồng dây phải cho từng một hoặc hai

nhật quấn theo khuôn định hình. Các nửa bối dây được bọc vải và khi lồng dây thì cho cả nửa bối qua miệng rãnh.

Rãnh hở thường dùng đối với các máy công suất lớn, điện áp cao. Trong trường hợp này dây quấn được chế tạo từ dây dẫn tiết diện chữ nhật và các bối dây được cách điện trước khi đặt vào rãnh.

Sau khi lồng dây vào rãnh, miệng rãnh được nẹp kín bằng các thanh nẹp bằng vật liệu cách điện như tre, gỗ đã được xử lý gétinắc, textolit... và như vậy cạnh tác dụng của bối dây được ép chặt ở trong rãnh.



Hình 9-36. Cố định phần đầu nối của dây quấn stato
1 vòng thép; 2. vành ép thép stato; 3. bulông

Nếu dây quấn được đặt ở rôto thì phần đầu nối của nó được dai chặt bằng dây thép, để tránh bị tung ra do lực ly tâm khi rôto quay. Ở các máy điện công suất lớn, để tránh các lực điện từ rất mạnh lúc xảy ra ngắn mạch làm hỏng phần đầu nối dây quấn stato, bộ phận này được buộc chặt vào các vòng thép cố bulông bắt vào thân máy như trên hình 9-35.

Câu hỏi

1. Quy luật nối các phần tử của dây quấn xếp và sóng có những điểm nào khác nhau. Quan hệ giữa số đôi mạch nhánh của chúng như thế nào ?

2. Nếu một máy 4 cực dây quấn xếp đơn đổi thành sóng đơn mà số thanh dẫn và những điều kiện khác không thay đổi thì điện áp và dòng điện của máy sau khi đổi sẽ như thế nào ? Công suất định mức của máy có thay đổi không ?

3. Tại sao trong giản đồ khai triển của dây quấn khi vị trí chổi than trùng với trục cực từ thì s.d.d. lấy ra lớn nhất ? Tại

sao dây quấn bước ngắn hay bước dài đều làm cho s.d.d. nhỏ đi một ít ?

4. Sự khác nhau chính giữa dây quấn xếp đơn và xếp phức tạp, sóng đơn và sóng phức tạp như thế nào ?

5. Dây cân bằng điện thế dùng để làm gì ? Tác dụng của dây cân bằng điện thế loại 1 và loại 2 khác nhau như thế nào ?

6. Nguyên tắc quấn dây của dây quấn ba pha một lớp và hai lớp với q số nguyên ? Khi ghép song song các nhánh của một pha thì đảm bảo những điều kiện gì ?

7. Nguyên tắc quấn dây của dây quấn ba pha hai lớp với q phân số ? Ý nghĩa của dây quấn này đối với việc cải thiện dạng sóng s.d.d của dây quấn stato. Phạm vi ứng dụng của nó.

8. Vì sao dây quấn một pha chỉ đặt trong $\frac{2}{3}$ số rãnh của các cực.

(So sánh qua các thí dụ khi $Z = 36$; $q = 9$; $p = 2$ và khi $Z = 36$; $q = 6$; $p = 2$).

Bài tập

1. Một dây quấn xếp đơn quấn phải, có các số liệu sau: $S = G = 24$, $p = 3$, $u = 1$, có lớp $1/3$ tổng số dây cân bằng điện thế. Vẽ giản đồ khai triển dây quấn.

2. Một máy phát điện kích thích ngoài, công suất 10 kW, điện áp định mức là 6 V, số đôi cực $p = 2$. Hỏi nếu dòng điện trong mỗi mạch nhánh không được vượt quá 300 A thì phải sử dụng dây quấn loại gì ?

Đáp số: Dây quấn xếp phức với $m = 3$ hay sóng phức với $m = 3$.

3. Một dây quấn sóng đơn quấn trái có số liệu sau: $Z_{nt} = 19$, $p = 2$. Hỏi:

- Các bước dây quấn y_1 , y_2 , y và y_G .
- Vẽ giản đồ khai triển.

c) Vẽ hình tia và đa giác s.d.d.

d) Số đôi mạch nhánh.

Đáp số: a) $y_1 = 5; y_2 = 5; y = y_G = 10$.

b) $a = 1$

4. Một máy điện một chiều với $S = G = Z_{nt} = 16, p = 2$.

Hỏi nếu chọn $m \leq 2$ thì có thể quấn theo loại dây quấn nào ?

Lúc đó tìm:

a) Các bước dây y_1, y_2, y và số mạch nhánh;

b) Tỷ số điện áp và dòng điện định mức của các loại dây quấn đó.

Đáp số: Xếp đơn hoặc xếp kép:

a) $y_1 = 4; y_2 = 1$ hoặc $2; y = 3$
hoặc $2; a = 2$ hoặc 4 .

b) Tỷ số điện áp bằng 2, dòng điện bằng $1/2$.

5. Dây quấn ba pha của máy điện xoay chiều có các số liệu sau: $Z = 24; 2p = 2; q = 4$. Vẽ giản đồ khai triển khi:

a) dây quấn đồng tâm ba mặt;

b) dây quấn đồng khuôn đơn giản;

c) dây quấn đồng khuôn phân tán.

6. Vẽ giản đồ khai triển của dây quấn xếp ba pha hai lớp với các số liệu sau: $Z = 36; 2p = 4; \beta = 7/9$.

7. Vẽ giản đồ khai triển của dây quấn sóng ba pha hai lớp với các số liệu sau: $Z = 36; 2p = 4$.

8. Vẽ giản đồ khai triển của dây quấn xếp ba pha hai lớp với các số liệu sau: $Z = 15; 2p = 2$.

Chương 10

SỨC ĐIỆN ĐỘNG CỦA DÂY QUẤN PHẢN ỨNG MÁY ĐIỆN QUAY

10.1. S.Đ.Đ CẢM ỨNG TRONG DÂY QUẤN MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

Cho dòng điện kích thích vào dây quấn kích thích thì trong khe hở sẽ sinh ra từ thông. Khi phản ứng quay với một tốc độ nhất định nào đó thì trong dây quấn sẽ cảm ứng một s.đ.đ. S.đ.đ. đó phụ thuộc vào từ thông dưới mỗi cực từ, tốc độ của máy, số thanh dẫn của dây quấn và kiểu dây quấn.

Vì dây quấn gồm có 2a mạch nhánh ghép song song nên s.đ.đ. của dây quấn bằng s.đ.đ. cảm ứng trên một mạch nhánh, nghĩa là bằng tổng s.đ.đ. của các thanh dẫn nối tiếp trong mạch nhánh đó.

S.đ.đ. trung bình cảm ứng trong thanh dẫn có chiều dài tác dụng l, chuyển động trong từ trường với tốc độ v bằng:

$$e_{tb} = B_{tb}lv \quad (10-1)$$

trong đó B_{tb} là từ cảm trung bình trong khe hở.

$$\text{Do tốc độ quay } v = \frac{\pi Dn}{60} = 2\pi p \frac{n}{60} \text{ và } B_{tb} = \frac{\Phi_\delta}{rl}$$

trong đó:

D - đường kính ngoài phản ứng;

r - bước cực;

p - số đôi cực;

n - tốc độ quay phản ứng,

Φ_δ - từ thông khe hở dưới mỗi cực từ.

Thế vào quan hệ (10-1), ta có:

$$e_{th} = 2p\Phi_{\delta} \frac{n}{60} \quad (10-2)$$

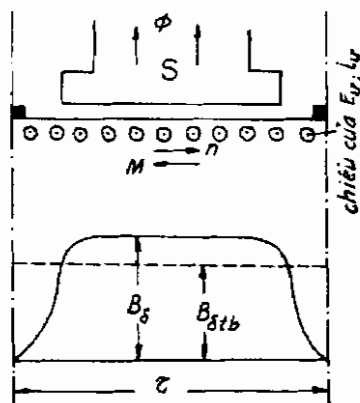
Gọi N là tổng số thanh dẫn của dây quấn thì mỗi mạch nhánh song song sẽ có $\frac{N}{2a}$ thanh dẫn nối tiếp nhau và như vậy s.d.d của máy bằng:

$$E_u = \frac{N}{2a} e_{th} = \frac{pN}{60a} \Phi_{\delta} n = C_e \Phi_{\delta} n ; V \quad (10-3)$$

trong đó:

Φ_{δ} - tính bằng Wb ; n - tính bằng vg/ph .

$C_e = \frac{pN}{60a}$ - hệ số phụ thuộc vào kết cấu của máy và dây quấn.



Hình 10-1. Xác định s.d.d. phần ứng và mômen điện từ trong máy phát điện một chiều

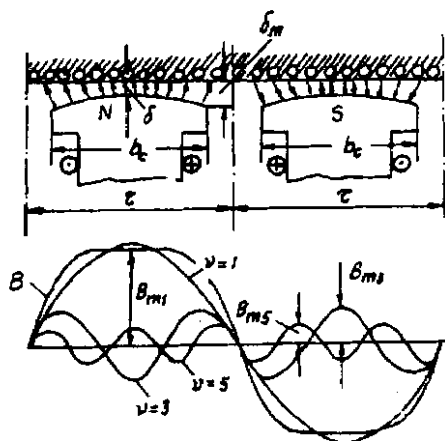
Chiều của E_u phụ thuộc vào chiều Φ_{δ} và n và được xác định theo quy ước bàn tay phải (hình 10-1).

Sự phân tích trên dựa trên giả thiết dây quấn bước đủ, s.d.d trên các thanh dẫn của phần từ đều cộng số học với nhau. Nếu là bước ngắn thì s.d.d của các thanh dẫn của một phần từ sẽ cộng vectơ nên s.d.d của cả phần từ sẽ nhỏ hơn so với phần từ bước đủ và như vậy s.d.d phần ứng cũng nhỏ đi một ít. Nhưng vì trong máy điện một chiều không cho phép bước ngắn lớn nên ảnh hưởng ít, thường là không xét đến khi tính s.d.d.

10.2. SỨC ĐIỆN ĐỘNG CỦA DÂY QUẤN MÁY ĐIỆN XOAY CHIỀU

Để cho các máy điện xoay chiều làm việc được tốt, sức điện động (viết tắt là s.đ.d.) cảm ứng trong các dây quấn phải có dạng hình sin và muốn như vậy thì từ trường dọc khe hở của máy cũng phải phân bố hình sin. Nhưng trên thực tế do những nguyên nhân về cấu tạo, từ trường của cực từ hoặc của các dây quấn đều khác sin và có thể phân tích thành sóng cơ bản và các sóng bậc cao. Thí dụ trên hình 10-2 cho thấy, đường phân bố từ cảm B của cực từ có thể phân tích thành các sóng từ cảm hình sin $B_1, B_3, B_5, \dots$, trong đó B_1 có bước cực τ còn B_ν có bước cực $\tau_\nu = \frac{\tau}{\nu}$.

Khi có chuyển động tương đối giữa từ trường của cực và dây quấn thì tương ứng với B_1, B_3, B_5 , trong dây quấn sẽ cảm ứng được các s.đ.d. hình sin e_1, e_3, e_5 . Do tần số của các s.đ.d. này khác nhau nên s.đ.d. tổng trong dây quấn sẽ có dạng không hình sin.



Hình 10-2. Sự phân bố từ cảm của từ trường cực từ của máy điện đồng bộ cực lồi dọc bề mặt stato.

Trong mục này ta sẽ xét trị số của các s.đ.d. nói trên và nghiên cứu phương pháp làm triệt tiêu hoặc giảm các s.đ.d. bậc cao để cải thiện dạng sóng của s.đ.d. tổng, khiến nó gần giống dạng hình sin.

Để có được trị số s.đ.d. của dây quấn máy điện xoay chiều ta sẽ lần lượt xét s.đ.d. do từ trường cơ bản (bậc 1) và các s.đ.d. do từ trường

bậc cao, sau đó suy ra trị số của s.d.d. tổng của dây quấn.

10.2.1. S.d.d. của dây quấn do từ trường cơ bản

1. S.d.d. của một thanh dẫn

Khi có chuyển động tương đối với tốc độ v giữa từ trường cơ bản phân bố hình sin dọc khe hở $B_x = B_m \sin \frac{x}{\tau} \pi$ với thanh dẫn có chiều dài l như trên hình 10-3 thì trong thanh dẫn sẽ cảm ứng được s.d.d:

$$e_{ld} = B_x v l = B_m v l \sin \frac{\pi}{\tau} x$$

trong đó:

$$v = \frac{x}{t} = \frac{2\tau}{T} = 2\tau f$$

Vì tốc độ góc $\omega = 2\pi f$ và từ thông ứng với một bước cực bằng:

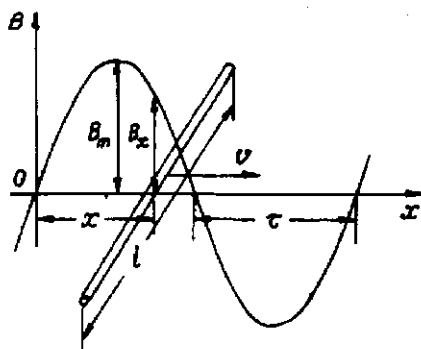
$$\Phi = \frac{2}{\pi} B_m l \tau$$

nên:

$$e_{ld} = \pi f \Phi \sin \omega t$$

và trị số hiệu dụng của s.d.d. đó bằng:

$$E_{ld} = \frac{\pi}{\sqrt{2}} f \Phi = 2,22 \Phi f \quad (10-4)$$



Hình 10-3. Chuyển động tương đối của thanh dẫn trong từ trường hình sin

2. S.d.d. của một vòng dây và s.d.d. của một bội dây (phần tử)

S.d.d. của một vòng dây gồm hai thanh dẫn đặt trong hai rãnh cách nhau khoảng y là hiệu số hình học các s.d.d. lệch nhau góc $\frac{y}{\tau} \pi$ của hai thanh dẫn đó. Từ hình 10-4 ta có:

$$E_v = |E_{td} - E'_{td}| = 2E_{td} \sin \frac{y}{\tau} \frac{\pi}{2}$$

$$= 4,44 f \Phi k_n \quad (10-5)$$

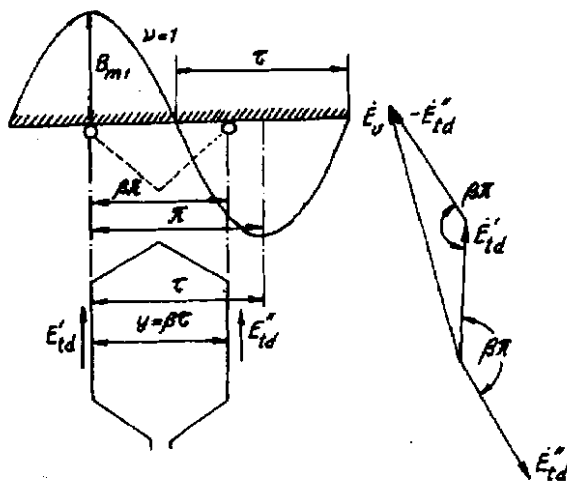
trong đó:

$$k_n = \sin \frac{y}{\tau} \frac{\pi}{2} = \sin \beta \frac{\pi}{2} \quad (10-6)$$

Thông thường $\beta = \frac{y}{\tau} < 1$, do đó k_n được gọi là hệ số bước ngắn.

Nếu trong hai rãnh nối trên có đặt một bối dây gồm w_s vòng dây thì s.d.d. của bối dây đó bằng:

$$E_s = 4,44 k_n f w_s \Phi \quad (10-7)$$



Hình 10-4. S.d.d của một vòng dây

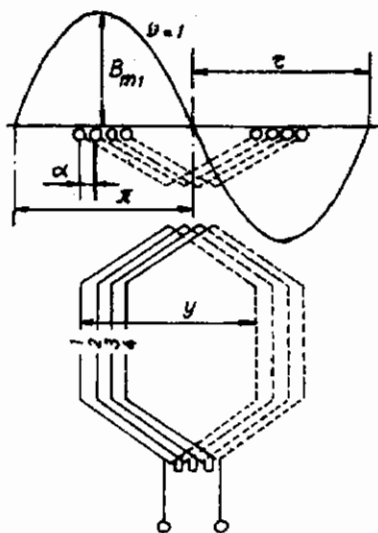
3. S.d.d. của một nhóm bối dây

Giả thử ta có q bối dây nối tiếp và được đặt rải trong các rãnh liên tiếp nhau như trên hình 10-4. Vì góc lệch trong từ trường

giữa hai rãnh cạnh nhau bằng:

$$\alpha = \frac{2\pi}{Z/p} = \frac{2\pi p}{Z} \quad (10-8)$$

trong đó Z/p là số rãnh dưới một đôi cực nên s.d.d. của q bởi đây có thể biểu thị được bằng q vectơ E_s lệch nhau cùng một góc α như trên hình 10-5a. Góc $\gamma = q\alpha$ trên hình 10-5a còn được gọi là vùng pha cho thấy rõ vị trí của q bởi đây thuộc một pha trong từ trường cực từ. Dây quấn một pha được thực hiện với $\gamma = 60^\circ$.



Hình 10-5. Nhóm $q = 4$ bởi dây trong từ trường

S.d.d. tổng của nhóm bởi đây E_q là tổng hình học của q vectơ E_s như trình bày ở hình 10-5b, do đó:

$$E_q = qE_s k_r \quad (10-9)$$

trong đó:

$$k_r = \frac{\text{tổng hình học các s.d.d.}}{\text{tổng số học các s.d.d.}} = \frac{\sin \frac{q\alpha}{2}}{q \sin \frac{\alpha}{2}} \quad (10-10)$$

là hệ số quấn rải của dây quấn.

Thay (10-7) vào (10-9) ta được:

$$E_q = 4,44 \cdot k_{dq} q w_s f \Phi \quad (10-11)$$

trong đó:

$$k_{dq} = k_n k_r$$

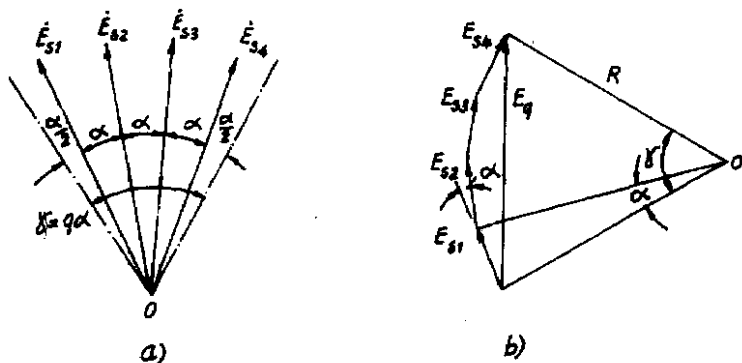
là hệ số dây quấn.

4. S.d.d. của dây quấn một pha

Dây quấn một pha có thể gồm một hoặc nhiều nhánh đồng nhất ghép song song, do đó s.d.d. của một pha là s.d.d. của một nhánh song song. Vì mỗi nhánh thường gồm n nhóm bố trí dây có vị trí giống nhau trong từ trường của các cực từ nên s.d.d. của chúng có thể cộng số học với nhau và ta có:

$$E_f = 4,44 k_{dq} n q w_s f \Phi = 1,44 k_{dq} w f \Phi \quad (10-12)$$

trong đó $w = n q w_s$ là số vòng dây của một nhánh song song.



Hình 10-8. S.d.d. của nhóm $q = 4$ bố trí dây

10.2.2. S.d.d. của dây quấn do từ trường bậc cao

Biểu thức s.d.d. của dây quấn do từ trường bậc cao cũng có dạng tương tự như biểu thức s.d.d. do từ trường cơ bản. Tuy nhiên ta cần chú ý rằng bước cực của từ trường bậc ν nhỏ ν lần so với bước cực của từ trường cơ bản (hình 10-2), vì vậy góc điện 2π của từ trường cơ bản sẽ ứng với góc $2\nu\pi$ đối với từ trường bậc ν , do đó ở đây các hệ số bước gần và hệ số quấn rải bằng:

$$k_{nv} = \sin \nu \beta \frac{\pi}{2} \quad (10-13)$$

$$k_{rv} = \frac{\sin \nu \frac{q\alpha}{2}}{q \sin \nu \frac{\alpha}{2}} \quad (10-14)$$

Hệ số dây quấn đối với từ trường bậc cao sẽ là:

$$k_{dq\nu} = k_{n\nu} k_{r\nu} \quad (10-15)$$

Ngoài ra khi dây quấn chuyển động với tốc độ v trong từ trường bậc ν thì s.d.d. cảm ứng trong dây quấn sẽ có tần số $f_\nu = \nu f$. Kết quả là s.d.d. của dây quấn do từ trường bậc cao sẽ là:

$$E_\nu = 4,44 k_{dq\nu} w f_\nu \Phi_\nu \quad (10-16)$$

trong đó:

$$\Phi_\nu = \frac{2}{\pi} B_{m\nu} l r_\nu = \frac{2}{\nu\pi} B_{m\nu} l r$$

Cũng cần nhấn mạnh rằng nếu tốc độ tương đối giữa từ trường bậc ν và dây quấn là v/ν thì tần số của s.d.d. do từ trường đó là $f_\nu = f$. Đó là trường hợp của từ trường bậc ν chuyển động với tốc độ v/ν so với dây quấn và sinh ra bởi dòng điện xoay chiều m pha, tần số f chạy trong dây quấn m pha mà ta sẽ xét đến ở mục 10.3.

Từ những kết quả phân tích trên đây ta thấy rằng, khi từ trường của cực từ phân bố không hình sin, s.d.d. cảm ứng trong dây quấn một pha là tổng của một dãy các s.d.d. điều hòa có tần số khác nhau. Trị số hiệu dụng của s.d.d. tổng có trị số:

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_3^2 + E_5^2 + \dots + E_\nu^2 + \dots} \quad (10-17)$$

10.3. CẢI THIẾN DẠNG SÓNG S.D.D

Như đã trình bày ở trên, nguyên nhân khiến cho dạng sóng s.d.d. không hình sin là do sự phân bố của từ trường khác hình sin, vì vậy để cải thiện dạng sóng s.d.d. trước hết cần phải tạo ra được từ trường hình sin. Muốn vậy, mặt cực từ phải có một độ cong nhất định khiến cho khe hở nhỏ nhất ở giữa mặt cực và tăng dần khi ra tới các móm cực như trên hình 10-2. Nếu gọi ở khe hở nhỏ nhất ở giữa mặt cực thì khe hở ở vị trí cách giữa mặt cực khoảng cách x có thể tính gần đúng theo biểu thức sau:

$$\partial_x = \frac{\partial}{\cos\left(\frac{\pi}{\tau} x\right)} \quad (10-18)$$

Thông thường bề rộng của mặt cực $b \approx (0,65 + 0,75)\tau$ nên từ biểu thức (10-18) có thể suy ra được khe hở ở mồm cực từ $\partial_{\max} \approx (1,5 + 2,6)\partial$.

Tuy nhiên biện pháp trên vẫn chưa cho được kết quả như mong muốn, vì vậy cần phải làm giảm hoặc triệt tiêu các s.d.d. bậc cao bằng cách dựa vào cấu tạo thích đáng của dây quấn như thực hiện dây quấn bước ngắn, quấn rải dây quấn sao cho một nhóm bội dây có $q > 1$ và đặt dây quấn trong rãnh chéo. Dưới đây ta sẽ phân tích tỉ mỉ các biện pháp đó.

1. Rút ngắn bước dây quấn

Khi bước dây quấn $y = \tau$ thì tất cả các s.d.d. bậc cao đều tồn tại, vì theo biểu thức (10-10) $k_{nv} = \pm 1$. Nhưng nếu rút ngắn thích đáng bước dây quấn thì có thể khiến cho một s.d.d. bậc cao tùy ý triệt tiêu và muốn vậy thì phải làm cho hệ số bậc ngắn k_{nv} ứng với s.d.d. bước cao đó bằng không.

Thí dụ khi $\beta = \frac{y}{\tau} = \frac{4}{5}$, nghĩa là bước dây quấn bị rút ngắn

$\tau/5$ thì:

$$k_{n5} = \sin 5 \frac{4}{5} \frac{\pi}{2} = 0$$

và $E_5 = 0$

Cũng như vậy nếu muốn $E_7 = 0$ thì phải rút ngắn bước dây quấn một khoảng $\frac{\tau}{7}$ nghĩa là chọn $\beta = 6/7$.

Rõ ràng là biện pháp rút ngắn bước dây quấn không thể đồng thời làm triệt tiêu tất cả các s.d.d. bậc cao, vì vậy thường người ta chọn các bước dây quấn sao cho có thể làm giảm s.d.d. ứng với các từ trường bậc cao mạnh nhất, thí dụ như các từ trường bậc 5.

và bậc 7. Trong trường hợp đó bước dây quấn được rút ngắn $\frac{1}{6}$ và $\beta = 5/6$. Như vậy:

$$k_{n5} = \sin 5 \frac{\pi}{6} = \sin 375^\circ = \sin 15^\circ = 0,259$$

$$k_{n7} = \sin 7 \frac{\pi}{6} = \sin 525^\circ = \sin 165^\circ = 0,259$$

nghĩa là các s.d.d. bậc 5 và bậc 7 bị giảm khoảng 4 lần so với khi dây quấn có bước đủ ($\beta = 1$). Cần chú ý rằng khi rút ngắn bước dây quấn, s.d.d. bậc 1 cũng bị giảm nhưng không đáng kể vì khi đó $k_{n1} = 0,966$.

Vì bước dây quấn chỉ có thể rút ngắn được theo số bước rãnh nên tùy theo từng máy mà $\beta = 0,8 \div 0,86$.

2. Quấn rải

Khi $q = 1$ thì theo các biểu thức (10-7), (10-11) $k_{rv} = \pm 1$ nghĩa là tất cả các s.d.d. bậc cao đều không bị giảm yếu đi. Nếu $q > 1$ thì một số s.d.d. bậc cao bị giảm nhỏ do k_{rv} của chúng nhỏ hơn k_{r1} (hình 10-2) và nếu q càng lớn thì k_{rv} càng nhỏ nhiều so với k_{r1} .

Cũng từ hình 10-2 ta thấy rằng một số s.d.d. bậc cao không bị giảm yếu đi và có $k_{rv} = k_{r1}$. Bậc của các s.d.d. đó có thể biểu thị theo biểu thức.

$$\nu_z = 2mqk \pm 1 \quad (10-19)$$

(với $k = 1, 2, 3, \dots$)

trong đó m - số pha; q - số rãnh của một pha dưới một cực.

Vì $2mq = \frac{Z}{p}$ nên (10-19) trở thành:

$$\nu_z = k \frac{Z}{p} \pm 1 \quad (10-20)$$

Các sóng điều hòa bậc ν_z được gọi là các sóng điều hòa rãnh. Sở dĩ các sóng điều hòa rãnh có $k_{rv} = k_{r1}$ là do góc lệch α_{ν_z} giữa các s.d.d. của các bội dây đặt trong các rãnh liên tiếp do từ

trường bậc ν_z hoàn toàn bằng góc lệch α ứng với từ trường cơ bản. Thật vậy, từ (10-5) và (10-17) ta có:

$$\alpha_{\nu_z} = \nu_z \alpha = \left(k \frac{Z}{p} \pm 1\right) \frac{2\pi p}{Z} = 2\pi k \pm \frac{2\pi p}{Z} \\ = 2\pi k \pm \alpha \quad (10-21)$$

Như vậy tác dụng của quần rãnh không thể triệt tiêu được các s.d.d. điều hòa răng. Tuy nhiên khi tăng q , bậc của ν_z tăng theo và $B_{m\nu_z}$ nhỏ hơn, kết quả là s.d.d. điều hòa răng cũng giảm đi tương ứng và dạng sóng ss.d.d. được cải thiện một phần nào.

Có thể giảm nhiều sóng điều hòa răng bằng cách dùng dây quần có q là phân số.

3. Rãnh chéo

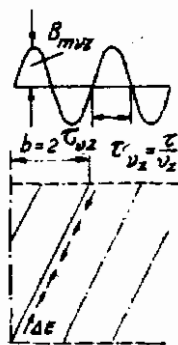
Thực hiện rãnh chéo như trình bày trên hình 10-7 là một biện pháp có hiệu lực để triệt tiêu các s.d.d. điều hòa răng. Từ hình 10-7 ta có thể thấy ngay rằng từ cảm B_{ν_z} dọc từng thanh dẫn có trị số khác nhau, do đó tổng s.d.d. điều hòa răng cảm ứng trong thanh dẫn bằng không. Từ trường sóng điều hòa răng bậc 1 ứng với $k = 1$ trong biểu thức (10-19) là mạnh nhất, nên để làm triệt tiêu ảnh hưởng của nó cần phải chọn bước rãnh chéo:

$$b_c = 2\tau_{\nu_z} = \frac{2\tau}{\nu_z} = \frac{2p\tau}{Z \pm p}$$

Trên thực tế người ta thường chọn:

$$b_c = \frac{2p\tau}{Z} = \frac{\pi D}{Z} \quad (10-22)$$

và tất cả các s.d.d. sóng điều hòa đều bị giảm nhỏ đi nhiều.



Hình 10-7. Trường hợp rãnh chéo một bước răng, $E_{\nu_z} = 0$

Bảng 10.1. Hệ số xoắn rời k_{rv} của dây xoắn ba pha có vùng pha 60°

$\begin{matrix} q \\ r \end{matrix}$	2	3	4	5	6	∞
1	0,986	0,980	0,958	0,957	0,957	0,955
3	0,707	0,667	0,654	0,646	0,644	0,636
5	0,259	0,217	0,205	0,230	0,197	0,191
7	-0,259	-0,117	-0,158	-0,149	-0,145	-0,136
9	-0,707	-0,333	-0,270	-0,247	-0,236	-0,242
11	-0,986	-0,177	-0,126	-0,110	-0,102	-0,087
13	-0,986	-0,217	-0,126	0,102	0,092	0,073
15	-0,707	0,667	0,270	0,200	0,172	0,127
17	-0,259	0,980	0,158	0,102	0,084	0,056
19	0,259	0,980	-0,205	-0,110	-0,084	-0,050
21	0,707	0,667	-0,654	-0,247	-0,172	-0,091
23	0,986	0,217	-0,958	-0,149	-0,092	-0,041
25	0,986	-0,177	-0,958	0,200	0,102	0,038
27	0,707	-0,333	-0,654	0,646	0,236	0,071
29	0,259	-0,177	-0,205	0,957	0,145	0,033
31	-0,259	0,217	0,158	0,957	-0,197	-0,051
33	-0,707	0,667	0,270	0,646	-0,644	-0,058
35	-0,986	0,980	0,126	0,200	-0,957	-0,027
37	-0,986	0,980	-0,126	-0,149	-0,975	0,026
39	-0,707	0,667	-0,270	-0,247	-0,644	0,049
41	-0,259	0,217	-0,158	-0,110	-0,197	0,023
43	0,259	-0,177	0,205	0,102	0,145	-0,022
45	0,707	-0,333	0,654	0,200	0,236	-0,042
47	0,986	-0,177	0,958	0,102	0,102	-0,020

Câu hỏi

1. Vì sao yêu cầu s.d.d. của máy điện xoay chiều phải có dạng hình sin. Làm thế nào để đảm bảo được yêu cầu đó ?

2. Hãy xác định biểu thức s.d.d. của dây quấn một pha khi từ trường không hình sin.

3. Các biện pháp để cải thiện dạng sóng s.d.d. và hiệu lực của các biện pháp đó.

4. Khi dùng rãnh chéo thì trị số s.d.d. do từ trường cơ bản của dây quấn thay đổi như thế nào ?

Bài tập

1. Cho một máy phát điện có $p = 1$, đường kính trong của stato $D = 0,7 \text{ m}$, từ cảm trung bình $B_{tb1} = 0,6 \text{ T}$, chiều dài tính toán của stato $l = 1,3 \text{ m}$. Cho biết $B_{tb3} = 0,325 B_{tb1}$; $B_{tb5} = 0,15 B_{tb1}$. Hãy tính các s.d.d. E_1 , E_3 , E_5 và s.d.d. tổng E_{td} của một thanh dẫn (bỏ qua các sóng bậc cao hơn 5).

Đáp số:

$$E_1 = 47,6 \text{ V}; E_3 = 15,5 \text{ V}; E_5 = 7,1 \text{ V};$$

$$E = 50,6 \text{ V}.$$

2. Tính hệ số dây quấn k_{dq} của dây quấn hai lớp có $q = 2$; $p = 2$; $Z = 24$; $\beta = 5/6$. Biết rằng mỗi bội dây có $w_s = 5$ vòng và s.d.d. của thanh dẫn $E_{td} = 5 \text{ V}$. Hãy tính s.d.d. pha của dây quấn đó.

Đáp số: $E_f = 93,3 \text{ V}$

3. Cho một máy phát điện ba pha 6000 kW ; 6300 V ; 3000 vg/ph ; $f = 50 \text{ Hz}$; $\cos\varphi = 0,8$; đường kính trong của stato $D = 0,7 \text{ m}$; chiều dài stato $l = 1,35 \text{ m}$; $B_{tb} = 0,4890 \text{ T}$; $Z = 36$; $y = 13$; $w = 24$. Hãy tính s.d.d. pha của máy.

Đáp số: $E_f = 4617 \text{ V}$.

Chương 11

SỨC TỪ ĐỘNG CỦA DÂY QUẤN MÁY ĐIỆN XOAY CHIỀU

11.1. ĐẠI CƯƠNG

Dòng điện chạy trong dây quấn của máy điện xoay chiều sẽ sinh ra từ trường dọc chu vi khe hở giữa stato và rôto. Tùy theo tính chất của dòng điện và loại dây quấn mà từ trường đó có thể là từ trường đập mạch hoặc từ trường quay. Muốn nghiên cứu các từ trường cần phải phân tích sự phân bố và tính chất của các sức từ động (viết tắt là s.t.d.) do dòng điện chạy trong dây quấn sinh ra. Để việc phân tích được đơn giản, ta giả thiết rằng khe hở ở giữa phần tĩnh, phần quay là đều và từ trở của thép không đáng kể, nghĩa là $\mu_{Fe} = \infty$.

Trong chương này ta sẽ nghiên cứu s.t.d. của dây quấn máy điện xoay chiều bằng phương pháp giải tích và phương pháp đồ thị. Trước khi bước vào phân tích cụ thể s.t.d. của từng dây quấn bằng phương pháp giải tích, ta cần nhắc lại các khái niệm về s.t.d. đập mạch, s.t.d. quay và quan hệ giữa các s.t.d. đó.

Biểu thức toán học của s.t.d. đập mạch có thể viết như sau:

$$F = F_m \sin \omega t \cos \alpha \quad (11-1)$$

trong đó α là góc không gian.

Trong biểu thức trên nếu cho $t = \text{const}$ thì:

$$F = F_{m1} \cos \alpha = f(\alpha),$$

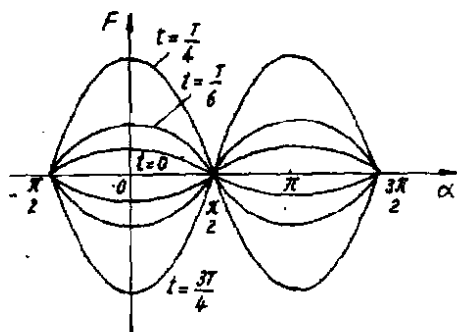
trong đó $F_{m1} = F_m \sin \omega t$ là biên độ tức thời của s.t.d. đập mạch và lúc đó sự phân bố của F là hình sin trong không gian.

Khi $\alpha = \text{const}$, nghĩa là ở một vị trí cố định bất kỳ, thì:

$$F = F_{m2} \sin \omega t$$

trong đó $F_{m2} = F_m \cos \alpha$ và trị số của F ở vị trí đó biến đổi tuần hoàn theo thời gian.

Từ những nhận xét đó ta thấy rằng s.t.d. đập mạch chính là một sóng đứng và trong trường hợp đơn giản này, s.t.d. phân bố hình sin trong không gian và biến đổi hình sin theo thời gian (hình 11-1).



Hình 11-1. S.t.d. đập mạch ở các thời điểm khác nhau

Biểu thức toán học của s.t.d. quay tròn với biên độ không đổi có dạng:

$$F = F_m \sin(\omega t \pm \alpha) \quad (11-2)$$

Thật vậy, giả thử ta xét một điểm bất kỳ tùy ý của sóng s.t.d. có trị số không đổi thì:

$$\sin(\omega t \pm \alpha) = \text{const}$$

hay là: $\omega t \pm \alpha = \text{const}$

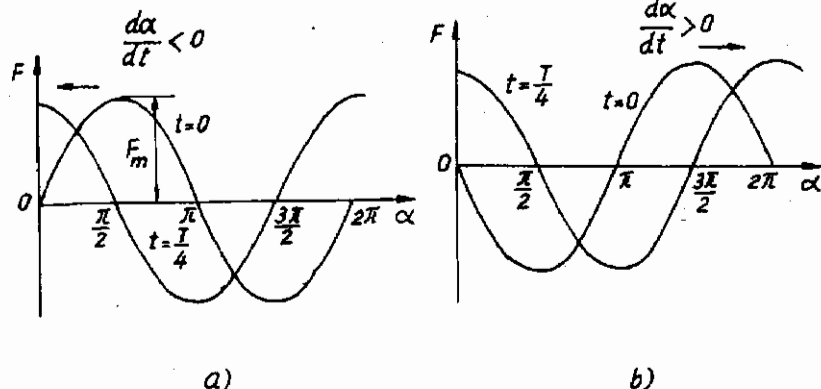
Lấy vi phân biểu thức đó theo thời gian, ta có:

$$\frac{d\alpha}{dt} = \pm \omega \quad (11-3)$$

Đạo hàm của α theo t ở biểu thức (11-3) chính là tốc độ góc quay biểu thị bằng rad/s , $\frac{d\alpha}{dt} < 0$ ứng với sóng quay thuận [dấu

"-" trong biểu thức (11-2)] và $\frac{d\alpha}{dt} > 0$ ứng với sóng quay ngược

[dấu "+" trong biểu thức (11-2)]. Hình 11-2a và b cho thấy vị trí của các sóng quay thuận và ngược ở các thời điểm khác nhau.



Hình 11-2. Vị trí của sóng quay ngược (a) và quay thuận (b) ở thời điểm $t=0$ và $t=T/4$

Để thấy rõ quan hệ giữa các s.t.đ. đập mạch và s.t.đ. quay trước hết chú ý rằng:

$$F_m \sin \omega t \cos \alpha = \frac{1}{2} F_m \sin(\omega t - \alpha) + \frac{1}{2} F_m \sin(\omega t + \alpha), \quad (11-4a)$$

nghĩa là s.t.đ. đập mạch là tổng của hai s.t.đ. quay thuận và quay ngược cùng một tốc độ góc ω với biên độ bằng một nửa biên độ của s.t.đ. đập mạch đó.

Mặt khác từ biểu thức lượng giác:

$$\begin{aligned} F_m \sin(\omega t \pm \alpha) &= F_m \sin \omega t \cos \alpha \pm F_m \cos \omega t \sin \alpha = \\ &= F_m \sin \omega t \cos \alpha \pm F_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \cos\left(\alpha - \frac{\pi}{2}\right) \end{aligned} \quad (11-4b)$$

ta cũng thấy rằng s.t.đ. quay là tổng hợp của hai s.t.đ. đập mạch lệch nhau trong không gian một góc $\frac{\pi}{2}$ và khác pha nhau về thời gian là $\frac{\pi}{2}$.

11.2. S.T.D. CỦA DÂY QUẤN MỘT PHA

Để nghiên cứu s.t.d. của dây quấn một pha, trước hết ta xét s.t.d. của một phần tử, sau đó xét s.t.d. của dây quấn một pha một lớp gồm có q phần tử và cuối cùng s.t.d. của dây quấn một pha hai lớp bước ngắn.

11.2.1. S.t.d. của một phần tử

Giả thử ta có một phần tử gồm w_s vòng dây, bước đủ ($y = \tau$) đặt ở stato của một máy điện như trên hình 11-3a. Khi trong phần tử có dòng điện $i = \sqrt{2}I_s \sin \omega t$ thì các đường sức của từ trường do phần tử có dòng điện i sinh ra sẽ phân bố như các đường nét chấm. Theo định luật toàn dòng điện, dọc theo một đường sức từ khép kín bất kỳ ta đều có thể viết:

$$\oint H dl = iw_s$$

trong đó H là cường độ từ trường dọc theo đường sức từ.

Từ trở của thép rất nhỏ ($\mu_{Fe} = \infty$) nên $H_{Fe} = 0$ và s.t.d. iw_s được xem như chỉ cần thiết để sinh ra từ thông đi qua hai lần khe không khí ở:

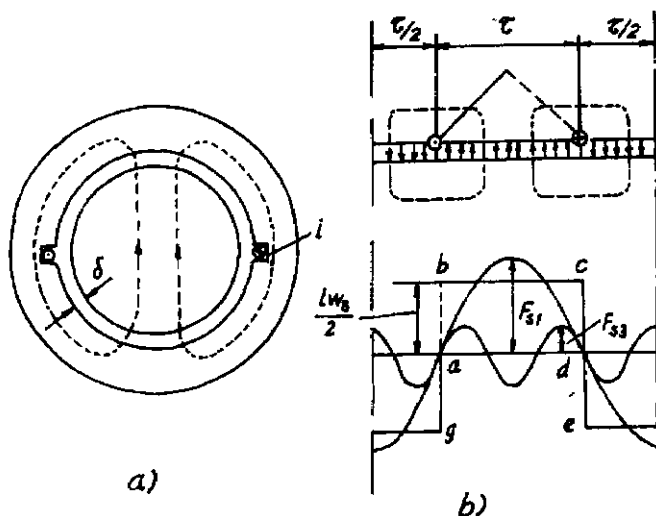
$$H2\delta = iw_s \quad (11-5)$$

Như vậy s.t.d. ứng với một khe không khí bằng:

$$F_s = \frac{1}{2} iw_s \quad (11-6)$$

và đường biểu diễn s.t.d. khe hở dưới một bước cực có thể biểu thị được bằng hình chữ nhật $abcd$ có độ cao $\frac{1}{2} iw_s$ và ở bước cực tiếp theo bằng hình chữ nhật $dega$ với quy ước ở khoảng có đường sức từ hướng lên trên thì F_s được biểu thị bằng tung độ dương.

Vì $i = \sqrt{2}I_s \sin \omega t$ nên s.t.d. F_s phân bố dọc khe hở theo dạng hình chữ nhật có độ cao thay đổi về trị số và dấu theo dòng điện xoay chiều i .



Hình 11-3. Đường sức từ do dòng điện i trong phần tử bước đủ sinh ra (a) và đường biểu thị s.t.d. dọc khe hở của máy (b)

S.t.d. phân bố hình chữ nhật trong không gian và biến đổi hình sin theo thời gian đó có thể phân tích theo dãy Furiê thành các sóng điều hòa 1, 3, 5, 7,..., với gốc tọa độ được chọn như ở hình 11-3b, ta có:

$$F_s = F_{s1} \cos \alpha + F_{s3} \cos 3\alpha + \dots + F_{sv} \cos v\alpha + \dots$$

$$= \sum_{v=1,3,5,\dots} F_{sv} \cos v\alpha \quad (11-7)$$

trong đó:

$$F_{sv} = \frac{2}{\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} F_s \cos v\alpha d\alpha = \frac{4}{v\pi} F_s \sin v \frac{\pi}{2} \quad (11-8)$$

$$\text{và } F_s = \frac{1}{2} i w_s = \frac{\sqrt{2}}{2} I w_s \sin \omega t$$

Thay (11-8) vào (11-7) và kết hợp với (11-6), ta được:

$$F_s = \sum_{\nu=1,3,5..} F_{s\nu} \cos \nu \alpha \sin \omega t \quad (11-9)$$

ở đây:

$$\begin{aligned} F_{s\nu} &= \frac{2\sqrt{2}}{\nu\pi} I_{w_s} \sin \nu \frac{\pi}{2} = \\ &= \pm \frac{2\sqrt{2}}{\nu\pi} I_{w_s} = \pm \frac{I_{w_s}}{\nu} \cdot 0,9 \end{aligned} \quad (11-10)$$

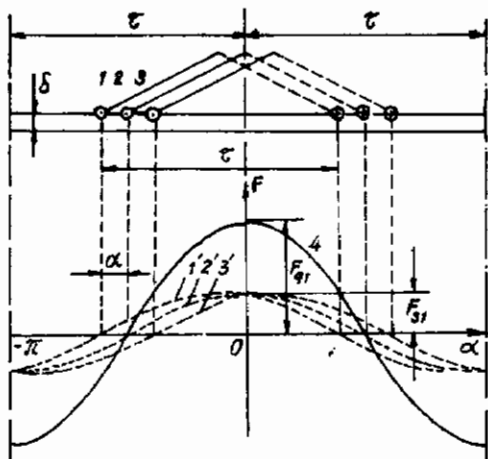
Căn cứ theo (11-9) ta thấy rằng s.t.d. của một phần tử trong có dòng điện xoay chiều là tổng hợp của n sóng đập mạch phân bố hình sin trong không gian và biến đổi hình sin theo thời gian.

11.2.2. S.t.d. của dây quấn một lớp bước đủ

Ta hãy xét s.t.d. của dây quấn một lớp có $q = 3$ phần tử, mỗi phần tử có w_s vòng dây như ở hình 11-4. S.t.d. của dây quấn đó là tổng s.t.d. của ba phần tử phân bố hình chữ nhật và lệch nhau góc không gian $\alpha = \frac{2\pi p}{Z}$. Nếu đem phân tích ba sóng chữ nhật

đó theo cấp số Furiê thì tổng của ba sóng chữ nhật đó cũng chính là tổng tất cả các sóng điều hòa của chúng.

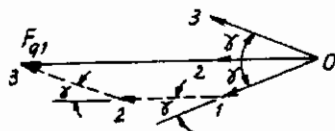
Dưới đây ta sẽ cộng các sóng điều hòa cùng bậc của các s.t.d. của ba phần tử, sau đó lấy tổng của các s.t.d. của ba phần tử, cuối cùng lấy tổng của các s.t.d. hợp thành ứng với tất cả các bậc ν để có s.t.d.



Hình 11-4. S.t.d. của dây quấn một lớp bước đủ có $q = 3$

tổng của dây quần đó.

Với $\nu = 1$, ta có ba sóng s.t.d. hình sin cơ bản 1', 2' và 3' lệch nhau về không gian góc α và có thể biểu thị được bằng ba vectơ lệch nhau góc không gian α như trên hình 11-5. Tổng của ba sóng s.t.d.



Hình 11-5. Cộng s.t.d. của ba phần tử

hình sin đó cũng là một sóng hình sin (đường 4) và là sóng s.t.d. cơ bản của nhóm ba phần tử đó. Biên độ của nó có trị số bằng độ dài của vectơ tổng của các vectơ 1, 2 và 3 trên hình 11-5. Giống như biểu thức (10-9) đối với s.d.d. tổng của nhóm phần tử ta có s.t.d. cơ bản của nhóm phần tử:

$$F_{q1} = qk_{r1}F_{s1} \quad (11-11)$$

trong đó k_{r1} là hệ số quần rải xác định theo (10-10).

Với sóng bậc ν thì góc lệch giữa các sóng s.t.d. bậc ν là $\nu\alpha$ và vectơ s.t.d. tổng bậc ν có biên độ:

$$F_{qv} = qk_{rv}F_{sv} \quad (11-12)$$

trong đó k_{rv} là hệ số xác định theo (10-14).

Như vậy s.t.d. của dây quần một lớp bước đủ có thể biểu thị như sau:

$$F_q = \sum_{\nu=1,3,5} qF_{sm\nu}k_{rv}\cos\nu\alpha\sin\omega t \quad (11-13)$$

11.2.3. S.t.d. của dây quần một pha hai lớp bước ngắn

S.t.d. của dây quần hai lớp bước ngắn có thể được xem như tổng s.t.d. của hai dây quần một lớp bước đủ, một đặt ở lớp trên và một đặt ở lớp dưới nhưng lệch nhau góc điện γ như trên hình 11-6.

Đối với sóng cơ bản ($\nu = 1$) góc lệch $\gamma = (1 - \beta)\pi$, trong đó $\beta = \frac{y}{\tau}$ và theo hình 11-7 thì:

$$F_{f1} = 2F_{q1} \cos(1 - \beta) \frac{\pi}{2} = 2F_{q1} k_{n1} \quad (11-14)$$

trong đó:

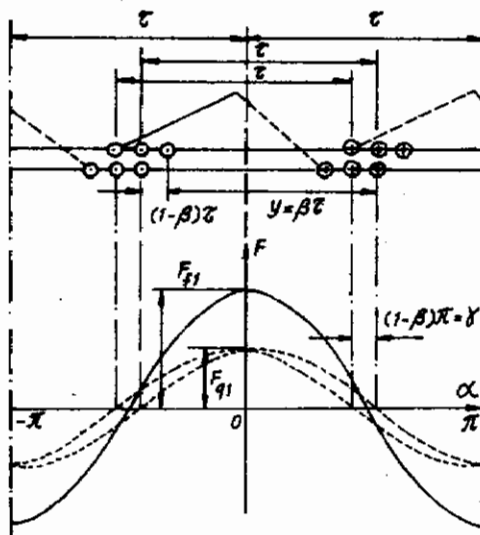
$$k_{n1} = \cos(1 - \beta) \frac{\pi}{2} = \sin \beta \frac{\pi}{2}$$

Cũng như vậy đối với sóng bậc ν :

$$F_{fv} = 2F_{qv} \cos \nu(1 - \beta) \frac{\pi}{2} = 2F_{qv} k_{nv} \quad (11-15)$$

với:

$$k_{nv} = \cos \nu(1 - \beta) \frac{\pi}{2} = \sin \nu \beta \frac{\pi}{2}$$



Hình 11-6. S.t.d. cơ bản ($\nu = 1$) của dây quần một pha hai lớp bước ngắn

Kết quả là s.t.d. của dây quần một pha hai lớp bước ngắn có thể biểu thị dưới dạng:

$$F_f = \sum_{\nu=1,3,5,\dots} 2qk_{nv} k_{sm\nu} F_{sm\nu} \cos \nu \alpha \sin \omega t \quad (11-16)$$

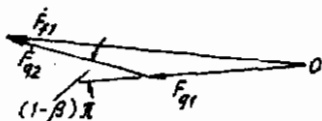
Thay trị số của F_{smv} theo (11-10) và chú ý rằng trong dây quấn hai lớp số vòng dây của một pha $w = 2pqw_s$ thì biểu thức (11-16) có thể viết:

$$F_f = \sum_{v=1,3,5,\dots} F_{fv} \cos v\alpha \sin \omega t \quad (11-17)$$

trong đó:

$$F_{fv} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \frac{wk_{dqv}}{vp} I = 0,9 \frac{wk_{dqv}}{vp} I \quad (11-18)$$

Từ những biểu thức (11-13), (11-17) ta thấy rằng, s.t.d. của dây quấn một pha (một lớp hoặc hai lớp) là tổng hợp của một dãy các sóng đập mạch, nghĩa là phân bố hình sin trong không gian và biến đổi hình sin theo thời gian với tần số của dòng điện chạy trong dây quấn đó.



Hình 11-7. Cộng s.d.d. cơ bản ($v = 1$) của hai lớp dây quấn một pha trên hình 3-6

11.3. S.T.D. CỦA DÂY QUẤN BA PHA

Giả thử cho dây quấn ba pha đặt lệch nhau về không gian góc điện $2\pi/3$ trong có dòng điện ba pha đối xứng:

$$\begin{aligned} i_A &= \sqrt{2}I \sin \omega t \\ i_B &= \sqrt{2}I \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \\ i_C &= \sqrt{2}I \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right) \end{aligned} \quad (11-19)$$

Ta hãy nghiên cứu tính chất và biểu thức của s.t.d. của dây quấn ba pha đó.

Như đã biết, theo (11-17), s.t.d. của dây quấn mỗi pha là một s.t.d. đập mạch và có thể biểu thị như sau:

$$F_a = \sum_{\nu=1,3,5..} F_{fv} \sin \omega t \cos \nu \alpha$$

$$F_b = \sum_{\nu=1,3,5..} F_{fv} \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \cos \nu(\alpha - \frac{2\pi}{3}) \quad (11-20)$$

$$F_c = \sum_{\nu=1,3,5..} F_{fv} \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3}) \cos \nu(\alpha - \frac{4\pi}{3})$$

Để có s.t.d. của dây quấn ba pha ta lấy tổng của ba s.t.d. đập mạch đó. Muốn cho sự phân tích được dễ dàng, dựa theo công thức (11-4a) có thể phân s.t.d. bậc ν của mỗi pha thành hai s.t.d. quay thuận và ngược và như vậy s.t.d. tổng của dây quấn ba pha sẽ là tổng của tất cả s.t.d. quay thuận và các s.t.d. quay ngược đó. Ta có:

$$\begin{aligned} F_{Av} &= F_{fv} \sin \omega t \cos \nu \alpha \\ &= \frac{F_{fv}}{2} \sin(\omega t - \nu \alpha) + \frac{F_{fv}}{2} \sin(\omega t + \nu \alpha) \\ F_{Bv} &= F_{fv} \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \cos \nu(\alpha - \frac{2\pi}{3}) \\ &= \frac{F_{fv}}{2} \sin[(\omega t - \frac{2\pi}{3}) - \nu(\alpha - \frac{2\pi}{3})] \end{aligned} \quad (11-21)$$

$$+ \frac{F_{fv}}{2} \sin[(\omega t - \frac{2\pi}{3}) + \nu(\alpha - \frac{2\pi}{3})]$$

$$\begin{aligned} F_{Cv} &= F_{fv} \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3}) \cos(\alpha - \frac{4\pi}{3}) \\ &= \frac{F_{fv}}{2} \sin[(\omega t - \frac{4\pi}{3}) - \nu(\alpha - \frac{4\pi}{3})] \\ &+ \frac{F_{fv}}{2} \sin[(\omega t - \frac{4\pi}{3}) + \nu(\alpha - \frac{4\pi}{3})] \end{aligned}$$

trong đó $\nu = 1, 3, 5, \dots$ có thể chia thành ba nhóm:

$$1) \nu = mk = 3k \text{ (với } k = 1, 3, 5, \dots \text{ thì } \nu = 3, 9, 15, \dots)$$

$$2) \nu = 2mk + 1 = 6k + 1 \text{ (với } k = 0, 1, 2, \dots \text{ thì } \nu = 1, 7, 13, \dots) \quad (11-22)$$

$$3) \nu = 2mk - 1 = 6k - 1 \text{ (với } k = 1, 2, 3, \dots \text{ thì } \nu = 5, 11, 17, \dots)$$

Trước hết ta hãy xét tổng của các s.t.đ quay thuận, tức là tổng các số hạng thứ nhất ở vế phải của các biểu thức (11-21). Các s.t.đ. quay thuận đó có thể viết như sau:

$$\begin{aligned} F_{A\omega} &= \frac{F_{fv}}{2} \sin(\omega t - \nu\alpha) \\ &= \frac{F_{fv}}{2} \sin[(\omega t - \nu\alpha) + 0(\nu - 1) \frac{2\pi}{3}], \\ F_{B\omega} &= \frac{F_{fv}}{2} \sin[(\omega t - \frac{2\pi}{3}) - \nu(\alpha - \frac{2\pi}{3})] \\ &= \frac{F_{fv}}{2} \sin[(\omega t - \nu\alpha) + 1(\nu - 1) \frac{2\pi}{3}] \\ F_{C\omega} &= \frac{F_{fv}}{2} \sin[(\omega t - \frac{4\pi}{3}) - \nu(\alpha - \frac{4\pi}{3})] \\ &= \frac{F_{fv}}{2} \sin[(\omega t - \nu\alpha) + 2(\nu - 1) \frac{2\pi}{3}] \end{aligned} \quad (11-23)$$

Tổng của chúng là tổng của những sóng quay hình sin lệch nhau góc $(\nu - 1) 2\pi/3$, trong đó ν có trị số xác định theo các biểu thức (11-22).

Với nhóm $\nu = 3k$, ta có:

$$(\nu - 1) \frac{2\pi}{3} = (3k - 1) \frac{2\pi}{3} = 2\pi k - \frac{2\pi}{3}$$

và thay trị số đó vào các biểu thức (11-23) ta thấy, với mỗi trị số của k , ba s.t.đ. đó là những sóng hình sin quay với cùng tốc độ

và lệch nhau góc $2\pi/3$ (hình 11-8a), do đó tổng của chúng bằng không.

Với nhóm $\nu = 6k + 1$, ta có:

$$(\nu - 1) \frac{2\pi}{3} = [(6k + 1) - 1] \frac{2\pi}{3} = 4\pi k$$

và các s.t.d. theo (11-23) tương ứng với mỗi trị số của k là những s.t.d. quay thuận trùng pha nhau (hình 11-8b), do đó tổng của chúng bằng:

$$F_{th} = \sum_{\nu=6k+1} \frac{3}{2} F_{\nu} \sin(\omega t - \nu\alpha) \quad (11-24)$$

Với nhóm $\nu = 6k - 1$, ta có :

$$(\nu - 1) \frac{2\pi}{3} = [(6k - 1) - 1] \frac{2\pi}{3} = 4\pi k - \frac{4\pi}{3}$$

và các s.t.d. theo (11-23) tương ứng với mỗi trị số của k là những s.t.d. quay với cùng tốc độ và lệch nhau góc $\frac{4\pi}{3}$ (hình 11-8c), do đó tổng của chúng bằng không.

Tương tự như vậy, xét tổng của các s.t.d. quay ngược, tức là tổng của các số hạng thứ hai ở vế phải của các biểu thức (11-21), ta sẽ thấy tổng của các s.t.d. có $\nu = 6k$ và $\nu = 6k + 1$ bằng không. Riêng nhóm s.t.d. ứng với $\nu = 6k - 1$ trùng pha nhau nên tổng của chúng là:

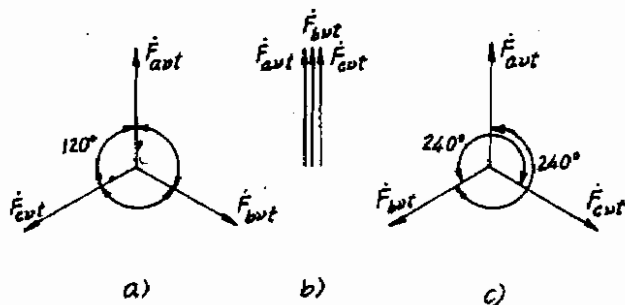
$$F_{ng} = \sum_{\nu=6k-1} \frac{3}{2} F_{\nu} \sin(\omega t + \nu\alpha) \quad (11-25)$$

Như vậy s.t.d. của dây quấn ba pha, tổng của các sóng quay thuận và ngược theo (11-21) cho bởi các biểu thức (11-24), (11-25) có thể viết gộp lại như sau:

$$F_{(3)} = \sum_{\nu=6k\pm 1} \frac{3}{2} F_{\nu} \sin(\omega t + \nu\alpha) \quad (11-26)$$

trong đó theo (11-18):

$$\frac{3}{2} F_{fv} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \frac{wk_{dq\nu}}{v_p} I = 1,35 \frac{wk_{dq\nu}}{v_p} I \quad (11-27)$$



Hình 11-8. Cộng các s.t.d. quay thuận bậc ν của các pha

Từ đó ta có thể kết luận rằng, s.t.d. của dây quấn ba pha là tổng của các s.t.d. bậc $\nu = 6k + 1$ quay thuận và các s.t.d. bậc $\nu = 6k - 1$ quay ngược. Biên độ của s.t.d. quay bậc ν bằng $3/2$ lần biên độ của s.t.d. một pha bậc ν . Tốc độ góc của s.t.d. quay bậc ν là $\omega_\nu = \omega/\nu$, hay là:

$$n_\nu = \frac{n}{\nu} \quad (11-28)$$

trong đó:
$$n = \frac{6(f}{p}$$

11.4. S.T.D. CỦA DÂY QUẤN HAI PHA

Nếu trong dây quấn hai pha ($m = 2$) đặt lệch nhau trong không gian góc điện $\pi/2$ có dòng điện hai pha lệch nhau về thời gian góc $\pi/2$ thì cũng phân tích như đối với trường hợp dây quấn ba pha, ta sẽ đi đến kết luận sau:

$$F(2) = \sum_{\nu=4k \pm 1} F_{fv} \sin(\omega t \pm \nu \alpha) \quad (11-29)$$

$$\text{trong đó: } F_{dv} = 0,9 \frac{wk_{dq\nu}}{\nu p} I \quad (11-30)$$

nghĩa là s.t.d. của dây quấn hai pha là tổng của các s.t.d. bậc $\nu = 2mk + 1 = 4k + 1$, quay thuận và các s.t.d. bậc $\nu = 2mk - 1 = 4k - 1$ quay ngược. Biên độ của s.t.d. quay bậc ν bằng biên độ của s.t.d. một pha bậc ν , tốc độ quay của s.t.d. bậc ν là $n_\nu = \frac{n}{\nu}$.

11.5. PHÂN TÍCH S.T.D. CỦA DÂY QUẤN BẰNG PHƯƠNG PHÁP ĐỒ THỊ

Ở trên ta đã nghiên cứu s.t.d. của dây quấn bằng phương pháp giải tích và đi đến kết luận rằng dòng điện ba pha (hoặc hai pha) chạy trong dây quấn ba pha (hoặc hai pha) sẽ tạo ra s.d.d. quay. Ở đây ta sẽ dùng phương pháp đồ thị để chứng minh điều đó. Để đơn giản trước hết ta hãy xét s.t.d. sinh ra bởi dòng điện ba pha i_A, i_B, i_C chạy trong dây quấn ba pha A - X, B - Y, C - Z, có $q = 1, p = 1$ như trên hình 11-9 ở các thời điểm khác nhau.

Giả thử ở thời điểm $t = 0$, dòng điện pha A là cực đại:

$$i_A = + I_m$$

$$\text{còn: } i_B = i_C = - \frac{I_m}{2}$$

và giả thử dòng điện ở pha A có chiều từ X đến A còn ở các pha B và C có chiều từ B đến Y và C đến Z như ký hiệu trên hình 11-9.

Các s.t.d. F_A, F_B và F_C có trị số tỷ lệ với dòng điện chạy trong các pha đó phân bố dọc hai cực như trình bày bằng các đường biểu diễn 1, 2, 3 trên hình 4-9a. Cộng các tung độ của ba đường biểu diễn đó ở từng điểm ta sẽ được s.d.d. tổng của dây quấn ba pha như đường 4. Ta thấy rằng trị số cực đại của s.t.d. tổng trùng với trục của pha A là pha có dòng điện cực đại ở thời điểm $t = 0$.

Ở thời điểm $t = T/3$ thì:

$$i_B = I_m$$

còn:
$$i_A = i_C = -\frac{I_m}{2}$$

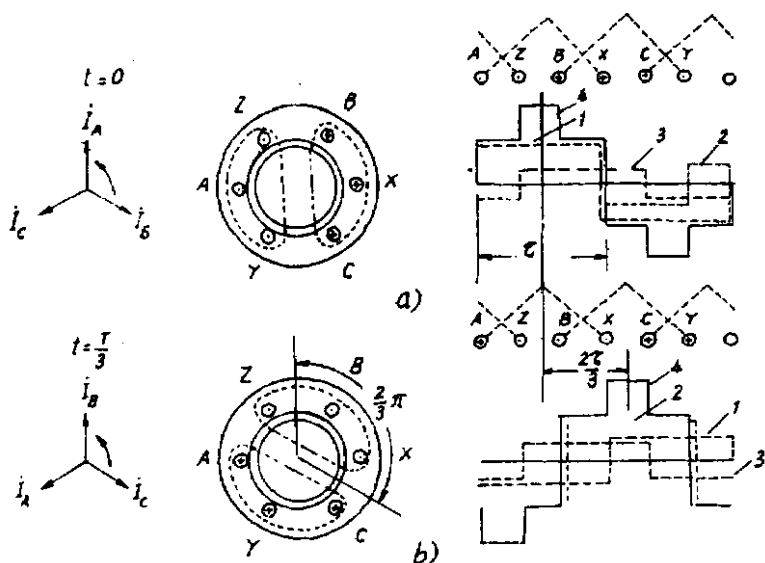
Lập lại cách vẽ trên ta có các đường biểu diễn s.t.d. của từng pha và s.t.d. tổng như trên hình 11-9b.

Ta thấy rằng khi dòng điện biến đổi một phần ba chu kỳ $T/3$ thì s.t.d. tổng của dây quấn ba pha cũng xô dịch trong không gian khoảng cách $2\pi/3$ và trị số cực đại của s.t.d. tổng đó trùng với trục của pha B là pha có dòng điện cực đại ở thời điểm $t = T/3$.

Từ những kết quả phân tích ở trên ta có thể đi đến những kết luận sau đây:

1. S.t.d. của dây quấn ba pha là s.t.d. quay.

Khi dòng điện biến đổi được một chu kỳ T thì s.t.d. đó quay



Hình 11-9. S.t.d. của dây quấn ba pha có $q = 1$, $2p = 2$ ở các thời điểm $t = 0$ và $t = T/3$

được 2π trong không gian. Nếu máy có p đôi cực thì s.t.d. đó quay được $1/p$ vòng. Vậy tốc độ quay của s.t.d. là:

$$n = \frac{f}{p} [\text{vg/s}] = \frac{60f}{p} [\text{vg/ph}]$$

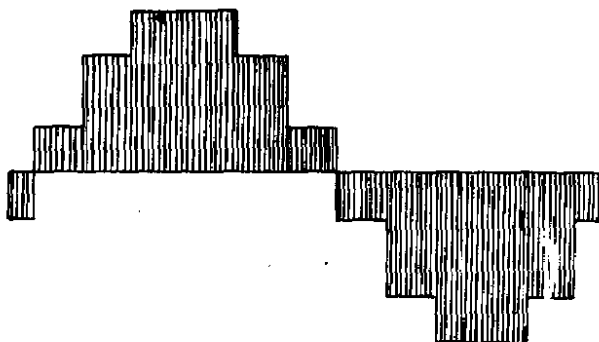
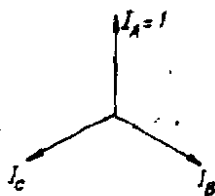
2. Trục của s.t.d. tổng luôn trùng với trục của pha có dòng điện cực đại

Để có phương pháp tổng quát, vẽ đường phân bố s.t.d. tổng của dây quấn khi $q \neq 1$, ta nhận xét rằng, trị số của s.t.d. tăng tỷ lệ với phụ tải đường A dọc chu vi khe hở. Do dây quấn chỉ đặt tập trung trong các rãnh nên s.t.d. không thay đổi ở khoảng giữa các rãnh (trong khoảng đó đường phân bố s.t.d. song song với trục ngang) mà chỉ thay đổi ở vị trí của rãnh, tỷ lệ với tổng đại

Lớp trên

Lớp dưới

A	A	C	C	B	B	A	A	C	C	B	B
+1	+1	+1/2	+1/2	-1/2	-1/2	-1	-1	-1/2	-1/2	+1/2	+1/2
A	C	C	B	B	A	A	C	C	B	B	A
+1	+1/2	+1/2	-1/2	-1/2	-1	-1	-1/2	-1/2	+1/2	+1/2	+1



Hình 11-10. Thiết lập đường phân bố s.t.d. của dây quấn ba pha bằng phương pháp đồ thị

số các dòng điện trong rãnh đó (tung độ của đường phân bố s.t.d. sẽ tăng (hoặc giảm) một đoạn tỷ lệ với tổng đại số các dòng điện đó). Trục ngang của đường biểu diễn được vẽ ở vị trí sao cho hình thành với đường biểu diễn s.t.d. đó các diện tích trên và dưới trục ngang bằng nhau, thể hiện rằng từ thông của cực N và cực S phải cùng một trị số.

Hình 11-10 nêu lên thí dụ ứng dụng phương pháp tổng quát vẽ đường phân bố s.t.d. tổng ở thời điểm ứng với $i_A = I_m$ của dây quấn ba pha $Z = 24$; $2p = 4$; $y = \frac{5\tau}{6}$ có sơ đồ quấn dây trên hình 9-27. Trình tự tiến hành như sau:

1. Vẽ giản đồ khai triển của dây quấn hình 9-27 và xác định các vùng pha ở lớp trên và lớp dưới của dây quấn.

2. Xác định trị số của dòng điện ở các pha ở thời điểm cho biết, sau đó xác định trị số và chiều của dòng điện ở các lớp trên và lớp dưới của rãnh và tổng đại số của dòng điện ở trong các rãnh.

3. Vẽ đường phân bố s.t.d. tỷ lệ với tổng đại số các dòng điện trong rãnh.

4. Xác định vị trí của trục ngang.

Chú ý rằng trên hình 11-10 chỉ vẽ đường biểu diễn s.t.d. ứng với một đôi cực của dây quấn.

Câu hỏi

1. Phân biệt s.t.d. đập mạch và s.t.d. quay. S.t.d. trong máy biến áp khác các s.t.d. đó như thế nào ?

2. Phân tích s.t.d. của dây quấn một pha quấn rải, bước ngắn. Biểu thức và tính chất của s.t.d. đó.

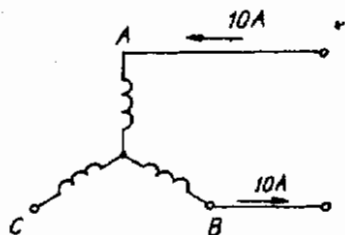
3. Phân tích s.t.d. của dây quấn ba pha quấn rải, bước ngắn. Biểu thức và tính chất của s.t.d. đó.

4. Tác dụng của bước ngắn và quấn rải đối với s.t.d.

5. Đặt điện áp xoay chiều ba pha vào dây quấn ba pha. Giả sử một pha bị đứt dây thì s.t.d. của dây quấn thuộc loại s.t.d. nào ?

Bài tập

1. Cho máy phát điện ba pha mỗi cực có 12 rãnh, dây quấn hai lớp, bước dây quấn là 10 rãnh, mỗi phần tử có 4 vòng dây. Hãy tính biên độ s.t.d. cơ bản và s.t.d. tổng khi có dòng điện 10 A chạy qua như trên hình 3-11 (pha C hở mạch) trong trường hợp:



Hình 3-11.

a) dòng xoay chiều; b) dòng một chiều.

$$\text{Đáp số : } F_{\sim} = 230 \text{ A;}$$

$$F_{\equiv} = 230/\sqrt{2} \text{ A.}$$

2. Cho một máy phát điện ba pha tốc độ quay $n = 75 \text{ vg/ph}$, dây quấn một lớp, dòng điện đi qua mỗi phần tử $I = 230 \text{ A}$ (trị số hiệu dụng), số rãnh phần tĩnh $Z = 480$, trong mỗi rãnh có 8 thanh dẫn, tần số $f = 50 \text{ Hz}$. Tính:

a) Biên độ của các sóng điều hòa s.t.d. bậc 1, 3, 5 của mỗi phần tử khi $i = I_m$.

b) Biên độ của các s.t.d. bậc 1, 3, 5 của dây quấn của mỗi pha.

$$\text{Đáp số: a) } F_{s1,3,5} = 1656; 552; 331,2 \text{ A;}$$

$$\text{b) } F_{q1,3,5} = 3200, 1066,4; 640 \text{ A.}$$

3. Vẽ đường biểu diễn s.t.d. của dây quấn ba pha một lớp với $Z = 24$; $2p = 4$, ở thời điểm ứng với $i_A = I_m$.

4. Vẽ đường biểu diễn s.t.d. của dây quấn ba pha hai lớp quấn xếp với $Z = 15$; $2p = 4$ ở thời điểm ứng với $i_A = I_m$.

Chương 12

ĐIỆN KHÁNG CỦA DÂY QUẤN MÁY ĐIỆN XOAY CHIỀU

12.1. ĐẠI CƯƠNG

Dòng điện m pha chạy trong dây quấn máy điện xoay chiều sẽ sinh ra từ trường quay ở khe hở giữa stato và rôto. Từ trường đó bao gồm sóng cơ bản quay với tốc độ đồng bộ n_1 và các sóng bậc ν quay thuận và ngược với tốc độ $\pm n_1/\nu$. Ngoài ra, dòng điện của từng pha còn sinh ra từ trường xoay chiều ở các rãnh chứa dây quấn đó.

Trên thực tế, để việc nghiên cứu và tính toán được dễ dàng ta chia và xét từ trường của dây quấn theo ba vùng không gian: từ trường ở khe hở; từ trường ở rãnh và từ trường ở phần đầu nối.

Từ trường ở khe hở là do các s.t.d. bậc một (cơ bản) và bậc cao sinh ra. Khi dòng điện ba pha trong các dây quấn là đối xứng thì biên độ từ cảm do các s.t.d. đó sinh ra có trị số:

$$B_{m\nu} = \frac{\mu_0}{k_\mu k_d \delta} F_\nu = \frac{\mu_0}{k_\mu k_d \delta} \frac{m\sqrt{2}}{\pi} \frac{w k_{dq\nu}}{\nu p} I \quad (12-1)$$

trong đó: $k_d = \frac{B_{m\nu}}{B_{m\nu}}$ - hệ số khe hở xét đến ảnh hưởng làm giảm

biên độ từ cảm do khe hở không đều;

$B_{m\nu}$ - trị số cực đại của từ cảm không hình sin B_ν do khe hở không đều;

$B_{m\nu}$ - biên độ của sóng B_ν ;

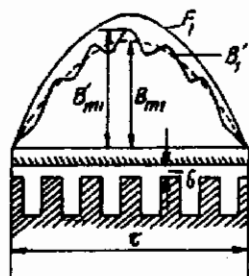
k_μ - hệ số bão hòa của mạch từ.

Hình 12-1 cho thấy sự phân bố từ cảm do s.d.d. bậc một ($\nu = 1$) sinh ra.

Các đường sức từ của từ trường khe hở là những đường khép kín đi qua lõi thép stato và rôto. Từ thông do từ trường bậc ν sinh ra có trị số :

$$\Phi_{\nu} = B_{\text{tbn}} r_{\nu} l_{\delta} = \frac{\mu_0 r l_{\delta}}{k_{\mu} k_{\delta} \delta} \frac{m 2 \sqrt{2}}{\pi^2} \frac{w k_{\text{dqv}}}{\nu^2 p} I \quad (12-2)$$

Tác dụng điện từ trong máy điện dựa chủ yếu vào từ thông Φ_1 ứng với từ trường của sóng cơ bản ($\nu = 1$) ở khe hở còn gọi là từ trường chính. Từ thông Φ_1 sinh ra s.d.d. tự cảm trong bản thân dây quấn đó hoặc s.d.d. hồ cảm trong dây quấn khác và tương ứng sẽ có các điện kháng tự cảm x_1 và điện kháng hồ cảm x_{12} .

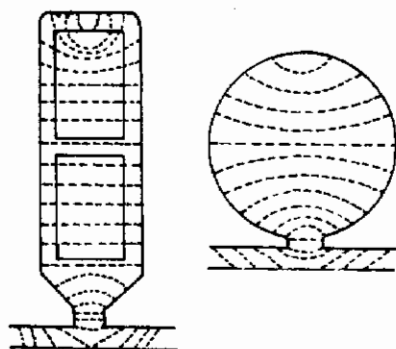


Hình 12-1. Sự phân bố từ cảm sinh ra bởi s.d.d. bậc một

Các từ trường do sóng bậc cao ở khe hở rất yếu nên được xem như từ trường tản của khe hở, còn gọi là từ trường tạp. Trị số của từ trường tạp bằng từ trường tổng ở khe hở trừ đi từ trường chính.

Từ trường ở rãnh là do dòng điện xoay chiều chạy trong cạnh tác dụng của

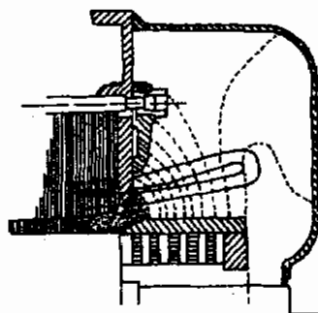
phần tử đặt trong rãnh sinh ra. Từ trường ở rãnh có dạng như trình bày ở hình 12-2, trong đó các đường sức từ đều thẳng góc với mặt rãnh (do điều kiện $\mu_{\text{Fe}} = \infty$) và chủ yếu chỉ móc vòng với thanh dẫn đặt trong rãnh. Hình dạng của các ống từ hoàn toàn phụ thuộc vào dạng hình học của rãnh. Ứng với từ trường ở



Hình 12-2. Từ trường ở rãnh

rãnh có điện kháng x_{dr} .

Từ trường ở phần đầu nối có các đường sức từ phân bố như ở hình 12-3. Ở khu vực này từ trường cũng do dòng điện m pha chạy trong phần đầu nối của dây quấn m pha nên có tính chất của từ trường quay. Do một phần các đường sức của từ trường đi



Hình 12-3. Từ trường ở phần đầu nối của máy

móc vòng với cả dây quấn ở stato và rôto nên sinh ra cả s.d.d. tự cảm và hổ cảm. Tuy nhiên, các s.d.d. này rất nhỏ so với các s.d.d. tự cảm và hổ cảm do từ trường chính ở khe hở nên có thể bỏ qua. Điện kháng tương ứng với từ trường ở phần đầu nối là x_{dn} .

Trong máy điện xoay chiều, sự trao đổi năng lượng cơ điện giữa stato và rôto chủ yếu dựa vào từ trường chính của khe hở. Các từ trường rãnh, đầu nối, tạp không tham gia trực tiếp vào quá trình biến đổi năng lượng nên trên được coi là từ trường tản và các điện kháng tương ứng được gọi là điện kháng tản. Khi thiết kế các máy điện, không nhất thiết phải tìm cách giảm các điện kháng tản đến trị số cực tiểu mà chỉ giới hạn chúng trong một phạm vi cho phép, đảm bảo tính năng và điều kiện làm việc nhất định của máy.

12.2. ĐIỆN KHÁNG CHÍNH CỦA DÂY QUẤN MÁY ĐIỆN XOAY CHIỀU

Từ thông chính ở khe hở Φ_1 sẽ cảm ứng trong bản thân dây quấn 1 có số vòng dây w_1 , s.d.d. tự cảm E_1 . Theo (10-9), s.d.d. đó có trị số:

$$E_1 = \pi \sqrt{2} f w_1 k_{dq1} \Phi_1$$

hay kết hợp với (12-2) khi $\nu = 1$ ta có:

$$E_1 = \frac{4m_1 f}{\pi} \frac{\mu_0 \tau l_\delta}{k_\mu k_\delta \delta} \frac{w_1^2 k_{dq1}^2}{p} I_1 \quad (12-3)$$

Điện kháng chính của dây quấn có trị số:

$$x_1 = \frac{E_1}{I_1} = \frac{4m_1 f}{\pi} \frac{\mu_0 \tau l_\delta}{k_\mu k_\delta \delta} \frac{w_1^2 k_{dq1}^2}{p} \quad (12-4)$$

S.đ.đ. hồ cảm trong dây quấn 2 có số vòng dây w_2 do từ thông Φ_1 có trị số như sau:

$$E_{12} = \pi \sqrt{2} f w_2 k_{dq2} \Phi_1 = \frac{4m_2 f}{\pi} \frac{\mu_0 \tau l_\delta}{k_\mu k_\delta \delta} \frac{w_1 k_{dq1} w_2 k_{dq2}}{p} I_1 \quad (12-5)$$

và điện kháng hồ cảm chính tương ứng:

$$x_{12} = \frac{4m_2 f}{\pi} \frac{\mu_0 \tau l_\delta}{k_\mu k_\delta \delta} \frac{w_1 k_{dq1} w_2 k_{dq2}}{p} \quad (12-6)$$

Như vậy ta thấy các điện kháng tự cảm và hồ cảm đều tỷ lệ thuận với bình phương của số vòng dây (w^2) và tỷ lệ nghịch với khe hở δ .

12-3. ĐIỆN KHÁNG TẢN CỦA DÂY QUẤN MÁY ĐIỆN XOAY CHIỀU

12.3.1. Điện kháng tán ở rãnh

Ta xét trường hợp rãnh tiết diện hình chữ nhật có kích thước như trên hình 12-4, trong đó đặt một cạnh tác dụng của một phần tử có w_s vòng dây. Dòng điện i chạy trong cạnh tác dụng sẽ sinh ra từ trường có các đường sức thẳng góc với vách rãnh.

Vì điện kháng tán $x = \omega L = \omega \psi / i$, nên để tìm trị số của x trước hết cần tính toàn bộ từ thông móc vòng ψ với các thanh dẫn của cạnh tác dụng đó.

Trong khu vực rãnh thuộc phạm vi độ cao h_1 , một đường sức từ cách đáy khoảng x sẽ móc vòng với số vòng dây x/h_1 , w_s và số ampe thanh dẫn xuyên qua đường sức từ đó bằng $\frac{x}{h_1} w_s i$. Ứng

dùng định luật toàn dòng điện cho đường từ lực đó với điều kiện:

$$\frac{B_{x1}}{\mu_0} b_r = \frac{x}{h_1} w_s i,$$

$$\text{hay: } B_{x1} = \frac{\mu_0 x}{b_1 h_1} w_s i \quad (12-7)$$

Trong khu vực rãnh ứng với h_2 ta có:

$$B_{x2} = \frac{\mu_0}{b_r} w_s i \quad (12-8)$$

Từ thông của đơn vị ống từ có tiết diện $l_\delta dx$, trong đó l_δ là chiều dài tính toán của rãnh, ở các khu vực 1 và 2 bằng:

$$d\Phi_{x1} = B_{x1} l_\delta dx; \quad d\Phi_{x2} = B_{x2} l_\delta dx$$

Từ thông móc vòng tương ứng:

$$d\psi_{x1} = \frac{x}{h_1} w_s d\Phi_{x1} = \frac{x}{h_1} w_s B_{x1} l_\delta dx \quad (12-9)$$

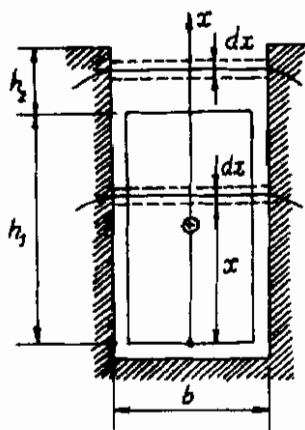
$$d\psi_{x2} = w_s d\Phi_{x2} = w_s B_{x2} l_\delta dx$$

Toàn bộ từ thông móc vòng với cạnh tác dụng đặt trong rãnh có trị số

$$\psi_r = \int_{x=0}^{x=h_1} d\psi_{x1} + \int_{x=h_1}^{x=h_1+h_2} d\psi_{x2} = \mu_0 w_s^2 i l_\delta \lambda_r, \quad (12-10)$$

$$\text{trong đó: } \lambda_r = \frac{h_1}{3b_r} + \frac{h_2}{b_r} \quad (12-11)$$

được gọi là suất dẫn từ tản tương đối của rãnh, tức là từ thông tản móc vòng trên một đơn vị dài của rãnh trong đó đặt một vòng dây và dòng điện chạy qua là một ampe. Từ biểu thức (12-11) ta thấy, nếu rãnh càng hẹp và sâu thì λ_r càng lớn. Thông



Hình 12-4. Tính toán từ trường tản ở rãnh

thường $\lambda_r = 1,0 \div 4,0$. Cách tính λ_r của các rãnh có hình dạng khác cũng tương tự và có thể tìm thấy ở giáo trình. Thiết kế máy điện:

Vì một nhánh song song của dây quấn một lớp có $\frac{2pq}{a}$ cạnh phần tử hoặc $w = \frac{pqw_s}{a}$ vòng dây, trong đó a là số mạch nhánh song song, nên hệ số từ cảm của một nhánh song song bằng:

$$L_{rn} = \frac{2pq}{a} \frac{\psi_r}{i} \quad (12-12)$$

và điện kháng tản ở rãnh của một nhánh song song bằng:

$$x_{rn} = 2\pi f L_{rn} = 4\pi f \frac{pq}{a} \frac{\psi_r}{i} \quad (12-13)$$

Thay trị số của ψ_r theo (12-10) vào (12-13) và chú ý rằng nếu dây quấn có a nhánh song song thì điện kháng tản giảm đi a lần ta có kết quả cuối cùng:

$$x_r = 4\pi\mu_0 f \frac{w^2}{pq} l_y \lambda_r \quad (12-14)$$

Biểu thức (12-13) cũng ứng dụng được cho dây quấn hai lớp.

12.3.2. Điện kháng tản ở đầu nối

Dòng điện nhiều pha sinh ra ở phần đầu nối từ trường quay gồm có sóng cơ bản và sóng bậc cao và cũng sinh ra các s.d.d. tự cảm và hổ cảm trong các dây quấn. Do hình dáng uốn cong của phần đầu nối nên từ trường ở khu vực này phân bố không đều trong không gian và biểu thức giải tích của điện kháng dựa vào kết quả nghiên cứu theo lý thuyết của trường điện từ ở đó rất phức tạp. Trong thực tế, khi thiết kế và tính toán, người ta thường dùng công thức kinh nghiệm tương tự như biểu thức (12-14), trong đó λ_r được thay bằng suất dẫn từ tương đối của phần đầu nối λ_{dn} .

Đối với dây quấn hai lớp bước ngắn thì:

$$\lambda_{dn} = 0,34 \frac{q}{l_b} (l_{dn} - 0,64\beta r) k_n^2 \quad (12-15)$$

trong đó l_{dn} - chiều dài trung bình của phần đầu nối của một nửa vòng dây.

12.3.3. Điện kháng tản tập

Như đã trình bày ở trên, các từ trường bậc cao ở khe hở không trực tiếp tham gia vào quá trình biến đổi năng lượng và được xem như là một bộ phận của từ trường tản. Như vậy điện kháng tản tập tương ứng là tổng của các điện kháng tự cảm của tất cả các sóng bậc ν ứng với $\nu \neq 1$. Trên cơ sở tương tự biểu thức (12-4), ta có:

$$x_1 = \sum_{\nu \neq 1} \frac{E_\nu}{I} = \frac{4mf}{\pi} \frac{\mu_o r l_b}{k_\mu k_\delta} \frac{w^2}{p} \sum_{\nu \neq 1} \frac{k_{dq\nu}^2}{\nu^2} \quad (12-16)$$

Tỷ số k_1 giữa x_1 và x_1 được gọi là hệ số tản từ tập.

$$k_1 = \frac{x_1}{x_1} = \frac{1}{k_{dq1}^2} \sum_{\nu \neq 1} \frac{k_{dq\nu}^2}{\nu^2} \quad (12-17)$$

Đối với dây quấn hai lớp, k_1 phụ thuộc vào β và q và có trị số như trên hình 12-5.

Đối với dây quấn lồng sóc $k_{dq1} = k_{dq\nu} = 1$, nên từ (12-17) và (10-17), ta có:

$$k_1 = \sum_{k=1,2,3} \left[\frac{1}{k \left(\frac{Z_2}{p} + 1 \right)^2} + \frac{1}{k \left(\frac{Z_2}{p} - 1 \right)^2} \right] \quad (12-18)$$

Khi $\frac{Z_2}{p} > 3$ thì $k_1 \approx \frac{1}{3} \left(\frac{p\pi}{Z_2} \right)^2$. Lấy thí dụ nếu $\frac{Z_2}{p} = 10$ thì

$k_1 \approx 0,0328$.

Những nghiên cứu tỷ mỉ cho biết do ảnh hưởng của các rãnh, trị số của k_1 giảm đi khá nhiều. Ngoài ra các từ trường bậc cao

của stato sẽ sinh ra các s.d.d. ở các dây quấn và ở cả lõi thép của rôto. Dòng điện do các s.d.d. này sinh ra sẽ tạo nên các từ trường làm yếu hoặc làm triệt tiêu một phần các từ trường bậc cao đã sinh ra chúng. Kết quả là trị số của k_t sẽ nhỏ hơn các trị số tính được theo biểu thức (12-18). Vấn đề này sẽ được đề cập đến kỹ hơn trong giáo trình "Thiết kế máy điện".

Sau khi đã biết được k_t có thể tính được điện kháng tản tập theo biểu thức:

$$x_t = k_t x_1 \quad (12-19)$$

Biểu thức x_t cũng có dạng của biểu thức (12-14) nếu thay λ_t bằng suất dẫn từ tản tập λ_t . Ta có:

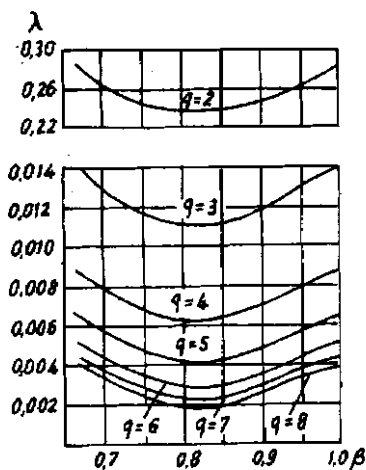
$$\lambda_t = \frac{x_t}{\frac{w^2}{4\mu_0 \pi f \frac{pq}{l_\delta}}} \quad (12-20)$$

Thay trị số của x_t theo (12-19) vào (12-20) trong đó x_1 tính theo (12-4), ta được:

$$\lambda_t = \frac{mqk_{dq}^2 t}{\pi^2 k_\mu k_\delta \delta} k_t \quad (12-21)$$

12.3.4. Trị số của điện kháng tản x_σ của dây quấn máy điện xoay chiều

Trị số của điện kháng tản x_σ là tổng số của các điện kháng tản ở rãnh, ở phần đầu nối và điện kháng tản tập, nghĩa là:



Hình 12-5. Các đường biểu diễn hệ số tản từ tập

$$x_{\sigma} = x_r + x_{dn} + x_l = 4\pi\mu_0 f \frac{w^2}{pq} l_d(\lambda_r + \lambda_{dn} + \lambda_l) \quad (12-22)$$

So sánh các thành phần của x_{σ} ta thấy, trong máy điện không đồng bộ, các điện kháng tản rãnh, đầu nối và tập có trị số gần bằng nhau. Trong máy điện đồng bộ do khe hở ở lớn, ngoài ra đối với máy phát điện tuabin hơi, do $q = 5 \div 12$, nên điện kháng tản tập nhỏ hơn các điện kháng tản rãnh và đầu nối.

Thông thường đối với máy điện đồng bộ $x_{\sigma} = 0,08 \div 0,2$ và đối với máy điện không đồng bộ $x_{\sigma} = 0,1$.

Ta cũng cần chú ý thêm rằng, trong điều kiện làm việc bình thường của máy điện thì x_{σ} là hằng số vì từ thông của từ trường tản không lớn và mạch từ của từ trường tản không bị bão hòa. Khi xảy ra ngắn mạch, từ thông tản rất lớn khiến cho vùng rãnh của lõi thép bị bão hòa rất mạnh, kết quả là trị số của x_{σ} bị giảm đi vào khoảng $15 \div 30\%$.

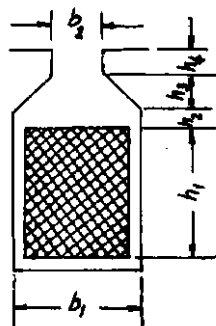
Câu hỏi

1. Các điện kháng chính của dây quấn máy điện xoay chiều, biểu thức và ý nghĩa của chúng?

2. Kích thước của rãnh có ảnh hưởng như thế nào đối với điện kháng tản ở rãnh? Muốn tăng điện kháng tản của rãnh phải làm thế nào?

Bài tập

Tính suất dẫn từ tản ở rãnh khi tiết diện và kích thước rãnh như trình bày trên hình 12-6.



Hình 12-6

Chương 13

MẠCH TỪ LÚC KHÔNG TẢI

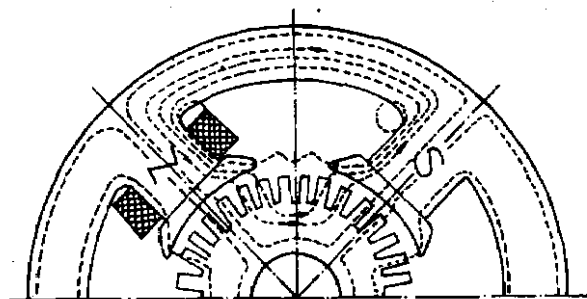
13.1. ĐẠI CƯƠNG

Từ trường trong máy điện là một yếu tố không thể thiếu được để sinh ra s.d.d và mômen điện từ. Trong hầu hết những máy điện hiện nay, từ trường lúc không tải đều do dòng điện một chiều chạy qua dây quấn kích từ đặt trên cực từ sinh ra.

Mục đích của việc nghiên cứu mạch từ lúc không tải của máy điện một chiều hay nói chung của tất cả các loại máy điện khác như máy điện đồng bộ, máy điện không đồng bộ v.v... là xác định sức từ động (viết tắt là s.t.d) cần thiết để tạo ra từ thông ở khe hở đủ để sinh ra trong dây quấn phần ứng một s.d.d. và mômen điện từ theo yêu cầu của thiết kế. Trong chương này sẽ trình bày cách tính toán cụ thể mạch từ máy điện một chiều. Tuy nhiên, vì phương pháp đó có tính cách tổng quát nên cũng có thể ứng dụng để tính toán mạch từ của các loại máy điện quay khác.

13.1.1. Từ trường chính và từ trường tán

Trong máy điện, các cực từ có cực tính khác nhau được bố trí xen kẽ nhau, từ thông đi từ cực bắc N qua khe hở và phần ứng rồi trở về hai cực nam S nằm kề bên. Sự phân bố của đường sức từ ở một máy bốn cực như trên hình 13-1. Theo hình vẽ đó, ta thấy từ thông đi ra dưới mỗi cực đại bộ phận đi qua khe hở vào phần ứng, chỉ có một bộ phận rất nhỏ không qua phần ứng mà trực tiếp đi vào các cực từ bên cạnh hoặc gông từ, nắp máy ... làm thành mạch kín. Phần từ thông đi vào phần ứng gọi là từ thông chính hay từ thông khe hở Φ_0 . Từ thông này cảm ứng nên



Hình 13-1. Sự phân bố của từ trường chính và từ trường tản trong máy điện một chiều

s.d.d. trong dây quấn khi phần ứng quay và tác dụng với dòng điện trong dây quấn để sinh ra mômen. Đây là phần chủ yếu của từ thông cực từ Φ_c .

Phần từ thông không đi qua phần ứng gọi là từ thông tán Φ_o . Nó không

cảm ứng nên s.d.d. và mômen trong phần ứng nhưng nó vẫn tồn tại làm cho độ bão hòa từ trong cực từ và gông từ tăng lên. Từ thông này nhiều hay ít còn phụ thuộc vào độ bão hòa và kết cấu của cực từ.

Tóm lại toàn bộ từ thông của cực từ bằng:

$$\Phi_c = \Phi_o + \Phi_\sigma = \Phi_o \left(1 + \frac{\Phi_\sigma}{\Phi_o}\right) = \sigma_1 \Phi_o \quad (13-1)$$

trong đó:

σ_1 - hệ số tán từ của cực từ chính. Thường $\sigma_1 = 1,15 + 1,28$.

13.1.2. S.t.d. cần thiết sinh ra từ thông

Để có từ thông chính Φ_o cần phải có một s.t.d. kích từ F_o nào đó. S.t.d. này do số ampe vòng của dây quấn kích từ trên một đôi cực sinh ra. Theo định luật toàn dòng điện, trong mạch từ kín, tổng s.t.d. bằng tích phân vòng của cường độ từ trường trong mạch từ đó, tức là:

$$\sum Iw = \oint Hdl$$

Trong thực tế máy điện, trực tiếp dùng công thức trên để tính toán có khó khăn vì mạch từ trong máy điện không quy củ, khó xác định cường độ từ trường H ở các điểm. Vì vậy để dễ tính

toán, ta dùng cách phân đoạn và trong các đoạn đó coi như cường độ từ trường không đổi. Trong máy điện, thường chia mạch từ ra làm năm đoạn sau: khe hở, răng phần ứng, lưng phần ứng, cực từ và gông từ.

Như vậy s.t.đ. cần thiết cho một đôi cực F_0 để sinh ra từ thông chính có thể tính như sau:

$$\begin{aligned} F_0 &= \sum l w = \sum H l \\ &= 2H_\delta \delta + 2H_r h_r + H_u l_u + 2H_c l_c + H_g l_g \\ &= F_\delta + F_r + F_u + F_c + F_g \end{aligned} \quad (13-2)$$

trong đó các chữ nhỏ δ, r, u, c, g chỉ khe hở, răng phần ứng, lưng phần ứng, cực từ và gông từ; h chỉ chiều cao và l chỉ chiều dài.

Cường độ từ trường theo nguyên tắc có thể tính theo công thức:

$$H = \frac{B}{\mu} \quad (13-3)$$

trong đó:

$$B = \frac{F}{S} \quad - \text{từ cảm trên các đoạn;}$$

Φ, S và μ - từ thông, tiết diện và hệ số từ thẩm của các đoạn.

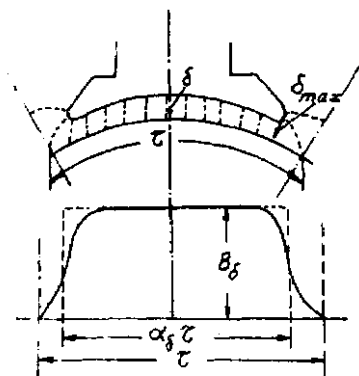
Trong không khí, $\mu = \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$ nhưng trong sắt từ, μ không phải là một hệ số không đổi, vì vậy thường không tính toán theo công thức (13-3) để được H mà trực tiếp tìm ra H theo đường đặc tính từ hóa của vật liệu, tức là đường $B = f(H)$ khi biết B .

Sau khi phân đoạn tính, s.t.đ. trên các đoạn, có thể tìm được s.t.đ. tổng dưới mỗi đôi cực từ theo công thức (13-2). Sau đây sẽ giới thiệu cách tính s.t.đ. ở các đoạn ấy.

13.2. TÍNH S.T.Đ. KHE HỖ F_δ

Sự phân bố từ trường trong khe hở

Khe hở giữa phần ứng và cực từ không đều nhau, ở giữa cực

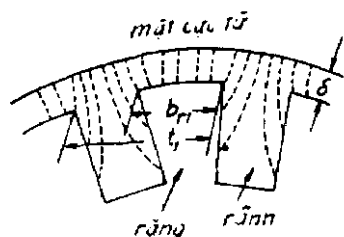


Hình 13-2. Sự phân bố của từ cảm khe hở trong máy điện một chiều

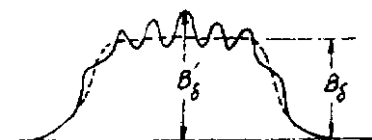
từ khe hở nhỏ, ở hai đầu mặt cực từ khe hở lớn nhất thường $\delta_{\max} = (1,5 \div 2,5)\delta$ cho nên từ cảm ở các điểm thẳng góc với bề mặt phản ứng cũng khác nhau. Giả thiết bề mặt phản ứng phẳng thì sự phân bố từ cảm dưới một cực từ như hình 13-2. Hình dáng của nó phụ thuộc vào bề rộng của mặt cực từ và chiều dài của khe hở. Ở giữa cực từ, từ cảm lớn nhất, ở hai mép cực từ thì nhỏ đi rất nhiều và ở đường trung

tính hình học giữa hai cực từ thì bằng 0. Để dễ tính F_δ , chúng ta đơn giản hóa đường phân bố từ cảm theo phương pháp đẳng trị, nghĩa là coi đường cong phân bố từ cảm thực tế bằng hình chữ nhật có chiều cao là $B_\delta = B_{\delta\max}$ và đáy là $b' = \alpha_\delta \tau$ sao cho diện tích hình chữ nhật tính đối bằng diện tích bao bởi đường cong

thực. Đáy b' gọi là cung tính toán của cực từ; $\tau = \frac{\pi D}{2p}$ là bước



Hình 13-3. Sự phân bố của từ trường khe hở khi mặt phản ứng có răng, rãnh



Hình 13-4. Sự phân bố của từ cảm khe hở khi mặt phản ứng có răng, rãnh

cực, đó là khoảng cách giữa hai cực từ tính trên chu vi phần ứng (D là đường kính phần ứng, p là số đôi cực), α_j gọi là hệ số tính toán của cung cực từ. Trong máy điện một chiều có cực từ phụ, α_j thường trong khoảng $0,62 + 0,72$.

Thực tế là trên mặt cực còn có răng, rãnh nên từ trường khe hở phân bố càng không đều, trên răng đường từ sức dày, ở rãnh thì ít hơn (hình 13-3), đường đi của đường sức từ qua không khí dài lên, kết quả là từ trở của khe hở tăng lên.

Ảnh hưởng này nhiều hay ít còn tùy thuộc vào kích thước của răng và rãnh. Vì vậy khi tính toán F_j phải dùng chiều dài khe hở tính toán δ' để xét đến yếu tố đó:

$$\delta' = k_\delta \delta \quad (13-4)$$

trong đó:

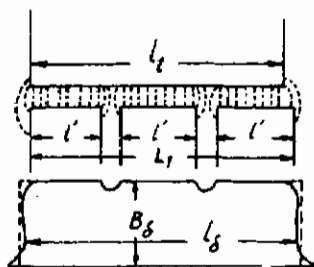
k_δ - gọi là hệ số khe hở. Có thể tính k_δ theo công thức sau:

$$k_\delta = \frac{t_1 + 10\delta}{b_{r1} + 10\delta} \quad (13-5)$$

trong đó t_1 và b_{r1} là bước răng và chiều rộng của đỉnh răng (hình 13-3).

Đường phân bố từ cảm dưới cực từ khi xét đến răng, rãnh như hình 13-4.

Đối với máy điện công suất lớn, theo chiều dài lõi sắt còn có những rãnh thông gió hướng tâm nên từ cảm dọc trục phân bố cũng không đều (hình 13-5). Thay đường cong phân bố từ cảm thực tế bằng hình chữ nhật tính đối có chiều cao là $B_\delta = B_{\delta_{\max}}$ mà diện tích vẫn như cũ thì đáy của hình chữ nhật l_δ gọi là chiều dài tính toán của phần ứng. Với độ chính xác đầy đủ, có thể cho rằng:



Hình 13-5. Sự phân bố của từ cảm khe hở dọc theo chiều dài lõi sắt

$$l_j = 0,5(l_t + l) \quad (13-6)$$

trong đó:

l_t - chiều dài cực từ theo trục máy;

$l = l_t - n_g \cdot b_g$ - chiều dài lõi sắt phần ứng không tính đến rãnh thông gió;

l_t - chiều dài thực lõi sắt;

n_g, b_g - số rãnh và chiều rộng rãnh thông gió.

Như vậy với một từ thông chính Φ_0 nào đó thì từ cảm khe hở bằng:

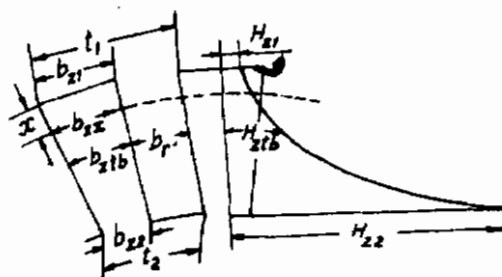
$$B_\delta = \frac{\Phi_0}{\alpha \sigma \tau l_\delta} \quad (13-7)$$

và s.t.đ. khe hở bằng:

$$F_\delta = \frac{2}{\mu_0} B_\delta k_\delta \delta \quad (13-8)$$

Thường trong máy điện một chiều công suất dưới 10 kW, từ cảm khe hở B_δ vào khoảng 0,4 đến 0,65 T và trong máy công suất lớn thì vào khoảng 1,0 đến 1,05 T.

13.3. TÍNH S.T.Đ. RĂNG F_Z



Hình 13-8. S.t.đ. trên răng

Từ thông Φ_0 sau khi đi qua khe hở thì phân làm hai mạch song song đi vào răng và rãnh của phần ứng. Do từ dẫn của thép lớn hơn không khí nhiều nên đại bộ phận từ thông đi vào răng.

Từ thông đi qua một bước răng t_1

bằng:

$$\Phi_l = B_{\delta} l_{\delta} t_l$$

Lấy một tiết diện đồng tâm với mặt phản ứng cách đỉnh răng một quãng x để xét (hình 13-6) thì từ thông Φ_l đi qua tiết diện đó gồm hai phần: từ thông Φ_{zx} đi qua răng và từ thông Φ_{rx} đi qua rãnh, ta có:

$$\Phi_l = \Phi_{zx} + \Phi_{rx} \quad (13-9)$$

Chia hai vế của biểu thức (13-9) cho tiết diện mặt cắt của răng, ta có:

$$\frac{\Phi_l}{S_{zx}} = \frac{\Phi_{zx}}{S_{zx}} + \frac{\Phi_{rx}}{S_{zx}} \quad (13-10)$$

Trị số $\frac{\Phi_l}{S_{zx}} = B'_{zx}$ gọi là từ cảm tính toán của răng. Ý nghĩa của nó là coi như toàn bộ từ thông Φ_l đều đi qua răng. Khi $B'_{zx} > 1,8 T$ thì do mạch từ trên răng tương đối bão hòa, từ trở lớn lên, từ thông trong rãnh không thể bỏ qua được nên phải phân biệt B_{zx} và từ cảm thực tế trong răng $B_{zx} = \frac{\Phi_{zx}}{S_{zx}}$.

$\frac{\Phi_{rx}}{S_{zx}}$ trong công thức (6-10) có thể viết dưới dạng:

$$\frac{\Phi_{rx}}{S_{zx}} = \frac{\Phi_{rx}}{S_{rx}} \cdot \frac{S_{rx}}{S_{zx}} = B_{rx} k_{rx} = \mu_0 H_{rx} k_{rx} \quad (13-11)$$

trong đó:

S_{rx} - tiết diện của rãnh (đối với rãnh hình chữ nhật thì tiết diện này không phụ thuộc vào x);

B_{rx} , H_{rx} - từ cảm và cường độ từ trường trong tiết diện rãnh đã cho;

k_{rx} - hệ số răng phụ thuộc vào kích thước của răng và rãnh. k_{rx} có thể tính theo công thức sau:

$$k_{rx} = \frac{S'_{rx}}{S_{rx}} = \frac{S_{lx} - S_{rx}}{S_{rx}} = \frac{t_x l_0}{b_{rx} l_1 k_c} - 1 \quad (13-12)$$

trong đó:

S_{lx} - tiết diện bước răng ở độ cao x ;

t_x - bước răng ở độ cao x ;

l_1 - chiều dài lõi sắt;

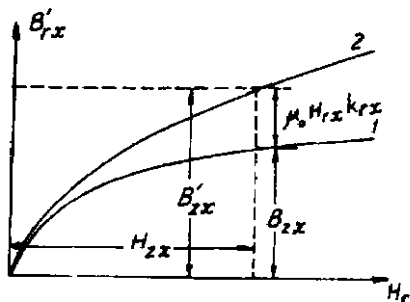
k_c - hệ số ép chặt lõi sắt, là tỷ số giữa chiều dài các phần thuận thép của lõi sắt với chiều dài lõi thép. Khi giữa các lá thép có phủ sơn cách điện thì $k_c = 0,92$.

Giả thiết những mặt cắt hình trụ ngang răng và rãnh ở các độ cao x cũng là những mặt đẳng trị của từ trường thì $H_{zx} = H_{rx}$. Do đó theo công thức (13-10) và (13-11) ta có:

$$B'_{zx} = B_{zx} + \mu_0 H_{rx} k_{rx} \quad (13-13)$$

Trong công thức trên B'_{zx} có thể tính ra trực tiếp từ Φ_1 ; S_{zx} , B_{zx} và H_{zx} có thể tìm ra được từ đường cong từ hóa $B = f(H)$ và tính toán. Cụ thể các bước tính như sau:

Trước hết vẽ đường từ hóa của thép silic dùng làm phần ứng (đường 1 trong hình 13-7). Với kích thước đã biết của răng, và rãnh tính k_{rx} theo công thức (13-12). Tự cho một loạt các trị số của B_{rx}



Hình 13-7. Đường cong $B'_{rx} = f(H_{rx})$

Từ đường cong $B = f(H)$ tìm ra H_{zx} tương ứng rồi tính ra $\mu_0 H_{rx} k_{rx}$, sau đó tính B'_{rx} theo công thức (13-13). Vẽ đường biểu diễn $B'_{rx} = f(H_{rx})$ (đường 2 trong hình 13-7). Biết những đường cong đó ta có thể sử dụng chúng theo trình tự ngược lại. Với một trị số của B'_{rx} nào đó có thể từ đường cong 1 và 2 tìm ra B_{zx} và H_{zx} .

Đường cong $B_{zx} = f(H_{zx})$ của thép kỹ thuật điện Nga 2211, 2312 và 2411 ứng với những trị số khác nhau của k_{zx} được thể hiện trong hình 13-8.

Đường đặc tính từ hóa cơ bản của các loại thép có ghi trong phần phụ lục.

Từ cảm tính toán của răng B_{zx} ở các độ cao x của răng có thể tính như sau:

$$B_{zx} = \frac{\Phi_t}{S_{zx}} = \frac{B_\delta l_\delta t_1}{b_{zx} l_1 k_c} \quad (13-14)$$

trong đó:

l , l_1 - chiều dài tính toán và chiều dài thực của lõi sắt;

b_{zx} - chiều rộng của răng ở độ cao x ;

k_c - hệ số ép chặt;

t_1 - bước răng phần ứng.

Thực tế khi tính toán s.t.d. răng, chỉ cần tính H ở ba điểm trên chiều cao của răng ở tiết diện trên, giữa và dưới của nó là H_{z1} , H_{z1b} và H_{z2} .

Trị số tính toán của cường độ từ trường trung bình bằng:

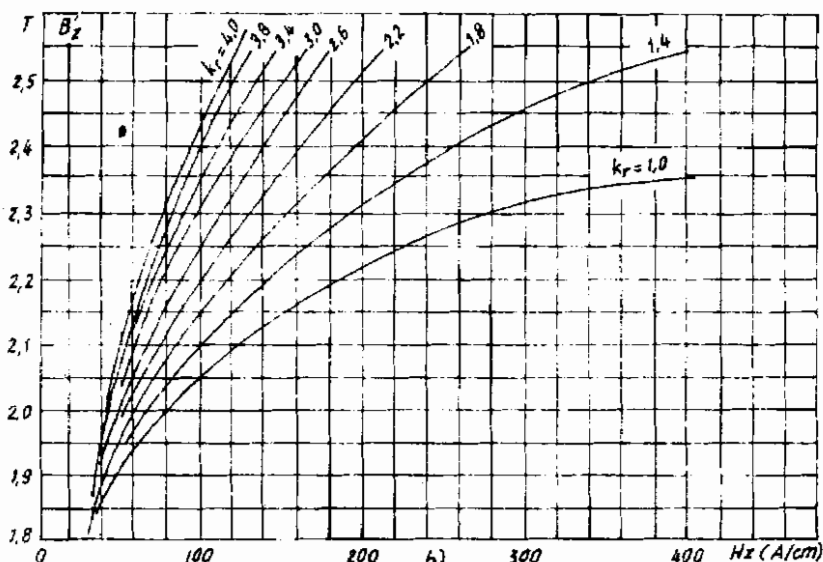
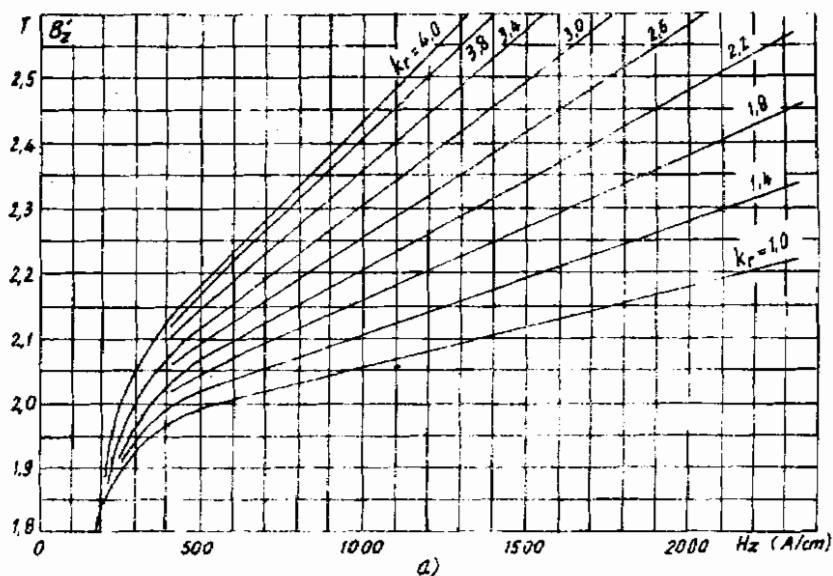
$$H_z = \frac{1}{6} (H_{z1} + 4H_{z1b} + H_{z2}) \quad (13-15)$$

Nếu gọi h_z là chiều cao của răng thì s.t.d. răng đối với một đôi cực là:

$$F_z = 2H_z h_z \quad (13-16)$$

Thường để tính toán được đơn giản hơn, người ta chỉ xác định từ cảm B và cường độ từ trường H ở một tiết diện cách chân răng là $\frac{h_z}{3}$ làm trị số trung bình để tính toán. Trong trường hợp này ta có:

$$F_z = 2H_z \frac{h_z}{3} \quad (13-17)$$



Hình 13-8. Đường cong $B'_z = f(H_z)$ của thép 2211, 2312 và 2411
đối với rãnh

a. của máy điện một chiều và đồng bộ

b. của máy điện không đồng bộ

Kết quả của tính toán này rất gần đúng với cách tính chính xác trên.

Trên máy điện một chiều, từ cảm ở chỗ hẹp nhất của răng vào khoảng $1,8 \div 2,3 T$.

13.4. TÍNH S.T.D. Ở LƯNG PHẦN ỨNG

Thực ra từ thông đi qua tiết diện lưng phần ứng phân bố không đều lắm. Ở gần răng, đường từ ngắn hơn nên từ cảm lớn hơn, nhưng do sự khác biệt không lớn lắm nên có thể lấy từ cảm trung bình ở lưng phần ứng để tính toán.

Từ cảm ở lưng phần ứng có thể tính như sau:

$$B_u = \frac{\Phi_u}{S_u} = \frac{\Phi_o}{2h_u l_l k_c} \quad (13-18)$$

trong đó:

$$\Phi_u = \frac{\Phi_o}{2} - \text{từ thông phần ứng;}$$

$$S_u = h_u l_l k_c - \text{tiết diện lưng phần ứng;}$$

$$h_u - \text{chiều cao phần ứng.}$$

Theo đường từ hóa của thép kỹ thuật điện ứng với B_u ta được H_u .

S.t.d trên lưng phần ứng bằng:

$$F_u = H_u l_u \quad (13-19)$$

13.5. TÍNH S.T.D. TRÊN CỰC TỪ VÀ GÔNG TỪ

Khi tính toán phần này phải xét đến ảnh hưởng của từ thông tản. Như đã nói ở mục 13.1, từ thông đi qua dưới cực từ lớn hơn từ thông chính Φ_o và bằng $\Phi_c = \sigma_l \Phi_o$, trong đó $\sigma_l = 1,15 \div 1,25$.

$$\text{Từ thông trong gông từ bằng } \Phi_g = \frac{1}{2} \Phi_c = \frac{1}{2} \sigma_l \Phi_o.$$

Thực tế thì do từ thông tản tản ra khắp cực từ (hình 13-9) nên từ thông ở các phần trên cực từ và gông từ cũng khác nhau,

nhưng để đơn giản tính toán, ta coi như trên cực từ và gông từ từ thông không đổi. Từ cảm trên cực từ và gông từ bằng:

$$B_c = \frac{\Phi_c}{S_c} \text{ và } B_g = \frac{\Phi_g}{2S_g} \quad (13-20)$$

trong đó:

S_c và S_g - tiết diện cực từ và gông từ.

Từ đường từ hóa của vật liệu chế tạo cực và gông từ, tìm ra cường độ từ trường trên cực từ H_c và trên gông từ H_g .

S.t.d. trên cực từ và gông từ bằng:

$$F_c = 2H_c h_c \text{ và } F_g = H_g l_g \quad (13-21)$$

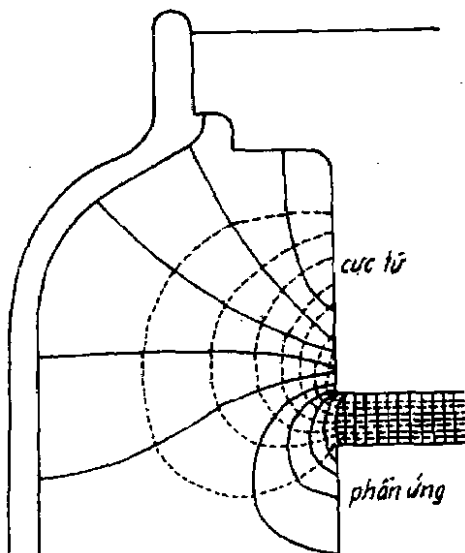
trong đó :

h_c - chiều cao cực từ;

l_g - chiều dài trung bình của gông từ.

13.6. ĐƯỜNG CONG TỪ HÓA

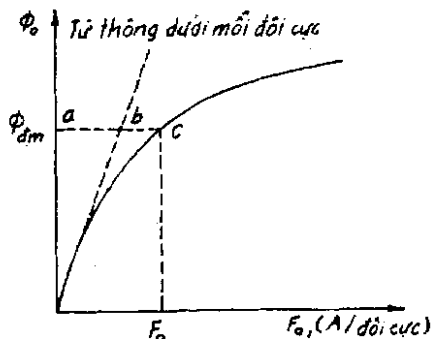
Muốn sinh ra một từ thông Φ_0 nào đó cần có một s.t.d. kích từ nhất định F_0 . Khi Φ_0 thay đổi thì F_0 cũng thay đổi theo. Đường biểu diễn quan hệ giữa Φ_0 và F_0 gọi là đường cong từ hóa của máy điện (hình 13-10). Khi thiết kế máy điện, có thể giả thiết những trị số Φ_0 khác nhau rồi tính F_0 tương ứng. Đối với máy điện có sẵn thì dùng thí nghiệm để vẽ đường từ hóa.



Hình 13-9. Đường sức từ tán và những mặt đẳng thế của phần mép cực của máy điện một chiều

Do s.d.đ. lúc không tải E_0 tỷ lệ thuận với Φ_0 , và dòng điện kích từ I_k tỷ lệ thuận với F_0 , nên nếu dùng một tỷ lệ xích khác thì ta hoàn toàn có thể biến đường từ hóa $\Phi_0 = f(F_0)$ thành đường biểu diễn quan hệ giữa E_0 với I_k : $E_0 = f(I_k)$.

Khi từ thông trong máy điện nhỏ, thép của máy ít bão hòa nên s.t.đ. của mạch từ hầu như toàn bộ tiêu hao trên khe hở, do đó khi Φ_0 nhỏ, đường từ hóa là đường thẳng. Khi từ thông tăng lên, lõi sắt bắt đầu bão hòa nên đường từ hóa nghiêng về bên phải (xem hình 13-10). Kéo dài phần



Hình 13-10. Đường từ hóa của máy điện một chiều

đường thẳng của đường cong từ hóa ta được quan hệ $F_0 = f(\Phi_0)$. Khi từ thông Φ_0 định mức (dùng để sinh ra điện áp định mức) thì s.t.đ. khe hở bằng đoạn ab trên hình 13-10. Đoạn bc trên hình vẽ chỉ s.t.đ

rơi trên các phần sắt của mạch từ. Tỷ số $k_{\mu} = \frac{F_0}{F_{\delta}} = \frac{ac}{ab}$ gọi là

hệ số bão hòa của mạch từ.

Trong những máy điện thông thường, để triệt để lợi dụng vật liệu, khi điện áp định mức, máy điện làm việc ở đoạn đường cong từ hóa bắt đầu cong với hệ số bão hòa $k_{\mu} = 1,1 \div 1,35$.

Đường cong từ hóa ảnh hưởng rất lớn đến đặc tính làm việc của máy điện.

Thí dụ

Tính s.t.đ F_0 cần thiết để tạo nên từ thông chính $\Phi_0 = 0,638 \cdot 10^{-2}$ Wb trong máy phát một chiều. Các số liệu của máy như sau:

Công suất định mức $P_{dm} = 13,3 \text{ kW}$, điện áp định mức $U_{dm} = 230 \text{ V}$, dòng điện định mức $I_{dm} = 58 \text{ A}$, tốc độ quay định mức $n_{dm} = 1460 \text{ vg/ph}$, số cực $2p = 4$. Đường kính ngoài phần ứng $D_u = 245 \text{ mm}$. Đường kính trong phần ứng $d = 60 \text{ mm}$, chiều dài phần ứng $l_u = 80 \text{ mm}$, các rãnh thông gió theo chiều trục, số rãnh phần ứng $Z = 35$. Các kích thước của rãnh: $b_r = 8,5 \text{ mm}$, $h_r = 3,2 \text{ mm}$, khe hở dưới các cực chính $\delta = 1,5 \text{ mm}$, các kích thước của cực chính, chiều dài theo hướng trục $l_1 = 80 \text{ mm}$, chiều rộng $b_c = 80 \text{ mm}$, chiều cao (gồm cả mặt cực) $h_c = 70 \text{ mm}$ hệ số tính toán của cung cực từ $\alpha_\delta = 0,65$, tiết diện của gông (gần đúng) $S_g = 26 \times 160 \text{ mm}^2$. Các lõi cực từ và lõi sắt phần ứng làm bằng thép kỹ thuật điện 2212.

Theo kích thước đã cho (theo hình 6-6) ta tính được:

$$\text{Bước cực } \tau = \frac{\pi D_u}{2p} = \frac{\pi \cdot 0,245}{4} = 0,192 \text{ m.}$$

$$\text{Bước răng } t_1 = \frac{\pi D_u}{Z} = \frac{\pi \cdot 0,245}{35} = 0,022 \text{ m.}$$

$$t_2 = \frac{\pi(D_u - 2h'_r)}{Z} = \frac{\pi(0,245 - 2 \times 0,0362)}{35} = 0,0155 \text{ m}$$

$$t_{th} = \frac{1}{2} (t_1 + t_2) = \frac{1}{2} (0,022 + 0,0155) = 0,01875 \text{ m.}$$

Chiều rộng răng:

$$b_{z1} = t_1 - b_r = 0,022 - 0,0085 = 0,0135 \text{ m.}$$

$$b_{z2} = t_2 - b_r = 0,0155 - 0,0085 = 0,007 \text{ m.}$$

$$b_{zth} = t_{th} - b_r = 0,01875 - 0,0085 = 0,01025 \text{ m.}$$

Vì máy chỉ có hệ thống thông gió theo chiều trục nên có thể cho rằng:

$$l_\delta = l - l_u = 80 \text{ mm} = 0,08 \text{ m.}$$

Theo công thức (13-7), ta được:

$$B_{\delta} = \frac{\Phi_{\delta}}{\alpha_{\delta} r_{\delta}} = \frac{0,638 \cdot 10^{-2}}{0,65 \times 0,192 \times 0,08} = 0,64 \text{ T.}$$

Hệ số khe hở:

$$k_{\delta} = \frac{t_1 + 10\delta}{b_{z1} + 10\delta} = \frac{0,022 + 10 \times 0,0015}{0,0135 + 10 \times 0,0015} = 1,3.$$

S.t.đ. khe hở tính theo công thức (13-8):

$$F_{\delta} = \frac{2}{\mu_0} B_{\delta} \delta k_{\delta} = \frac{2}{4\pi \cdot 10^{-7}} 0,64 \times 0,0015 \times 1,3 = 1990 \text{ A.}$$

Hệ số ép chặt lõi sắt của thép $k_c = 0,9$.

Theo công thức (13-14) ta có:

$$B_{z1} = \frac{B_{\delta} t_1 l_{\delta}}{b_{z1} l_1 k_c} = \frac{0,64 \times 0,022 \times 0,08}{0,0135 \times 0,08 \times 0,9} = 1,16 \text{ T.}$$

Từ cảm theo chiều cao của răng tỷ lệ nghịch với chiều rộng của răng, nên ta có:

$$B_{z1b} = B_{r1} \frac{b_{r1}}{b_{r1b}} = 1,16 \cdot \frac{0,0135}{0,01025} = 1,53 \text{ T.}$$

$$B'_{z2} = B_{r1} \frac{b_{r1}}{b_{r2}} = 1,16 \cdot \frac{0,0135}{0,007} = 2,24 \text{ T.}$$

Theo đường cong từ hóa đối với thép 2212 (Phụ lục 2), ta được:

$$H_{z1} = 3,6 \text{ A/cm và } H_{z1b} = 20,5 \text{ A/cm.}$$

Theo công thức (13-12) xác định được $k_r = 1,46 \div 1,5$ và theo đường cong tương ứng trên hình 13-8 ta được $H_{z2} = 1700 \text{ A/cm}$. Vì $h_z = ch_r = 36,2 \text{ mm} = 3,62 \text{ cm}$ nên theo công thức (13-15) và (13-16), ta được:

$$H_z = 297 \text{ A/cm và } F_r = 2H_z h_z = 2 \times 297 \times 3,62 = 2150 \text{ A.}$$

Chiều cao của lưng phần ứng:

$$h_u = \frac{D_u - 2h_r - d}{2} = \frac{0,245 - 2 \times 0,0362 - 0,06}{2} = 0,056 \text{ m}$$

Từ cảm của lưng phần ứng theo công thức (13-16):

$$B_u = \frac{\Phi_o}{2h_u l_l k_c} = \frac{0,638 \cdot 10^{-2}}{2 \times 0,056 \times 0,08 \times 0,9} = 0,8 \text{ T.}$$

Cường độ từ trường tương ứng với từ cảm đó $H_u = 1,4 \text{ A/cm}$.
 Tính chiều dài của đường sức từ trung bình trong lưng phần ứng là 1/4 vòng tròn có đường kính $D_u = 2h_l + h_u = 0,245 + 2 \times 0,0362 + 0,0056 = 0,1166 \text{ m}$, do đó:

$$l_u = \frac{\pi \cdot 0,1166}{4} = 0,092 \text{ m} = 9,2 \text{ cm},$$

và $F_u = H_u l_u = 1,4 \times 9,2 = 12,9 \text{ A.}$

Để tính s.t.d. của cực và gông ta lấy hệ số tản từ $k_o = 1,25$

$$\Phi_c = k_o \Phi_o = 1,25 \times 0,638 \cdot 10^{-2} = 0,8 \cdot 10^{-2} \text{ Wb.}$$

Từ cảm trong lõi cực từ:

$$B_c = \frac{\Phi_c}{S_c} = \frac{0,8 \times 10^{-2}}{0,08 \times 0,08} = 1,25 \text{ T.}$$

Theo đường cong từ hóa $B = f(H)$ của thép 2212 (phụ lục 2) ta tìm được $H_c = 4,6 \text{ A/cm}$.

$$F_c = 2H_c h_c = 2 \times 4,6 \times 7 = 64,4 \text{ A}$$

Đối với gông từ ta có:

$$B_g = \frac{\Phi_t}{2S_g} = \frac{0,8 \times 10^{-2}}{2 \times 0,036 \times 0,160} = 0,96 \text{ T.}$$

Theo phụ lục 5 được $H_g = 8,73 \text{ A/cm}$. Chiều dài l_g của đường sức từ trung bình trong gông bằng 1/4 vòng tròn có đường kính là:

$$D_u + 2\delta + 2h_c + h_g = 245 + 2 \times 1,5 + 2 \times 70 + 26 = 414 \text{ mm} = 41,4 \text{ cm.}$$

do đó:

$$l_g = \frac{\pi \times 41,4}{4} = 32,5 \text{ cm}$$

và:

$$F_g = H_g l_g = 8,73 \times 32,5 = 283,7 \text{ A}$$

S.t.d. đối với một đôi cực cần thiết để tạo nên từ thông chính $\Phi_o = 0,638 \cdot 10^{-2} \text{ Wb}$ là:

$$\begin{aligned} F_o &= F_\delta + F_z + F_u + F_c + F_g = \\ &= 1990 + 2150 + 12,9 + 64,4 + 283,7 = 4501 \text{ A.} \end{aligned}$$

Các điểm khác của đường cong từ hóa của máy cũng được tính như vậy.

Câu hỏi

1. Tại sao từ thông tản không có tác dụng sinh ra s.d.d. ? Tại sao từ thông tản chỉ chiếm $10 + 20\%$ từ thông khe hở ?
2. Ý nghĩa của hệ số khe hở k_δ . Nếu khe hở như nhau mà miệng rãnh phần ứng rộng hay hẹp thì k_δ có thay đổi không ?
3. Ý nghĩa vật lý của hệ số tính toán cung cực từ và chiều dài tính toán lõi sắt l_δ .
4. Nếu coi $B'_{rx} = B_{rx}$ thì có sai số gì ? Khi nào thì có thể coi là bằng nhau được ?
5. Ở trạng thái định mức máy điện thường làm việc ở đoạn nào của đường cong từ hóa ? Tại sao ?

Bài tập

Một máy phát điện một chiều kích thích song song có các số liệu sau:

Công suất định mức

$$P_{dm} = 82 \text{ kW}$$

Tốc độ quay định mức

$$P_{dm} = 970 \text{ vg/ph}$$

Đường kính ngoài phần ứng

$$D_u = 36,8 \text{ cm}$$

Chiều dài phần ứng

$$l_1 = 23 \text{ cm}$$

$$(l_1 = l + n_g b_g)$$

Hệ số tản từ

$$\sigma_1 = 1,25$$

Số rãnh thông gió hướng tâm

$$n_g = 3$$

Số rãnh phần ứng	$Z = 41$
Chiều cao rãnh	$h_r = 4,13 \text{ cm}$
Tiết diện cực từ	$S_c = 273 \text{ cm}^2$
Chiều cao gông từ	$h_g = 6,5 \text{ cm}$
Điện áp định mức	$U_{dm} = 230 \text{ V}$
Số đôi cực	$p = 2$
Đường kính trong phần ứng	$d = 15,74 \text{ cm}$
Hệ số tính toán cung cực từ	$\alpha_\delta = 0,65$
Chiều rộng của rãnh thông gió hướng tâm $b_g = 1 \text{ cm}$	
Chiều rộng rãnh	$b_r = 1,04 \text{ cm}$
Chiều cao cực từ	$h_c = 13,7 \text{ cm}$
Tiết diện gông từ	$S_g = 145 \text{ cm}^2$
Khe hở không khí	$\delta = 0,52 \text{ cm}$

Lõi sắt phần ứng làm bằng thép kỹ thuật điện 2211 (hệ số ép chặt $k_c = 0,95$), cực từ làm bằng thép tấm dày $1,5 \text{ mm}$ và gông từ làm bằng thép đúc.

Tính s.t.d. của một đôi cực và của cả máy điện cần thiết để sinh ra một từ thông $\Phi_0 = 0,029 \text{ Wb}$ làm cho máy có s.d.d. lúc không tải $E_0 = U_{dm}$.

Chương 14

PHÁT NÓNG VÀ LÀM LẠNH CỦA CÁC MÁY ĐIỆN

14.1. ĐẠI CƯƠNG

Các tổn hao trong quá trình biến đổi năng lượng của máy điện đều thể hiện dưới dạng nhiệt năng làm nóng các bộ phận cấu tạo của máy. Tổn hao càng nhiều và máy càng nóng khi tải của máy càng nặng. Ngoài ra nhiệt độ của máy điện còn phụ thuộc vào chế độ làm việc liên tục, ngắn hạn hoặc ngắn hạn lặp lại. Vì vậy với kết cấu kích thước của máy và chế độ làm việc nhất định, tải của máy không thể vượt quá mức qui định căn cứ theo điều kiện nhiệt độ tăng của máy, không được vượt quá mức cho phép của vật liệu dùng trong máy điện đó. Như vậy thì việc làm lạnh các máy điện có ý nghĩa rất quan trọng vì nếu giải quyết tốt việc tản nhiệt lượng sinh ra trong máy ra môi trường bên ngoài thì nhiệt độ tăng của máy sẽ hạ thấp, kết quả là có thể tăng thêm tải, nghĩa là tăng thêm công suất của máy.

Trong chương này ta sẽ nghiên cứu về sự phát nóng và nguội lạnh của máy điện, sau đó sẽ xét đến các phương pháp làm lạnh các máy điện. Trước khi đi vào các vấn đề đó ta hãy xét các dạng truyền nhiệt trong máy điện và các chế độ làm việc của máy điện.

14.1.1. Sự truyền nhiệt trong máy điện

Sự truyền nhiệt và vấn đề tính toán về nhiệt trong máy điện rất phức tạp vì toàn bộ máy là một môi trường không đồng nhất gồm sắt, thép, đồng, chất cách điện, hơn nữa hình dạng máy cũng không đơn thuần. Tuy nhiên nhiệt lượng vẫn truyền từ trong ra

ngoài qua con đường truyền dẫn, bức xạ và đối lưu.

Truyền nhiệt do dẫn nhiệt. Trong máy điện hiện tượng dẫn nhiệt xảy ra chủ yếu ở các bộ phận thuộc thể rắn (đồng, thép, chất cách điện). Nhiệt lượng truyền dẫn qua hai diện tích S song song có nhiệt độ khác nhau θ_1 và θ_2 , thí dụ của dây quấn và vách rãnh bằng:

$$Q = \frac{\lambda_{\text{dn}} S}{\delta} (\theta_1 - \theta_2) \quad (14-1)$$

trong đó:

δ - khoảng cách giữa hai mặt song song;

λ_{dn} - hệ số dẫn nhiệt.

Đối với đồng $\lambda_{\text{dn}} = 385 \text{ W/m}^\circ\text{C}$;

Đối với thép $\lambda_{\text{dn}} = 20 + 45 \text{ W/m}^\circ\text{C}$;

Đối với cách điện cấp A $\lambda_{\text{dn}} = 0,10 + 0,13 \text{ W/m}^\circ\text{C}$.

Thí dụ đối với chất cách điện cấp A khi thông lượng nhiệt qua bề mặt một mét vuông $Q = 2500 \text{ W}$; chiều dày chất cách điện $\delta = 0,5 \text{ mm}$, hệ số dẫn nhiệt của chất cách điện $\lambda_{\text{dn}} = 0,125$ thì $\Delta\theta_{\text{cd}} = \theta_1 - \theta_2 = 10^\circ\text{C}$. Nếu chiều dày δ lớn hơn thì $\Delta\theta_{\text{cd}}$ có thể tới $20 + 25^\circ\text{C}$.

Truyền nhiệt do bức xạ. Nhiệt lượng của một vật thể đen xám truyền ra ngoài do bức xạ bằng:

$$Q = \alpha_{\text{bx}} S (\theta_{T_1}^4 - \theta_{T_2}^4) \quad (14-2)$$

trong đó:

S - diện tích mặt ngoài của vật thể;

$\theta_{T_1}, \theta_{T_2}$ - nhiệt độ tuyệt đối của mặt ngoài của vật thể và của môi trường xung quanh;

α_{bx} - hệ số bức xạ có trị số $5,65 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}^4$.

Đối với các máy điện $\theta_{T_1} = 273 + \theta_1$ và $\theta_{T_2} = 273 + \theta_2$ thay đổi trong phạm vi nhỏ nên (14-2) có thể viết gần đúng như sau:

$$Q \approx \lambda_{\text{bx}} S (\theta_{T_1} - \theta_{T_2}) = \lambda_{\text{bx}} S (\theta_1 - \theta_2) = \lambda_{\text{bx}} S \Delta\theta \quad (14-3)$$

trong đó hệ số bức xạ đã biến đổi λ_{bx} là nhiệt lượng bức xạ trong một đơn vị thời gian từ một đơn vị diện tích khi nhiệt độ tăng 1°C .

Truyền nhiệt do đối lưu. Bộ phận chất lỏng hoặc hơi tiếp xúc với vật nóng sẽ tăng nhiệt độ trở nên nhẹ và nổi lên trên những chỗ cho bộ phận chất lỏng hoặc hơi nặng hơn do có nhiệt độ thấp. Quá trình cứ tiếp tục như vậy và hiện tượng đó gọi là hiện tượng đối lưu tự nhiên.

Tương tự như ở trường hợp bức xạ, nhiệt lượng truyền dẫn từ vật thể do đối lưu

$$Q = \lambda_{dl} S \Delta \theta \quad (14-4)$$

trong đó hệ số đối lưu λ_{dl} là nhiệt lượng truyền đi từ đơn vị diện tích trong một đơn vị thời gian khi nhiệt độ tăng 1°C . Trong máy điện, hệ số đối lưu của không khí bằng $8 \text{ W/m}^{20}\text{C}$ và hệ số đối lưu của dầu máy biến áp lớn hơn khoảng $15 \div 20$ lần.

Để tăng thêm nhiệt lượng truyền ra ngoài, ta thường dùng đối lưu nhân tạo bằng cách quạt gió mặt trong hoặc mặt ngoài của máy điện. Theo kinh nghiệm thì trong trường hợp đó:

$$\lambda'_{dl} = \lambda_{dl}(1 + C_g \sqrt{v}) \quad (14-5)$$

trong đó:

v - tốc độ tương đối của gió so với bề mặt được làm lạnh tính theo m/s ;

C_g - hệ số kinh nghiệm phụ thuộc vào mức độ phẳng của bề mặt được thổi lạnh.

Thí dụ đối với không khí nếu $v = 25 \text{ m/s}$ và $C_g = 1,3$ thì theo (14-4):

$$\lambda'_{dl} = 8 \times 7,5 = 60 \text{ W/m}^{20}\text{C}$$

Khi tính toán về nhiệt trong máy điện thường xét chung truyền nhiệt do bức xạ và đối lưu. Như vậy:

$$Q = \lambda S \Delta \theta \quad (14-6)$$

và

$$\lambda = \lambda_{bx} + \lambda_{dl}$$

14.1.2. Các chế độ làm việc và nhiệt độ tăng cho phép của máy điện

Các máy điện thường có thể làm việc theo nhiều chế độ khác nhau. Thí dụ máy có thể làm việc với toàn bộ công suất trong thời gian dài như trường hợp máy phát điện hoặc động cơ kéo máy bơm; hoặc làm việc ngắn hạn như ở trường hợp động cơ điện cần trục... Trong truyền động tự động, máy điện có thể làm việc theo chu kỳ. Ngoài ra máy điện có thể làm việc với tải thay đổi.

Với các chế độ làm việc khác nhau tình trạng phát nóng của máy điện khác nhau. Để lợi dụng tối ưu vật liệu chế tạo, phải thiết kế máy điện theo từng chế độ làm việc cụ thể sao cho khi làm việc các bộ phận của máy phát nóng sát với quy định. Tuy nhiên ta không thể quy định nhiều chế độ làm việc như tồn tại trên thực tế mà chỉ đặt ra các chế độ làm việc sau đây:

1. *Chế độ làm việc định mức liên tục:* Ở chế độ này, nhiệt độ tăng của các bộ phận máy đạt tới trị số xác lập (với điều kiện nhiệt độ tăng của các môi trường xung quanh không đổi).

2. *Chế độ làm việc định mức ngắn hạn:* Ở chế độ này thời gian làm việc của máy không đủ dài để nhiệt độ các bộ phận của máy đạt đến trị số xác lập và sau đó thời gian máy nghỉ đủ dài để nhiệt độ máy hạ xuống bằng nhiệt độ môi trường xung quanh.

3. *Chế độ làm việc gián đoạn lặp lại:* Ở chế độ này các thời gian máy làm việc và nghỉ trong một chu kỳ không đủ dài để nhiệt độ các bộ phận của máy đạt đến trị số xác lập. Chế độ làm việc này được đặc trưng bằng tỷ số giữa thời gian làm việc và thời gian của một chu kỳ làm việc và nghỉ. Theo quy định các máy điện dùng ở chế độ làm việc gián đoạn lặp lại được chế tạo với các tỷ số 15; 25; 40 và 60%.

Cần chú ý rằng đại bộ phận máy điện được chế tạo để dùng ở chế độ làm việc định mức liên tục.

14.2. SỰ PHÁT NÓNG VÀ NGUỘI LẠNH CỦA MÁY ĐIỆN

Như ta đã biết, các máy điện đều có cấu trúc phức tạp gồm nhiều bộ phận có hình dạng khác nhau và làm lạnh bằng các vật liệu có độ dẫn nhiệt không giống nhau. Khi máy làm việc, nhiệt độ của lõi thép, dây quấn không bằng nhau do đó có sự trao đổi nhiệt lượng giữa các bộ phận. Hơn nữa, nhiệt độ của chất làm lạnh như không khí, chất lỏng ở từng khu vực trong máy cũng không giống nhau. Như vậy việc tính toán phương trình truyền nhiệt trên cơ sở xem như máy điện là tổng hợp của nhiều vật thể có trao đổi nhiệt lượng cho nhau và có xét đến những yếu tố về cấu trúc gặp rất nhiều khó khăn. Vì vậy ở đây để xét hiện tượng phát nóng và nguội lạnh của máy điện một cách định tính ta có thể dùng phương trình truyền nhiệt của vật thể đồng nhất.

14.2.1. Phương trình phát nóng của máy điện

Giả sử nhiệt độ ban đầu của máy, cũng là nhiệt độ của môi trường xung quanh là θ_0 . Nếu máy làm việc với tải không đổi và nhiệt lượng phát ra trong một đơn vị thời gian là Q thì nhiệt lượng sinh ra trong thời gian dt là Qdt . Một phần nhiệt lượng đó làm tăng nhiệt độ của máy và một phần tản ra môi trường xung quanh. Phần nhiệt lượng làm tăng nhiệt lượng máy bằng $GCd\theta$, trong đó G - trọng lượng máy; C - tỷ nhiệt và $d\theta$ - nhiệt độ tăng trong thời gian dt . Phần nhiệt lượng tản ra ngoài do bức xạ, đối lưu trong thời gian dt bằng $S\lambda(\theta - \theta_0)dt$, trong đó $(\theta - \theta_0)$ là nhiệt độ chênh lệch giữa máy và môi trường xung quanh; S - diện tích mặt ngoài của máy; λ - hệ số tản nhiệt từ mặt ngoài của máy do đối lưu và bức xạ. Như vậy phương trình cân bằng nhiệt của máy sẽ như sau:

$$Qdt = GCd\theta + S\lambda(\theta - \theta_0)dt \quad (14-7)$$

Tách riêng các biến số ta có:

$$\frac{dt}{GC} = \frac{d\theta}{\frac{Q}{S\lambda} + \theta_0 - \theta} \quad (14-8)$$

Sau khi lấy tích phân:

$$\frac{t}{\frac{GC}{\lambda}} = - \ln \left[\frac{Q}{S\lambda} + \theta_o - \theta \right] + C$$

Với điều kiện ban đầu $t = 0, \theta = \theta_o$, từ (14-6) ta xác định được hằng số tích phân $C = \ln \frac{Q}{S\lambda}$ và kết quả cuối cùng sau khi đã chỉnh lý có dạng:

$$\theta = \frac{Q}{S\lambda} \left[1 - e^{-\frac{t}{\frac{GC}{\lambda}}} \right] + \theta_o \quad (14-9)$$

Từ (14-9) ta thấy khi $t = \infty, \theta_x = \theta_o + Q/S\lambda$ và nhiệt độ tăng xác lập của máy là:

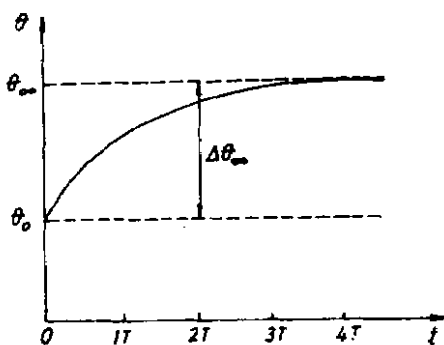
$$\Delta\theta_x = \theta_x - \theta_o = \frac{Q}{S\lambda} \quad (14-10)$$

Nhiệt độ tăng đó càng lớn nếu Q lớn và S, λ nhỏ.

Lượng $GC/S\lambda = T$ trong (14-8) được gọi là hằng số phát nóng. Để thấy ý nghĩa của nó, nếu viết:

$$T = \frac{GC}{Q} \frac{Q}{S\lambda} = \frac{GC(\theta_\infty - \theta_o)}{Q} \quad (14-11)$$

thì tử số $GC(\theta_\infty - \theta_o)$ chính là toàn bộ nhiệt lượng tích lũy trong



Hình 14-1. Đường phát nóng của máy

máy khi nhiệt độ tăng bằng $(\theta_\infty - \theta_o)$ và T là thời gian cần thiết để đạt được nhiệt độ tăng đó khi nhiệt lượng chỉ tích lũy trong máy và không tản ra môi trường bên ngoài.

Kết hợp (14-8), (14-9) và (14-7) ta được dạng cuối cùng của phương trình phát nóng của máy:

$$\theta = \theta_{\infty}(1 - e^{-t/T}) + \theta_0 e^{-t/T} \quad (14-12)$$

và đường biểu diễn tương ứng như trên hình 14-1.

Nhiệt độ tăng của máy ở thời điểm t sẽ là:

$$\begin{aligned} \Delta\theta &= \theta - \theta_0 = \theta_{\infty}(1 - e^{-t/T}) - \theta_0 (1 - e^{-t/T}) \\ &= \Delta\theta_{\infty} (1 - e^{-t/T}) \end{aligned} \quad (14-13)$$

14.2.2. Phương trình nguội lạnh của máy điện

Giả thử máy đang làm việc ổn định ở nhiệt độ $\bar{\theta}_1$ trong lúc nhiệt độ của môi trường xung quanh là θ_0 . Sau khi máy ngừng làm việc, nhiệt độ của máy sẽ giảm đến nhiệt độ của môi trường xung quanh. Phương trình cân bằng nhiệt giống như ở trên với $Q = 0$:

$$GCd\theta + S\lambda (\theta - \theta_0)dt = 0 \quad (14-14)$$

Nghiệm của phương trình (14-11) là phương trình nguội lạnh của máy:

$$\theta = \theta_0 (1 - e^{-t/T}) + \theta_1 e^{-t/T} \quad (14-15)$$

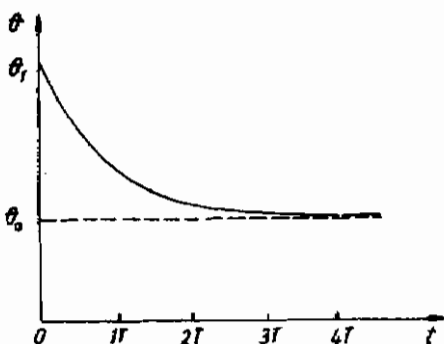
với đường biểu diễn tương ứng được trình bày trên hình 14-2.

14.2.3. Tính toán nhiệt của máy điện ở các chế độ làm việc khác nhau

Chế độ làm việc liên tục

Trong trường hợp này, sự phát nóng và nguội lạnh của máy điện biểu diễn theo các đường cong trên hình 14-1 và 14-2.

Việc tính toán nhiệt khi thiết kế máy điện tương đối phức tạp và được tiến hành như sau.



Hình 14-2. Đường nguội lạnh của máy

Từ các tổn hao ứng với tải định mức ở các bộ phận máy đã biết sau khi tính toán về điện từ và sơ đồ kết cấu về mặt nhiệt, có thể xác định được chiều và lượng của dòng nhiệt thoát ra khỏi bề mặt được làm lạnh. Sau đó cần xác định tốc độ gió (hoặc các chất làm lạnh khác) ở từng bề mặt được làm lạnh và bắt đầu tính nhiệt độ giáng từ trong ra ngoài bao gồm: nhiệt độ giáng trên lớp cách điện của dây quấn $\Delta\theta_{cd}$ theo công thức (14-1); nhiệt độ giáng trên lõi thép giữa dây quấn và mặt ngoài $\Delta\theta_l$ cũng theo (14-1); nhiệt độ giáng giữa bề mặt được làm lạnh và không khí $\Delta\theta_{bm}$ theo (14-6) và nhiệt độ tăng của bản thân chất làm lạnh khi chuyển động trong các rãnh thông gió $\Delta\theta_{ll}$. Tổng của những nhiệt độ tăng đó hay là sự chênh nhiệt độ giữa dây quấn và chất làm lạnh đưa vào máy phải nhỏ hơn trị số nhiệt độ tăng cho phép $\Delta\theta_{cp}$ đã quy định với từng loại dây quấn:

$$\Delta\theta_{dq} = \Delta\theta_{cd} + \Delta\theta_l + \Delta\theta_{bm} + \Delta\theta_{ll} < \Delta\theta_{cp} \quad (14-16)$$

Cần chú ý rằng, cách tính gần đúng trên chỉ phù hợp với thực tế khi có các số liệu thực nghiệm chính xác.

Chế độ làm việc ngắn hạn

Việc tính toán về nhiệt ở chế độ này dựa vào kết quả tính toán ở chế độ làm việc liên tục. Giả thử thời gian làm việc ngắn hạn là t_{nh} thì theo (14-13) nhiệt độ tăng của máy là:

$$\Delta\theta_{nh} = \Delta\theta_{\infty} (1 - e^{-t_{nh}/T}) \quad (14-17)$$

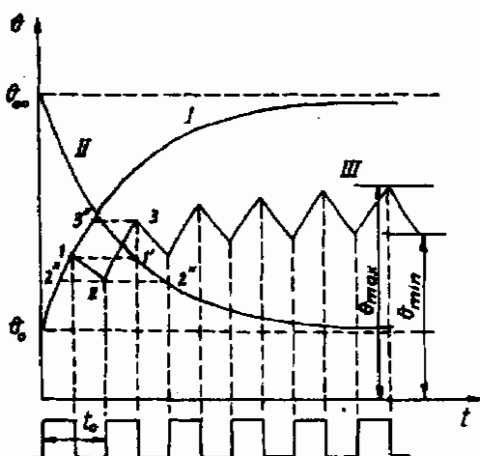
Vì nhiệt độ tăng cuối cùng khi làm việc ở hai chế độ có thể bằng nhau nghĩa là $\Delta\theta_{nh} = \Delta\theta_{\infty}$ nên khi làm việc ngắn hạn cho phép $\Delta\theta_{\infty}$ trong (14-17) có trị số lớn hơn khi làm việc dài hạn và ký hiệu bằng $\Delta\theta_{\infty(nh)}$, sao cho:

$$\Delta\theta_{\infty(nh)} = \Delta\theta_{\infty} \left(\frac{1}{1 - e^{-t_{nh}/T}} \right) \quad (14-18)$$

Như vậy nếu kích thước máy như nhau thì khi làm việc ngắn hạn, cho phép tổn hao trong máy (hay nhiệt lượng tương ứng) nhiều hơn nếu có thể tăng thêm công suất máy.

Chế độ làm việc gián đoạn lặp lại

Gọi thời gian máy làm việc và nghỉ trong một chu kỳ là t_v và



Hình 14-3. Đường cong phát nóng ở chế độ làm việc gián đoạn lặp lại

t_0 thì đường biểu diễn nhiệt độ của máy ở chế độ này là đường gãy khúc III như trên hình 14-3. Nếu công suất khi máy làm việc liên tục và giai đoạn lặp lại như nhau thì các đoạn của đường gãy khúc chính là các đoạn ở nhiệt độ tương ứng của các đường cong phát nóng I và nguội lạnh II. Thí dụ đoạn 1-2 tương ứng với 1'-2'; 2-3 tương ứng với 2'-3'', ...

Sau một số chu kỳ thì nhiệt độ của máy không tăng và dao động giữa hai trị số $\theta_{\max}$ và $\theta_{\min}$ và rõ ràng là $\theta_{\max} < \theta_{\infty}$ (θ_{∞} là nhiệt độ xác lập khi làm việc dài hạn), vì vậy trong điều kiện làm lạnh như nhau, khi làm việc ở chế độ gián đoạn lặp lại cho phép

tăng công suất máy theo tỷ số $\frac{\Delta\theta_{\infty}}{\Delta\theta_{\max}}$, trong đó $\Delta\theta_{\infty} = \theta_{\infty} - \theta_0$.

14.3. VẤN ĐỀ LÀM LẠNH CÁC MÁY ĐIỆN

14.3.1. Các kiểu cấu tạo của các máy điện

Kiểu cấu tạo của máy điện phụ thuộc vào phương pháp bảo vệ máy đối với môi trường bên ngoài. Cấp bảo vệ được ký hiệu bằng chữ IP kèm theo hai chỉ số, trong đó chữ số thứ nhất gồm 7 cấp, được đánh số từ 0 đến 6 chỉ mức độ bảo vệ chống sự tiếp xúc của người và vật rơi vào máy; chữ số thứ hai gồm 9 cấp, đánh số từ

0 đến 8 chỉ mức độ bảo vệ chống nước vào máy. Số 0 ở cả hai chữ số chỉ rằng máy không được bảo vệ gì cả.

Thường có thói quen chia kiểu cấu tạo máy điện như sau:

Kiểu hở. Các máy thuộc loại này không có các bộ phận che chở để tránh các vật từ ngoài chạm vào phần quay hoặc các bộ phận dẫn điện của nó. Loại này thường được đặt trong các nhà máy hoặc phòng thí nghiệm và không tránh được ẩm ướt (ký hiệu là IP00).

Kiểu bảo vệ. Khác kiểu hở ở chỗ có các tấm chắn có thể tránh được các vật và nước rơi vào máy và chủ yếu cũng được đặt trong nhà (cấp bảo vệ từ IP11 đến IP33).

Kiểu kín. Máy điện kín có vỏ bao bọc cách biệt phần trong máy với môi trường bên ngoài và thường được dùng ở những nơi ẩm ướt kể cả ngoài trời. Tùy theo mức độ kín, cấp bảo vệ có từ IP44 trở lên.

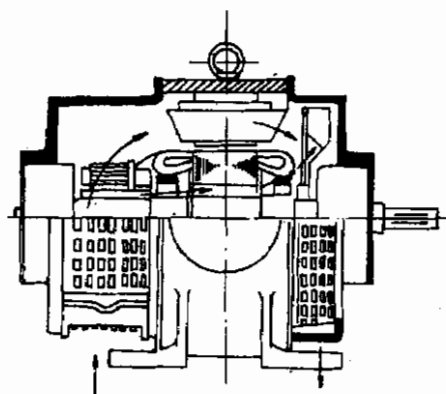
14.3.2. Các phương pháp làm lạnh máy điện

Theo phương pháp làm lạnh, các máy điện được chia thành:

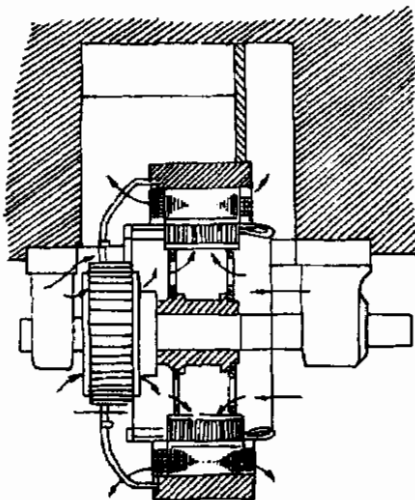
Máy điện làm lạnh tự nhiên. Máy điện thuộc loại này không có bộ phận thổi gió làm lạnh, do đó công suất chỉ hạn chế trong khoảng vài chục oát hoặc vài trăm oát nên có cánh tản nhiệt để tăng thêm bề mặt tản nhiệt.

Máy điện làm lạnh trong. Ở loại máy này, sự tuần hoàn của gió bên trong máy được thực hiện nhờ quạt gió đặt đầu trục. Đối với máy công suất nhỏ, với chiều dài bé hơn $200 + 250\text{ mm}$, gió chỉ thổi dọc trục theo khe hở giữa stato và rôto và làm theo các rãnh thông gió dọc trục ở lõi thép stato và rôto (hình 14-4).

Khi công suất máy lớn, chiều dài của máy tăng thì nhiệt độ gió dọc chiều dài của máy sẽ không đều, vì vậy phải tạo thêm các rãnh thông gió ngang trục. Trong trường hợp này, lõi thép được chia thành từng đoạn dài khoảng 4 cm và khe hở giữa các đoạn khoảng 1 cm. Gió sẽ đi vào hai đầu rồi theo các rãnh ngang trục và thoát ra ở giữa thân máy để rồi lại trở về hai đầu (hình 14-5).

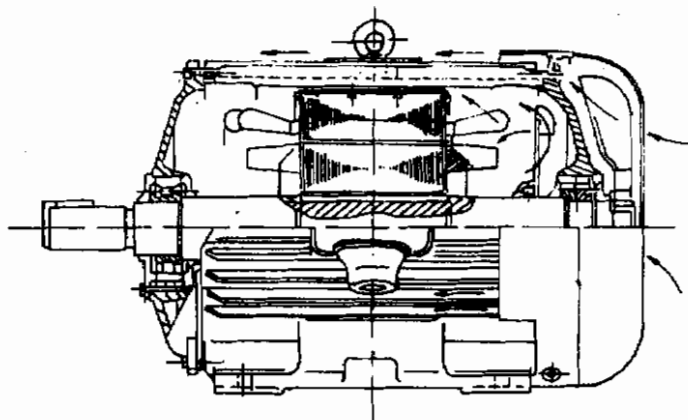


Hình 14-4. Hệ thống gió dọc trục của máy điện một chiều



Hình 14-5. Hệ thống gió ngang trục của máy điện một chiều

Máy điện tử làm lạnh mặt ngoài. Trong trường hợp này máy thuộc kiểu kín. Ở đầu trục bên ngoài máy có đặt quạt gió và nắp quạt gió để hướng gió thổi dọc mặt ngoài của thân máy (hình 14-6).

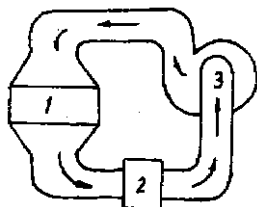


Hình 14-6. Máy điện tử làm lạnh mặt ngoài

Để tăng diện tích của bề mặt làm lạnh, thân máy được đúc có cánh tản nhiệt. Thông thường trong máy cũng có đặt quạt gió để tăng tốc độ gió trong máy, do đó tăng thêm sự trao đổi nhiệt giữa lõi và vỏ.

Máy điện làm lạnh độc lập. Ở các máy điện lớn, quạt thường được đặt riêng ở ngoài để hút gió đưa nhiệt lượng trong máy ra ngoài. Để tránh hút bụi vào máy có thể dùng hệ thống làm lạnh lớn. Trong trường hợp đó, không khí hoặc khí làm lạnh sau khi ở máy ra được đưa qua bộ làm lạnh rồi lại được đưa vào máy theo một chu trình kín như trình bày trên hình 14-7.

Máy điện làm lạnh trực tiếp. Khi công suất của máy điện lớn khoảng $300 + 500$ ngàn kW thì hệ làm lạnh kín bằng khí hydro vẫn không đủ hiệu lực. Đối với các máy điện đó, dây quấn được chế tạo bằng các thanh dẫn rỗng trong có nước hoặc dầu chảy qua để được làm lạnh trực tiếp. Như vậy nhiệt lượng của dây quấn không phải truyền qua chất cách điện mà được nước hoặc dầu trực tiếp đem ra ngoài, do đó có thể tăng mật độ dòng điện trong thanh dẫn lên 3-4 lần và giảm kích thước máy, tiết kiệm vật liệu chế tạo.



Hình 14-7. Hệ làm lạnh độc lập và kín
1 máy điện; 2. bộ làm lạnh; 3. quạt

Câu hỏi

1. Phương trình phát nóng và nguội lạnh của máy điện. Nghiệm của các phương trình đó có dạng như thế nào?

2. Từ một điểm bất kỳ trên đường cong phát nóng của máy, kẻ đường tiếp tuyến và đường song song với trục đứng gặp đường $\theta = \theta'_x$ song song với trục ngang ở hai điểm m và n . Hãy chứng minh rằng đoạn mn chính bằng hằng số thời gian phát nóng T .

PHẦN THỨ BA

MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Chương 15

DAI CƯƠNG VỀ MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

15.1. PHÂN LOẠI VÀ KẾT CẤU

15.1.1. Phân loại

Theo kết cấu của vỏ, máy điện không đồng bộ có thể chia thành các kiểu chính sau: kiểu hở, kiểu bảo vệ, kiểu kín, kiểu phòng nổ, v.v...

Theo kết cấu của rôto, máy điện không đồng bộ chia làm hai loại: loại rôto kiểu dây quấn và loại rôto kiểu lồng sóc.

Theo số pha trên dây quấn stato có thể chia thành các loại: một pha, hai pha và ba pha.

15.2.2. Kết cấu

Giống như các máy điện quay khác, máy điện không đồng bộ gồm các bộ phận chính sau.

1. Phần tĩnh hay stato

Trên stato có vỏ, lõi sắt và dây quấn.

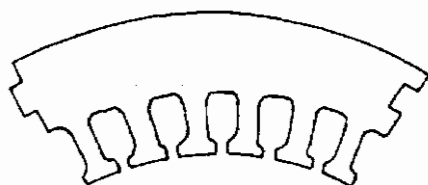
a. Vỏ máy

Vỏ máy có tác dụng cố định lõi sắt và dây quấn, không dùng để làm mạch dẫn từ. Thường vỏ máy làm bằng gang. Đối với máy có công suất tương đối lớn (1000 kW) thường dùng thép tấm hàn lại làm thành vỏ. Tùy theo cách làm nguội máy mà dạng vỏ cũng khác nhau

b. Lõi sắt

Lõi sắt là phần dẫn từ. Vì từ trường đi qua lõi sắt là từ trường quay nên để giảm tổn hao, lõi sắt được làm bằng những

lá thép kỹ thuật điện dày 0,5 mm ép lại. Khi đường kính ngoài lõi sắt nhỏ hơn 990 mm thì dùng cả tấm tròn ép lại. Khi đường kính ngoài lớn hơn trị số trên thì phải dùng những tấm hình ré quạt (hình 15-1) ghép lại thành khối tròn.



Hình 15-1. Lá thép kỹ thuật điện hình ré quạt dùng để ghép lõi sắt stato của máy điện không đồng bộ cỡ vừa và lớn

Mỗi lá thép kỹ thuật điện đều có phủ sơn cách điện trên bề mặt để giảm hao tổn do dòng điện xoáy gây nên. Nếu lõi sắt ngắn thì có thể ghép thành một khối. Nếu lõi sắt dài quá thì thường ghép thành từng thép ngắn, mỗi thép dài 6 đến 8 cm, đặt cách nhau 1 cm để thông gió cho tốt. Mặt trong của lá thép có xẻ rãnh để đặt dây quấn.

c. Dây quấn

Dây quấn stato được đặt vào các rãnh của lõi sắt và được cách điện tốt với lõi sắt. Kiểu dây quấn, hình dạng và cách bố trí dây quấn đã được trình bày ở phần thứ hai (Chương 9).

2. Phần quay hay rôto

Phần này có hai bộ phận chính là lõi sắt và dây quấn.

a. Lõi sắt

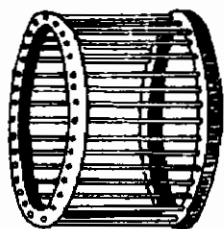
Nói chung thì người ta dùng các lá thép kỹ thuật điện như ở stato. Lõi sắt được ép trực tiếp lên trục máy hoặc lên một giá rôto của máy. Phía ngoài của lá thép có xẻ rãnh để đặt dây quấn.

b. Dây quấn rôto

Phân làm hai loại chính: loại rôto kiểu dây quấn và loại rôto kiểu lồng sóc.

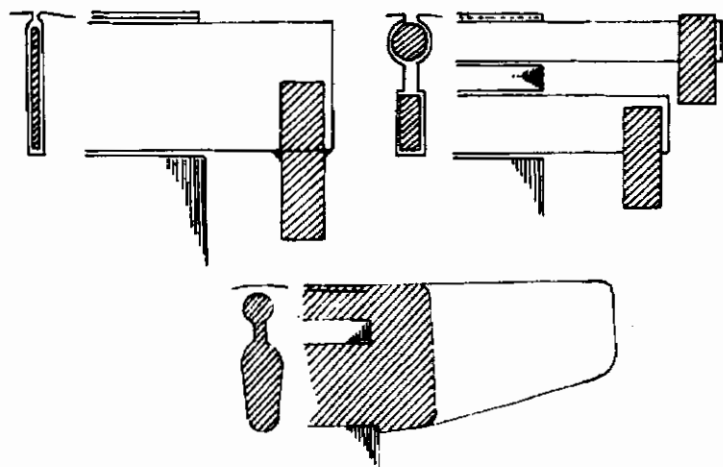
- *Loại rôto kiểu dây quấn.* Rôto có dây quấn giống như dây quấn stato. Trong máy điện cỡ trung bình trở lên thường dùng dây quấn kiểu sóng hai lớp vì bớt được những dây đầu nối, kết cấu dây quấn trên rôto chặt chẽ. Trong máy điện cỡ nhỏ thường

dùng dây quấn đồng tâm một lớp. Dây quấn ba pha của rôto thường dấu hình sao, còn ba đầu kia được nối vào ba vành trượt thường làm bằng đồng đặt cố định ở một đầu trục và thông qua chổi than có thể dấu với mạch điện bên ngoài. Đặc điểm của loại động cơ điện rôto kiểu dây quấn là có thể thông qua chổi than đưa điện trở phụ hay s.d.d. phụ vào mạch điện rôto để cải thiện tính năng mở máy, điều chỉnh tốc độ hoặc cải thiện hệ số công suất của máy. Khi máy làm việc bình thường dây quấn rôto được nối ngắn mạch.



- Loại rôto kiểu lồng sóc. Kết cấu của loại dây quấn này rất khác với dây quấn stato. Trong mỗi rãnh của lõi sắt rôto đặt vào thanh dẫn bằng đồng hay nhôm dài ra khỏi lõi sắt và được nối tắt lại ở hai đầu bằng hai vành ngắn mạch bằng đồng hay nhôm làm thành một cái lồng mà người ta quen gọi là lồng sóc (hình 15-2).

Hình 15-2. Dây quấn rôto kiểu lồng sóc làm bằng đồng



Hình 15-3. Những kiểu rãnh đặc biệt của rôto lồng sóc:

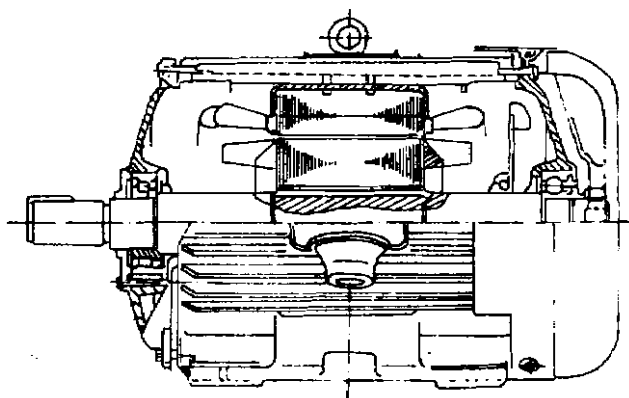
1. Rãnh sâu; 2. Rãnh hai lồng sóc thanh dẫn bằng đồng (a) và đúc nhôm (b)

Dây quấn lồng sóc không cần cách điện với lõi sắt. Để cải thiện tính năng mở máy, trong máy công suất tương đối lớn, rãnh rôto có thể làm thành dạng rãnh sâu hoặc làm thành hai rãnh lồng sóc hay còn gọi là lồng sóc kép (hình 15-3). Trong máy điện cỡ nhỏ, rãnh rôto thường được làm chéo đi một góc so với tâm trục.

3. Khe hở

Vì rôto là một khối tròn nên khe hở đều. Khe hở trong máy điện không đồng bộ rất nhỏ (từ 0,2 đến 1 mm trong máy điện cỡ nhỏ và vừa) để hạn chế dòng điện từ hóa lấy từ lưới vào và như vậy mới có thể làm cho hệ số công suất của máy cao hơn.

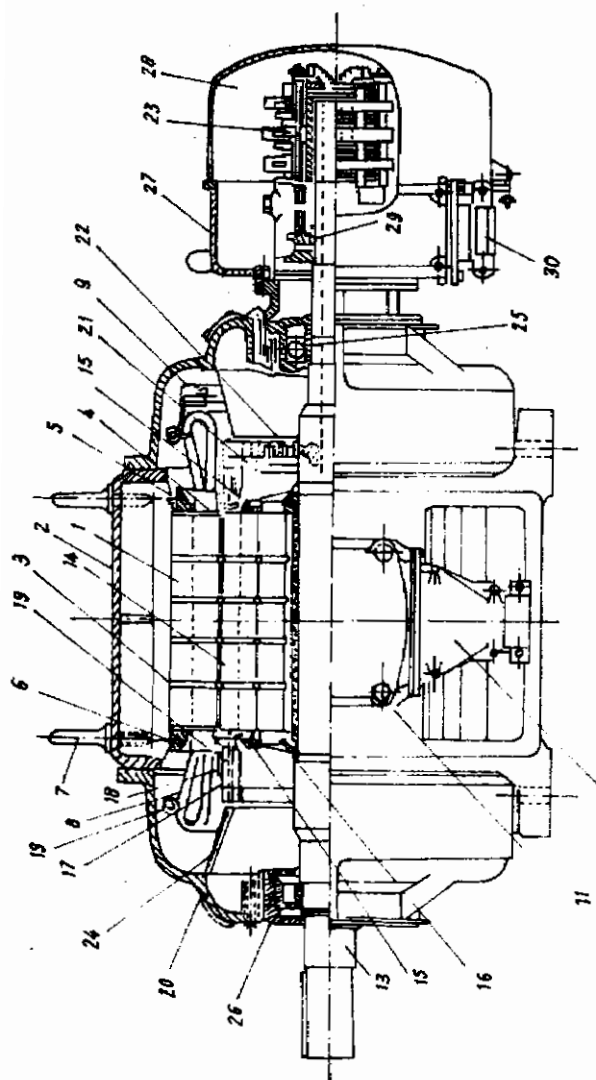
Kết cấu của động cơ điện rôto lồng sóc và động cơ điện rôto dây quấn được trình bày trên các hình 15-4 và 15-5.



Hình 15-4. Động cơ điện rôto lồng sóc

15.2. CÁC LƯỢNG ĐỊNH MỨC

Cũng như tất cả các loại máy điện khác, máy điện không đồng bộ có các trị số định mức đặc trưng cho điều kiện kỹ thuật của máy. Các trị số này do nhà máy thiết kế, chế tạo quy định và được ghi trên nhãn máy. Vì máy điện không đồng bộ chủ yếu làm việc ở chế độ động cơ điện nên trên nhãn máy ghi các trị số định



Hình 15-5. Động cơ điện rôto dây quấn

1. lõi thép stato; 2. vỏ máy; 3. rãnh thông gió hướng kính; 4 và 5, chốt và vành ép lõi stato; 6. then vòng cung; 7. vòng nâng; 8. dây quấn stato; 9. dầu nối giữa các bó và giữa các nhóm bó dây quấn stato; 10. vành đai; 11. hộp dầu dây cuộn dây stato; 12. dầu cấp; 13. trục rôto; 14. lõi thép rôto; 15. vành ép lõi rôto; 16. then vòng giữ lõi rôto; 17. thanh dẫn dây quấn stato; 18. đai dây quấn rôto; 19. vành đệm cách điện; 20. vành đai kẹp dầu nối dây quấn rôto; 21. vòng nối các đầu dây quấn rôto thành hình sao; 22. các cực nối dây quấn rôto với vành trượt; 23. vành trượt; 24. ống loa hướng gió; 25 và 26. ổ bi; 27 và 28. hộp và nắp che vành trượt; 29. ống lót di động để ngăn mạch dây quấn rôto; 30. hộp nối các cực dây quấn rôto.

mức của động cơ điện khi máy tải định mức. Các trị số đó thường bao gồm: công suất định mức ở đầu trục P_{dm} (kW hay W); dòng điện dây định mức I_{dm} (A); điện áp dây định mức U_{dm} (V); cách đấu dây (Y hay Δ); tốc độ quay định mức n_{dm} (vg/ph); hiệu suất định mức η_{dm} và hệ số công suất định mức $\cos\varphi_{dm}$...

Từ các trị số định mức ghi trên nhãn máy có thể tìm được các trị số quan trọng khác như:

Công suất định mức mà động cơ điện tiêu thụ:

$$P_{l_{dm}} = \frac{P_{dm}}{\eta_{dm}} = \sqrt{3} U_{dm} I_{dm} \cos\varphi_{dm}$$

Mômen quay định mức ở đầu trục:

$$M_{dm} = \frac{P_{dm}}{\omega} \cdot \frac{1}{9,81} = 0,975 \frac{P_{dm}}{n_{dm}}, \text{ kGm},$$

trong đó $\omega = \frac{2\pi n_{dm}}{60}$ là tốc độ quay tính bằng rad/s.

15.3. CÔNG DỤNG CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Máy điện không đồng bộ là loại máy điện xoay chiều chủ yếu dùng làm động cơ điện. Do kết cấu đơn giản, làm việc chắc chắn, hiệu suất cao, giá thành hạ nên động cơ không đồng bộ là một loại máy được dùng rộng rãi nhất trong các ngành kinh tế quốc dân với công suất từ vài chục đến hàng nghìn kilôoat. Trong công nghiệp thường dùng máy điện không đồng bộ làm nguồn động lực cho máy cán thép loại vừa và nhỏ, động lực cho các máy công cụ ở các nhà máy công nghiệp nhẹ, v.v... Trong hầm mỏ dùng làm máy tời hay quạt gió. Trong nông nghiệp dùng để làm máy bơm hay máy gia công nông sản phẩm. Trong đời sống hằng ngày, máy điện không đồng bộ cũng dần dần chiếm một vị trí quan trọng: quạt gió, máy quay đĩa, động cơ trong tủ lạnh, v.v... Tóm lại, theo sự phát triển của nền sản xuất điện khí hóa và tự động hóa và sinh hoạt hằng ngày, phạm vi ứng dụng của máy điện không đồng bộ ngày càng rộng rãi.

Tuy vậy, máy điện không đồng bộ có những nhược điểm như: $\cos \varphi$ của máy thường không cao lắm và đặc tính điều chỉnh tốc độ không tốt nên ứng dụng của máy điện không đồng bộ có phần bị hạn chế.

Máy điện không đồng bộ có thể dùng làm máy phát điện nhưng đặc tính không tốt so với máy phát điện đồng bộ, nên chỉ trong một vài trường hợp nào đó (như trong quá trình điện khí hóa nông thôn) cần nguồn điện phụ hay tạm thời thì nó cũng có một ý nghĩa quan trọng.

Câu hỏi

1. Một động cơ điện không đồng bộ rôto dây quấn, dây quấn stato ngắn mạch. Cho điện xoay chiều ba pha tần số f_1 vào dây quấn rôto từ trường quay so với rôto quay tốc độ n_1 theo chiều kim đồng hồ. Hỏi lúc đó rôto quay theo chiều nào? Tính toán hệ số trượt s như thế nào? Khi $s = 0$ thì tốc độ bằng bao nhiêu?

2. Tại sao máy điện không đồng bộ là loại máy điện được dùng rộng rãi nhất?

3. Máy điện không đồng bộ thường chia thành những loại nào? Đặc điểm của từng loại?

Chương 16

QUAN HỆ ĐIỆN TỪ TRONG MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

16.1. ĐẠI CƯƠNG

Nói chung trên stato của máy điện không đồng bộ có dây quấn m_1 pha (thường $m_1 = 3$), trên rôto có dây quấn m_2 pha ($m_2 = 3$ đối với động cơ rôto dây quấn; còn đối với động cơ rôto lồng sóc, $m_2 > 3$ - dây quấn nhiều pha). Như vậy trong máy có hai mạch điện không nối với nhau và giữa chúng chỉ có sự liên hệ về cảm ứng từ. Khi máy làm việc bình thường, trên dây quấn stato có từ thông tản và tương ứng có điện kháng tản, trên dây quấn rôto cũng vậy và giữa hai dây quấn có hồ cảm. Vì vậy ta có thể coi máy điện không đồng bộ như một m.b.a. mà dây quấn stato là dây quấn sơ cấp, dây quấn rôto là dây quấn thứ cấp và sự liên hệ giữa hai mạch điện sơ cấp và thứ cấp là thông qua từ trường quay (ở m.b.a. là từ trường xoay chiều). Do đó có thể dùng cách phân tích kiểu m.b.a. để nghiên cứu những nguyên lý làm việc cơ bản của máy điện không đồng bộ như: thiết lập các phương trình cơ bản, mạch điện thay thế, đồ thị vectơ,... và phần nào sử dụng những kết quả đạt được khi phân tích m.b.a.

Cần chú ý là khi phân tích nguyên lý cơ bản của máy điện không đồng bộ, ta chỉ xét đến tác dụng của sóng cơ bản mà không xét đến tác dụng của sóng bậc cao vì tác dụng của chúng là thứ yếu.

16.2. MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ LÀM VIỆC KHI RÔTO DỨNG YÊN

Bình thường khi làm việc, dây quấn rôto của máy điện không

đồng bộ được nối ngắn mạch và máy quay với một tốc độ nào đó ($n \neq 0$). Nhưng có một số quan hệ mà khi rôto đứng yên ($n = 0$) vẫn tồn tại và qua trạng thái đó có thể hiểu một cách dễ hơn nguyên lý làm việc của máy điện không đồng bộ. Vì thế trước hết ta sẽ nghiên cứu trường hợp rôto đứng yên. Thực ra có thể coi động cơ điện lúc mở máy nằm trong trường hợp này.

Đặt một điện áp U_1 có tần số f_1 vào dây quấn stato, trong dây quấn stato sẽ có dòng điện I_1 , tần số f_1 ; trong dây quấn rôto có dòng điện I_2 , tần số cũng là f_1 . I_1 và I_2 sinh ra s.t.d. quay F_1 và F_2 có trị số (như đã biết trong phần thứ nhất, Chương 3):

$$F_1 = \frac{m_1 \sqrt{2}}{\pi} \frac{w_1 k_{dq1}}{p} I_1 \quad (16-1)$$

$$F_2 = \frac{m_2 \sqrt{2}}{\pi} \frac{w_2 k_{dq2}}{p} I_2$$

trong đó:

m_1, m_2 - số pha của dây quấn stato và rôto;

p - số đôi cực;

$w_2, w_1, k_{dq1}, k_{dq2}$ - số vòng dây nối tiếp trên một pha và hệ số dây quấn stato, rôto.

Hai s.t.d. này cũng quay với tốc độ đồng bộ $n_1 = 60f_1/p$ và tác dụng với nhau để sinh ra s.t.d. tổng trong khe hở F_0 . Vì vậy phương trình cân bằng về s.t.d. có thể viết:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{F}_0, \quad (16-2)$$

hay: $\vec{F}_1 = \vec{F}_0 + (-\vec{F}_2)$

Giống như cách phân tích m.b.a., ở đây có thể coi như dòng điện stato I_1 gồm hai thành phần: một thành phần là I_0 tạo nên

s.t.d. $\vec{F}_0 = \frac{m_1 \sqrt{2}}{\pi} \frac{w_1 k_{dq1}}{p} \vec{I}_0$ và một thành phần là $(-\vec{I}_2')$ tạo nên

s.t.d. $(-\vec{F}_2') = -\frac{m_1 \sqrt{2}}{\pi} \frac{w_1 k_{dq1}}{p} \vec{I}_2'$ bù lại s.t.d. F_2 của dòng điện

thứ cấp $\dot{I}_2$. Như vậy ta có:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}_2)$$

$$\text{hay: } \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = \dot{I}_0 \quad (16-3)$$

So sánh s.t.d. F_2 do dòng điện I_2 của rôto và thành phần I_2 của dòng điện stato sinh ra, ta có:

$$\frac{m_2 \sqrt{2}}{\pi} \frac{w_2 k_{dq2}}{p} I_2 = \frac{m_1 \sqrt{2}}{\pi} \frac{w_1 k_{dq1}}{p} \dot{I}_2$$

Từ đó tìm ra được tỷ số biến đổi dòng điện:

$$k_i = \frac{\dot{I}_2}{I_2} = \frac{m_1 w_1 k_{dq1}}{m_2 w_2 k_{dq2}} \quad (16-4)$$

Dòng điện quy đổi của rôto sang stato bằng:

$$I_2 = \frac{I_2}{k_i}$$

Từ thông chính Φ do s.t.d. F_0 sinh ra trong khe hở quét qua hai dây quấn stato và rôto và cảm ứng ở đó những s.d.d. mà trị số bằng:

$$E_1 = 4,44 f_1 w_1 k_{dq1} \Phi \quad (16-5)$$

$$E_2 = 4,44 f_2 w_2 k_{dq2} \Phi$$

Khi rôto đứng yên, $f_1 = f_2$ nên tỷ số biến đổi điện áp của máy điện không đồng bộ bằng:

$$k_e = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_2 k_{dq1}}{w_1 k_{dq2}} \quad (16-6)$$

Quy đổi E_2 sang bên sơ cấp ta được:

$$E_2 = E_1 = k_e E_2$$

Do từ thông tản của stato $\Phi_{\sigma 1}$ nên trong dây quấn stato sẽ cảm ứng nên s.d.d. tản $E_{\sigma 1} = -j l_1 x_1$, trong đó x_1 là điện kháng tản của dây quấn stato. Nếu xét cả điện áp rơi trên điện trở r_1 của dây quấn stato $I_1 r_1$ thì phương trình cân bằng về s.d.d. trong mạch điện stato bằng:

$$\begin{aligned}\dot{U}_1 &= -(\dot{E}_1 + \dot{E}_{o1}) + \dot{I}_1 r_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1(r_1 + jx_1) \\ &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 z_1\end{aligned}\quad (16-7)$$

trong đó $z_1 = r_1 + jx_1$ là tổng trở của dây quấn stato.

Trên dây quấn rôto cũng vậy. Do dây quấn rôto ngắn mạch nên phương trình cân bằng về s.d.d. trong mạch điện rôto như sau:

$$0 = -\dot{E}_2 + \dot{I}_2(r_2 + jx_2) = -\dot{E}_2 + \dot{I}_2 z_2, \quad (16-8)$$

trong đó:

r_2 - điện trở rôto bao gồm cả điện trở phụ mắc vào nếu có;

x_2 - điện kháng tán trên dây quấn rôto;

$z_2 = r_2 + jx_2$ - tổng trở của dây quấn rôto.

Cũng giống như ở m.b.a. ta có thể viết:

$$-\dot{E}_1 = \dot{I}_0 z_m = \dot{I}_0(r_m + jx_m) \quad (16-9)$$

trong đó:

I_0 - dòng điện từ hóa sinh ra sức từ động F_0 ;

r_m - điện trở từ hóa đặc trưng cho tổn hao sắt;

x_m - điện kháng từ hóa biểu thị sự hỗ cảm giữa stato và rôto.

Muốn qui đổi điện trở và điện kháng rôto sang bên stato phải áp dụng nguyên tắc tổn hao không đổi và góc pha giữa E_q và I_2 không đổi. Khi qui đổi r_2 ta có:

$$m_u I_2^2 r_2 = m_l I_2^2 r_2$$

từ đó ta được:

$$\begin{aligned}r_2 &= \frac{m_2}{m_1} \left(\frac{I_2}{I_2} \right)^2 r_2 = \frac{m_2}{m_1} \left(\frac{m_1 w_1 k_{dq1}}{m_2 w_2 k_{dq2}} \right)^2 r_2 \\ &= k_c k_1 r_2 = k r_2\end{aligned}\quad (16-10)$$

trong đó $k = k_c k_1$ là hệ số quy đổi của tổng trở.

Khi quy đổi x_2 , ta có:

$$\text{tg}\psi_2 = \frac{x_2}{r_2} = \frac{x_2}{r_2}$$

và được

$$x_2 = \frac{r_2}{r_2} x_2 = kx_2 \quad (16-11)$$

Khi viết phương trình trên ta coi như trục dây quấn stato và rôto cùng pha trùng nhau (hình 16-1a).

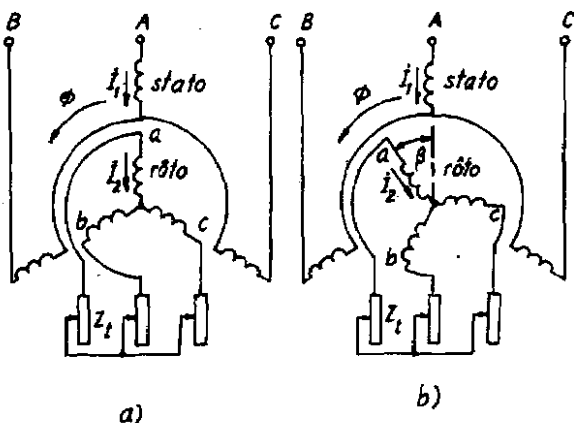
Trong trường hợp chung, giả sử trục dây quấn rôto lệch với trục dây quấn stato một góc không gian β theo chiều của từ trường quay (hình 16-1b), thì

khi từ trường quay quét qua các dây quấn ta có:

$$\dot{E}_2 = \frac{1}{k_e} \dot{E}_1 e^{-j\beta}$$

$$\text{và} \quad \dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_2}{z_2} = \frac{1}{k_e} \frac{\dot{E}_1}{z_2} e^{-j\beta}$$

Ta thấy khi trục dây quấn rôto dịch phía trước trục dây quấn stato một góc không gian β thì s.d.d. và dòng điện của nó chậm sau một góc pha β về thời gian so với khi hai trục dây quấn cùng pha có trục trùng nhau. Trong trường hợp đó, biên độ của s.d.d. quay F_2 do dòng điện của rôto I_2 sinh ra sẽ đạt tới vị trí trùng với trục pha của trục dây quấn rôto (thí dụ pha a) chậm một khoảng thời gian ứng với thời gian cần thiết để F_2 quay đi một góc β . Vì ở đây (hình 16-1b) trục pha a của rôto đã có vị trí vượt trước trục pha A của stato một góc β , nên s.d.d. F_2 có vị trí tương đối so với s.d.d. F_1



Hình 16-1. Sơ đồ máy điện không đồng bộ có trục dây quấn stato và rôto cùng pha trùng nhau (a) và lệch nhau một góc β (b)

hoàn toàn giống như khi trục hai dây quấn stato và rôto trùng nhau như đã xét ở trường hợp của hình 16-1a. Kết quả là s.t.d. tổng F_0 và từ thông tổng tương ứng sẽ không đổi, do đó trị số của s.d.d, điện áp, dòng điện đều không thay đổi.

Từ phân tích trên ta rút ra kết luận là ở một thời điểm nhất định, trục s.t.d. của rôto so với vị trí của dây quấn stato vẫn không vì vị trí của dây quấn rôto mà thay đổi. Do đó phương trình cân bằng về s.t.d. (16-2) viết trên vẫn đúng. Khi trục dây quấn rôto lệch với trục dây quấn stato cùng pha thì chỉ có s.d.d. và dòng điện lệch đi một góc pha thôi. Nhưng vì chúng ta chỉ cần giải ra dòng điện và s.d.d. của stato, còn rôto chỉ tác dụng lên stato thông qua s.t.d. của nó, cho nên khi $\beta = 0$ hay $\beta \neq 0$ ta coi như ở bên stato không có gì thay đổi, vì vậy là dùng trường hợp $\beta = 0$ để lập quan hệ giữa stato và rôto. Như vậy có thể tránh sự phức tạp khi xét thêm góc β .

Tóm lại các phương trình cơ bản đặc trưng cho tình trạng làm việc ngắn mạch của máy điện không đồng bộ khi qui đổi sang stato bao gồm:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 z_1 \\ 0 &= -\dot{E}_2 + \dot{I}_2 z_2 \\ \dot{E}_2 &= \dot{E}_1 \\ \dot{I}_1 + \dot{I}_2 &= \dot{I}_0 \\ -\dot{E}_1 &= \dot{I}_0 z_m \end{aligned} \right\} \quad (16-12)$$

Khi rôto đứng yên mà dây quấn rôto ngắn mạch, nếu muốn giới hạn các dòng điện I_1 và I_2 trong dây quấn stato và rôto đến các trị số định mức của chúng thì cũng như ở m.b.a. lúc ngắn mạch cần phải giảm thấp điện áp đặt vào. Điện áp ấy (gọi là điện áp ngắn mạch) vào khoảng $15 \div 25\% U_{dm}$. Cũng do đó mà s.d.d. E_1 trong máy nhỏ đi rất nhiều và từ công thức (16-5) ta thấy, từ thông chính trong máy rất ít, nghĩa là s.t.d. từ hóa F_0 rất nhỏ so với F_1 và F_2 , do đó trong phương trình (16-2) có thể bỏ qua F_0 . Lúc đó ta có:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{F}_0 \approx 0$$

$$\text{hay: } \dot{I}_1 + \dot{I}_2 \approx 0 \quad (16-13)$$

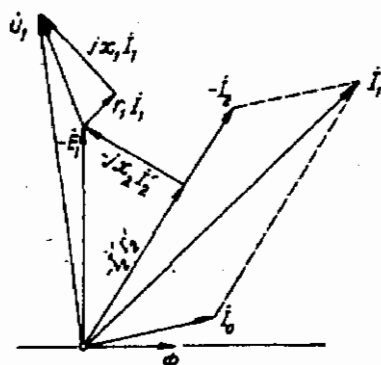
Thay (16-13) vào phương trình thứ tư của (16-12) có thể tính được dễ dàng dòng điện stato I_1 :

$$\dot{I}_1 \approx \frac{\dot{U}_1}{z_1 + z_2} = \frac{\dot{U}_1}{z_n}$$

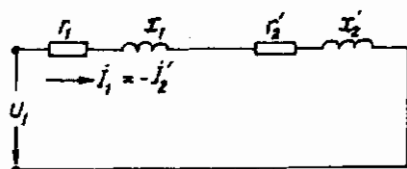
trong đó: $z_n = z_1 + z_2 = (r_1 + r_2) + j(x_1 + x_2)$
 $= r_n + jx_n$ là tổng trở ngắn mạch của máy điện không đồng bộ.

Khi $U_1 = U_{dm}$ thì I_1 đó chính là dòng điện mở máy.

Đồ thị vectơ và mạch điện thay thế như hình 16-2 và 16-3.



Hình 16-2. Đồ thị vectơ của máy điện không đồng bộ khi rôto đứng yên



Hình 16-3. Mạch điện thay thế của máy điện không đồng bộ khi ngắn mạch

16.3. MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ LÀM VIỆC KHI RÔTO QUAY

Khi rôto quay thì tần số trị số s.d.f. và dòng điện của rôto thay đổi. Điều đó ảnh hưởng rất lớn đến sự làm việc của máy điện, nhưng nó không làm thay đổi những quy luật và quan hệ về điện từ khi rôto đứng yên. Điều này cần chú ý khi nghiên cứu sau này.

16.3.1. Các phương trình cơ bản

Máy điện không đồng bộ khi làm việc thì dây quấn rôto nhất định phải kín mạch và thường là ngắn mạch. Nối dây quấn stato với nguồn điện ba pha thì trong dây quấn có dòng điện I_1 , do đó phương trình cân bằng về s.d.đ. trên dây quấn stato vẫn như cũ:

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1(r_1 + jx_1) \quad (16-14)$$

Từ trường khe hở sinh ra F_1 quay với tốc độ đồng bộ n_1 . Nếu rôto quay với tốc độ n theo chiều quay của từ trường quay thì tốc độ tương đối giữa từ trường quay với dây quấn rôto là $n_2 = n_1 - n$ và tần số s.d.đ. và dòng điện trong dây quấn stato sẽ là:

$$f_2 = \frac{n_2 P}{60} = \frac{n_1 - \textcircled{n}}{n_1} \cdot \frac{n_1 P}{60} = sf_1 \quad (16-15)$$

trong đó $s = \frac{n_1 - n}{n_1}$ là hệ số trượt của máy điện không đồng bộ.

Thường khi động cơ điện không đồng bộ ở tải định mức thì $s = 0,02 \div 0,05$.

Trị số s.d.đ. trên dây quấn rôto lúc đó bằng:

$$E_{2s} = 4,44f_2 w_2 k_{dq2} \Phi = 4,44sf_1 w_2 k_{dq2} \Phi = sE_2 \quad (16-16)$$

Vì điện kháng $x = \omega L = 2\pi fL$ (trong đó L là tự cảm của dây quấn), nên với dòng điện I_2 có tần số f_2 thì trị số điện kháng của rôto bằng:

$$x_{2s} = 2\pi f_2 L_2 = 2\pi sf_1 L_2 = sx_2 \quad (16-17)$$

Do đó phương trình cân bằng về s.d.đ. của mạch điện rôto là:

$$0 = -\dot{E}_{2s} + \dot{I}_2(r_2 + jx_{2s}) \quad (16-18)$$

hay sau khi đã quy đổi:

$$0 = -\dot{E}_{2s} + \dot{I}_2(r_2 + jx_{2s}). \quad (16-19)$$

Trong phương trình trên, s.d.đ. và dòng điện đều có tần số là f_2 , còn bên sơ cấp thì s.d.đ. và dòng điện có tần số là f_1 do đó cần phải quy đổi tần số sang bên sơ cấp thì việc lập hệ thống phương trình mới có ý nghĩa. Để biểu thị rõ quan hệ về tần số

thì phương trình (16-18) có thể viết dưới dạng sau:

$$0 = -\dot{E}_{2s}e^{j\omega_2 t} + \dot{I}_2(r_2 + jx_{2s})e^{j\omega_2 t}$$

Nhân hai vế với $\frac{1}{s}e^{j\omega t} = \frac{1}{s}e^{j(\omega_1 - \omega_2)t}$

trong đó $\omega = \omega_1 - \omega_2$ là tốc độ góc của rôto;

$e^{j(\omega_1 - \omega_2)t}$ là hệ số quy đổi tần số,

ta có:

$$0 = -\dot{E}_2 e^{j\omega_1 t} + \dot{I}_2 \left(\frac{r_2}{s} + jx_2' \right) e^{j\omega_1 t}$$

hay:

$$0 = -\dot{E}_2 e^{j\omega_1 t} + \dot{I}_2(r_2 + jx_2 + \frac{1-s}{s} r_2) e^{j\omega_1 t}. \quad (16-20)$$

Về mặt toán học hai phương trình (16-18) và (16-20) không có gì thay đổi. Nhưng về mặt vật lý thì đã có sự khác nhau về bản chất. Thật vậy, phương trình (2-18) chỉ rõ quan hệ của điện áp trong mạch thứ cấp khi rôto quay với hệ số trượt s , trong đó s.d.d. có trị số là E_{2s} , tổng trở là $r_2 + jx_{2s}$, dòng điện là $\dot{I}_2$ tần số là f_2 . Còn phương trình (16-20) chỉ rõ quan hệ đó trong trường hợp rôto không quay và lúc này trên rôto như được nối tiếp thêm một điện trở giả tưởng $\frac{1-s}{s} r_2$. Bấy giờ trong mạch thứ cấp s.d.d.

là E_2 , tổng trở là $\frac{r_2}{s} + jx_2$ hay $r_2' + jx_2 + \frac{1-s}{s} r_2$, dòng điện vẫn là $\dot{I}_2$ nhưng tần số đã là f_1 .

Ta thấy trong hai trường hợp, trị số dòng điện $\dot{I}_2$ vẫn không thay đổi nhưng tần số thì đã khác nhau.

Ta đã thực hiện được phép quy đổi tần số ở mạch thứ cấp (rôto) về mạch sơ cấp (stato). Như vậy s.t.d. rôto F_2 hình thành về trị số không đổi, chỉ khác là ở phương trình trước quay với tốc độ ω_2 so với rôto (khi rôto quay với tốc độ ω); còn ở phương trình sau thì quay với tốc độ ω_1 so với rôto (khi rôto đứng yên). Nhưng

đối với stato mà nói thì ở cả hai trường hợp đều quay với tốc độ ω_1 . Vì vậy tác dụng với stato trong cả hai trường hợp đều như nhau. Từ đây ta rút ra một nhận xét quan trọng là dù rôto quay với tốc độ bất kỳ hay không quay thì s.t.d. stato F_1 và rôto F_2 bao giờ cũng quay đồng bộ với nhau.

Từ biểu thức (16-18) cho thấy khi rôto quay, máy sinh ra công suất cơ bằng $M\omega$, trong đó M là mômen quay, ω là tốc độ góc của rôto. Còn biểu thức (16-20) sau khi quy đổi thành trường hợp rôto đứng yên thì công suất cơ đó được biểu hiện dưới dạng

công suất điện mà trị số bằng $m_1 I_2'^2 r_2 \frac{1-s}{s}$; vì vậy công suất

điện tiêu thụ trên điện trở giả tưởng $\frac{1-s}{s} r_2$ đặc trưng cho

công suất cơ của động cơ điện không đồng bộ.

Do s.t.d. stato và rôto quay đồng bộ với nhau với tốc độ góc ω_1 nên phương trình cân bằng về s.t.d. vẫn được viết:

$$\begin{aligned} \vec{F}_1 + \vec{F}_2 &= \vec{F}_0 \\ \text{hay} \quad \vec{I}_1 + \vec{I}_2 &= \vec{I}_0 \end{aligned}$$

Tóm lại toàn bộ các phương trình cơ bản lúc rôto quay như sau:

$$\left. \begin{aligned} \vec{U}_1 &= -\vec{E}_1 + \vec{I}_1(r_1 + jx_1) \\ 0 &= \vec{E}_2 - \vec{I}_2'(\frac{r_2}{s} + jx_2') \\ \vec{E}_2 &= \vec{E}_1 \\ \vec{I}_1 + \vec{I}_2 &= \vec{I}_0 \\ -\vec{E}_1 &= \vec{I}_0 z_m \end{aligned} \right\} \quad (16-21)$$

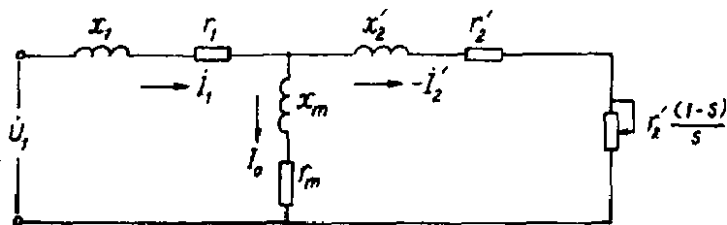
16.3.2. Mạch điện thay thế của máy điện không đồng bộ

Dựa vào các phương trình cơ bản (16-21), hoàn toàn tương tự như với m.b.a. ta có thể thiết lập được mạch điện thay thế hình T cho máy điện không đồng bộ khi rôto quay như ở hình 16-4.

Nhưng chú ý rằng đối với m.b.a. tổng trở z , mắc ở mạch thứ cấp là đặc trưng cho tải (điện) ở mạch ngoài, còn ở máy điện không

đồng bộ điện trở giả tưởng $\frac{1-s}{s} r_2'$ đặc trưng cho sự thể hiện công suất cơ trên trục của máy. Điện trở giả tưởng biến đổi, biểu thị cho sự thay đổi của tải trên trục máy.

Dùng mạch điện thay thế có thể tính ra dòng điện stato, rôto, mômen, công suất cơ, v.v... và những tham số khác thuộc về đặc tính làm việc. Như vậy ta đã chuyển việc tính toán một hệ thống điện-cơ (hoặc cơ-điện) của máy điện không đồng bộ thành việc tính toán một mạch điện đơn giản. Vì vậy mạch điện thay thế được sử dụng rộng rãi.



Hình 16-4. Mạch điện thay thế hình T của máy điện không đồng bộ

Thường để thuận lợi cho tính toán, người ta biến đổi mạch điện thay thế hình T thành mạch điện thay thế hình Γ đơn giản hơn. Các biến đổi như sau.

Từ hình 16-4, ta có:

$$i_2 = \frac{\dot{E}_1}{z_{2s}}$$

trong đó $z_{2s} = \frac{r_2'}{s} + jx_2$

$$i_o = -\frac{\dot{E}_1}{z_m}$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 - \dot{I}_2 = \frac{-\dot{E}_1}{z_m} + \frac{-\dot{E}_1}{z_{2s}}$$

$$\text{VI} \quad -\dot{E}_1 = \dot{I}_1 \frac{1}{\frac{1}{z_m} + \frac{1}{z_{2s}}}$$

$$\text{và} \quad -\dot{E}_1 = \dot{U}_1 - \dot{I}_1 z_1 = \dot{U}_1 + \dot{E}_1 \left(\frac{z_1}{z_m} + \frac{z_1}{z_{2s}} \right)$$

$$\text{nên} \quad -\dot{E}_1 = -\frac{\dot{U}_1}{1 + \frac{z_1}{z_m} + \frac{z_1}{z_{2s}}} = \frac{\dot{U}_1}{\dot{C}_1 + \frac{z_1}{z_{2s}}}$$

$$\text{trong đó:} \quad \dot{C}_1 = 1 + \frac{z_1}{z_m}$$

$$\text{Từ đó được:} \quad -\dot{I}_2 = \frac{-\dot{E}_1}{z_{2s}} = \frac{\dot{U}_1}{\dot{C}_1 z_{2s} + z_1}$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 - \dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_1 - \dot{I}_1 z_1}{z_m} + \frac{\dot{U}_1}{\dot{C}_1 z_{2s} + z_1}$$

Giải $\dot{I}_1$ ra được:

$$\dot{I}_1 \left(1 + \frac{z_1}{z_m} \right) = \dot{I}_1 \dot{C}_1 = \frac{\dot{U}_1}{z_m} + \frac{\dot{U}_1}{\dot{C}_1 z_{2s} + z_1}$$

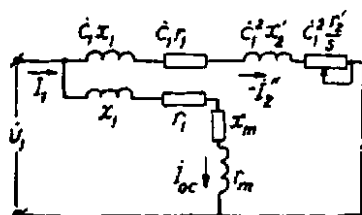
$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_1}{\dot{C}_1 z_m} + \frac{\dot{U}_1}{\dot{C}_1^2 z_{2s} + \dot{C}_1 z_1} = \dot{I}_{00} - \dot{I}_2 \quad (16-22)$$

$$\text{trong đó:} \quad \dot{I}_{00} = \frac{\dot{U}_1}{\dot{C}_1 z_m} = \frac{\dot{U}_1}{\left(1 + \frac{z_1}{z_m} \right) z_m} = \frac{\dot{U}_1}{z_1 + z_m}$$

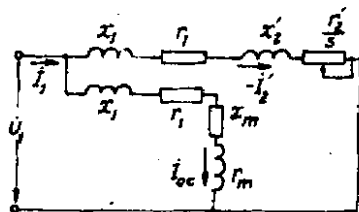
gọi là dòng điện không tải lý tưởng, nghĩa là dòng điện không tải ứng với lúc $s = 0$, tức $\frac{1-s}{s} r_2 = \infty$.

$$\text{và} \quad -\dot{I}_2' = \frac{\dot{U}_1}{\dot{C}_1^2 z_{2s} + \dot{C}_1 z_1} = -\frac{\dot{I}_2}{\dot{C}_1}$$

là dòng điện thứ cấp của mạch điện hình Γ .



Hình 16-5. Mạch điện thay thế hình Γ của máy điện không đồng bộ



Bình 16-6. Mạch điện thay thế hình Γ đơn giản hóa của máy điện không đồng bộ

Từ công thức (16-22) có thể vẽ mạch điện thay thế hình Γ như hình 16-5, trong đó nhánh giữa của mạch điện hình T đã được dịch ra phía trước.

Thực tế là $\dot{C}_1$ chỉ hơi lớn hơn 1 một ít, góc phức lại rất nhỏ nên có thể coi $\dot{C}_1 \approx C_1 = 1 + \frac{x_1}{x_m} \approx 1$, $\dot{I}_2' \approx I_2'$ và như vậy mạch điện đơn giản hóa hơn nữa như ở hình 16-6.

16.3.3. Hệ số quy đổi của dây quấn rôto lồng sóc

Khi vẽ mạch điện thay thế hay đồ thị vectơ, các tham số bên rôto đều được quy đổi sang bên stato. Các hệ số quy đổi đó là:

$$k_c = \frac{w_1 k_{dq1}}{w_2 k_{dq2}} \quad \text{và} \quad k_i = \frac{m_1 w_1 k_{dq1}}{m_2 w_2 k_{dq2}}$$

$$\text{và} \quad k = k_i \cdot k_c$$

Đối với dây quấn rôto lồng sóc, vì nó thuộc loại dây quấn đối xứng nhiều pha đặc biệt, mà số pha bằng số thanh dẫn của lồng sóc, nên nếu gọi Z_2 là số thanh dẫn thì ta có số pha $m_2 = Z_2$ và

số vòng dây của một pha $w_2 = 1/2$ (nghĩa là nửa vòng). Do đó hệ số dây quấn của lồng sóc là $k_{dq2} = 1$.

Từ đó hệ số quy đổi của dây quấn rôto lồng sóc sẽ là:

$$k_e = \frac{w_1 k_{dq1}}{w_2 k_{dq2}} = \frac{w_1 k_{dq1}}{\frac{1}{2} \cdot 1} = 2w_1 k_{dq1}$$

$$k_i = \frac{m_1 w_1 k_{dq1}}{m_2 w_2 k_{dq2}} = \frac{2m_1 w_1 k_{dq1}}{Z_2}$$

$$k = k_e \cdot k_i = \frac{4m_1}{Z_2} (w_1 k_{dq1})^2$$

16.4. CÁC CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC, GIÁN ĐỒ NĂNG LƯỢNG VÀ ĐỒ THỊ VÉCTƠ CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Như đã nói ở trên, máy điện không đồng bộ có thể làm việc ở ba chế độ, động cơ, máy phát và trạng thái hãm, tùy theo hệ số trượt s và có thể dùng mạch điện thay thế để nghiên cứu các đặc tính làm việc của máy ở ba chế độ đó.

16.4.1. Máy làm việc ở chế độ động cơ điện ($0 < s < 1$)

Động cơ điện lấy điện năng từ lưới điện vào với $P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1$. Một phần nhỏ của công suất đó biến thành tổn hao đồng của dây quấn stato $p_{Cu1} = m_1 I_1^2 r_1$ và tổn hao trong lõi sắt stato $p_{Fe} = m_1 I_{0r}^2 r_m$, còn lại phần lớn công suất đưa vào chuyển thành công suất điện từ P_{dt} truyền qua rôto. Như vậy:

$$P_{dt} = P_1 - p_{Cu1} - p_{Fe} = m_1 I_1^2 \frac{F_2}{s} \quad (16-23)$$

Vì trong rôto có dòng điện nên có tổn hao đồng trong rôto $p_{Cu2} = m_1 I_2^2 r_2$.

Do đó công suất cơ của động cơ điện $P_{cơ}$ bằng:

$$P_{cd} = P_{dt} = P_{Cu2} = m_1 I_2^2 \left(\frac{1-s}{s} \right) r_2 \quad (16-24)$$

Công suất đưa ra đầu trục động cơ điện P_2 sẽ nhỏ hơn công suất cơ vì khi máy quay có tổn hao cơ p_{c0} và tổn hao phụ p_f (sẽ nói ở chương sau), nghĩa là:

$$P_2 = P_{cd} - (p_{c0} + p_f). \quad (16-25)$$

Như vậy tổng tổn hao trong động cơ điện bằng:

$$\Sigma p = p_{Cu1} + p_{Fe} + p_{Cu2} + p_{cd} + p_f$$

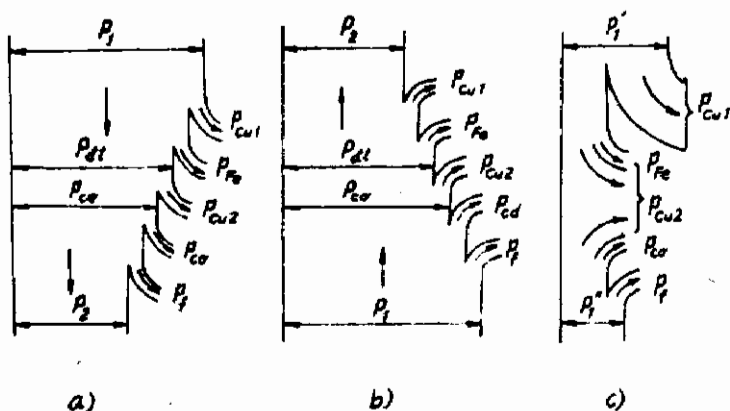
và công suất đưa ra đầu trục:

$$P_2 = P_1 - \Sigma p$$

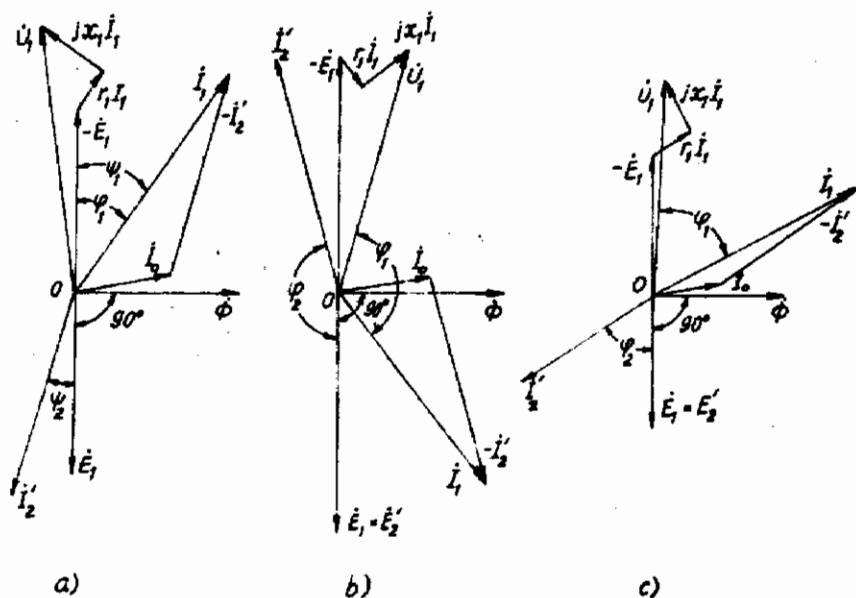
Hiệu suất của động cơ điện:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = 1 - \frac{\Sigma p}{P_1} \quad (16-26)$$

Giản đồ năng lượng của động cơ điện không đồng bộ như ở hình 16-7a. Cũng giống như m.b.a, đồ thị véctơ của động cơ điện không đồng bộ có thể vẽ theo các phương trình cơ bản (16-21) như ở hình 16-8a.



Hình 16-7. Giản đồ năng lượng của máy điện không đồng bộ: a. chế độ động cơ điện; b. chế độ máy phát điện; c. trạng thái hãm



Hình 16-8. Đồ thị vectơ của máy điện không đồng bộ: a. ở chế độ động cơ; b. ở chế độ máy phát; c. ở trạng thái hãm

Theo mạch điện thay thế hình T ở hình 16-4, có thể thấy rõ sự phân phối công suất phản kháng trong máy điện không đồng bộ. Động cơ điện không đồng bộ lấy từ lưới vào một công suất phản kháng bằng:

$$Q_1 = m_1 U_1 I_1 \sin \varphi_1 \quad (16-27)$$

Một phần nhỏ công suất phản kháng này được sử dụng để sinh ra từ trường tản trong mạch điện sơ cấp:

$$q_1 = m_1 I_1^2 x_1 \quad (16-28)$$

$$\text{và thứ cấp } q_2 = m_1 I_2^2 x_2.$$

Phần lớn công suất phản kháng còn lại dùng để sinh ra từ trường khe hở:

$$Q_m = m_1 E_1 I_o = m_1 I_o^2 x_m \quad (16-29)$$

Do đó ta có:

$$Q_1 = Q_m + q_1 + q_2 = m_1 U_1 I_1 \sin \varphi_1 \quad (16-30)$$

Giản đồ công suất phản kháng của động cơ điện không đồng bộ được thể hiện trong hình 16-9.

Do trong máy điện không đồng bộ khe hở lớn hơn trong máy m.b.a., nên dòng điện từ hóa I_o trong máy điện không đồng bộ lớn hơn dòng điện từ hóa trong m.b.a. Do Q_m và I_o tương đối lớn nên hệ số công suất $\cos \varphi$ của máy thấp. Thường trong động cơ điện không đồng bộ, $\cos \varphi_{dm} = 0,7 + 0,95$; khi không tải $\cos \varphi$ rất thấp, thường $\cos \varphi_o = 0,1 + 0,15$.

16.4.2. Máy làm việc ở chế độ máy phát điện ($-\infty < \sigma < 0$)

Khi hệ số trượt s có giá trị âm thì công

suất cơ $P_{co} = m_1 I_2^2 \left(\frac{1-s}{s} \right) r_2$ có trị số

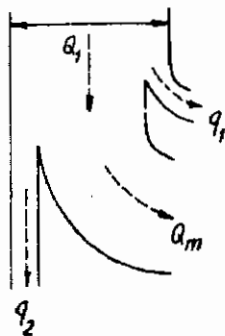
âm, nghĩa là máy lấy công suất cơ vào.

Ngoài ra ta có:

$$\tan \psi_2 = \frac{x_2}{r_2/s} = \frac{s x_2}{r_2} < 0$$

nên góc pha ψ_2 giữa s.d.d. E_2 và dòng điện I_2 nằm trong khoảng $90^\circ < \psi_2 < 180^\circ$. Từ đồ thị vectơ của máy phát không đồng bộ (hình 16-8b) ta thấy $\varphi_1 > 90^\circ$, do đó công suất điện $P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1 < 0$ nên máy phát công suất điện tác dụng vào lưới.

Tuy vậy công suất phản kháng $Q_1 = m_1 U_1 I_1 \sin \varphi_1 > 0$, do đó máy vẫn nhận công suất phản kháng từ lưới vào như ở trường hợp động cơ điện. Đó là đặc điểm của máy phát không đồng bộ.



Hình 16-9. Giản đồ công suất phản kháng của động cơ điện không đồng bộ

Giản đồ năng lượng của máy phát không đồng bộ như ở hình 16-7b.

16.4.3. Máy làm việc ở chế độ hãm ($1 < s < +\infty$)

Khi $s > 1$ thì công suất cơ $P_{co} = m_1 I_2^2 \left(-\frac{1-s}{s} \right) r_2 < 0$, nên máy lấy công suất cơ từ ngoài vào. Công suất điện từ $P_{dt} = m_1 I_2^2 r_2 / s > 0$ nên máy cũng lấy công suất điện từ lưới vào. Tất cả công suất cơ và điện lấy ở ngoài vào đều biến thành tổn hao đồng trên mạch rôto:

$$\begin{aligned} P_{dt} + (-P_{co}) &= m_1 I_2^2 r_2^2 / s + [-m_1 I_2^2 \left(-\frac{1-s}{s} \right) r_2] \\ &= m_1 I_2^2 r_2 = P_{Cu2}. \end{aligned}$$

Vì tất cả năng lượng lấy vào đều tiêu thụ trên máy nên trên quan điểm phát nhiệt thì khi $U_1 = U_{dm}$ chỉ cho phép máy làm việc trong khoảng thời gian tương đối ngắn.

Trong trường hợp máy làm việc ở chế độ hãm, đồ thị vectơ giống như trường hợp làm việc ở chế độ động cơ. Giản đồ năng lượng và đồ thị vectơ của máy hãm được trình bày ở hình 16-7c và 16-8c.

16.5. BIỂU THỨC MÔMEN ĐIỆN TỬ CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Vì máy điện không đồng bộ thường được dùng làm động cơ điện, nên khi phân tích sẽ lấy động cơ điện làm thí dụ và xuất phát từ quá trình vật lý về trao đổi năng lượng tìm ra công thức về mômen để tìm ra quan hệ giữa năng lượng trao đổi với mômen điện từ.

Cũng giống như những máy điện khác, động cơ điện không đồng bộ lúc làm việc phải khác phục mômen tải bao gồm mômen không tải M_0 và mômen cản của tải M_2 . Vì vậy phương trình cân bằng mômen lúc làm việc ổn định là:

$$M = M_0 + M_2 \quad (16-31)$$

trong đó M là mômen điện từ của động cơ điện.

$$\text{VI} \quad M_0 = \frac{P_{\text{cơ}} + P_f}{\omega}; \quad M_2 = \frac{P_2}{\omega}$$

trong đó:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} - \text{tốc độ góc của rôto; } n - \text{tốc độ quay của rôto, nên}$$

biểu thức (16-31) có thể viết dưới dạng:

$$M = \frac{P_{\text{cơ}} + P_f + P_2}{\omega} = \frac{P_{\text{cơ}}}{\omega} \quad (16-32)$$

Mặt khác mômen điện từ do từ trường quay Φ và dòng điện rôto I_2 tác dụng lẫn nhau mà sinh ra và từ trường đó quay với tốc độ đồng bộ n_1 , do đó quan hệ giữa công suất điện từ và mômen điện từ như sau:

$$M = \frac{P_{\text{đt}}}{\omega_1} \quad (16-33)$$

trong đó $\omega_1 = \frac{2\pi n_1}{60}$ là tốc độ góc đồng bộ của từ trường quay.

Từ (16-32) và (16-33) ta rút ra được:

$$P_{\text{cơ}} = \frac{\omega}{\omega_1} P_{\text{đt}} = \frac{n}{n_1} P_{\text{đt}} = (1 - s) P_{\text{đt}} \quad (16-34)$$

và tổn hao đồng trên rôto bằng:

$$P_{\text{Cu2}} = P_{\text{đt}} - P_{\text{cơ}} = s P_{\text{đt}} \quad (16-35)$$

$$\text{VI} \quad P_{\text{đt}} = m_2 E_2 I_2 \cos \psi_2$$

nên ta có:

$$P_{\text{cơ}} = m_2 (1-s) E_2 I_2 \cos \psi_2 \quad (16-36)$$

Do $E_2 = \sqrt{2} \pi f_1 w_2 k_{\text{dq2}} \Phi$, trong đó tần số lưới $f_1 = \frac{pn_1}{60}$ và tốc độ góc của rôto $\omega = (1 - s) \frac{2\pi n_1}{60}$ nên đem thế vào (16-36) ta

được mômen điện từ của máy điện không đồng bộ:

$$M = \frac{P_{co}}{\omega_1} = \frac{1}{\sqrt{2}} m_2 p \omega_2 k_{dq2} \Phi I_2 \cos \psi_2 \quad (16-37)$$

Biểu thức (16-37) viết theo hệ đơn vị SI, do đó đơn vị là $N.m$, nếu muốn đổi thành $kG.m$ thì phải chia cho 9,81.

Từ những quan hệ trên ta thấy rõ vấn đề trao đổi năng lượng từ điện sang cơ (hay ngược lại) trong máy điện không đồng bộ. Cách chuyển hóa năng lượng này về mặt điện phụ thuộc vào góc lệch pha giữa s.d.d. và dòng điện, về mặt cơ thì phụ thuộc vào mômen điện từ và tốc độ quay của máy.

Thường chúng ta lợi dụng mạch điện thay thế để tính ra mômen điện từ theo hệ số trượt s. Theo mạch điện thay thế hình 1 của máy điện không đồng bộ (hình 16-25), ta có:

$$I_2 = C_1 I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{(r_1 + C_1 r_2/s)^2 + (x_1 + C_1 x_2)^2}}$$

$$\text{và } P_{d1} = m_1 I_2'^2 r_2/s = \frac{m_1 U_1^2 r_2/s}{(r_1 + C_1 r_2/s)^2 + (x_1 + C_1 x_2)^2}$$

Từ đó ta được quan hệ giữa mômen điện từ với hệ số trượt s:

$$M = \frac{P_{d1}}{\omega_1} = \frac{m_1 U_1^2 p r_2/s}{2\pi f_1 [(r_1 + C_1 r_2/s)^2 + (x_1 + C_1 x_2)^2]} \quad (16-38)$$

$$\text{trong đó: } \omega_1 = \frac{2\pi f_1}{p}$$

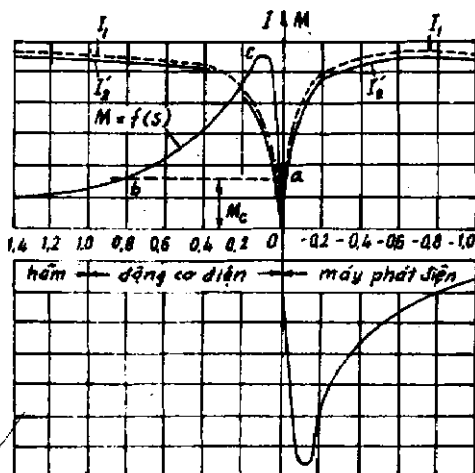
Công thức trên có đơn vị là $N.m$, muốn đổi thành $kG.m$ thì phải chia cho 9,81.

Từ (16-38) trên, ta rút ra được những nhận xét chung sau về mômen điện từ của máy điện không đồng bộ:

- Với tần số và tham số cho trước, mômen điện từ tỷ lệ với bình phương của điện áp.

• Mômen tỷ lệ nghịch với điện kháng $(x_1 + C_1 x_2)$ khi tần số cho trước.

Dòng điện và mômen của máy điện không đồng bộ là hai tham số rất quan trọng để chỉ tính năng của máy. Trong những công thức trên, dòng điện và mômen đều là hàm của s , do đó có thể vẽ được đặc tính $I = f(s)$ và $M = f(s)$ như ở hình 16-10. Trên hình vẽ đó có thể thấy được trị số mômen của máy điện không đồng bộ ở chế độ động cơ điện ($0 < s < 1$), ở chế độ máy phát điện ($s < 0$) và ở trạng thái hãm ($s > 1$).



Hình 16-10. Đường biểu diễn mômen điện từ và dòng điện theo hệ số trượt

Muốn tìm mômen cực đại ta lấy đạo hàm $dM/ds = 0$ và được hệ số trượt s_m ứng với mômen cực đại M_{max} :

$$s_m = \frac{\pm C_1 r_2}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + C_1 x_2)^2}} \quad (16-39)$$

và mômen cực đại bằng:

$$M_{max} = \pm 2C_1 \frac{1}{2\pi f_1} \frac{m_1 p U_1^2}{[\pm r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + C_1 x_2)^2}]^2} \quad (16-40)$$

Trong công thức (16-40), dấu "+" dùng cho động cơ điện, dấu "-" dùng cho máy phát điện. Thường r_1^2 không vượt quá 5% $(x_1 + C_1 x_2)^2$ nên có thể bỏ qua. Như vậy ta có:

$$M_{max} = \pm \frac{1}{2C_1} \frac{m_1 p U_1^2}{2\pi f_1 [\pm r_1 + (x_1 + C_1 x_2)]} \quad (16-41)$$

Ta rút ra những nhận xét về mômen cực đại:

- Với tần số và tham số cho trước $M_{\max}$ tỷ lệ với U_1^2 ;
- $M_{\max}$ không phụ thuộc vào điện trở của rôto;
- Điện trở rôto r_2 càng lớn thì s_m càng lớn;
- Với tần số cho trước, $M_{\max}$ tỷ lệ nghịch với điện kháng $(x_1 + C_1 x_2)$.

Dòng điện mở máy và mômen mở máy có thể tìm ra được khi đem $s = 1$ thế vào công thức (16-41). Ta có mômen mở máy bằng:

$$M_k = \frac{m_1 p U_1^2 r_2}{2\pi f_1 [(r_1 + C_1 r_2)^2 + (x_1 + C_1 x_2)^2]} \quad (16-42)$$

Ta có nhận xét về mômen mở máy như sau:

- Với tần số và tham số cho trước M_{mm} tỷ lệ với U_1^2 ;
- Muốn cho khi mở máy $M_k = M_{\max}$ thì phải tăng điện trở r_2 lên. Theo công thức (16-42) điều đó được thực hiện khi:

$$s_m = \frac{C_1 r_2}{x_1 + C_1 x_2} = 1.$$

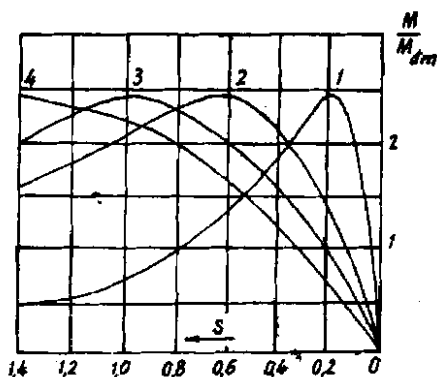
Như vậy điện trở rôto lúc đó bằng:

$$C_1 r_2 = x_1 + C_1 x_2.$$

- Với tần số cho trước thì M_k tỷ lệ nghịch với điện kháng $(x_1 + C_1 x_2)$.

Các đường biểu diễn 1, 2, 3, 4 trong hình 16-11 chỉ đặc tính $M = f(s)$ khi điện trở rôto tăng dần.

Trong thực tế thường không biết các tham số của máy điện không đồng bộ nên có thể dùng công



Hình 16-11. Đặc tính $M = f(s)$ với điện trở rôto khác nhau

thức thực dụng (gọi là biểu thức Klôx) để tính mômen. Biểu thức Klôx có thể tìm ra như sau. Từ (16-38) và (16-40) ta có:

$$\frac{M}{M_{\max}} = \frac{2C_1 r_2 [r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + C_1 x_2)^2}]}{s[(r_1 + C_1 \frac{r_2}{s})^2 + (x_1 + C_1 x_2)^2]} \quad (16-43)$$

Mặt khác theo (16-39), ta có:

$$\sqrt{r_1^2 + (x_1 + C_1 x_2)^2} = \frac{C_1 r_2}{s_m}$$

Đem thế vào (16-43) ta được:

$$\frac{M}{M_{\max}} = \frac{2(1 + \frac{r_1}{C_1 r_2} s_m)}{\frac{s}{s_m} + \frac{s_m}{s} + \frac{2r_1}{C_1 r_2} s_m} \quad (16-44)$$

Trong máy điện không đồng bộ thường $r_1 = r_2$ mà $s_m = 0,1 \div 0,2$ nên $\frac{r_1}{C_1 r_2} s_m$ rất nhỏ so với số hạng đứng trước nên ta có thể viết công thức (16-44) như sau:

$$\frac{M}{M_{\max}} = \frac{2}{\frac{s}{s_m} + \frac{s_m}{s}}$$

Đó là biểu thức Klôx.

Thường trong lý lịch máy cho biết tỷ số $k_m = \frac{M_{\max}}{M_{dm}}$ và hệ số

trượt ứng với công suất định mức s_{dm} . Lợi dụng những trị số đó tính ra được s_m . Thế vào biểu thức Klôx có thể tính được mômen theo hệ số trượt s . Tỷ số k_m gọi là năng lực quá tải của động cơ điện không đồng bộ. Nó phản ánh khả năng quá tải mà động cơ điện có thể chịu được.

Như đã nói ở chương trước, mômen đầu trục M_2 của động cơ điện không đồng bộ nhỏ hơn mômen điện từ một ít và bằng:

$$M_2 = M - M_0$$

trong đó M_0 là mômen không tải.

Do M_0 rất nhỏ so với mômen đầu trục M_2 nên đặc tính cơ của động cơ điện $M_2 = f(n)$ có thể coi bằng $M = f(n)$, do đó đường đặc tính cơ của động cơ điện không đồng bộ có dạng như đường đặc tính $M = f(s)$ vẽ ở hình 16-10.

Cuối cùng phân tích qua sự ổn định của động cơ điện không đồng bộ lúc làm việc. Giả sử động cơ điện làm việc với một mômen tải M_c nào đó. Theo phương trình cân bằng về mômen thì động cơ điện có thể làm việc ở hai điểm a và b (hình 16-10). Xét trường hợp máy làm việc ở điểm a . Vì lý do nào đấy đột nhiên M_c tăng lên thì lúc đó $M_c > M$ nên tốc độ của máy sẽ chậm lại. Ta thấy lúc đó M tăng lên cân bằng với M_c và động cơ điện sẽ làm việc ổn định ở thể cân bằng mới. Khi máy làm việc ở điểm b thì tình hình không như thế. Lúc này nếu M_c tăng lên thì do $M_c > M$ nên tốc độ chậm lại. Nhưng lúc đó M lại giảm đi nên M_c càng lớn hơn M nên không thể ở thể cân bằng về mômen được nữa và tốc độ tiếp tục giảm đến không. Ta nói máy làm việc ở điểm b không ổn định. Từ đó ta thấy động cơ điện không đồng bộ chỉ làm việc ổn định ở đoạn OC trên đường biểu diễn $M = f(s)$,

nghĩa là trong điều kiện $\frac{dM}{ds} > \frac{dM_c}{ds}$ (hay là $\frac{dM_c}{dn} > \frac{dM}{dn}$).

16.6. MÔMEN PHỤ CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Khi phân tích về mômen và đặc tính $M = f(s)$ ở trên, chúng ta chỉ xét đến tác dụng của từ trường sóng cơ bản. Nhưng s.t.d. và từ cảm trong máy điện không phải hoàn toàn phân bố theo hình sin, nghĩa là s.t.d. của dây quấn stato và rôto ngoài sóng cơ bản ra còn có sóng bậc cao trong đó bao gồm sóng điều hòa răng. Mặt khác khe hở không khí không đều do stato và rôto đều có

rãnh và răng cho nên với s.t.đ. phân bố hình sin cũng không thể có được từ cảm khe hở phân bố hình sin mà s.t.đ. khe hở đó có sóng điều hòa bậc cao. Những từ trường sóng bậc cao đó quay với những tốc độ khác nhau và cùng sinh ra mômen. Những mômen đó gọi là mômen phụ của máy điện.

Cũng giống như mômen do sóng cơ bản của từ trường sinh ra, những mômen phụ này đều là hàm của tốc độ quay của máy điện. Mặc dầu những mômen phụ này rất yếu so với mômen do sóng cơ bản của từ trường sinh ra nhưng trong những trường hợp nhất định như ở tốc độ thấp nó có thể sinh ra mômen hãm tương đối lớn làm cho mômen của máy điện giảm xuống rõ rệt ảnh hưởng đến sự làm việc của máy điện, nhất là trong quá trình mở máy của động cơ điện không đồng bộ.

16.6.1. Các loại mômen phụ

Mômen phụ do từ trường sóng bậc cao sinh ra chia làm ba loại chính sau:

1. Mômen phụ không đồng bộ

Như ta đã biết, dù tốc độ rôto như thế nào, s.t.đ. sóng cơ bản của stato và rôto đều quay trong không gian với tốc độ đồng bộ n_1 , do đó sinh ra mômen điện từ và có đặc tính $M = f(s)$ như đã phân tích ở trên. Khái niệm này cũng thích ứng cho cả các sóng điều hòa.

Các sóng điều hòa của s.t.đ. stato có tốc độ quay khác nhau và cảm ứng trên rôto những s.t.đ. quay có cùng tốc độ và số đôi cực do đó cùng sinh ra mômen. Như trong Chương 11, phần thứ hai đã phân tích, những sóng bậc $\nu = 6k + 1$ quay thuận và sóng bậc $\nu = 6k - 1$ quay nghịch (k là một số nguyên bất kỳ 1, 2, ...) và tốc độ quay của từ trường sóng bậc ν là:

$$n_\nu = \pm \frac{1}{\nu} n_1$$

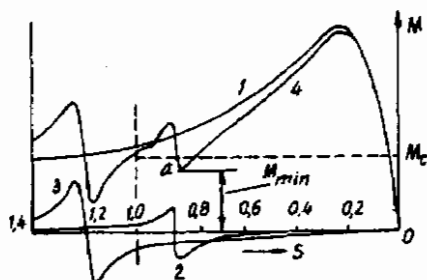
Trong các sóng bậc cao thì sóng bậc 5 và 7 quan trọng hơn cả

vì biên độ tương đối lớn và mômen phụ sinh ra ảnh hưởng nhiều đến mômen của máy điện.

Sóng bậc 7 quay thuận với tốc độ đồng bộ $n_7 = \frac{1}{7}n_1$ cho nên khi tốc độ máy nằm trong khoảng $0 < n < \frac{1}{7}n_1$ thì với từ trường sóng bậc 7 máy ở chế độ động cơ điện, khi $n > \frac{1}{7}n_1$ máy sẽ ở chế độ máy phát điện. Trong hình 16-12 đường 2 là đường $M = f(s)$ do từ trường sóng bậc 7 sinh ra.

Sóng bậc 5 quay nghịch với tốc độ đồng bộ $n_5 = -\frac{1}{5}n_1$ cho nên tốc độ đồng bộ của nó ở trong khu vực $s > 1$ (trạng thái hãm) của máy điện. Vì từ trường sóng bậc 5 quay nghịch nên khi tốc độ rôto ở trong khoảng $-\frac{1}{5}n_1 < n < n_1$ mômen sinh ra là âm và chỉ khi $n < \frac{1}{5}n_1$ thì mômen mới có trị số dương. Đường 3 trong hình 16-12 biểu thị mômen do từ trường sóng bậc 5 sinh ra. Đường 4 trong hình 16-12 là mômen tổng khi xét đến ảnh hưởng của mômen phụ sóng bậc 5 và bậc 7. Ta thấy rõ ở quãng tốc độ bằng $\frac{1}{7}$ tốc độ đồng bộ có một mômen cực tiểu $M_{\min}$ thì động cơ điện sẽ dừng ở tốc độ tương ứng với điểm a ở hình 16-12.

Ngoài sóng bậc 5 và 7 ra thì trong các sóng bậc cao khác chỉ có sóng điều hòa bậc 6 có ảnh hưởng rõ ràng

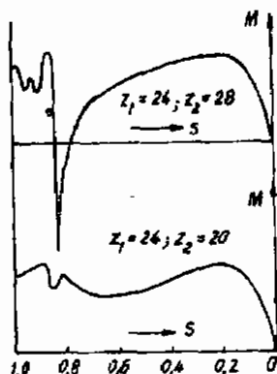


Hình 16-12. Đặc tính $M = f(s)$ khi có cả sóng điều hòa bậc 5, 7 của từ trường

2. Mômen phụ đồng bộ

Mômen phụ đồng bộ sinh ra do một sóng điều hòa bậc cao nào đó của từ trường stato tác dụng với một sóng điều hòa bậc cao có

cùng số đôi cực của từ trường rôto. Tác dụng này giống như trong máy điện đồng bộ, chỉ khi nào hai sóng điều hòa cùng số đôi cực đó có tốc độ trong không gian như nhau mới sinh ra, được mômen. Vì sóng điều hòa của rôto có tốc độ nhất định nên rôto phải có một tốc độ nhất định nào đó mới có thể sinh ra mômen được.



Hình 16-13. Đặc tính $M = f(s)$ với $2p = 4$: a. $Z_1 = 24$, $Z_2 = 28$; b. $Z_1 = 24$, $Z_2 = 20$.

Kết quả phân tích chứng minh rằng, khi $Z_1 = Z_2$ hoặc $Z_1 - Z_2 = \pm 2p$ thì sẽ có mômen phụ đồng bộ. Hình 16-13 vẽ đường $M = f(s)$ với kiểu phối hợp rãnh đó.

3. Mômen sinh ra chấn động và tạp âm do từ trường sóng điều hòa gây nên

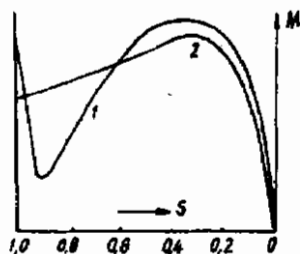
Động cơ điện khi làm việc thường kêu và rung. Những tạp âm và chấn động đó ngoài nguyên nhân cơ khí ra, trong nhiều trường hợp là do lực từ kéo lệch trong khe hở sinh ra. Khi trục của rãnh stato và rãnh rôto trùng nhau thì lực kéo đó càng lớn. Nếu trên chu vi khe hở không có chỗ đối xứng nào giống như vậy thì sẽ sinh ra lực từ kéo lệch một chiều theo hướng kính. Khi rôto quay, lực từ lệch đó cũng quay làm máy rung và tần số rung đó trùng với tần số rung tự nhiên thì sẽ sinh ra cộng hưởng nghiêm trọng. Kết quả phân tích cho thấy $Z_1 = Z_2 \pm 1 \pm 2p$ thì sẽ rung.

16.6.2. Phương pháp trừ khử mômen phụ

Nguyên nhân sinh ra mômen phụ là do s.t.d. sóng điều hòa

trong đó có s.t.d. sóng điều hòa răng. Vì vậy muốn trừ khử mômen phụ thì phải làm yếu s.t.d. sóng điều hòa đi.

Muốn làm yếu sóng bậc 5 hay bậc 7 có thể dùng dây quấn bước ngắn. Muốn làm yếu sóng điều hòa răng thì chọn phối hợp rãnh thích đáng. Trong các sách về thiết kế thường có giới thiệu những cách phối hợp rãnh tốt. Một phương pháp có hiệu quả nữa là dùng rãnh chéo ở rôto, thường là chéo một bước răng.



Hình 16-14. Đặc tính mômen của động cơ điện không đồng bộ có rãnh chéo ở rôto

Như đã phân tích ở Chương 9, phần thứ hai, tác dụng của rãnh chéo là làm cho s.t.d. của rãnh phân phối đều trên quãng chéo mà không tập trung tại một điểm nên có thể làm yếu sóng điều hòa răng của đường phân bố s.t.d. khe hở tổng. Hình 16-14 chỉ rõ tác dụng của rãnh chéo trong việc trừ khử mômen phụ. Trong hình, đường 1 là đường $M = f(s)$ ứng với rãnh không chéo; đường 2 ứng với rãnh chéo. Rãnh chéo thường dùng trong động cơ điện rôto lồng sóc công suất nhỏ.

16.7. CÁC ĐƯỜNG ĐẶC TÍNH CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

16.7.1. Đặc tính tốc độ $n = f(P_2)$

Theo công thức về hệ số trượt ta có:

$$n = n_1(1 - s)$$

trong đó:
$$s = \frac{P_{Cu2}}{P_{dt}}$$

Khi không tải, tổn hao đồng trên rôto p_{Cu2} rất nhỏ so với công suất điện từ nên hệ số trượt $s \approx 0$, động cơ điện quay gần tốc độ

đồng bộ $n \approx n_1$. Khi tải tăng lên thì tổn hao p_{Cu2} cũng tăng lên nên tốc độ giảm xuống một ít. Thường khi tải định mức, hệ số trượt vào khoảng $1,5 \div 5\%$. Đặc tính $n = f(P_2)$ là một đường hơi dốc xuống (hình 16-15).

16.7.2. Đặc tính mômen $M = f(P_2)$

Theo đường $M = f(s)$ thì mômen thay đổi rất nhiều theo hệ số trượt s , nhưng trong phạm vi $0 < s < s_m$ thì đường $M = f(s)$ rất gần giống đường thẳng mà s_m lại tương đối nhỏ vì vậy đặc tính mômen $M = f(P_2)$ cũng gần giống đường thẳng. Trong phạm vi làm việc bình thường, do tốc độ thay đổi ít nên mômen không tải M_0 hầu như không đổi và quan hệ giữa mômen đưa ra $M_2 = M - M_0$ với công suất đưa ra P_2 cũng gần giống đường thẳng.

16.7.3. Tổn hao và hiệu suất $\eta = f(P_2)$

Tổn hao trong máy điện không đồng bộ bao gồm tổn hao đồng trong stato và rôto, tổn hao sắt trong stato, tổn hao cơ và tổn hao phụ. Tổn hao sắt trong rôto rất nhỏ do tần số thấp nên có thể bỏ qua.

Tổn hao phụ bao gồm tổn hao phụ trong đồng và sắt. Tổn hao phụ trong đồng gồm có tổn hao do hiệu ứng mặt ngoài gây nên và do sóng bậc cao của từ thông sinh ra dòng điện trong rôto. Thường dùng dây quấn stato có bước ngắn, rãnh chéo ở rôto, chọn phối hợp rãnh thích hợp như $Z_2 \leq 1,25Z_1$ để giảm bớt tổn hao phụ.

Tổn hao phụ trong sắt cũng do sóng bậc cao của từ thông gây nên. Trong máy điện không đồng bộ, tổn hao sinh ra trên bề mặt của rôto do ảnh hưởng của miệng rãnh stato và tổn hao đập mạch trên răng rôto tương đối lớn. Hai loại tổn hao này trên stato cũng có nhưng vì miệng rãnh rôto rất nhỏ nên có thể bỏ qua.

Tính tổn hao phụ rất phức tạp nên thường lấy bằng $0,5\%$ công suất đưa vào.

Trong các tổn hao thì tổn hao đồng thay đổi theo bình phương của dòng điện, còn các tổn hao khác không đổi theo tải.

Hiệu suất của máy bằng:

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \sum p} 100\%$$

trong đó $\sum p$ là tổng tổn hao của máy.

Đường biểu diễn $\eta = f(P_2)$ như ở hình 16-15. Thường thiết kế $\eta_{\max}$ vào khoảng $0,5 \div 0,75 P_{2dm}$.

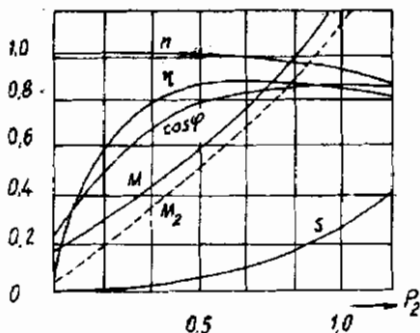
16.7.4. Hệ số công suất $\cos \varphi = f(P_2)$

Vì máy điện không đồng bộ phải lấy công suất kích từ từ lưới vào nên $\cos \varphi$ luôn luôn nhỏ hơn 1 và chậm sau. Lúc không tải, $\cos \varphi$ rất thấp, thường không vượt quá 0,2. Khi có tải, do dòng điện I_2 tăng lên nên $\cos \varphi$ cũng tăng lên và đạt trị số lớn nhất khi tải xấp xỉ định mức.

16.7.5. Năng lực quá tải $k_m = \frac{M_{\max}}{M_{dm}}$

Khi máy điện làm việc bình thường thì $M \leq M_{dm}$. Nhưng trong một thời gian ngắn máy có thể chịu tải lớn hơn (quá tải) mà không xảy ra hư hỏng gì. Trong động cơ điện không đồng bộ năng lực quá tải k_m đó bằng $1,6 \div 1,8$ đối với máy nhỏ và bằng $1,8 \div 2,5$ đối với máy vừa và lớn.

Trong máy điện không đồng bộ, dòng điện mở máy, mômen mở máy, mômen cực đại, hiệu suất và hệ số công suất đều tiêu chuẩn hóa



Hình 16-15. Đặc tính làm việc của máy không đồng bộ

Các đặc tính làm việc của máy điện không đồng bộ được biểu thị trên hình 16-15.

16.8. CÁC ĐẶC TÍNH CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ TRONG ĐIỀU KIỆN KHÔNG ĐỊNH MỨC

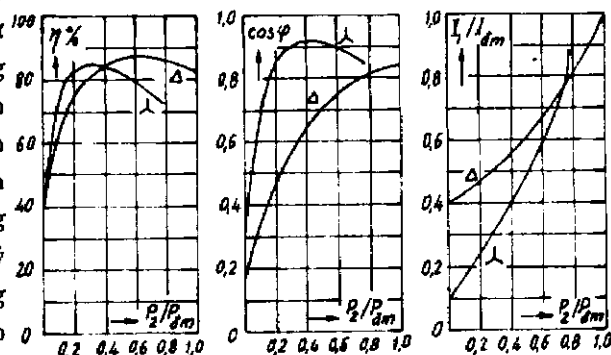
16.8.1. Điện áp không định mức

Đây là trường hợp thường gặp trong thực tế và thường $U < U_{dm}$ khi lấy điện ở cuối đường dây tải điện.

Giả thiết điện áp đặt vào động cơ điện không đồng bộ thấp hơn điện áp định mức. Như ta đã biết $M \equiv U^2$ nên mômen sẽ giảm bình phương lần so với điện áp. Nếu bỏ qua điện áp rơi trong dây quấn stato thì $U_1 \approx E_1 \equiv \Phi$, do đó khi U_1 giảm thì s.d.d. E_1 và từ thông Φ cũng giảm theo với mức độ như vậy. Nếu mômen tải không đổi thì vì $M = C_m \Phi I_2 \cos \varphi_2$ nên I_2 phải tăng lên và tỷ lệ nghịch với sự biến thiên của Φ làm máy nóng lên.

Khi điện áp giảm, hệ số công suất có xu hướng tăng lên, điều đó đặc biệt rõ rệt khi tải nhỏ vì dòng điện từ hóa của động cơ điện giảm xuống.

Về mặt tổn hao, điện áp giảm có ảnh hưởng như sau: tổn hao trong thép giảm đi gần tỷ lệ với bình phương của điện áp, tổn hao đồng trong rôto tăng tỷ lệ với bình phương dòng điện, tổn hao đồng trong stato phụ thuộc vào quan hệ giữa dòng



Hình 16-16. Các đặc tính làm việc của động cơ điện không đồng bộ khi đổi nối dây quấn từ Δ sang Y

điện từ hóa I_0 và I_2 , trong đó I_0 giảm đi còn I_2 lại tăng lên. Rút cục ở những tải nhỏ (dưới 40%) tổn hao có giảm đi, nên hiệu suất của động cơ điện hơi tăng lên so với lúc máy ở điện áp định mức, nhưng khi tải lớn hơn thì hiệu suất bắt đầu giảm nhanh. Qua đây ta thấy khi máy làm việc tải nhẹ ($< 50\% P_{dm}$) thì nên giảm điện áp máy xuống (nếu thường dấu Δ thì chuyển thành dấu Y) để có tính năng về $\cos\varphi$ và hiệu suất tốt hơn (hình 16-16).

16.8.2. Tần số không định mức

Nói chung tần số của lưới giữ rất đúng tiêu chuẩn. Nhưng ở những trạm phát điện nhỏ, khi tải thay đổi thì tốc độ quay của động cơ kéo có thể thay đổi làm tần số lưới thay đổi. Theo điều kiện kỹ thuật, khi tần số f thay đổi trong khoảng $\pm 5\% f_{dm}$ thì coi như định mức.

Nếu không kể đến điện áp rơi trên dây quấn stato có thể coi $U = E \equiv f(\Phi)$. Khi U không đổi thì $\Phi \equiv \frac{1}{f}$. Vì vậy $f \neq f_{dm}$ ví dụ như $f < f_{dm}$ thì Φ phải tăng lên, do đó I_0 tăng rất nhiều và tổn hao sắt p_{Fe} cũng tăng lên, $\cos\varphi_1$ giảm xuống. Tần số giảm xuống còn làm cho tốc độ giảm xuống $[n = \frac{60f_1}{p} (1 - s)]$ nên điều kiện

làm nguội máy cũng giảm đi vì phải giảm công suất của máy xuống. Mặt khác vì M giữ không đổi nên khi f giảm làm Φ tăng, nên I_2 giảm và do $sP_{dl} = p_{Cu2} = m_1 I_2^2 r_2$ nên hệ số trượt s cũng giảm xuống. Ngoài ra mômen cực đại của động cơ điện biến thiên tỷ lệ nghịch với bình phương của tần số.

16.8.3. Điện áp đặt vào không đối xứng

Có thể phân tích hệ thống điện áp sơ cấp thành các hệ thống thứ tự thuận, nghịch và không. Khi các dây quấn nối Δ hay Y và điểm trung tính không nối đất như thường gặp trong các động cơ

điện không đồng bộ thì hệ thống điện áp thứ tự không, không ảnh hưởng đến sự làm việc của động cơ và ta có thể không chú ý tới.

Hệ thống điện áp thứ tự nghịch tạo nên từ trường quay ngược nên hệ số trượt của rôto đối với từ trường nghịch này $2 - s > 1$ và mômen do từ trường nghịch này sinh ra có tác dụng hãm. Vì vậy hệ thống thứ tự nghịch làm giảm mômen quay có ích và gây nên tổn hao phụ, do đó phải hạn chế công suất của động cơ điện.

Thí dụ 1

Một động cơ điện không đồng bộ rôto dây quấn khi để rôto hở mạch và cho điện áp định mức vào stato thì điện áp trên vành trượt là 250 V. Khi động cơ làm việc với tải định mức thì tốc độ $n = 1420$ vg/ph. Tính:

- Tốc độ đồng bộ;
- Tốc độ từ trường quay do dòng điện rôto sinh ra so với tốc độ rôto;
- Tần số dòng điện ở rôto;
- S.d.d. của rôto khi tải định mức.

Giải

a) Vì hệ số trượt của động cơ rất bé $s = 3 + 6\%$ nên tốc độ đồng bộ của từ trường quay $n_1 = 1500$ vg/ph, tức là máy có hai đôi cực (khi tần số là 50 Hz).

b) Tốc độ của từ trường rôto so với rôto là:

$$n_2 = n_1 - n = 1500 - 1420 = 80 \text{ vg/ph.}$$

n_2 quay cùng chiều với rôto.

c) Tần số dòng điện rôto:

$$f_2 = \frac{pn_2}{60} = \frac{2 \times 80}{60} = 2,66 \text{ Hz}$$

$$\text{hay } f_2 = sf_1 = 0,053 \times 50 = 2,66 \text{ Hz}$$

$$\text{trong đó: } s = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{1500 - 1420}{1500} = \frac{80}{1500} = 0,053.$$

d) S.d.d. của rôto khi quay ở tốc độ định mức:

$$E_{2s} = sE_2 = 0,053 \times 250 = 13,4 \text{ V.}$$

Thí dụ 2

Một động cơ không đồng bộ có các số liệu sau: dây quấn stato và rôto đều nối Y; số rãnh stato $Z_1 = 72$; số rãnh rôto $Z_2 = 12$; số thanh dẫn ở một rãnh stato $S_{r1} = 9$ và ở rôto $S_{r2} = 2$; dây quấn bước đủ có 4 đôi cực.

Khi làm thí nghiệm ngắn mạch, điện áp đặt vào stato là $U_n = 110 \text{ V}$; dòng điện $I_n = 61 \text{ A}$ và $\cos\varphi_n = 0,336$. Tính:

- Điện trở và điện kháng ngắn mạch r_n, x_n ;
- Điện trở và điện kháng dây quấn rôto r_2, x_2 . Cho biết $r_1 = 0,159 \Omega$; $x_1 = 0,46 \Omega$;
- Công suất động cơ điện tiêu thụ và công suất tiêu hao trên dây quấn khi ngắn mạch.

Giải

Theo mạch điện thay thế khi ngắn mạch máy điện không đồng bộ (xem mục ta có:

$$r_1 + r_2 = r_n; \quad x_1 + x_2 = x_n; \quad z_n = \sqrt{r_n^2 + x_n^2}.$$

Do đó:

$$\text{a) } z_n = \frac{U_n}{I_n} = \frac{110}{\sqrt{3} \times 61} = 1,044 \Omega;$$

$$r_n = z_n \cos\varphi_n = 1,044 \times 0,336 = 0,351 \Omega;$$

$$x_n = z_n \sin\varphi_n = 1,044 \times 0,94 = 0,98 \Omega.$$

$$\text{b) } r_2 = r_n - r_1 = 0,351 - 0,159 = 0,152 \Omega;$$

$$x_2 = x_n - x_1 = 0,98 - 0,46 = 0,52 \Omega.$$

Để xác định r_2, x_2 ta cần tìm các hệ số quy đổi k_e, k_i .

Ta có: $w_1 = \frac{S_{r1}Z_1}{2m_1} = \frac{9 \times 72}{2 \times 3} = 108;$

$$w_2 = \frac{S_{r2}Z_2}{2m_2} = \frac{2 \times 120}{2 \times 3} = 40.$$

Hệ số dây quấn stato:

$$k_{dq1} = k_{n1}k_{r1}$$

Vì bước đủ nên $k_{n1} = 1$, còn:

$$k_{r1} = \frac{\sin q_1 \frac{\alpha_1}{2}}{q_1 \sin \frac{\alpha_1}{2}} = \frac{\sin \frac{\pi}{2m_1}}{q_1 \sin \frac{\pi}{2q_1 m_1}} = \frac{\sin \frac{180}{2 \times 3}}{\sin \frac{180}{2 \times 3 \times 3}} = 0,963$$

trong đó: $q_1 = \frac{Z_1}{2pm_1} = \frac{72}{2 \times 4 \times 3} = 3$

$$\alpha_1 = \frac{p2\pi}{Z_1} = \frac{\pi}{q_1 m_1}$$

$$k_{dq1} = k_{n1}k_{r1} = k_{r1} = 0,963$$

Hệ số dây quấn rôto: $k_{dq2} = k_{n2}k_{r2}$

Vì bước đủ nên $k_{n2} = 1$, còn

$$k_{r2} = \frac{\sin \frac{\pi}{2m_2}}{q_2 \sin \frac{\pi}{2q_2 m_2}} = \frac{\sin \frac{180}{2 \times 3}}{5 \sin \frac{180}{2 \times 5 \times 3}} = 0,955$$

trong đó: $q_2 = \frac{Z_2}{2pm_2} = \frac{120}{2 \times 4 \times 3} = 5$

$$k_{dq2} = k_{n2}k_{r2} = 0,955$$

$$\text{Vì } m_1 = m_2 \text{ nên } k_1 = k_e = \frac{w_1 k_{dq1}}{w_2 k_{dq2}} = \frac{108 \times 0,963}{40 \times 0,955} = 2,71;$$

$$r_2 = \frac{r_2}{k_e k_1} = \frac{0,152}{2,712 \times 2,712} = 0,0207;$$

$$x_1 = \frac{x_2}{k_e k_1} = \frac{0,52}{2,712 \times 2,712} = 0,0708.$$

c) Công suất động cơ tiêu thụ:

$$P_n = \sqrt{3} U_n I_n \cos \varphi_n = \sqrt{3} \times 110 \times 61 \times 0,336 = 3920 \text{ W}.$$

Hay có thể tính theo công suất tổn hao trên r_n :

$$P_n = 3 I_n^2 r_n = 3 \times 61^2 \times 0,351 = 3920 \text{ W}$$

Tổn hao sắt trong trường hợp ngắn mạch được bỏ qua, do đó công suất động cơ điện tiêu thụ đều bù đắp vào tổn hao đồng trên hai dây quấn stato và rôto.

Thí dụ 3

Một động cơ điện không đồng bộ ba pha rôto lồng sóc có các số liệu sau: $P_{dm} = 11,9 \text{ kW}$; $U_{fdm} = 220 \text{ V}$; $I_{fdm} = 25 \text{ A}$; $f = 50 \text{ Hz}$; $2p = 6$; $P_{Cu1} = 745 \text{ W}$; $P_{Cu2} = 480 \text{ W}$; $P_{Fe} = 235 \text{ W}$; $P_{co} = 180 \text{ W}$; $P_f = 60 \text{ W}$. Tính công suất điện từ, mômen điện từ và tốc độ quay của động cơ.

Giải

a) Công suất điện từ của động cơ:

$$P_{dt} = P_2 + P_{co} + P_f + P_{Cu2} = 11900 + 180 + 60 + 480 = 12620 \text{ W}.$$

b) Mômen điện từ:

$$M = \frac{P_{dt}}{\omega_1} = \frac{P_{dt}}{\frac{2\pi n_1}{60}} = \frac{12620}{\frac{2\pi \cdot 1000}{60}} = 120 \text{ N.m},$$

trong đó

$$n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \times 50}{3} = 1000 \text{ vg/ph.}$$

c) Tốc độ quay của động cơ:

$$\text{Vì } s = \frac{P_{Cu2}}{P_{dt}} = \frac{480}{12620} = 0,038$$

$$\text{nên } n = n_1(1 - s) = 1000(1 - 0,038) = 962 \text{ vg/ph.}$$

Thí dụ 4

Một động cơ điện không đồng bộ ba pha rôto lồng sóc có các số liệu sau: $P_{dm} = 11,9 \text{ kW}$; $U_{fdm} = 220 \text{ V}$; $I_{fdm} = 25 \text{ A}$; $f = 50 \text{ Hz}$; $2p = 6$; $n_{dm} = 960 \text{ vg/ph}$; $P_{Cu1} = 745 \text{ W}$; $P_{Cu2} = 480 \text{ W}$; $I_2 = 20,25 \text{ A}$, $x_n = x_1 + x_2 = 2,18 \Omega$. Tính mômen điện từ của động cơ.

Giải

$$\text{Điện trở } r_1 = \frac{P_{Cu1}}{mI_1^2} = \frac{745}{3 \times 25^2} = 0,398 \Omega;$$

$$r_2 = \frac{P_{Cu2}}{m_1 I_2^2} = \frac{480}{3 \times 20,25^2} = 0,39 \Omega.$$

$$\text{Tốc độ đồng bộ: } n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \times 50}{3} = 1000 \text{ vg/ph.}$$

$$\text{Hệ số trượt: } s = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{1000 - 960}{1000} = 0,04.$$

Mômen điện từ:

$$\begin{aligned} M &= \frac{m_1 p U_1^2 r_2 / s}{2\pi f_1 [(r_1 + C_1 r_2 / s)^2 + (x_1 + C_1 x_2)^2]} \\ &= \frac{3 \times 3 \times (220)^2 \times 0,39 / 0,04}{2\pi \times 50 \times [(0,398 + 0,39 / 0,04)^2 + (2,18)^2]} = 120 \text{ N.m,} \end{aligned}$$

ở đây coi $C_1 = 1$.

Câu hỏi

1. Phân tích những điểm giống và khác nhau trong nguyên lý làm việc của máy điện không đồng bộ và m.b.a.

2. Một động cơ điện không đồng bộ rôto dây quấn, trước kia số vòng dây của một pha của dây quấn rôto đều nối nối tiếp, nay phân đôi thành hai mạch song song. Hỏi như vậy có ảnh hưởng đến điện áp và dòng điện trên vành trượt của rôto không? Có ảnh hưởng gì đến tham số rôto đã quy đổi r_2 và x_2 ? Nếu hệ số trượt s trước và sau khi đổi vẫn như nhau thì công suất đưa vào và đưa ra có thay đổi gì không?

3. Nếu ở dây quấn stato của một động cơ không đồng bộ đặt vào một điện áp thứ tự thuận có tần số f_1 để sinh ra từ trường thuận, ở dây quấn rôto đặt vào một điện áp thứ tự nghịch có tần số f_2 để sinh ra từ trường nghịch, hỏi lúc đó rôto quay theo chiều nào? Tốc độ bao nhiêu? Khi tải thay đổi thì tốc độ có thay đổi không?

4. Tại sao dòng điện không tải phần trăm của máy điện không đồng bộ $I_0\%$ lớn hơn dòng điện không tải phần trăm của m.b.a, còn dòng điện ngắn mạch phần trăm $I_n\%$ thì lại nhỏ hơn? Dòng điện không tải lớn ảnh hưởng như thế nào đến tính năng của máy?

5. Tìm sự liên hệ giữa các công suất ở giản đồ năng lượng của máy điện không đồng bộ với các công suất, các tổn hao trên mạch điện thay thế.

6. Nếu điện áp nguồn giảm đi 5% thì ảnh hưởng đến M_{max} , M_k như thế nào? Nếu mômen tải không đổi thì ảnh hưởng đến n , I_1 , Φ , $\cos\varphi$ như thế nào?

7. Một động cơ điện không đồng bộ thiết kế với tần số $f = 60 \text{ Hz}$ nếu đem dùng ở tần số 50 Hz và giữ điện áp không đổi thì điện kháng tản, $\cos\varphi$, M_{max} , M_k và tổn hao không tải sẽ thay đổi như

thế nào? Có ảnh hưởng đến công suất của máy không?

8. Mômen phụ của động cơ không đồng bộ là những mômen gì? Ý nghĩa và ảnh hưởng của các loại mômen đó?

9. Vẽ và giải thích các đường đặc tính làm việc của động cơ điện không đồng bộ.

10. Cho những kết luận chính khi động cơ làm việc trong điều kiện không định mức và điện áp không đối xứng?

Bài tập

1. Một máy điện không đồng bộ ba pha 6 cực, 50 Hz. Khi đặt điện áp định mức lên stato còn dây quấn rôto hở mạch thì s.d.d. cảm ứng trên mỗi pha dây quấn rôto là 110 V. Giả thiết tốc độ lúc làm việc định mức là $n = 980 \text{ vg/ph}$; rôto quay cùng chiều với từ trường quay. Hỏi:

a) Máy làm việc ở chế độ nào?

b) Lúc đó s.d.d. rôto E_{2s} bằng bao nhiêu?

c) Nếu giữ chặt rôto lại và đo được $r_2 = 0,1 \Omega$; $x_2 = 0,5 \Omega$, hỏi ở chế độ làm việc định mức I_2 bằng bao nhiêu?

Đáp số: a) Chế độ động cơ;

b) $E_{2s} = 2,2 \text{ V}$;

c) $I_2 = 21,89 \text{ A}$

2. Một động cơ điện không đồng bộ ba pha đấu Y, 380 V, 50 Hz; $n_{dm} = 1440 \text{ vg/ph}$. Tham số như sau: $r_1 = 0,2 \Omega$, $r_2 = 0,25 \Omega$; $x_1 = 1 \Omega$, $x_2 = 0,95 \Omega$, $x_m = 40 \Omega$; bỏ qua r_m . Tính số đôi cực; tốc độ đồng bộ; hệ số trượt định mức; tần số dòng điện rôto lúc tải định mức. Vẽ mạch điện thay thế hình T và căn cứ vào đó tính ra trị số thực và tương đối của các dòng điện I_1 , I_o và I_2 .

Đáp số: $p = 2$; $n_{db} = 1500 \text{ vg/ph}$;

$s_{dm} = 0,04$; $f_2 = 2 \text{ Hz}$; $-I_1 = 33 \text{ A}$;

$I_o = 5 \text{ A}$; $I_2 = 31,92 \text{ A}$.

3. Một động cơ điện không đồng bộ ba pha 6 cực, điện áp định mức là 380 V đấu Y tần số 50 Hz; công suất định mức là 28 kW; tốc độ định mức là 980 *vg/ph*, lúc tải định mức $\cos\varphi = 0,88$, tổn hao đồng và sắt stato là 2,2 kW, tổn hao cơ là 1,1 kW. Tính hệ số trượt; tổn hao đồng rôto; hiệu suất; dòng điện stato và tần số dòng điện rôto khi tải định mức.

Đáp số: $s = 0,02$; $P_{Cu2} = 594 \text{ W}$;

$\eta = 87,8\%$; $I_1 = 55 \text{ A}$; $f_2 = 1 \text{ Hz}$.

4. Một động cơ điện không đồng bộ tiêu thụ năng lượng điện là 60 kW; tổng tổn hao trên stato là 1 kW; hệ số trượt $s = 0,03$. Tính công suất cơ và tổn hao đồng của rôto.

Đáp số: $P_{co} = 57,23 \text{ kW}$; $P_{Cu2} = 1,77 \text{ kW}$.

5. Cho một động cơ không đồng bộ rôto dây quấn có $P_{dm} = 155 \text{ kW}$; $p = 2$; $U = 380 \text{ V}$; đấu Y; $P_{Cu2} = 2210 \text{ W}$; $P_{co} = 2640 \text{ W}$; $P_f = 310 \text{ W}$; $r_2 = 0,012 \Omega$.

a) Lúc tải định mức tính: P_{dt} ; $s_{dm}\%$; n_{dm} ; M_{dm} .

b) Giả sử mômen tải không đổi, nếu cho vào dây quấn phần quay một điện trở quy đổi $r_f = 0,1 \Omega$ thì hệ số trượt, tốc độ quay và tổn hao đồng rôto sẽ bằng bao nhiêu?

c) Biết $r_1 = r_2$, $x_1 = x_2 = 0,06 \Omega$, tính M_{max} , s_m .

d) Tính điện trở phụ cần thiết phải cho vào rôto để có mômen mở máy cực đại.

Đáp số:

a) $P_{dt} = 160,16 \text{ kW}$; $s_{dm} = 1,38\%$; $n_{dm} = 1479 \text{ vg/ph}$; $M_{dm} = 1000,7 \text{ N.m}$

b) $s' = 12,88\%$; $n' = 1307 \text{ vg/ph}$; $P_{Cu2} = 20,63 \text{ kW}$.

c) $M_{max} = 20892 \text{ N.m}$; $s_m = 0,1$.

d) $r_f = 0,108 \Omega$.

6. Một động cơ điện không đồng bộ ba pha rôto lồng sóc có: $P_{dm} = 20 \text{ kW}$; $U_1 = 380 \text{ V}$ đấu Y; $\eta = 88\%$; $\cos\varphi = 0,84$;

$n_{dm} = 970 \text{ vg/ph}$. Biết rằng: $I_k/I_{dm} = 4,5$; $M_k/M_{dm} = 1,2$;
 $M_{max}/M_{dm} = 1,8$

Tính: a) I_{dm} , I_k , s_{dm}^X

b) M_{dm} , M_k , M_{max} và tổng tổn hao trong động cơ khi làm việc định mức

Đáp số: a) $I_{dm} = 41,1 \text{ A}$; $I_k = 185 \text{ A}$;

$s_{dm} = 0,03$

b) $M_{dm} = 197 \text{ N.m}$; $M_k = 236,2 \text{ N.m}$;

$M_{max} = 354,4 \text{ N.m}$.

Chương 17

ĐỒ THỊ VÒNG TRÒN CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

17.1. ĐẠI CƯƠNG

Để xác định các đặc tính của máy điện không đồng bộ, có thể làm thí nghiệm kéo tải trực tiếp hoặc sau khi biết các tham số của máy, căn cứ vào mạch điện thay thế tính ra các đặc tính đó.

Thí nghiệm kéo tải tuy có thể trực tiếp tìm ra được toàn bộ các đặc tính của máy nhưng đòi hỏi nhiều thiết bị và thời giờ, nhất là đối với những máy lớn. Còn dựa vào mạch điện thay thế để tính toán bộ các đặc tính, khối lượng tính toán tương đối lớn và phức tạp. Vì vậy đơn giản nhất là thông qua vài thí nghiệm cơ bản và đơn giản như thí nghiệm không tải và ngắn mạch, rồi áp dụng cách vẽ đồ thị vòng tròn xác định các đặc tính của máy điện không đồng bộ.

Qua đồ thị vòng tròn còn có thể thấy rõ qui luật biến thiên của các đại lượng điện từ và biết được tình hình làm việc của máy ở các chế độ động cơ điện, máy phát điện và chế độ hãm.

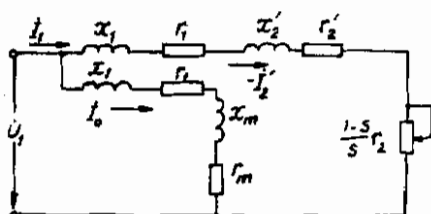
Tuy vậy, phương pháp đồ thị vòng tròn có nhiều thiếu sót như khi vẽ chưa xét đến ảnh hưởng của tình trạng bão hòa lõi sắt làm thay đổi tổng trở từ hóa và điện kháng tản, không xét đến ảnh hưởng của sóng bậc cao của từ trường đối với mômen... do đó những giá trị tính được bằng phương pháp này không được chính xác lắm. Nhưng đồ thị vòng tròn có thể phản ánh được nhiều tính năng cơ bản của máy điện không đồng bộ, cách vẽ lại đơn giản nên người ta vẫn coi đó là phương pháp có giá trị để phân tích tính năng của máy điện không đồng bộ.

17.2. CÁCH XÂY DỰNG ĐỒ THI VÒNG TRÒN

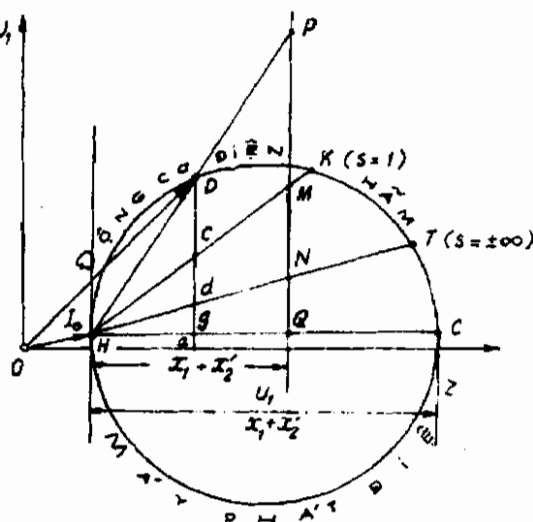
Trong một mạch điện đơn giản gồm điện trở và điện kháng đặt dưới một điện áp không đổi, khi thay đổi điện trở thì quỹ tích của dòng điện biến thiên là một đường tròn. Lợi dụng điều đó có thể vẽ đồ thị vòng tròn của máy điện không đồng bộ.

Trong mạch điện thay thế đơn giản hóa của máy điện không đồng bộ, nếu lấy $C_1 = 1$ thì giản đồ như hình 17-1, trong đó dòng điện sơ cấp đưa vào bằng tổng của hai dòng điện $\dot{I}_0^{(1)}$ và $(-\dot{I}_2)$. Ta có: $\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}_2)$.

Dòng điện từ hóa I_0 chỉ phụ thuộc vào tham số $Z_1 + Z_m$ do đó có thể xác định được bằng thí nghiệm. Trong thí nghiệm không tải, khi kéo rôto quay đến tốc độ đồng bộ, tức $s = 0$ thì ta được dòng điện từ hóa I_0 và biểu thị bằng vectơ OH trên hình 17-2. Điểm H gọi là điểm làm việc



Hình 17-1. Mạch điện thay thế của máy điện không đồng bộ khi lấy $C_1 = 1$



Hình 17-2. Cách xây dựng đồ thị vòng tròn.

1. Thực ra là 1m, nhưng để đơn giản ta viết là 10.

đồng bộ. Công suất tiêu thụ ở trên mạch từ hóa lúc này chỉ gồm tổn hao đồng $m_1 I_0^2 r_1$ và tổn hao sắt $m_1 I_0^2 r$. Ta có công suất không tải lúc máy quay đồng bộ là:

$$P_0 = m_1 I_0^2 r_1 + m_1 I_0^2 r \quad (17-1)$$

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{m_1 U_1 I_0} \quad (17-2)$$

Dòng điện I_0 đã lệch so với điện áp đưa vào U_1 một góc φ_0 . Thường $\cos \varphi_0 \leq 0,1$, nên $\varphi_0 \approx 90^\circ$.

Dòng điện I_2 trong mạch nhánh làm việc thay đổi theo điện trở biến thiên $\frac{r_2}{s} = \frac{1-s}{s} r_2$. Quỹ tích của dòng điện đó là một đường tròn và cách vẽ như sau:

Trên trục hoành lấy một đoạn $x_1 + x_2 = HQ$, thẳng góc với HQ, lấy $QN = r_1$, $NM = r_2$ và $MP = \frac{1-s}{s} r_2$. Tâm vòng tròn quỹ tích ở trên trục hoành và đường kính vòng tròn là $HC = \frac{U_1}{-x_1 + x_2}$. Đường HP cắt đường tròn ở D. Dòng điện $-I_2$ là vectơ $\overrightarrow{HD}$. Như vậy dòng điện sơ cấp $I_1 = I_0 + (I_2)$ là vectơ $\overrightarrow{OD}$. Đường tròn là quỹ tích của dòng điện $(-I_2)$.

Vị trí của D thay đổi theo hệ số trượt s.

Khi $0 < s < 1$, điểm P ở trên điểm M nên điểm D chạy trên cung $\widehat{HDK}$. Ở điểm giới hạn khi $s = 1$ thì điểm D trùng với điểm K cho nên điểm K gọi là điểm mở máy ($s = 1$).

Khi $s < 0$ thì điểm P ở dưới điểm N (vì $NP = r_2 + \frac{1-s}{s} r_2 = \frac{r_2}{s}$ có trị số âm) cho nên điểm D ở trên cung $\widehat{HCT}$.

Khi $s > 1$ thì điểm P ở giữa đoạn MN nên điểm D ở trên cung $\widehat{KT}$. Điểm T ứng với $s = \pm \infty$.

Vì vậy ta thấy các cung $\widehat{HDK}$, $\widehat{HCT}$, $\widehat{KT}$ ứng với những tình trạng làm việc khác nhau của máy điện không đồng bộ, cung $\widehat{HDK}$ ứng với trạng thái làm việc động cơ điện, cung $\widehat{HCT}$ ứng với trạng thái máy phát điện và cung $\widehat{KT}$ ứng với trạng thái hãm.

17.3. XÁC ĐỊNH ĐẶC TÍNH LÀM VIỆC CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ BẰNG ĐỒ THỊ VÒNG TRÒN

17.3.1. Xác định $\cos\varphi$

Trên trục tung lấy một đoạn $Of = 10 \text{ cm}$ làm đường kính, vẽ một nửa vòng tròn (hình 17-3). Muốn tìm $\cos\varphi$ của máy khi đã biết trước $I_1 = OD$ (theo thước tỷ lệ của dòng điện $m_1 = A/cm$), thì ta chỉ việc kéo dài đường OD gặp đường tròn ở h. Ta có:

$$\cos\varphi = \frac{\overline{Oh}}{\overline{Of}} = \frac{\overline{Oh}}{10} \quad (17-3)$$

Oh tính theo cm .

17.3.2. Xác định công suất đưa vào P_1

Từ điểm D kẻ đường thẳng góc với trục hoành gặp trục hoành ở điểm a (hình 17-3). Đoạn $\overline{Da}$ chỉ công suất đưa vào P_1 và ta có:

$$P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos\varphi = m_1 U_1 \overline{Da} \quad m_1 = \overline{Da} \quad m_p \quad (17-4)$$

trong đó:

$m_p = m_1 U_1 m_1$ - thước tỷ lệ công suất (W/cm);

I_1, U_1 - dòng điện và điện áp pha.

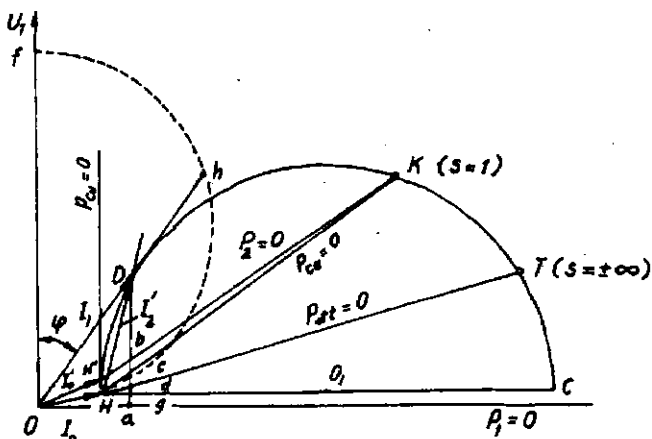
Khi vectơ dòng điện I_1 trùng với trục hoành thì công suất đưa vào bằng 0, do đó trục hoành gọi là đường công suất đưa vào hay đường $P_1 = 0$.

Đoạn $\overline{Da}$ gặp HC ở điểm g . Đoạn $\overline{ag}$ chỉ tổn hao không tải đồng bộ P_0 vì:

$$\begin{aligned} P_0 &= m_1 U_1 I_0 \cos\varphi_0 = m_1 U_1 \overline{OH} m_1 \cos\varphi_0 \\ &= m_1 U_1 m_1 ag = ag \cdot m_p. \end{aligned}$$

17.3.3. Xác định công suất điện từ P_{dt} , công suất cơ P_{cs} , tổn hao đồng P_{Cu} và mômen điện từ M_{dt}

Từ điểm làm việc D vẽ đường thẳng góc Da với trục hoành, cắt đường HK ở điểm c, cắt đường HT ở điểm d. Như ta đã biết, đoạn $\overline{Da}$ chỉ P_1 , $\overline{ag}$ chỉ P_0 , do đó đoạn $\overline{Dg}$ chỉ công suất $(P_1 - P_0)$.



Hình 17-3. Xác định $\cos \varphi$, công suất, mômen và tổn hao bằng đồ thị vòng tròn

Ta có:

$$P_1 - P_0 = \overline{Dg} \cdot m_p = (\overline{Dc} + \overline{cd} + \overline{dg}) m_p \quad (17-6)$$

Mặt khác dựa vào mạch điện thay thế của máy điện không đồng bộ, ta lại có:

$$P_1 - P_0 = m_1 I_2'^2 \left(\frac{1-s}{s} r_2 + r_2 + r_1 \right) \quad (17-7)$$

So sánh (17-7) với (17-6), ta có:

$$(\overline{Dc} + \overline{cd} + \overline{dg}) m_p = m_1 I_2'^2 \left(\frac{1-s}{s} r_2 + r_2 + r_1 \right) \quad (17-8)$$

Theo hình 17-2 và 17-3 ta thấy các đoạn $\overline{MP}$, $\overline{MN}$ và $\overline{NQ}$ chỉ các

tham số $\frac{1-s}{s} r_2$, r_2 và r_1 đồng thời tỷ lệ với các đoạn $\overline{DC}$, $\overline{cd}$ và $\overline{dg}$, do đó ta được:

$$\overline{DC} : \overline{cd} : \overline{dg} = \frac{1-s}{2} r_2 : r_2 : r_1. \quad (17-9)$$

Căn cứ vào hai đẳng thức (17-8) và (17-9), ta có:

$$\left. \begin{aligned} \overline{DC}.m_p &= m_1 I_2^2 \frac{1-s}{s} r_2 = P_{co}; \\ \overline{cd}.m_p &= m_1 I_2^2 r_2 = P_{Cu2}; \\ \overline{dg}.m_p &= m_1 I_2^2 r_1 = P_{Cu1}; \\ \overline{Dd}.m_p &= (\overline{DC} + \overline{cd}).m_p \\ &= m_1 I_2^2 \left[\frac{1-s}{s} r_2 + r_2 \right] \\ &= m_1 I_2^2 \frac{r_2}{s} = P_{dt}. \end{aligned} \right\} \quad (17-10)$$

Vì đoạn $\overline{DC}$ chỉ công suất cơ P_{co} nên ta gọi đường HK là đường công suất cơ hay đường $P_{co} = 0$; đoạn $\overline{Dd}$ chỉ công suất điện từ P_{dt} nên gọi đường HT là đường công suất điện từ hay đường $P_{dt} = 0$. Các đoạn $\overline{cd}$ và $\overline{dg}$ chỉ tổn hao đồng trên rôto và stato P_{Cu2} và P_{Cu1} nên đoạn $\overline{cg}$ chỉ tổng tổn hao đồng P_{Cu} .

Có khi ta gọi đường song song với trục tung đi qua H là đường tổn hao đồng hay đường $P_{Cu} = 0$ vì khoảng cách từ điểm D đến đường đó là đoạn $\overline{Hg}$ tỷ lệ với đoạn chỉ tổng tổn hao đồng $\overline{cg}$.

Vì mômen điện từ M tỷ lệ thuận với công suất điện từ $M = \frac{P_{dt}}{9,81\omega_1}$ (kG.m), trong đó ω_1 là tốc độ góc đồng bộ, P_{dt} tính bằng W do đó đoạn Dd cũng đồng thời chỉ mômen điện từ M_{dt} .

$$\overline{Dd}.m_M = M_{dt} \quad (17-11)$$

trong đó $m_M = \frac{m_p}{9,81\omega_1}$ là thước tỷ lệ mômen ($kG.m/cm$).

Nhiều khi ta còn gọi đường HT là đường mômen điện từ hay đường $M_{dt} = 0$.

17.3.4. Xác định tổn hao cơ $p_{cơ}$, tổn hao phụ p_f và công suất đưa ra P_2

Khi không tải, tốc độ của động cơ điện thấp hơn tốc độ đồng bộ một ít. Do đó ngoài tổn hao đồng trên stato và tổn hao sắt ra, tổn hao không tải còn bao gồm tổn hao cơ và tổn hao phụ. Vì thế dòng điện không tải đo được trong thí nghiệm không tải không phải là véctơ $\overline{OH}$ mà là véctơ $\overline{OH'}$ lớn hơn $\overline{OH}$. Ta thấy đoạn $\overline{HH'}$ thực chất là chỉ tổn hao cơ và tổn hao phụ. Khi tải tăng, tốc độ quay của rôto giảm dần, nên hai tổn hao đó ($p_{cơ} + p_f$) cũng giảm dần. Khi ngắn mạch thì hai tổn hao đó hầu như bằng không. Nối $H'K$ gặp Dc ở điểm b (hình 17-3).

Có thể coi đoạn $\overline{bc}$ chỉ tổn hao ($p_{cơ} + p_f$) với điểm làm việc

D. Vì công suất đưa ra $P_2 = P_{cđ} - (p_{cđ} + p_f)$ nên ta có:

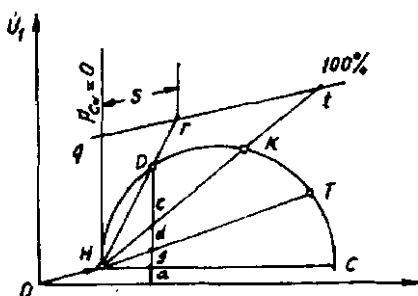
$$\overline{Db}.m_p = (\overline{Dc} - \overline{cb}).m_p = P_{cđ} - (p_{cđ} + p_f) = P_2 \quad (17-12)$$

Đường $H'K$ gọi là đường công suất đưa ra hay đường $P_2 = 0$.

17.3.5. Xác định hệ số trượt

Có nhiều phương pháp xác định hệ số trượt, ở đây chỉ giới thiệu một trong những phương pháp đó (hình 17-4).

Giữa hai đường $p_{cu} = 0$ và đường HK kéo dài lấy một đoạn qt



Hình 17-4. Xác định hệ số trượt s

song song với đường HT. Chia đoạn qt ra làm 100 phần, lấy điểm q làm gốc 0%, điểm t ứng với 100%. Khi tìm hệ số trượt với điểm làm việc D thì kéo HD gặp qt ở điểm r. Trị số phần trăm của điểm r là trị số phần trăm của hệ số trượt. Cách chứng minh như sau.

Xét các tam giác đồng dạng Hcd và tqH; Hqr và DdH, ta có:

$$\frac{\overline{dc}}{\overline{Hd}} = \frac{\overline{Hq}}{\overline{qt}} \quad \text{và} \quad \frac{\overline{Hd}}{\overline{dD}} = \frac{\overline{qr}}{\overline{Hq}}$$

Nhân hai đẳng thức với nhau ta có:

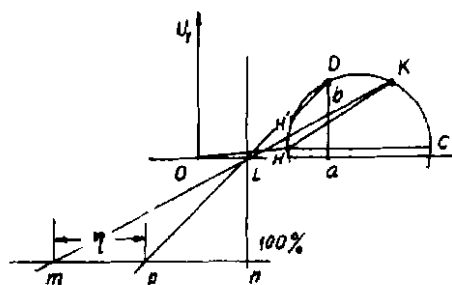
$$\frac{\overline{qr}}{\overline{qt}} = \frac{\overline{dc}}{\overline{dD}} = \frac{P_{Cu2}}{P_{dt}} = s \quad (17-13)$$

17.3.6. Xác định hiệu suất η

Căn cứ vào những phân tích trên ta biết:

$$\overline{ba.m_p} = \Sigma p = p_{Fe} + p_{cu1} + p_{cu2} + p_{co} + p_f$$

Kéo dài đường H'K gặp trục hoành ở điểm L (hình 17-5). Qua điểm L kẻ đường song song với trục tung. Gọi đường đó là đường tổng tổn hao $\Sigma p = 0$ vì khoảng cách từ điểm D đến đường đó là đoạn La tỷ lệ với đoạn chi tổng tổn hao ba. Giữa hai đường $\Sigma p = 0$ và đường H'K kéo dài lấy một đoạn mn song song với trục hoành. Chia đoạn mn làm 100 phần lấy điểm m làm gốc. Khi muốn tìm hiệu suất của máy ở điểm làm việc D, kéo dài đường LD gặp đường mn ở điểm p. Trị số phần trăm ở điểm p là hiệu suất của máy. Cách chứng minh như sau:



Hình 17-5. Đo hiệu suất bằng đồ thị vòng tròn

Xét các tam giác đồng dạng $\triangle Lab$ và $\triangle mnL$; $\triangle LaD$ và $\triangle pnL$, ta có:

$$\frac{\overline{ab}}{\overline{La}} = \frac{\overline{nL}}{\overline{mn}} \quad \text{và} \quad \frac{\overline{La}}{\overline{aD}} = \frac{\overline{pn}}{\overline{nL}}$$

Nhân hai đẳng thức với nhau ta có:

$$\frac{\overline{ab}}{\overline{aD}} = \frac{\overline{pn}}{\overline{mn}}$$

$$\text{hay} \quad \frac{\overline{aD} - \overline{ab}}{\overline{aD}} = \frac{\overline{mn} - \overline{pn}}{\overline{mn}}$$

$$\text{và được:} \quad \frac{\overline{mp}}{\overline{mn}} = \frac{\overline{Db}}{\overline{Da}} = \frac{P_2}{P_1} = \eta \quad (17-14)$$

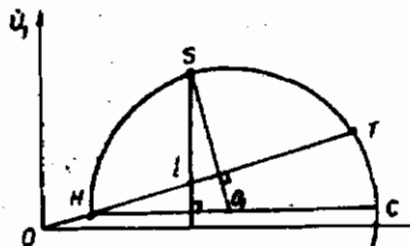
17.3.7. Xác định năng lực quá tải k_m

Theo định nghĩa, năng lực quá tải $k_m = \frac{M_{\max}}{M_{dm}}$

Ta đã biết được mômen định mức của máy, do đó chỉ cần tìm mômen cực đại $M_{\max}$ trên đồ thị vòng tròn là xác định được năng lực quá tải k_m . Cách tính như sau:

Theo hình 17-6, từ O_1 kẻ đường thẳng góc với HT và gặp đường tròn ở S. Từ S kẻ đường thẳng góc xuống HC gặp HT ở I. Ta biết SI là khoảng xa nhất từ các điểm trên đường tròn xuống đường mômen $M_{dl} = 0$, vì vậy ta có:

$$SI \cdot m_M = M_{\max} \quad (17-15)$$



Hình 17-6. Xác định năng lực quá tải k_m

Trên đây giới thiệu cách dùng đồ thị vòng tròn để xác định

$\cos\varphi$, công suất, mômen, hệ số trượt, hiệu suất ở một trị số của dòng điện làm việc I_1 cho biết trước. Nếu thay đổi dòng điện I_1 , nghĩa là thay đổi vị trí điểm D thì ta sẽ được một loạt các trị số tương ứng. Biểu thị các quan hệ giữa $\cos\varphi$, P, M, s, η với P_2 lên đồ thị ta sẽ được các đặc tính làm việc của máy điện không đồng bộ.

17.4. XÂY DỰNG ĐỒ THỊ VÒNG TRÒN BẰNG SỐ LIỆU THÍ NGHIỆM KHÔNG TẢI VÀ NGẮN MẠCH CÁCH VẼ THỰC TẾ

Theo cách chỉ dẫn trên, phải biết tham số của máy mới vẽ được đồ thị vòng tròn, nhưng trong thực tế, những tham số đó thường không biết trước nên phải dùng thí nghiệm để xác định. Sau đây giới thiệu cách dùng thí nghiệm không tải và ngắn mạch để vẽ đồ thị vòng tròn.

Trước khi nói đến cách vẽ thực tế, hãy nghiên cứu qua nội dung thí nghiệm không tải và ngắn mạch của máy điện không đồng bộ.

17.4.1. Thí nghiệm không tải

Khi làm thí nghiệm không tải ta đặt điện áp định mức U_{dm} vào stato, nhưng để tránh sai số có tính chất ngẫu nhiên và để tìm ra tổn hao cơ và tổn hao phụ thường ta thay đổi điện áp đưa vào từ $0,5 \div 1,2 U_{dm}$, đo dòng điện không tải I_0 , công suất không tải P_0 theo sự thay đổi của U_1 . Đường biểu diễn của I_0 và $P_0 = P_0 - m_1 I_0^2 r_1$ theo U_1 như ở hình 17-7.

Muốn dùng thí nghiệm không tải để xác định dòng điện từ hóa I_0 trên đồ thị vòng tròn (tức là xác định điểm H ứng với $s = 0$) thì phải loại trừ tổn hao cơ và tổn hao phụ ra khỏi công suất không tải. Do $(p_{cc} + p_f)$ không đổi khi U_1 thay đổi, còn tổn hao

sắt p_{Fe} thay đổi theo U_1^2 cho nên kéo dài đường biểu diễn $P_o = f(U_1)$ đến gặp trục tung thì giao điểm chỉ tổn hao cơ $P_{cơ}$.

Muốn cho cách vẽ được chính xác hơn, ta vẽ đường biểu diễn $P_o = f(U_1^2)$, do đường biểu diễn gần giống đường thẳng, nên kéo dài ra tiện lợi và chính xác hơn.

Đối với tổn hao phụ vì khó tính chính xác nên thường lấy bằng 0,5% công suất đưa vào. Thường $(p_{cơ} + p_f)$ rất nhỏ, nên khi không cần vẽ đồ thị vòng tròn một cách chính xác thì có thể bỏ qua không cần loại trừ các tổn hao này như ở trên.

17.4.2. Thí nghiệm ngắn mạch

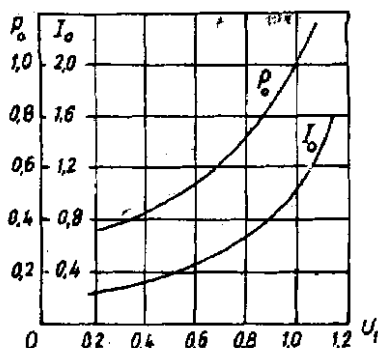
Khi thí nghiệm ngắn mạch, ta giữ rôto đứng yên. Để cho dòng điện ngắn mạch I_n không quá lớn, làm cháy máy, thường không để dòng điện vượt quá $1,5 \div 2$ lần dòng điện định mức. Vì vậy điện áp ngắn mạch U_n đưa vào tương đối thấp so với U_{dm} . Thường khi $I_n = I_{dm}$ thì $U_n = 0,15 \div 0,25 U_{dm}$.

Nếu đưa điện áp ngắn mạch lên bằng điện áp định mức thì dòng điện ngắn mạch định mức $I_{nd} = (4 \div 7)I_{dm}$.

Trong thí nghiệm ngắn mạch, rôto không quay nên công suất đưa ra $P_2 = 0$. Lúc đó tổn hao sắt rất nhỏ (vì điện áp thấp) so với tổn hao đồng nên có thể bỏ qua. Công suất đưa vào có thể xem là tổn hao đồng trên stato và rôto, ta có:

$$P_n \approx P_{Cu1} + P_{Cu2} \quad (17-16)$$

Quan hệ giữa dòng điện ngắn mạch I_n và điện áp mạch U_n còn



Hình 17-7. Đặc tính không tải của động cơ điện không đồng bộ.

phụ thuộc vào tổng trở ngắn mạch (chủ yếu là điện kháng ngắn mạch $x_n = x_1 + x_2$).

Theo mức độ bão hòa của mạch từ tản, điện kháng ngắn mạch x_n có trị số khác nhau, gây khó khăn cho việc phân tích số liệu thí nghiệm ngắn mạch khi vẽ đồ thị vòng tròn. Mặt khác vẽ đồ thị vòng tròn theo x_n là biến không có ý nghĩa thực tế gì lớn, do đó thường chỉ nghiên cứu hai trường hợp mạch từ tản chưa bão hòa, ứng với lúc máy làm việc bằng và dưới định mức và mạch từ tản bão hòa ứng với lúc mở máy.

a. Trường hợp mạch từ tản chưa bão hòa

Thường khi máy điện làm việc từ không tải đến định mức thì dòng điện không lớn nên ảnh hưởng bão hòa của mạch từ tản ít, điện kháng ngắn mạch x_n có thể coi là một số không đổi. Lúc đó ta có thể dùng các số liệu thí nghiệm ngắn mạch để vẽ đồ thị vòng tròn một cách dễ dàng.

Với điện áp định mức, dòng điện ngắn mạch định mức bằng:

$$I_{nd} = I_n \cdot \frac{U_{dm}}{U_n} \quad (17-17)$$

Công suất ngắn mạch định mức bằng:

$$P_{nd} = P_n \left(\frac{U_{dm}}{U_n} \right)^2 \quad (17-18)$$

và hệ số công suất lúc ngắn mạch định mức bằng:

$$\cos \varphi_{nd} = \frac{P_n}{m_l U_n I_n} = \frac{P_{nd}}{m_l U_{dm} I_{nd}} \quad (17-19)$$

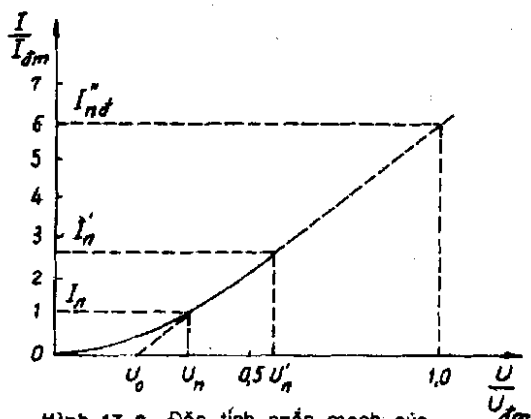
Vòng tròn vẽ theo những số liệu này gọi là vòng tròn làm việc, dùng để xác định các đặc tính làm việc của máy điện với công suất định mức trở xuống.

b. Trường hợp mạch từ tản bão hoà

Khi mở máy, dòng điện lớn (thường bằng vài bốn lần dòng

điện định mức) nên mạch từ tản chịu ảnh hưởng của bão hòa, điện kháng x_n sẽ nhỏ đi, đường kính vòng tròn trong trường hợp này sẽ lớn hơn vòng tròn làm việc. Vòng tròn này dùng để xác định các đặc tính mở máy của động cơ không đồng bộ nên gọi là vòng tròn mở máy.

Muốn dùng thí nghiệm ngắn mạch để vẽ đồ thị vòng tròn lúc mở máy, ta phải vẽ cả đường đặc tính ngắn mạch bằng cách thay đổi điện áp ngắn mạch và tìm quan hệ giữa điện áp và dòng điện ngắn mạch như ở hình 17-8. Kéo dài



Hình 17-8. Đặc tính ngắn mạch của máy điện không đồng bộ

đường đặc tính ngắn mạch có thể tìm được dòng điện ngắn mạch định mức I_{nd} và hệ số công suất ngắn mạch định mức $\cos\varphi_{nd}$. Có thể dùng cách tính sau. Theo hình 17-8 ta có:

$$I_{nd} = I_n \frac{U_{dm} - U_0}{U_n - U_0}$$

$$P_{nd} = P_n \left(\frac{U_{dm} - U_0}{U_n - U_0} \right)^2 \quad (17-20)$$

$$\cos\varphi_{nd} = \frac{P_{nd}}{\sqrt{3} U_{dm} I_{nd}}$$

trong đó I_n , P_n , U_n là các trị số đo được qua thí nghiệm ngắn mạch ở khu vực mạch từ đã bão hòa.

c. Cách vẽ thực tế đồ thị vòng tròn bằng số liệu thí nghiệm.

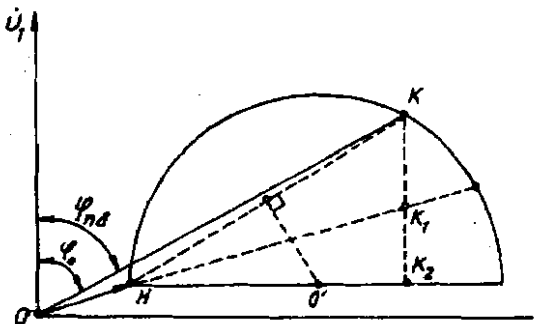
Cách vẽ này được tiến hành như sau.

1. Từ thí nghiệm không tải biết dòng điện từ hóa (coi như bằng dòng điện không tải I_0) tính ra $\cos\varphi_0 = P_0/m_1 U_m I_0$, chọn thước tỷ lệ dòng điện thích đáng vẽ vectơ $\vec{I}_0 = \vec{OH}$ xác định được điểm H.

2. Từ thí nghiệm ngắn mạch tính ra dòng điện ngắn mạch định mức I_{nd} và $\cos\varphi_{nd}$ rồi vẽ vectơ $\vec{I}_{nd} = \vec{OK}$ được điểm K.

3. Vẽ vòng tròn quỹ tích qua H và K mà tâm ở trên đường song song với trục hoành đi qua H. Tâm O' là giao điểm của đường trung trực của HK với đường song song với trục hoành đi qua H (hình 17-9).

Muốn được đường $P_{dt} = 0$ (đường HT) thì từ K kẻ đường thẳng góc với trục hoành gặp đường HC ở K_2 . Đoạn $\overline{KK_2}$ biểu thị tổng tổn hao đồng lúc ngắn mạch. Trên đoạn $\overline{KK_2}$ lấy đoạn $\overline{K_1K_2}$ chỉ tổn hao đồng trên cuộn dây stato. Nối HK_1 gặp đường tròn ở điểm T.



Hình 17-9. Vẽ đồ thị vòng tròn bằng số liệu thí nghiệm không tải và ngắn mạch

Cách xác định điểm K_1 như sau:

Theo ý nghĩa của $\overline{KK_2}$ và $\overline{K_1K_2}$ đã nói ở trên, ta có:

$$\frac{\overline{K_1K_2}}{\overline{KK_2}} = \frac{m_1 I_{nd}^2 r_1}{m_1 I_{nd}^2 (r_1 + r_2)} = \frac{r_1}{r_n} \quad (17-21)$$

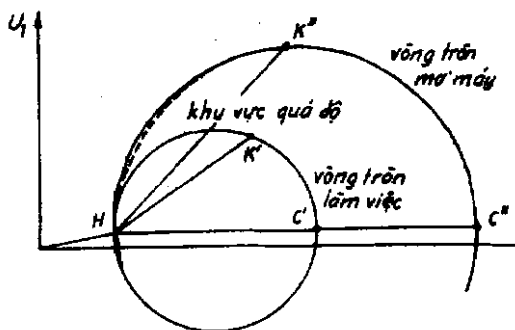
trong đó r_1 là điện trở pha của dây quấn stato, có thể đo trực

tiếp; còn $r_n = r_1 + r_2$ là điện trở ngắn mạch, có thể tìm được từ thí nghiệm ngắn mạch:

$$r_n = \frac{P_n}{m_l I_{dm}^2} \quad (17-22)$$

Cần chú ý là các trị số điện trở này đều phải quy về nhiệt độ 75°C trước khi sử dụng.

4. Muốn vẽ vòng tròn mở máy ta sử dụng các trị số: I_{nd}' , P_{nd}' và $\cos\varphi_{nd}'$ để xác định điểm làm việc ngắn mạch K' trên vòng tròn. Phương pháp vẽ các đường khác giống như cách vẽ với vòng tròn làm việc.



Hình 17-10. Đồ thị vòng tròn làm việc và đồ thị vòng tròn mở máy

Vòng tròn làm việc và mở máy như ở hình 17-10.

17.5. ĐỒ THỊ VÒNG TRÒN CHÍNH XÁC

Với máy điện không đồng bộ công suất nhỏ, trong mạch điện thay thế khi ta đem mạch điện từ hóa dịch ra trước tổng trở của stato mà không hiệu chỉnh hàm số thì sẽ có sai số tương đối lớn, nhất là đối với $\cos\varphi$. Vì vậy phải dùng mạch điện thay thế chính xác để vẽ đồ thị vòng tròn.

Nếu bỏ qua r_m trong tổng trở từ hóa z_m thì hệ số hiệu chỉnh C_1 sẽ bằng:

$$\dot{C}_1 = 1 + \frac{z_1}{z_m} \approx 1 + \frac{r_1 + jx_1}{jx_m} = \left(1 + \frac{x_1}{x_m}\right) - j \frac{r_1}{x_m} = C_1 e^{-j\psi} \quad (17-21)$$

$$\text{trong đó} \quad C_1 = \sqrt{\left(1 + \frac{x_1}{x_m}\right)^2 + \left(\frac{r_1}{x_m}\right)^2} \approx 1 + \frac{x_1}{x_m}$$

$$\text{và} \quad \operatorname{tg} \psi' = \frac{r_1}{x_1 + x_m} = \frac{I_0 r_1}{U_1}$$

Tổng trở mạch điện thay thế bằng:

$$\begin{aligned} \dot{C}_1 z_1 + \dot{C}_{12} z_{2s} &= (z_1 C_1 e^{j\psi'} + z_{2s} C_1^2) e^{-j2\psi'} = \\ &= e^{-j2\psi'} [(r_1 + jx_1) C_1 (\cos \psi' + j \sin \psi') + (\frac{r_2}{s} + jx_2) C_1^2] \quad (17-22) \end{aligned}$$

Vì $r_1 \ll x_1 + x_m$ nên $\sin \psi'$ và $\cos \psi'$ có thể viết gần đúng bằng:

$$\sin \psi' = \frac{r_1}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_m)^2}} \approx \frac{r_1}{x_1 + x_m}$$

$$\cos \psi' = \frac{x_1 + x_m}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_m)^2}} \approx 1$$

Thế vào (17-22) và đơn giản hóa cuối cùng ta được:

$$\begin{aligned} \dot{C}_1 Z_1 + \dot{C}_{12} z_{2s} &= e^{-j2\psi'} [(r_1 + \frac{r_2}{s} C_1^2) + \\ &+ j(C_1 x_1 + C_1^2 x_2 + \frac{r_1^2}{x_m})] \end{aligned}$$

Mạch điện thay thế như ở hình 17-11 và dòng điện tải bằng:

$$- \dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_1 e^{j2\psi'}}{r_1 + \frac{r_2}{s} C_1^2 + j(C_1 x_1 + C_1^2 x_2 + \frac{r_1^2}{x_m})} \quad (17-23)$$

Vì góc ψ' rất nhỏ nên có thể coi:

$$\operatorname{tg} 2\psi' = 2 \operatorname{tg} \psi' = \frac{2r_1}{x_1 + x_m} = \frac{2I_0 r_1}{U_1}$$

Căn cứ vào mạch điện thay thế này để vẽ đồ thị vòng tròn thì ta nhận thấy rằng, quỹ tích dòng điện vẫn là một đường tròn nhưng đường kính HC quay đi một góc $2\psi'$ so với trục hoành

(hình 17-12). Cụ thể đường kính vòng tròn quỹ tích này bằng:

$$HC = \frac{U_1}{x_n + r_1^2/x_m} \approx \frac{U_1}{x_n}$$

trong đó $x_n = C_1 x_1 + C_2 x_2$.

Phương pháp dùng thí nghiệm vẽ vòng tròn giống như trước, chỉ có lấy HC lệch với trục hoành một góc 2ψ .

Đoạn Da chỉ công suất P_1 . Vẽ Dg thẳng góc với HC, chiếu các điểm c, d, g lên đường Da gặp ở các điểm c'; d'; g'. Ta có:

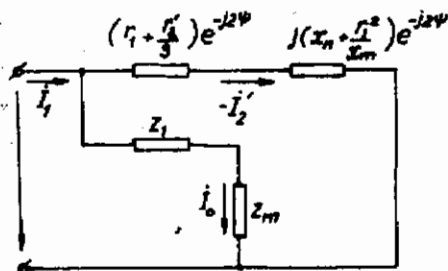
$$\overline{ag} \cdot m_p = P_o;$$

$$\overline{d'g'} \cdot m_p = P_{Cu1};$$

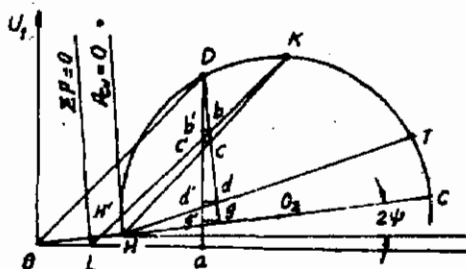
$$\overline{c'd'} \cdot m_p = P_{Cu2};$$

$$\overline{Dc'} \cdot m_p = P_{co}.$$

Cách hiệu chỉnh này có nghĩa lớn đối với máy điện không đồng bộ công suất nhỏ, vì I_o và r_1 lớn nên góc 2ψ tương đối lớn.



Hình 17-11. Mạch điện thay thế chính xác của máy điện không đồng bộ



Hình 17-12. Đồ thị vòng tròn chính xác

Câu hỏi

1. Dùng đồ thị vòng tròn để phân tích đặc tính làm việc của máy điện không đồng bộ trong trường hợp nào thì không thích hợp. Nếu phải hiệu chỉnh thì xét mặt nào?

2. Nếu tăng điện trở vào rôto thì đường kính vòng tròn của đồ

thị vòng tròn có bị ảnh hưởng không? Vị trí các điểm trên vòng tròn ứng với các đường $s = 0$, $s = \pm \infty$ có bị ảnh hưởng không? Theo hình vẽ thì đặc tính mở máy và năng lực quá tải có bị ảnh hưởng không?

3. Trong phạm vi làm việc của máy phát điện không đồng bộ, có một đoạn ở phía trên trục hoành, lúc đó máy lấy công suất tác dụng từ lưới vào nhưng máy lại ở trạng thái máy phát. Giải thích điều này như thế nào?

Chương 18

ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ ỨNG DỤNG HIỆU ỨNG MẬT NGOÀI Ở DÂY QUẤN RÔTÔ LỒNG SÓC

18.1. ĐẠI CƯƠNG

Kết cấu động cơ điện lồng sóc đơn giản, làm việc chắc chắn, có đặc tính làm việc tốt nhưng đặc tính mở máy của nó không được như của động cơ điện rôto dây quấn. Dòng điện mở máy thường lớn mà mômen mở máy lại không lớn lắm. Để cải thiện đặc tính mở máy của động cơ điện rôto lồng sóc, người ta đã chế tạo ra nhiều kiểu đặc biệt trong đó hiện nay dùng nhiều nhất là động cơ điện rôto rãnh sâu và rôto hai lồng sóc (hay lồng sóc kép). Những động cơ điện này ngoài hình dạng đặc biệt của rãnh rôto ra, những kết cấu khác hoàn toàn giống như ở động cơ điện rôto lồng sóc thường. Mặc dầu loại động cơ điện này có vài đặc tính làm việc hơi xấu hơn so với động cơ điện thường, nhưng vì cải thiện được đặc tính mở máy nên vẫn được dùng rộng rãi.

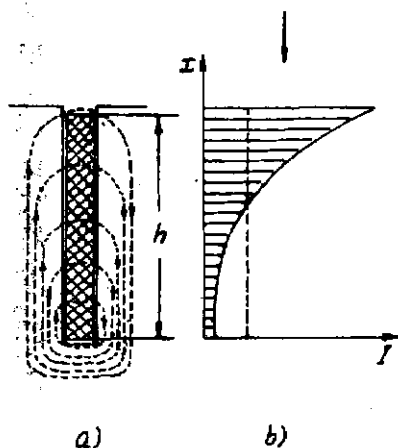
Chương này sẽ giới thiệu kết cấu, nguyên lý làm việc và một số đặc điểm của động cơ điện rôto rãnh sâu và lồng sóc kép.

18.2. ĐỘNG CƠ ĐIỆN RÔTÔ RÃNH SÂU

18.2.1. Nguyên lý làm việc

Động cơ điện rãnh sâu lợi dụng hiện tượng từ thông tản trong rãnh rôto gây nên hiện tượng hiệu ứng mật ngoài của dòng điện để cải thiện đặc tính mở máy. Để tăng hiệu ứng mật ngoài, rãnh rôto có hình dáng vừa hẹp, vừa sâu, thường tỷ lệ giữa chiều cao và chiều rộng rãnh vào khoảng $10 \div 12$. Thanh dẫn đặt trong

rãnh có thể coi như gồm nhiều thanh nhỏ đặt xếp lên nhau theo chiều cao và hai đầu được nối ngắn mạch lại bởi hai vành ngắn mạch, vì vậy điện áp hai đầu các mạch song song đó bằng nhau, do đó sự phân phối dòng điện trong các mạch phụ thuộc vào điện kháng tản của chúng. Khi mở máy, lúc đầu dòng điện dây quấn rôto có tần số lớn nhất (bằng tần số lưới f_1), từ thông tản cũng biến thiên theo tần số đó và phân bố như trong hình 18-1a.



Hình 18-1. Sự phân bố từ trường tản và dòng điện trong rãnh sâu của động cơ điện rôto lồng sóc lúc mở máy

Ở đáy rãnh, từ thông móc vòng tản nhiều nhất, càng lên phía miệng rãnh từ thông tản càng ít đi, do đó điện kháng tản ở đáy rãnh lớn và phía miệng rãnh thì nhỏ, vì vậy dòng điện sẽ tập trung lên phía trên miệng rãnh. Sự phân bố của dòng điện theo chiều cao của rãnh như ở hình 18.1b. Kết quả việc dòng điện tập trung lên trên, tiết diện tác dụng của dây dẫn coi như bị nhỏ đi, điện trở rôto tăng lên và như vậy làm cho mômen mở máy tăng lên. Mặt khác dòng điện tập trung lên trên cũng làm giảm tổng từ thông móc vòng đi một ít, nghĩa là x_2 sẽ nhỏ đi.

Hiệu ứng mặt ngoài của dòng điện mạnh hay yếu phụ thuộc vào tần số và hình dáng của rãnh, vì vậy khi mở máy, tần số cao, hiệu ứng mặt ngoài mạnh. Khi tốc độ máy tăng lên, tần số dòng điện rôto giảm xuống nên hiệu ứng mặt ngoài giảm đi, dòng điện dần dần phân bố lại đều đặn vì vậy điện trở rôto r_2 coi như nhỏ trở lại, điện kháng tản quy đổi của rôto do tần số lưới x_2 tăng

lên, đến khi máy làm việc bình thường thì do tần số dòng điện rôto thấp (khoảng $2 \div 3 \text{ Hz}$), hiện tượng hiệu ứng mặt ngoài hầu như không có, do đó động cơ điện rãnh sâu trên thực tế có đặc tính làm việc như các máy loại thường.

Cần chỉ rõ rằng hiệu ứng mặt ngoài của dòng điện rôto cũng tồn tại trong máy điện rôto lồng sóc loại thường, nhưng vì rãnh không sâu nên ảnh hưởng không rõ rệt.

18.2.2. Mạch điện thay thế

Theo sự phân tích trên ta thấy rằng, đặc điểm của động cơ điện rãnh sâu là các tham số của rôto r_2 và x_2 không phải là hằng số mà thay đổi theo hệ số trượt s . Vì vậy chỉ cần xét đến yếu tố đó thì có thể dùng mạch điện thay thế để phân tích tính năng của động cơ điện.

Tổng trở của dây quấn rôto bao gồm tổng trở trong thanh dẫn đặt trong rãnh và tổng trở của vành ngắn mạch. Vì hiệu ứng mặt ngoài của dòng điện chỉ sinh ra trong rãnh còn ở hai vành ngắn mạch thì không đáng kể nên điện trở và điện kháng của rôto quy đổi sang phía sơ cấp sẽ là:

$$\begin{aligned} r_2 &= k_r r_{2r} + r_{2v} \\ x_2 &= k_x x_{2r} + x_{2v} \end{aligned} \quad (18-1)$$

trong đó:

k_r - hệ số do hiệu ứng mặt ngoài làm cho điện trở trong thanh dẫn tăng lên;

k_x - hệ số do hiệu ứng mặt ngoài làm cho điện kháng tản trong rãnh giảm xuống.

Các ký hiệu nhỏ "r" và "v" là chỉ rãnh và vành ngắn mạch.

Hệ số k_r và k_x có quan hệ với hệ số quy đổi chiều cao ξ . Đối với thanh dẫn bằng nhôm có chiều rộng bằng chiều rộng rãnh thì ở tần số 50 Hz hệ số ξ có thể coi bằng:

$$\xi = h_r \sqrt{s} \frac{\rho}{\rho_{Cu}} \approx 0,71 h_r \sqrt{s} \quad (18-2)$$

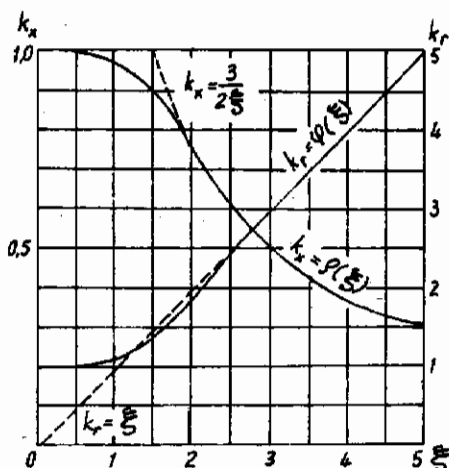
trong đó:

s - hệ số trượt;

h_r - chiều cao rãnh;

ρ, ρ_{Cu} - điện trở suất của vật liệu thanh dẫn và đồng.

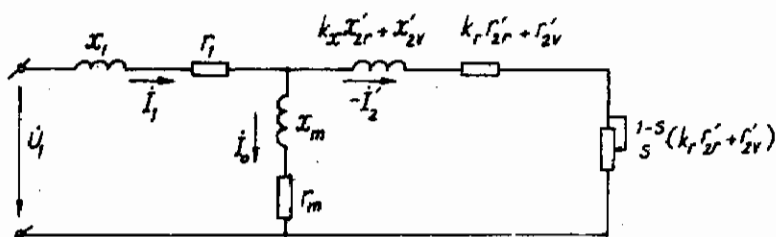
Hệ số k_r và k_x được xác định bằng cách nghiên cứu trường điện từ ở rãnh rôto. Đối với rãnh hình chữ nhật, hệ số k_r và k_x có thể tra theo đường biểu diễn ở hình 18-2. Đối với các kiểu rãnh khác sẽ có những đường cong biểu diễn khác.



Hình 18-2. Hệ số k_r và k_x

Khi $\xi \geq 2$ thì có thể coi $k_r = \xi$ và $k_x = \frac{3}{2\xi}$.

Mạch điện thay thế của động cơ điện rãnh sâu như ở hình 18-3. Mạch điện này khác với mạch điện thay thế của động cơ điện loại thường ở chỗ tham số của dây quấn thứ cấp là tổng của hai lượng không biến đổi và biến đổi. Trong hình 18-2, k_r và k_x là những hàm của hệ số trượt s , của vật liệu làm thành thanh dẫn và kích thước của nó. Do vậy các tham số của rôto cũng là



Hình 18-3. Mạch điện thay thế của máy điện không đồng bộ rôto rãnh sâu

những hàm biến đổi nên quỹ tích dòng điện rôto của động cơ điện rãnh sâu không phải là một đường tròn nữa, nhưng do khi hệ số trượt s nhỏ, tác dụng của hiệu ứng mặt ngoài không rõ rệt nên trong phạm vi làm việc định mức hoặc khi $s < s_m$ có thể dùng đồ thị vòng tròn bình thường để phân tích tính năng của động cơ điện. Còn khi $s > s_m$, quỹ tích của dòng điện rôto không phải là đường tròn nữa mà là một đường cong khác.

Động cơ điện rôto rãnh sâu ở điện áp định mức thường có dòng điện mở máy và mômen mở máy nằm trong phạm vi sau:

$$\frac{I_k}{I_{dm}} = 4,5 \div 6 \text{ và } \frac{M_k}{M_{dm}} = 1,0 \div 1,4$$

Hiệu suất của động cơ điện rãnh sâu không khác động cơ điện thường là bao. Chỉ có $\cos\phi$ hơi thấp vì điện kháng tản rôto lớn hơn loại rãnh thường. Cũng vì lý do đó nên M_{max} cũng nhỏ hơn. Phạm vi công suất của loại động cơ điện này vào khoảng $50 \div 200 \text{ kW}$.

18.3. ĐỘNG CƠ ĐIỆN HAI LỒNG SÓC

18.3.1. Nguyên lý làm việc

Động cơ điện loại này có hai lồng sóc ở trên rôto. Các thanh dẫn của lồng sóc phía ngoài có tiết diện nhỏ và thường làm bằng đồng thau có điện trở lớn. Các thanh dẫn của lồng sóc phía trong có tiết diện lớn, làm bằng đồng đỏ để có điện trở nhỏ, nhưng do rãnh tương đối sâu, từ thông tản nhiều nên điện kháng tản lớn. Nếu hai lồng sóc đều đúc bằng nhôm thì mới có vành ngắn mạch chung. Giữa hai lồng sóc có một khe hở nhỏ nối liền rãnh của lồng sóc ngoài với rãnh của lồng sóc trong để cho từ thông tản phân bố như ở hình 18-4, như vậy có thể làm cho tham số của rôto thỏa mãn được yêu cầu cần thiết nhất định về tính năng mở máy của động cơ điện. Khi động cơ điện mở máy, tần số rôto bằng tần số lưới do điện kháng của lồng sóc trong lớn nên dòng điện chủ yếu tập trung ở lồng sóc ngoài. Ta có $I_2 \gg I_{2lv}$ (trong

đó các ký hiệu "k" chỉ lồng sóc ngoài; "lv" chỉ lồng sóc trong).

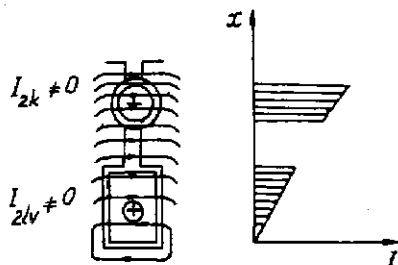
Góc pha của hai dòng điện đó với s.d.d. E_2 phụ thuộc vào $\frac{x_k}{r_k}$ và

$\frac{x_{lv}}{r_{lv}}$. Do r_k lớn, x_k nhỏ còn r_{lv} nhỏ, x_{lv} lớn nên I_k gần cùng pha

với E_2 , còn I_{lv} chậm sau E_2 nhiều. Vì vậy khi mở máy lồng sóc ngoài sinh ra mômen lớn, có tác dụng chủ yếu nên gọi là lồng sóc mở máy. Khi làm việc bình thường thì hiệu ứng mật ngoài của dòng điện yếu hẳn đi, điện kháng của lồng sóc trong nhỏ lại, dòng điện lớn lên. Do I_{2k} và I_{2lv} gần cùng pha với E_2 mà dòng điện lại tỷ lệ nghịch với điện trở nên $I_{lv} \gg I_k$ nên lồng sóc trong chủ yếu sinh ra mômen, ta gọi đó là lồng sóc làm việc. Như vậy thực tế có thể coi động cơ điện có hai lồng sóc làm việc song song và đặc tính $M = f(s)$ của loại động cơ điện này có thể coi như là tổng hợp các đặc tính $M_1 = f(s)$ của hai lồng sóc. Thay đổi kích thước, dạng rãnh của hai lồng sóc và khe hở giữa hai lồng sóc, dùng vật liệu khác nhau để làm thanh dẫn có thể thay đổi tham số của hai lồng sóc để được đặc tính $M = f(s)$ theo ý muốn.

18.3.2. Mạch điện thay thế

Xét sự phân bố từ thông tản trên hình 18-4 thì dòng điện ở lồng sóc trong I_{2lv} phần lớn sinh ra từ thông tản móc vòng lấy nó là $\Phi_{\sigma lv}$, còn dòng điện rôto I_2 (bao gồm dòng điện ở lồng sóc ngoài I_{2k} và lồng sóc trong I_{2lv}) sinh ra từ thông móc vòng cho cả hai lồng sóc Φ_{σ} . Gọi điện kháng tản

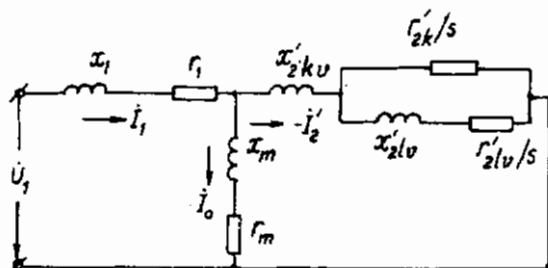


Hình 18-4. Sự phân bố từ trường tản và dòng điện trong động cơ điện hai lồng sóc khi mở máy

đã quy đổi ứng với hai loại từ thông tản trên là x_{2lv} và x_{2kv} thì mạch điện thay thế sẽ như ở hình 18-5, trong đó r_{2lv} và r_{2k} là điện trở lồng sóc làm việc và mở máy đã quy đổi.

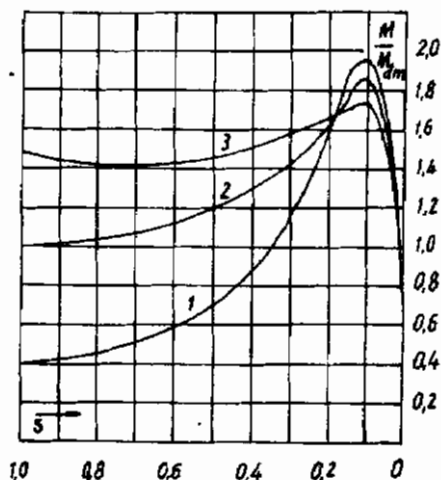
Trong mạch điện thay thế phần mạch sơ cấp và phần mạch từ hóa giống như trong mạch điện thay thế của máy điện loại thường, x_{kv} tương ứng với từ thông Φ_σ , $r_{2lv}/s + jx_{2lv}$ là tổng trở đã quy đổi của lồng sóc trong khi có dòng điện

I_{2lv} đi qua; $\frac{r_{2k}}{s}$ là điện trở đã quy đổi của lồng sóc trên khi có dòng điện I_{2k} chạy qua.



Hình 18-5. Mạch điện thay thế của máy điện không đồng bộ rôto hai lồng sóc

Hình 18-6. Đặc tính $M = f(s)$ của động cơ điện không đồng bộ rôto lồng sóc thường (1), rôto lồng rãnh sâu (2) và rôto hai lồng sóc (3)



Dòng điện mở máy và mômen mở máy của động cơ điện hai lồng sóc ở điện áp định mức vào khoảng:

$$\frac{I_k}{I_{dm}} = 4 \div 6,0 \text{ và } \frac{M_k}{M_{dm}} = 1,2 \div 2,0.$$

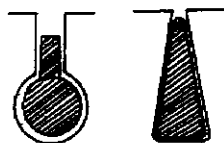
Do điện kháng tản của rôto lớn nên $\cos\varphi$ thấp. So với loại rãnh sâu thì động cơ điện loại này dùng nhiều kim loại màu hơn, nhưng có thể thiết kế đặc tính mở máy một cách linh hoạt hơn.

Phạm vi công suất của loại động cơ điện rôto hai lồng sóc từ vài chục đến 1250 kW.

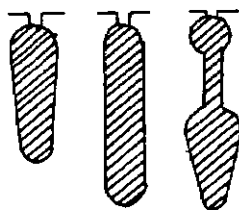
Đặc tính $M = f(s)$ của các loại động cơ điện thường và động cơ điện rãnh sâu, lồng sóc kép được trình bày trong hình 18-6.

18.4. CÁC DẠNG RÃNH RÔTÔ KHÁC

Để ứng dụng hiệu ứng mặt ngoài ở dây quấn rôto lồng sóc một cách có hiệu quả, ngoài các rãnh sâu và hai lồng sóc người ta còn dùng các kiểu rãnh như ở hình 18-7. Vì kích thước phía trên rãnh bé lại, nên khi mở máy do hiệu ứng mặt ngoài, dòng điện rôto hầu như tập trung lên mặt thành dẫn, điện trở rôto r_2 tăng lên rõ rệt làm cho tính năng mở máy tốt lên. Mặt khác cách chế tạo rôto lồng sóc với các dạng rãnh này dễ hơn rôto hai lồng sóc nên ngày càng được dùng nhiều.



Hình 18-7. Rãnh sâu dạng cổ lọ và hình thang



Hình 18-8. Rãnh sâu dúc nhôm

Đối với những động cơ điện không đồng bộ công suất đến 100 kW, dây quấn rôto thường đúc bằng nhôm và có dạng rãnh như ở hình 18-8.

Câu hỏi

1. Các tham số của dây quấn rôto động cơ điện không đồng bộ trong quá trình mở máy phụ thuộc vào những yếu tố nào?
2. Vì sao hệ số công suất của động cơ lồng sóc rãnh sâu và hai lồng sóc thường nhỏ hơn so với của động cơ điện lồng sóc loại thường?
3. Ở động cơ điện không đồng bộ rôto hai lồng sóc, hai lồng sóc có thể dùng chung vành ngắn mạch hoặc riêng, như vậy mạch điện thay thế có gì khác nhau? Tại sao tính năng mở máy khi hai lồng sóc có vành ngắn mạch riêng tốt hơn?
4. So sánh tính năng các loại động cơ điện không đồng bộ rôto lồng sóc loại thường, rãnh sâu hai lồng sóc và rôto dây quấn.
5. Người ta dùng nhiều dạng rãnh rôto khác nhau để đạt mục đích gì?

Chương 19

MỞ MÁY VÀ ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ

19.1. QUÁ TRÌNH MỞ MÁY ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Trong quá trình mở máy động cơ điện, mômen mở máy là đặc tính chủ yếu nhất trong những đặc tính mở máy của động cơ điện. Muốn cho máy quay được thì mômen mở máy của động cơ điện phải lớn hơn mômen tải tĩnh và mômen ma sát tĩnh. Trong quá trình tăng tốc, phương trình cân bằng động về mômen như sau:

$$M - M_c = M_j = J \frac{d\omega}{dt} \quad (19-1)$$

trong đó:

M , M_c và M_j - mômen điện từ của động cơ điện, mômen cản và mômen quán tính;

$J = \frac{GD^2}{4g}$ - hằng số quán tính;

$g = 9,81, m/s^2$ - gia tốc trọng trường;

G và D - trọng lượng và đường kính phần quay;

ω - tốc độ góc của rôto.

Khi đã biết đặc tính cơ của động cơ điện $M = f_1(n)$ và của tải $M_c = f_2(n)$ thì có thể từ công thức (19-1) tìm ra quan hệ giữa tốc độ và thời gian $n = f(t)$ trong quá trình mở máy. Cũng từ biểu thức trên ta thấy muốn đảm bảo tăng tốc thuận lợi, trong quá trình mở máy phải giữ $\frac{d\omega}{dt} > 0$, nghĩa là $M > M_c$. Với một

quán tính như nhau, $M - M_c$ càng lớn thì tốc độ tăng càng nhanh. Ngược lại những máy có quán tính lớn thì thời gian mở máy lâu. Đối với trường hợp có yêu cầu mở máy nhiều lần thì thời gian mở máy ảnh hưởng nhiều đến năng suất lao động.

Khi bắt đầu mở máy thì rôto đang đứng yên, hệ số trượt $s = 1$ nên trị số dòng điện mở máy có thể tính được theo mạch điện thay thế:

$$I_k = \frac{U_1}{\sqrt{(r_1 + C_1 r_2')^2 + (x_1 + C_1 x_2')^2}} \quad (19-2)$$

Trên thực tế, do mạch từ tản bão hòa rất nhanh, điện kháng giảm xuống nên dòng điện mở máy còn lớn hơn so với trị số tính theo công thức (19-2). Ở điện áp định mức, thường dòng điện mở máy bằng 4 đến 7 lần dòng điện định mức. Dòng điện quá lớn không những làm cho bản thân máy bị nóng mà còn làm cho điện áp lưới giảm sút nhiều, nhất là đối với những lưới điện công suất nhỏ.

19.2. CÁC PHƯƠNG PHÁP MỞ MÁY

Theo yêu cầu của sản xuất, động cơ điện không đồng bộ lúc làm việc thường phải mở máy và ngừng máy nhiều lần. Tùy theo tính chất của tải và tình hình của lưới điện mà yêu cầu về mở máy đối với động cơ điện cũng khác nhau. Có khi yêu cầu mômen mở máy lớn, có khi cần hạn chế dòng điện mở máy và có khi cần cả hai. Những yêu cầu trên đòi hỏi động cơ điện phải có tính năng mở máy thích ứng.

Trong nhiều trường hợp, do phương pháp mở máy hay do chọn động cơ điện có tính năng mở máy không thích đáng nên thường hỏng máy.

Nói chung khi mở máy một động cơ cần xét đến những yêu cầu cơ bản sau:

1. Phải có mômen mở máy đủ lớn để thích ứng với đặc tính cơ của tải;

2. Dòng điện mở máy càng nhỏ càng tốt;
3. Phương pháp mở máy và thiết bị cần dùng đơn giản, rẻ tiền, chắc chắn;
4. Tổn hao công suất trong quá trình mở máy càng thấp càng tốt.

Những yêu cầu trên thường mâu thuẫn với nhau như khi đòi hỏi dòng điện mở máy nhỏ thì thường làm cho mômen mở máy giảm theo hoặc cần thiết bị đắt tiền. Vì vậy phải căn cứ vào điều kiện làm việc cụ thể mà chọn phương pháp mở máy thích hợp.

19.2.1. Mở máy trực tiếp động cơ điện rôto lồng sóc

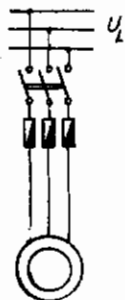
Đây là phương pháp mở máy đơn giản nhất, chỉ việc đóng trực tiếp động cơ điện vào lưới điện là được (hình 19-1). Nhưng lúc mở máy trực tiếp, dòng điện mở máy tương đối lớn. Nếu quán tính của tải tương đối lớn, thời gian mở máy quá dài thì có thể làm cho máy nóng và ảnh hưởng đến điện áp của lưới điện. Nhưng nếu nguồn điện tương đối lớn thì nên dùng phương pháp này vì mở máy nhanh, đơn giản.

19.2.2. Hạ điện áp mở máy

Mục đích của phương pháp này là giảm dòng điện mở máy nhưng đồng thời mômen mở máy cũng giảm xuống, do đó đối với những tải yêu cầu có mômen mở máy lớn thì phương pháp này không dùng được. Tuy vậy, đối với những thiết bị yêu cầu mômen mở máy nhỏ thì phương pháp này rất thích hợp. Có những cách hạ điện áp sau:

1. Nối điện kháng nối tiếp vào mạch điện stato

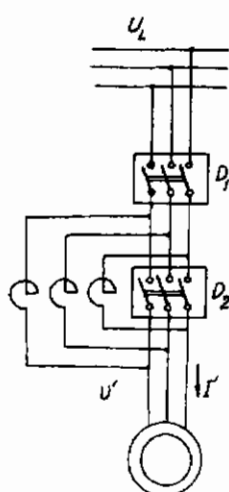
Khi mở máy trong mạch điện stato đặt nối tiếp một điện kháng. Sau khi mở máy xong bằng cách đóng cầu dao D_2 (hình 13-2) thì điện kháng này bị nối ngắn mạch. Điều chỉnh trị số của



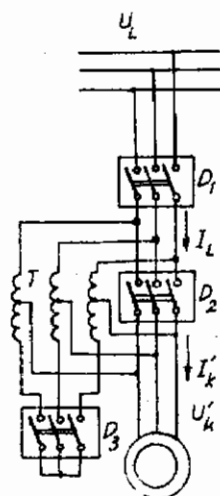
Hình 19-1. Mở máy trực tiếp động cơ điện không đồng bộ

điện kháng thì có thể có được dòng điện mở máy cần thiết. Do có điện áp giáng trên điện kháng nên điện áp mở máy trên đầu cực động cơ điện U_k sẽ nhỏ hơn điện áp lưới U_l (hình 19-2). Gọi dòng điện mở

máy và mômen mở máy khi mở máy trực tiếp là I_k và M_k . Sau khi thêm điện kháng vào, dòng điện mở máy còn lại $I_k = kI_k$ trong đó $k < 1$. Nếu cho rằng khi hạ điện áp mở máy, tham số của máy điện vẫn giữ không đổi thì khi dòng điện mở máy nhỏ đi, điện áp



Hình 19-2. Hạ áp mở máy bằng điện kháng



Hình 19-3. Hạ áp mở máy bằng biến áp tự ngẫu

đầu cực động cơ điện sẽ bằng $U_k = kU_l$. Vì mômen mở máy tỷ lệ với bình phương của điện áp nên lúc đó mômen mở máy bằng $M_k = k^2 M_k$.

Vì dụ nối điện kháng vào ứng với $k = 0,6$ thì $I_k = 0,6I_k$ và $M_k = 0,36M_k$, nghĩa là chỉ bằng 0,36 lần mômen mở máy lúc U_{dm} . Ưu điểm của phương pháp này là thiết bị đơn giản, nhưng nhược điểm là khi giảm dòng điện mở máy thì mômen mở máy giảm xuống bình phương lần.

2. Dùng biến áp tự ngẫu hạ điện áp mở máy

Sơ đồ lúc mở máy như ở hình 19-3, trong đó T là biến áp tự ngẫu, bên cao áp nối với lưới điện, bên hạ áp nối với động cơ

điện. Sau khi mở máy xong thì cắt T ra (bằng cách đóng cầu dao D_2 vào và mở D_3 ra). Gọi tỷ số biến đổi điện áp của biến áp tự ngẫu là k_T ($k_T < 1$) thì $U_k = k_T U_1$. Do đó dòng điện mở máy và mômen mở máy của động cơ điện sẽ là: $I_k = k_T I_k$ và $M_k = k_T^2 M_k$. Gọi dòng điện lấy từ lưới vào là I_1 (dòng điện sơ cấp của biến áp tự ngẫu) thì dòng điện đó bằng: $I_1 = k_T I_k = k_T^2 I_k$.

So với phương pháp trên ta thấy, khi chọn $k_T = 0,6$ thì mômen mở máy vẫn bằng $M_k = 0,36 M_k$ nhưng dòng điện mở máy lấy từ lưới vào nhỏ hơn nhiều: $I_1 = k_T^2 I_k = 0,36 I_k$.

Ngược lại khi lấy từ lưới vào một dòng điện mở máy bằng dòng điện mở máy của phương pháp trên thì với phương pháp này ta có mômen mở máy lớn hơn. Đó là ưu điểm của phương pháp dùng biến áp tự ngẫu hạ thấp điện áp mở máy.

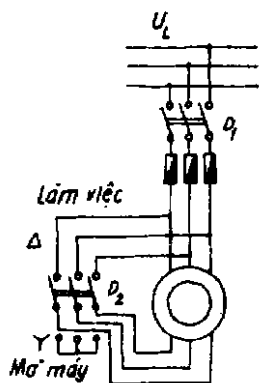
3. Mở máy bằng phương pháp Y - Δ

Phương pháp mở máy Y - Δ thích ứng với những máy khi làm việc bình thường đấu tam giác. Khi mở máy ta đổi thành Y, như vậy điện áp đưa vào hai đầu mỗi pha chỉ còn có $U_1/\sqrt{3}$.

Sau khi máy đã chạy rồi, đổi lại thành cách đấu Δ . Sơ đồ cách đấu dây như ở hình 19-4. Khi mở máy thì đóng cầu dao D_1 còn cầu dao D_2 thì đóng về phía dưới, như vậy máy đấu Y. Khi máy đã chạy rồi thì đóng cầu dao D_2 về phía trên, máy đấu theo Δ . Theo phương pháp Y- Δ thì khi dây quấn đấu Y, điện áp pha trên dây quấn là:

$$U_{kf} = \frac{1}{\sqrt{3}} U_1. \text{ Ta có:}$$

$$I'_{kf} = \frac{1}{\sqrt{3}} I_k \quad \text{và} \quad M_k = \frac{1}{3} M_k$$



Hình 19-4. Mở máy Y- Δ

Do khi đấu Y để mở máy thì dòng điện pha bằng dòng điện dây mà khi mở máy trực tiếp thì máy đấu Δ (khi ấy $U_{kf} = U_l$ và $I_k = \sqrt{3} I_{kf}$) cho nên khi mở máy đấu Y thì dòng điện bằng

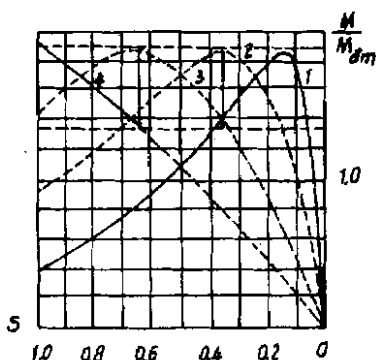
$$I_1 = I_{kf} = \frac{1}{\sqrt{3}} K_{kf} = \frac{1}{3} I_k, \text{ nghĩa là dòng điện và mômen mở máy}$$

đều bằng $\frac{1}{3}$ dòng điện và mômen khi mở máy trực tiếp. Trên thực tế trường hợp này tương tự như dùng một biến áp tự ngẫu để mở máy mà tỷ số biến đổi điện áp $k_T = \frac{1}{\sqrt{3}}$.

Trong các phương pháp hạ điện áp mở máy nói trên, phương pháp mở máy Y - Δ tương đối đơn giản nên được dùng rộng rãi đối với những động cơ điện khi làm việc đấu tam giác.

19.2.3. Mở máy bằng cách thêm điện trở phụ vào rôto

Phương pháp này chỉ thích dụng với những động cơ điện rôto dây quấn vì đặc điểm của loại động cơ điện này là có thể thêm điện trở vào cuộn dây rôto. Như ta đã biết, khi điện trở rôto thay đổi thì đặc tính $M = f(s)$ cũng sẽ thay đổi. Khi điều chỉnh điện trở mạch điện rôto thích đáng thì sẽ được trạng thái mở máy lý tưởng



Hình 19-5. Đặc tính mômen khi thêm điện trở vào rôto để mở máy

(đường 4 ở hình 19-5). Sau khi máy đã quay, để giữ một mômen điện từ nhất định trong quá trình mở máy, ta cắt dần điện trở thêm vào rôto làm cho quá trình tăng tốc của động cơ điện thay đổi từ đường $M = f(s)$ này sang đường $M = f(s)$ khác như ở hình 19-5 đổi từ đường 4 rồi sang đường 3, đường 2 và sau khi cắt

toàn bộ điện trở thì sẽ theo đường 1 tăng tốc đến điểm làm việc.

Dùng động cơ điện rôto dây quấn có thể đạt được mômen mở máy lớn, đồng thời có dòng điện mở máy nhỏ nên những nơi nào mở máy khó khăn thì dùng động cơ điện loại này.

Nhược điểm của động cơ điện rôto dây quấn là rôto dây quấn chế tạo phức tạp hơn rôto lồng sóc nên đắt hơn, bảo quản cũng khó khăn hơn, hiệu suất của máy cũng thấp hơn.

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

Cho đến nay, người ta đã nghiên cứu nhiều về vấn đề điều chỉnh tốc độ động cơ điện không đồng bộ nhưng nhìn chung thì các phương pháp điều chỉnh tốc độ động cơ điện không đồng bộ đều có những ưu khuyết điểm của nó và chưa giải quyết được toàn bộ vấn đề như phạm vi điều chỉnh, năng lượng tiêu thụ, độ bằng phẳng khi điều chỉnh, thiết bị sử dụng. Vì vậy trong nhiều ngành công nghiệp quan trọng như cán thép, vận tải, dệt, giấy, cơ khí, v.v... có yêu cầu điều chỉnh tốc độ tương đối cao người ta vẫn còn dùng nhiều động cơ điện một chiều hay động cơ điện xoay chiều có vành góp. Mặc dầu việc điều chỉnh tốc độ động cơ điện không đồng bộ có một số khó khăn nhất định, nhưng trong những trường hợp nào đó thì dùng phương pháp điều chỉnh tốc độ thích hợp cũng có thể thỏa mãn được yêu cầu.

Các phương pháp điều chỉnh chủ yếu có thể thực hiện:

1. Trên stato: thay đổi điện áp đưa vào dây quấn stato, thay đổi số đôi cực của dây quấn stato hay thay đổi tần số nguồn điện;
2. Trên rôto: thay đổi điện trở rôto hoặc nối nối tiếp trên mạch điện rôto một hay nhiều máy điện phụ gọi là nối cấp.

Sau đây sẽ trình bày từng phương pháp điều chỉnh tốc độ đó.

19.3.1. Điều chỉnh tốc độ bằng các thay đổi số đôi cực

Nói chung động cơ điện không đồng bộ trong điều kiện làm việc bình thường có hệ số trượt nhỏ, do đó tốc độ của động cơ

điện gần bằng tốc độ đồng bộ $n_1 = 60f_1/p$. Từ đây ta thấy khi tần số không đổi thì tốc độ đồng bộ của động cơ điện tỷ lệ nghịch với số đôi cực, do đó khi thay số đôi cực của dây quấn stato có thể thay đổi tốc độ được.

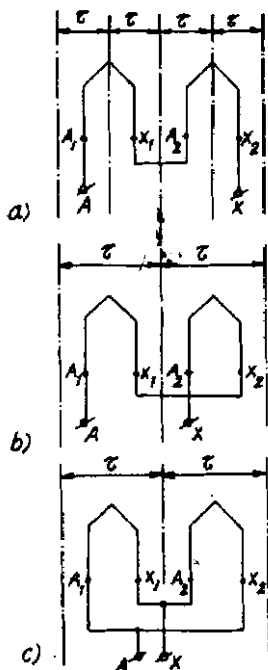
Dây quấn stato có thể nối thành bao nhiêu số đôi cực khác nhau thì tốc độ có bấy nhiêu cấp, vì vậy thay đổi tốc độ chỉ có thể thay đổi từng cấp một, không bằng phẳng. Thường có hai cấp tốc độ gọi là động cơ điện hai tốc độ. Cũng có loại ba, bốn tốc độ. Có nhiều cách thay đổi số đôi cực của dây quấn stato.

1. Đổi cách nối để có số đôi cực khác nhau. Dùng trong động cơ điện hai tốc độ theo tỷ lệ 2 : 1;

2. Trên rãnh stato đặt hai dây quấn độc lập có số đôi cực khác nhau, thường để đạt hai tốc độ theo tỷ lệ 4 : 3 hay 6 : 5;

3. Trên rãnh stato có đặt hai dây quấn độc lập có số đôi cực khác nhau, mỗi dây quấn lại có thể đổi cách nối để có số đôi cực khác nhau, dùng trong động cơ điện ba, bốn tốc độ.

Dây quấn rôto trong động cơ không đồng bộ rôto dây quấn có số đôi cực bằng số đôi cực của dây quấn stato, do đó khi đấu lại dây quấn stato để có số đôi cực khác nhau thì dây quấn rôto cũng phải đấu lại, như vậy không tiện lợi, do đó người ta không dùng loại động cơ điện này để điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi số đôi cực. Ngược lại stato lồng sóc có thể thích ứng với bất cứ số đôi cực nào của dây quấn stato, do đó thích hợp cho động cơ điện thay đổi số đôi cực để điều chỉnh tốc độ.



Hình 19-6. Sơ đồ nguyên lý về thay đổi số đôi cực

Sơ đồ cách nối số đôi cực như hình 19-6.

So sánh hai hình 19-6a và b ta thấy rằng cũng cùng hai cuộn dây đó, tùy theo cách đấu thuận hay nghịch mà được bước cực khác nhau, nghĩa là số đôi cực khác nhau theo tỷ lệ 2 : 1. Hai cuộn dây đó cũng có thể đấu nối tiếp hay song song theo yêu cầu của điện áp và dòng điện như ở hình 19-6b và c.

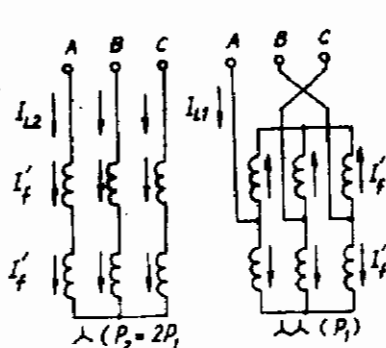
Tùy theo cách đấu Y hay Δ và cách đấu dây quấn pha song song hay nối tiếp mà người ta chế tạo động cơ điện hai tốc độ thành loại mômen không đổi và loại công suất không đổi.

Gọi công suất động cơ điện hai tốc độ với số đôi cực ít (p_1) là P_1 , với số đôi cực gấp đôi (p_2) là P_2 thì theo hình 19-7 với cách đấu Y/YY, ta có:

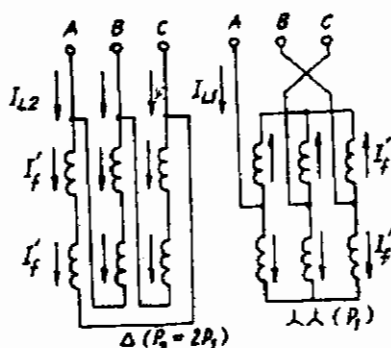
$$P_2 = \sqrt{3}U_1 I_f \eta \cos \varphi_1$$

$$P_1 = \sqrt{3}U_1 2I_f \eta \cos \varphi_1$$

Giả thiết khi đổi tốc độ, hiệu suất η và $\cos \varphi$ không đổi thì ta



Hình 19-7. Sơ đồ đấu dây quấn khi đổi tốc độ theo tỷ lệ 2 : 1 với mômen không đổi



Hình 19-8. Sơ đồ đấu dây quấn khi đổi tốc độ theo tỷ lệ 2 : 1 với công suất không đổi

có:

$$\frac{P_1}{P_2} = 2$$

(19-3)

Vì tốc độ khi máy có công suất P_1 gấp đôi tốc độ khi máy có

công suất P_2 ($n_1 = 2n_2$) và do quan hệ $P = \omega M$, trong đó ω là tốc độ góc của rôto động cơ điện; M, P là mômen điện từ và công suất đầu trục của động cơ điện, nên ta có:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{\omega_1 M_1}{\omega_2 M_2} = \frac{2M_1}{M_2} = 2$$

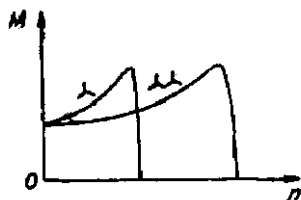
Từ đó ta được $M_1 = M_2$, nghĩa là máy được chế tạo theo loại mômen không đổi.

Ở hình 19-8 với cách đấu Δ/YY , công suất của máy là:

$$P_2 = \sqrt{3} U_1 \sqrt{3} I_1 \eta \cos \varphi_1$$

$$P_1 = \sqrt{3} U_1 2I_1 \eta \cos \varphi_1$$

ta có:
$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1,15 \approx 1 \quad (19-4)$$



Hình 19-9. Đồ thị mômen $M = f(n)$ của động cơ điện hai tốc độ có sơ đồ đấu dây như ở hình 19-7



Hình 19-10. Đồ thị mômen $M = f(n)$ của động cơ điện hai tốc độ có sơ đồ đấu dây như ở hình 19-8

Động cơ điện hai tốc độ đấu theo kiểu này thuộc loại công suất không đổi.

Đặc tính cơ $M = f(n)$ của động cơ điện hai tốc độ đấu theo Y/Y và Δ/YY được biểu diễn ở hình 19-9 và 19-10.

19.3.2. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi tần số

Như ta đã biết, tốc độ của động cơ điện không đồng bộ bằng:

$$n = n_1(1 - s) = \frac{60f_1}{p} (1 - s)$$

Khi hệ số trượt thay đổi ít thì n tỷ lệ thuận với f_1 .

Phương pháp thay đổi tần số điều chỉnh tốc độ là một phương pháp điều chỉnh bằng phẳng, động cơ điện có thể quay với bất cứ tốc độ nào. Muốn vậy phải sử dụng một nguồn điện đặc biệt, do đó chỉ khi nào có nhiều động cơ điện cùng thay đổi tốc độ theo một quy luật chung thì cách điều chỉnh này mới có ý nghĩa hiện thực, vì có thể dùng một nguồn điện biến tần chung.

Với điều kiện năng lượng quá tải không đổi, có thể tìm ra được quan hệ giữa điện áp U_1 , tần số f_1 và mômen M .

Trong công thức về mômen cực đại (2-4), khi bỏ qua điện trở r_1 thì mômen cực đại có thể viết thành:

$$M_{\max} = C \frac{U_1^2}{f_1^2} \quad (19-5)$$

trong đó C là một hệ số.

Giả thiết U_1 và M' là điện áp và mômen lúc tần số là f_1 thì căn cứ vào điều kiện năng lượng quá tải không đổi, ta có:

$$\frac{M'_{\max}}{M'} = \frac{M_{\max}}{M}$$

$$\text{hay: } \frac{M'}{M} = \frac{M'_{\max}}{M_{\max}} = \frac{U_1'^2 f_1^2}{U_1^2 f_1^2}$$

$$\text{Do đó ta được: } \frac{U_1'}{U_1} = \frac{f_1'}{f_1} = \frac{M'}{M} \quad (19-6)$$

Trong thực tế ứng dụng, thường yêu cầu mômen không đổi (như trong máy cắt gọt kim loại), nên ta có:

$$\frac{U_1'}{U_1} = \frac{f_1'}{f_1} \quad (19-7)$$

$$\text{hay } \frac{U_1}{f_1} = \text{const.}$$

Khi yêu cầu điều chỉnh tốc độ đảm bảo công suất cơ $P_{cơ}$ không đổi, nghĩa là M tỷ lệ nghịch với tần số f_1 (như trong đầu máy điện), thì ta có:

$$\frac{M'}{M} = \frac{f_1}{f_1'}$$

Thế vào công thức (19-6), ta được:

$$\frac{U_1}{U_1'} = \sqrt{\frac{f_1}{f_1'}} \quad (19-8)$$

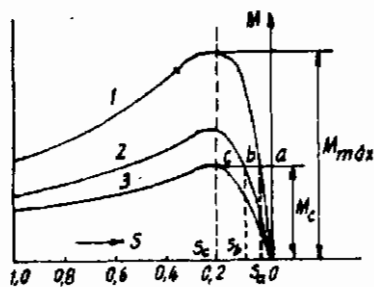
Nếu yêu cầu mômen tỷ lệ với bình phương của tốc độ nghĩa là M tỷ lệ với f^2 (như trong quạt gió) thì ta có:

$$\frac{U_1}{U_1'} = \left(\frac{f_1}{f_1'}\right)^2 \quad (19-9)$$

Tóm lại khi thay đổi tần số để điều chỉnh tốc độ ta phải đồng thời điều chỉnh cả điện áp đưa vào động cơ điện.

19.3.3. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện áp

Khi thay đổi điện áp lưới, ví dụ giảm xuống còn x lần ($x < 1$) điện áp định mức ($U_1 = xU_{đm}$) thì mômen sẽ giảm xuống còn x^2 lần: $M = x^2 M_{đm}$. Nếu mômen tải không đổi thì tốc độ giảm xuống, hệ số trượt tăng từ s_a đến s_b rồi s_c như trong hình 19-11.



Hình 19-11. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện áp của stato

Theo công thức về mômen $M = C_m I_2 \Phi$ trong đó C_m là hệ số, thì khi điện áp lưới $U_1 = xU_{đm}$, s.f.d. E và từ thông Φ cũng bằng x lần trị số ban đầu và I_2 tăng lên $1/x$ lần. Vì hệ số trượt:

$$s = \frac{P_{Cu2}}{P_{dt}} = \frac{m_1 I_2^2 r_2}{M \omega_1}$$

nên hệ số trượt s sẽ bằng $1/x^2$ lần hệ số trượt cũ và tốc độ động cơ điện ở điện áp $U_1 = x U_{dm}$ sẽ là:

$$n = n_1 \left(1 - \frac{s}{x^2} \right) \quad (19-10)$$

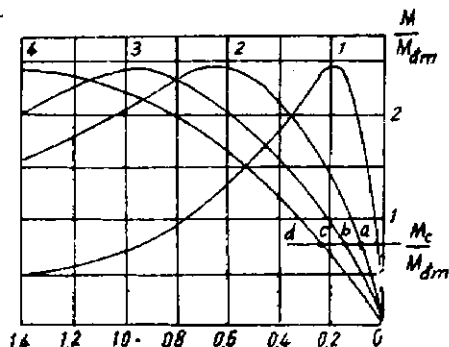
Theo hình 19-11 ta thấy hệ số trượt tối đa có thể điều chỉnh được là $s = s_m$. Giả thiết $M_{max}/M_{dm} = 2$, hệ số trượt định mức $s_{dm} = 0,04$ thì theo biểu thức Klôx (2-45) tính ra được $s_m = 0,15$, nghĩa là phạm vi điều chỉnh tối đa là 15%.

Khi mômen tải bằng mômen định mức thì điện áp thấp nhất là $U_1 = 0,707 U_{dm}$. Nếu mômen tải nhỏ hơn tải định mức thì điện áp còn có thể giảm hơn nữa.

Có thể dùng phương pháp đổi nối Y-Δ hoặc dùng điện kháng nối nối tiếp với dây quấn stato để hạ điện áp.

19.3.4. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thêm điện trở phụ vào mạch rôto

Phương pháp này chỉ có thể dùng đối với động cơ điện rôto dây quấn. Thông qua vành trượt ta nối một biến trở ba pha có thể điều chỉnh được vào dây quấn rôto. Hình 19-12 chỉ rõ khi thêm điện trở phụ vào thì các đường đặc tính $M = f(s)$ nghiêng về phía trái. Với một mômen tải nhất định, điện trở phụ càng lớn thì hệ số trượt ở điểm làm việc càng lớn (từ a đến b rồi c), nghĩa là tốc độ càng giảm xuống. Vì



Hình 19-12. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thêm điện trở phụ vào rôto

mômen tỷ lệ với công suất điện từ P_{dt} , nên ta có:

$$\frac{r_2}{s} = \frac{r_2 + r_f}{s'} \quad (17-11)$$

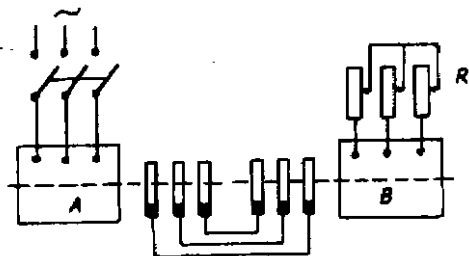
trong đó r_f là điện trở phụ. Do P_{dt} bản thân không đổi, I_2 cũng không đổi nên một bộ phận công suất cơ trước kia đã biến thành tổn hao đồng $m_2 I_2^2 r_f$. Vì lúc đó công suất đưa vào không đổi nên hiệu suất đã giảm. Đó là khuyết điểm của phương pháp điều chỉnh này. Mặt khác tốc độ điều chỉnh được nhiều hay ít còn tùy theo tải lớn hay nhỏ, do đó khi không tải không thể dùng phương pháp này để điều chỉnh tốc độ được.

19.3.5. Điều chỉnh tốc độ bằng nối cấp

Dùng phương pháp này có thể đem năng lượng tiêu hao trên điện trở phụ của phương pháp trên truyền cho một động cơ điện nối cấp để đổi thành cơ năng. Như vậy có thể lợi dụng triệt để năng lượng lấy từ lưới điện.

Nối nối cấp có nhiều kiểu, ở đây chỉ giới thiệu một trong những kiểu nối cấp với máy điện không đồng bộ.

Khi nối cấp thì rôto của hai động cơ điện không đồng bộ được nối với nhau cả về điện lẫn về cơ như hình 19-13.



Hình 19-13. Động cơ điện không đồng bộ nối cấp

Động cơ điện A làm việc bình thường với lưới điện còn dây quấn stato của động cơ B nối với một biến trở ba pha đối xứng. Như vậy điện áp đưa vào động cơ B chỉ là điện áp tần số thấp của rôto động cơ điện A thông qua vành trượt chuyển sang rôto động cơ điện B. Gọi số đôi cực của máy A và B là p_A và p_B ; tần

số lưới là f_1 ; tần số dòng điện rôto của máy A là f_2 ; tốc độ đồng bộ của các máy là n_{1A} và n_{1B} ; tốc độ rôto chung của cả hai máy là n_c thì ta có:

$$n_{1A} = \frac{60f_1}{p_A} \quad \text{và} \quad f_2 = \frac{n_{1A} - n_c}{60} p_A \quad (19-12)$$

Tốc độ đồng bộ của máy B (tức là tốc độ của từ trường quay so với rôto) bằng:

$$n_{1B} = \frac{60f_2}{p_B} = (n_{1A} - n_c) \frac{p_A}{p_B}$$

và hệ số trượt bằng:

$$s_B = \frac{n_{1B} - n_c}{n_{1B}} \quad (19-13)$$

Ta nhận thấy B làm việc giống như một động cơ điện không đồng bộ thường mà tần số nguồn đưa vào trên rôto là f_2 , còn máy A thì như một động cơ điện không đồng bộ thường mà trên rôto nối thêm một mạch điện đẳng trị của động cơ điện B. Cuối cùng vì rôto hai máy nối chặt với nhau về cơ khí nên cùng quay với tốc độ n_c . Hiểu như vậy thì rất dễ thấy, khi không tải, hệ số trượt của máy B, $s_B = 0$ nên $n_{1B} = n_c$. Lúc đó n_c là tốc độ đồng bộ của cả hệ thống nối cấp và gọi là n_{1c} và được quan hệ sau:

$$n_{1c} = n_{c(s_B=0)} = n_{1B(s_B=0)} = (n_{1A} - n_{1c}) \frac{p_A}{p_B},$$

do đó ta có:

$$n_{1c} = n_{1A} \frac{p_A}{p_A + p_B} = \frac{60f_1}{p_A + p_B} \quad (19-14)$$

Ý nghĩa của n_{1c} như sau: là tốc độ của hệ thống nối cấp khi hệ số trượt của động cơ điện B bằng không.

Công thức (19-14) cho ta thấy tốc độ đồng bộ của hệ thống là tốc độ đồng bộ của một động cơ điện tương ứng có số đôi cực bằng $p_A + p_B$.

Các động cơ A, B có thể làm việc riêng lẻ nên ta được ba tốc độ tương ứng với ba số đôi cực p_A , p_B và $p_A + p_B$.

Phân phối công suất của hệ thống nối cấp cũng giống như ở máy điện thường. Công suất điện từ của máy A là P_{dtA} chia làm hai phần, một phần biến thành công suất cơ ở đầu trục $P_{cđA}$, một phần thành công suất điện truyền cho máy B là P_s . Bỏ qua tổn hao trên máy thì công suất phân phối của hai máy như sau:

$$\frac{P_{cđA}}{P_{cđB}} = \frac{n_c}{n_{lA} - n_c} = \frac{p_A}{p_B} \quad (19-15)$$

trong đó công suất cơ của máy A là $P_{cđA} = P_{dtA} \frac{n_c}{n_{lA}}$;

công suất cơ của máy B là $P_{cđB} = P_s = P_{dtA} \frac{n_{lA} - n_c}{n_{lA}}$.

Từ đó ta thấy tải của hai máy đại thể phân phối tỷ lệ theo số đôi cực của chúng.

Vì công suất kích từ dùng để gây nên từ trường quay của cả hai máy nên dòng điện không tải lớn hơn so với một động cơ điện thường. Tổng trở ngắn mạch z_n cũng lớn hơn do đó dòng điện ngắn mạch nhỏ đi. Điều đó làm cho $\cos\varphi$ và $M_{\max}$ giảm xuống.

Ngoài những phương pháp điều chỉnh tốc độ kể trên, có thể dùng phương pháp đưa s.d.đ. phụ vào mạch điện rôto để điều chỉnh tốc độ động cơ điện không đồng bộ. Tuy nhiên phương pháp này không thực hiện trên những động cơ không đồng bộ loại thường mà được chế tạo thành một loại động cơ điện đặc biệt gọi là động cơ điện xoay chiều có vành góp. Nguyên lý làm việc của loại máy này sẽ được trình bày trong Phần thứ tư của giáo trình.

Câu hỏi

1. Tại sao khi thêm điện trở phụ vào mạch rôto thì có thể cải thiện được đặc tính mở máy của động cơ điện không đồng bộ rôto dây quấn? Nếu thêm điện kháng vào thì đặc tính mở máy có bị

ảnh hưởng không?

2. Có hai động cơ điện không đồng bộ rôto lồng sóc cùng công suất đấu liền trục cùng kéo một tải. Khi mở máy đấu hai dây quấn stato của hai máy nối tiếp với nhau; mở máy xong thì đấu song song như bình thường. Cách mở máy vậy ảnh hưởng như thế nào đến mômen và dòng điện mở máy?

3. Tóm tắt các phương pháp mở máy động cơ không đồng bộ và so sánh ưu nhược điểm của mỗi phương pháp.

4. Trong động cơ điện rôto dây quấn, nếu nối điện kháng vào mạch điện rôto thì có thể điều chỉnh tốc độ được không, lúc đó đặc tính cơ thay đổi như thế nào? M_k , M_{max} , s_m , s_{dm} , hiệu suất, $\cos\varphi$ thay đổi như thế nào?

5. Tóm tắt các phương pháp điều chỉnh tốc độ động cơ không đồng bộ, so sánh ưu khuyết điểm và phạm vi ứng dụng của từng phương pháp.

Bài tập

1. Một động cơ điện không đồng bộ ba pha 50 Hz; 6 cực, $P_{dm} = 100 \text{ kW}$; tốc độ quay $n = 980 \text{ vg/ph}$. Giả thiết tổn hao cơ của máy bằng 1% công suất định mức đưa ra và mômen tải luôn giữ không đổi. Trong mạch rôto nối thêm điện trở phụ để tốc độ giảm xuống còn 750 vg/ph. Hãy tính công suất tiêu hao trên điện trở phụ và công suất đưa ra của động cơ điện khi giảm tốc độ.

Đáp số: $p_{Cu2} = 23,7 \text{ kW}$; $P_2 = 76,3 \text{ kW}$.

2. Cho một động cơ điện rôto dây quấn $p = 2$; $f = 50 \text{ Hz}$; $r_2 = 0,02 \Omega$; $n = 1485 \text{ vg/ph}$.

Nếu mômen tải không đổi, muốn có $n = 1050 \text{ vg/ph}$ thì phải thêm điện trở phụ vào rôto là bao nhiêu? Nếu thay đổi điện áp đặt vào dây quấn stato để có được tốc độ nói trên (không có điện trở phụ vào rôto) thì phải đặt vào stato một điện áp là bao nhiêu?

Đáp số: $r_f = 0,58 \Omega$; $U = 0,316 U_{dm}$.

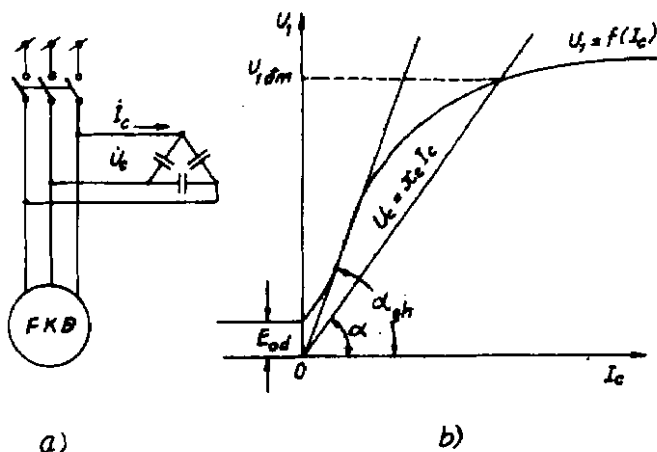
Chương 20

CÁC CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC VÀ CÁC DẠNG KHÁC CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

20.1. ĐẠI CƯƠNG

Máy điện không đồng bộ ngoài chế độ làm việc chủ yếu là động cơ điện còn có thể làm việc ở chế độ máy phát điện và chế độ hãm. Những phương thức làm việc này tuy không thông dụng như động cơ điện không đồng bộ nhưng cũng có vị trí nhất định của nó trong thực tiễn.

Máy điện không đồng bộ rôto dây quấn khi đứng yên còn dùng làm máy điều chỉnh cảm ứng, máy dịch pha, v.v... Ngày nay người ta càng dùng nhiều máy điện cực nhỏ theo nguyên lý của máy điện không đồng bộ trong các ngành tự động. Những máy



Hình 20-1. Máy phát điện không đồng bộ tự kích

này muôn hình muôn vẻ và công dụng của nó cũng rất rộng rãi. Vì vậy trong chương này cũng sẽ nói sơ qua nguyên lý làm việc của một vài loại thông dụng.

20.2. CÁC CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC ĐẶC BIỆT CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

20.2.1. Máy phát điện không đồng bộ làm việc độc lập với lưới điện

Như đã nói ở Chương 2, khi máy điện không đồng bộ làm việc với lưới điện mà ta dùng động cơ sơ cấp kéo nó quay nhanh hơn tốc độ đồng bộ thì máy phát ra công suất điện tác dụng vào lưới nhưng vẫn nhận công suất phản kháng từ lưới vào, một mặt để kích từ, mặt khác để cung cấp cho công suất phản kháng do từ tản trên stato và rôto gây nên. Cần chú ý là dòng điện không tải I_0 trong máy điện không đồng bộ lớn đến $20 + 25\% I_{dm}$ (trong máy điện không đồng bộ nhỏ, I_0 có thể còn lớn hơn) như vậy công suất phản kháng kích từ đã chiếm $20 + 25\%$ công suất của máy phát. Việc tiêu thụ nhiều công suất phản kháng của lưới làm cho hệ số công suất của lưới kém đi. Đó là nhược điểm chính của máy điện không đồng bộ.

Tuy nhiên máy phát điện không đồng bộ làm việc với lưới cũng có ưu điểm như: mở máy và hòa vào lưới rất 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 còn có thể làm việc độc lập với lưới. Việc xác lập điện áp khi máy làm việc độc lập cần có một quá trình tự kích như trong máy điện một chiều kích thích song song. Căn cứ vào đồ thị vectơ máy phát không đồng bộ (hình 16-8), I_0 vượt trước E_1 một góc 90° , nghĩa là máy phát phải phát ra một dòng điện điện dung mới có thể tự kích được. Vì vậy khi làm việc độc lập với lưới ta phải nối ở đầu cực máy một lượng điện dung C thích đáng. Ngoài ra, cũng giống như máy phát một

chiều, điện áp đầu tiên vẫn dựa vào sự tồn tại của từ dư. Nhờ s.d.d. do từ dư sinh ra E_{odu} mà trong điện dung C có dòng điện điện dung làm cho từ thông được tăng cường. Điều kiện cuối cùng để xác lập điện áp là có đủ điện dung để cho đường đặc tính điện dung và đường từ hóa của máy phát giao nhau ở điểm làm việc định mức (hình 20-1b).

Đường thẳng tiếp tuyến với đoạn không bão hòa của đường từ hóa gọi là đường đặc tính điện dung giới hạn. Hệ số góc của đường thẳng lúc đó bằng:

$$\operatorname{tg} \alpha_{gh} = \frac{U_1}{I_o} = \frac{1}{\omega C_{gh}} \quad (20-1)$$

Do đó khi không tải muốn xác lập điện áp thì phải có:

$$\begin{aligned} \alpha &< \alpha_{gh} \\ \text{hay} \quad C &> C_{gh} \end{aligned} \quad (20-2)$$

nghĩa là điện dung mắc vào phải lớn hơn một trị số giới hạn. Từ hình 20-1 ta thấy, nếu tăng C thì α giảm và điện áp đầu cực U_1 tăng lên.

Trị số điện dung ba pha cần thiết để kích từ cho máy đạt đến điện áp định mức lúc không tải có thể tính theo công thức:

$$C_o = \frac{\sqrt{3} I_\mu}{2\pi f_1 U_1} \cdot 10^6 ; \mu E \quad (20-3)$$

trong đó:

I_μ - dòng điện từ hóa, có thể coi gần bằng dòng điện không tải I_o ;

U_1 - điện áp dây của máy;

f_1 - tần số của dòng điện phát ra:

$$f_1 = \frac{pn_1}{60} \approx \frac{pn}{60}$$

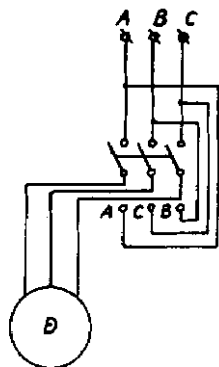
Để tiết kiệm điện dung thường dấu chúng thành Δ (hình 20-1a). Khi có tải phải luôn giữ tốc độ lên bằng tốc độ định mức.

Nếu không giữ được tốc độ không đổi thì f_1 giảm xuống, đường đặc tính từ hóa thấp xuống, mặt khác tga của đường đặc tính điện dung tăng lên khiến cho điện áp giảm hoặc mất ổn định.

Khi có tải thì do có điện kháng của tải và điện kháng tản từ của stato nên phải tăng thêm điện dung để đảm bảo giữ điện áp không đổi. Điện dung cần thiết để bù vào điện kháng tản từ của dây quấn stato vào khoảng $25\%C_0$. Điện dung bù vào điện kháng của tải có thể tính theo công thức sau:

$$C_1 = \frac{Q}{2\pi f_1 U_1^2} \cdot 10^6; \mu F \quad (20-4)$$

trong đó Q là công suất phản kháng của tải.



Hình 20-2. Hãm đổi thứ tự pha động cơ điện không đồng bộ

Từ trên ta thấy, trừ khi có thiết bị điều chỉnh tự động, nếu không thì khi tải thay đổi rất khó giữ điện áp và tần số không đổi. Ở tải thuần trở thì ảnh hưởng đối với điện áp và tần số còn ít. Nếu tải có tính cảm, nhất là dùng nó để cung cấp điện cho động cơ điện không đồng bộ thì tình hình trên càng xấu hơn.

Do điện dung tương đối đất nên thường hạn chế công suất của máy phát điện không đồng bộ dưới 20 kW . Máy phát điện không đồng bộ tự kích thường là loại rôto lồng sóc vì cấu tạo đơn giản, dễ chế tạo, làm việc chắc chắn.

Máy phát điện không đồng bộ làm việc độc lập có thể sử dụng ở những nơi yêu cầu chất lượng điện không cao lắm như trong quá trình điện khí hóa nông thôn hoặc làm nguồn điện tạm thời với công suất nhỏ.

20.2.2. Trạng thái hãm của máy điện không đồng bộ

Trong thực tế có trường hợp người ta muốn động cơ điện

ngừng quay một cách nhanh chóng và bằng phẳng khi cắt điện đưa vào động cơ điện hoặc cần giảm bớt tốc độ như ở cần trục lúc đưa hàng xuống hay trong các máy ở tàu điện. Để giải quyết các vấn đề trên người ta dùng các phương pháp hãm cơ hay điện. Dưới đây sẽ giới thiệu các phương pháp hãm bằng điện.

1. Phương pháp hãm đối thứ tự pha

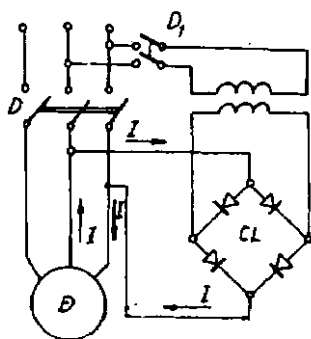
Như đã nói ở Chương 2, khi $s > 1$, nghĩa là rôto quay ngược với chiều từ trường quay thì động cơ điện làm việc ở chế độ hãm. Ta ứng dụng nguyên lý đó như sau.

Khi động cơ đang làm việc, rôto quay cùng chiều với từ trường quay. Sau khi cắt mạch điện, muốn động cơ ngừng quay nhanh chóng, ta đóng cầu dao về phía khác để đổi thứ tự pha đặt vào stato (hình 20-2). Do quán tính của phần quay, rôto vẫn quay theo chiều cũ trong lúc từ trường quay do đổi thứ tự pha - đã quay ngược lại nên động cơ chuyển sang chế độ hãm, mômen điện từ sinh ra có chiều ngược với chiều quay của rôto và có tác dụng hãm nhanh chóng và bằng phẳng tốc độ quay của máy.

Trong quá trình hãm như vậy, dòng điện trong máy sẽ rất lớn. Để giảm dòng điện, có thể đổi nối dây quấn stato từ Δ (lúc làm việc) sang Y, hay ở động cơ điện rôto dây quấn có thể đặt thêm điện trở ở trên dây quấn rôto, như vậy giảm được dòng điện và tăng mômen hãm. Khi rôto ngừng quay, phải cắt ngay mạch điện nếu không động cơ sẽ quay theo chiều ngược lại.

2. Phương pháp hãm đối thành máy phát điện

Muốn thực hiện phương pháp hãm này, cần đổi động cơ điện sang chế độ máy phát điện, tức là



Hình 20-3. Hãm động năng động cơ điện không đồng bộ.

tốc độ từ trường quay bé hơn tốc độ rôto nhưng vẫn cùng chiều.

Ta biết rằng khi làm việc ở chế độ động cơ điện, tốc độ rôto gần bằng tốc độ đồng bộ ($s = 3 + 8\%$) cho nên khi hãm cần đổi nối làm tăng số đôi cực của dây quấn phần ứng lên, lúc đó tốc độ của rôto sẽ cao hơn tốc độ từ trường quay sau khi đổi nối, động cơ sẽ trở thành máy phát điện trả năng lượng về nguồn đồng thời có mômen hãm hãm động cơ lại.

Ví dụ khi làm việc như động cơ, rôto quay 2890 vg/ph ứng với số đôi cực của stato là $p = 1$. Khi hãm, đổi số đôi cực của stato thành $p = 2$, tốc độ từ trường quay còn 1500 vg/ph , lúc đó tốc độ rôto lớn hơn tốc độ từ trường quay ($2890 > 1500 \text{ vg/ph}$) nên động cơ đã trở thành máy phát điện.

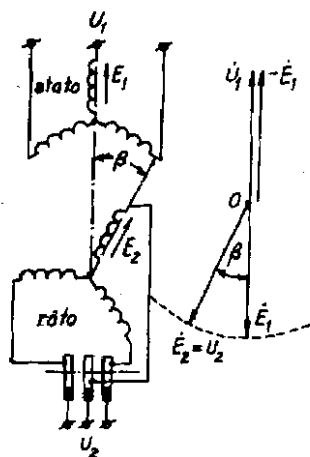
Như vậy hãm theo phương pháp này động cơ phải có dây quấn đổi được số đôi cực và làm việc bình thường với số đôi cực bé nhất.

Một ví dụ khác là khi xe điện xuống dốc, tốc độ của động cơ tăng lên quá tốc độ đồng bộ, như vậy động cơ cũng làm việc ở trạng thái hãm.

Để tăng mômen lúc hãm, nhiều khi người ta cho phép tăng điện áp đặt vào dây quấn stato bằng cách đổi từ cách nối Y sang nối Δ .

3. Phương pháp hãm động năng

Ở phương pháp này, sau khi cắt nguồn điện vào động cơ điện bằng cầu dao D (hình 20-3) thì lập tức đóng cầu dao D_1 đưa điện một chiều vào dây quấn stato. Dòng điện một chiều lấy từ bộ



a) b)

Hình 20-4. Sơ đồ nguyên lý và đồ thị vectơ của máy dịch pha

chính lưu CL đi qua dây quấn stato tạo thành từ trường một chiều trong máy. Rôto, do còn có quán tính, quay trong từ trường đó và trong dây quấn rôto cảm ứng nên s.d.đ. và dòng điện cảm ứng tác dụng với từ trường nói trên tạo thành mômen điện từ chống lại chiều quay của máy.

Ở loại động cơ điện rôto dây quấn, người ta thường cho thêm điện trở vào phía rôto để tăng mômen hãm. Điều chỉnh mômen hãm bằng cách điều chỉnh điện áp một chiều đặt vào dây quấn stato. Trên thực tế, quá trình hãm theo phương pháp này thường được tiến hành tự động.

20.3. CÁC DẠNG KHÁC CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

20.3.1. Máy dịch pha

Máy dịch pha là loại máy điện có thể tạo nên một s.d.đ. E_2 ở phía thứ cấp với một góc lệch pha tùy ý so với điện áp sơ cấp U_1 .

Về kết cấu máy giống như máy điện không đồng bộ rôto dây quấn nhưng rôto bị giữ chặt bởi một hệ thống vít vô tận làm cho rôto không thể quay tự do được mà chỉ có thể quay một góc, nhất định theo sự điều khiển từ ngoài. Máy thường là loại ba pha. Theo hình 20-4a ta có dây quấn stato nối với nguồn điện làm thành phần sơ cấp của máy và sinh ra từ trường quay. Dây quấn rôto làm thành dây quấn thứ cấp, thông qua vành trượt nối với tải.

Máy làm việc theo nguyên lý làm việc của máy điện không đồng bộ lúc rôto đứng yên. Khi dây quấn stato nối với nguồn điện thì có dòng điện chạy trong đó và sinh ra từ trường quay trong khe hở.

Từ trường này sinh ra trong dây quấn stato và rôto s.d.đ. E_1 và E_2 mà trị số tỷ lệ với số vòng dây tác dụng của các dây quấn, còn góc pha phụ thuộc vào vị trí tương đối của chúng. Vì ba pha đối xứng nên có thể lấy một pha ra nghiên cứu. Giả sử góc giữa pha A của dây quấn stato và pha α của dây quấn rôto bằng 0.

Sau đó quay pha α đi một góc β theo chiều của từ trường quay Φ thì E_2 sẽ chậm sau E_1 một góc β . Căn cứ vào mạch điện thay thế (tương tự như máy điện không đồng bộ) và bỏ qua điện áp rơi trên tổng trở, ta có:

$$\begin{aligned}\dot{U}_1 &\approx -\dot{E}_1 \\ \dot{U}_2 &\approx \dot{E}_2 = \frac{\dot{E}_1}{k_{12}} e^{-j\beta}\end{aligned}\quad (20-5)$$

trong đó k_{12} là tỷ số biến đổi điện áp.

Đồ thị véctơ của máy dịch pha như ở hình 20-4b.

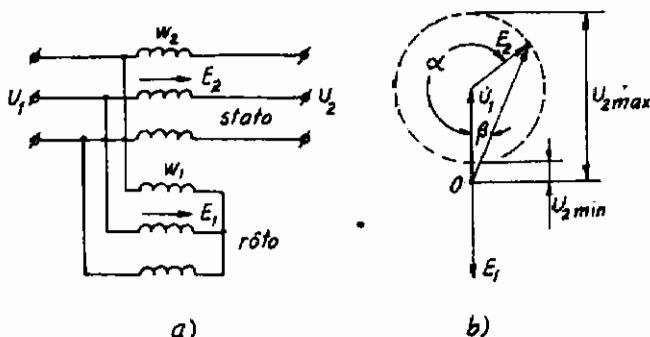
Căn cứ vào phân tích trên ta thấy điện áp ở mạch thứ cấp máy dịch pha về trị số không đổi, chỉ thay đổi về góc pha.

Máy dịch pha được dùng trong các thiết bị thí nghiệm.

20.3.2. Máy điều chỉnh cảm ứng

Máy điều chỉnh cảm ứng là một loại máy biến điện áp dựa trên nguyên lý làm việc của máy điện không đồng bộ ba pha rôto dây quấn với rôto đứng yên.

Kết cấu của máy điều chỉnh cảm ứng giống như máy dịch pha, chỉ khác là dây quấn stato và rôto ngoài sự liên hệ về từ còn có sự liên hệ về điện như trong biến áp tự ngẫu hai dây quấn. Máy



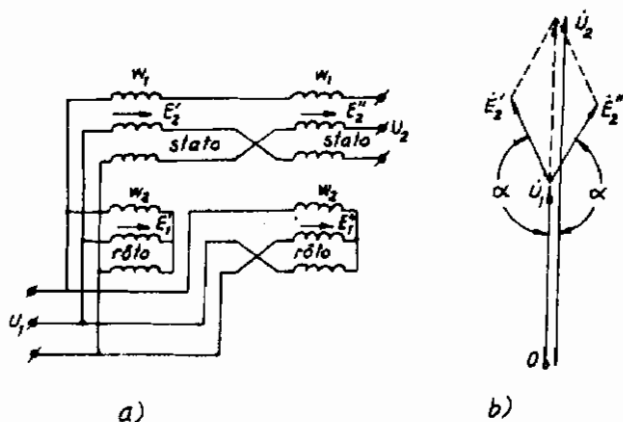
Hình 20-5. Sơ đồ nguyên lý và đồ thị véctơ của máy điều chỉnh cảm ứng đơn

điều chỉnh cảm ứng có hai loại: loại đơn và loại kép.

Máy điều chỉnh cảm ứng đơn

Sơ đồ nguyên lý của máy như ở hình 20-5a. Theo cách đấu của dây quấn, lấy một pha ra nghiên cứu ta có:

$$\begin{aligned}\dot{U}_2 &= \dot{U}_1 + \dot{E}_2 \approx \dot{U}_1 - \frac{\dot{U}_1}{k_{12}} e^{j\alpha} \\ &= \dot{U}_1 \left(1 - \frac{1}{k_{12}} e^{j\alpha}\right).\end{aligned}\quad (20-6)$$



Hình 20-6. Sơ đồ nguyên lý và đồ thị vectơ của máy điều chỉnh cảm ứng kép

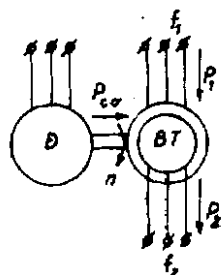
Đồ thị vectơ tương ứng được trình bày trên hình 20-5b. Như vậy với góc α bất kỳ, nếu chỉ xét về trị số, ta có:

$$U_2 = U_1 \sqrt{1 + \frac{1}{k_{12}^2} - \frac{2}{k_{12}} \cos \alpha}$$

$$\left. \begin{aligned}\text{Khi } \alpha = 0 \text{ thì } U_{2\min} &= U_1 \left(1 - \frac{1}{k_{12}}\right) \\ \text{và khi } \alpha = 180^\circ \text{ có } U_{2\max} &= U_1 \left(1 + \frac{1}{k_{12}}\right)\end{aligned}\right\} \quad (20-7)$$

Cần chú ý là khi điều chỉnh trị số của U_2 , góc pha β của nó đối với U_1 cũng thay đổi một ít (hình 20-5b).

Công suất chuyển đổi trong máy điều chỉnh cảm ứng giống như ở biến áp tự ngẫu. Máy điều chỉnh cảm ứng không có chổi than, nên công suất máy có thể lớn, làm việc chắc chắn, điều chỉnh được điện áp bằng phẳng và có thể điều chỉnh lúc có tải. Nhược điểm chủ yếu của loại này là giữa $\dot{U}_1$ và $\dot{U}_2$ có góc lệch pha và khi máy làm việc, trên rôto có mômen điện từ lớn kéo về vị trí hai dây quấn stato và rôto trùng trục nên phải có bộ phận hãm giữ không cho rôto quay.



Hình 20-7. Sơ đồ máy biến đổi tần số

Để khắc phục hai nhược điểm của loại máy này ta dùng máy điều chỉnh cảm ứng kép.

Máy điều chỉnh cảm ứng kép

Máy này gồm hai máy điều chỉnh cảm ứng đơn 1 và 2 ghép lại và rôto của hai máy được nối chặt với nhau về cơ khí. Dây quấn được nối theo sơ đồ nguyên lý như ở hình 20-6a. Theo hình vẽ ta thấy ở máy 2 thứ tự pha ngược với máy 1 nên giữa hai máy từ trường quay ngược chiều nhau, do đó góc pha giữa E_2 với E_1 trong hai máy bao giờ cũng ngược nhau bất kể rôto quay theo chiều nào.

Theo đồ thị vectơ ở hình 20-6b, ta có điện áp đầu ra bằng:

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_1 + \dot{E}_2 + \dot{E}_2 = \dot{U}_1 [1 - \frac{1}{k_{12}} (e^{j\alpha} + e^{-j\alpha})] \quad (20-8)$$

Khi $\alpha = 0$, ta có:

$$U_{2min} = U_1 [1 - \frac{2}{k_{12}}] \quad (20-9a)$$

và khi $\alpha = 180^\circ$:

$$U_{2\max} = U_1 \left[1 + \frac{2}{k_{12}} \right]. \quad (20-9b)$$

Góc pha U_2 luôn luôn trùng với U_1 , còn mômen điện từ sinh ra ở hai máy điều chỉnh cảm ứng đơn bằng nhau và ngược chiều nên trên trục máy không chịu mômen nào cả.

20.3.3. Máy biến đổi tần số

Máy điện không đồng bộ rôto dây quấn có thể dùng làm máy biến đổi tần số từ tần số f_1 sang tần số f_2 . Ví dụ ta nghiên cứu trường hợp $f_2 > f_1$. Sơ đồ nguyên lý như ở hình 20-7. Dây quấn stato được nối vào lưới điện với tần số f_1 . Rôto được một động cơ sơ cấp Đ kéo và quay với tốc độ ngược chiều với từ trường quay, do đó tần số của s.d.đ. cảm ứng ở dây quấn rôto bằng:

$$f_2 = sf_1$$

trong đó: $s = \frac{n_1 + n}{n_1} > 1$

$$n_1 = \frac{60f_1}{p} \quad - \text{tốc độ đồng bộ,}$$

p - số đôi cực của máy.

Ở máy biến đổi tần số, dây quấn rôto nhận năng lượng từ hai phía. Một phần từ phía stato chuyển qua nhờ từ trường quay và một phần từ động cơ sơ cấp Đ truyền qua theo trục của rôto.

Công suất của dây quấn rôto là:

$$P_2 = m_1 s E_2 I_2 \cos \psi_2 \quad (20-10)$$

trong đó m_2 và E_2 là số pha và s.d.đ của rôto khi đứng yên.

Công suất điện từ chuyển từ stato sang rôto bằng:

$$P_{dt} = m_2 E_2 I_2 \cos \psi_2 \quad (20-11)$$

Khi $s > 1$ thì $P_2 > P_{dt}$ nên máy lấy công suất từ trục động cơ sơ cấp Đ vào và công suất cơ đó bằng:

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 20-6). Như vậy, nếu ở hai máy, vị trí của rôto đối với stato giống nhau thì trong mạch rôto s.d.đ. E_2 của chúng ngược nhau và dòng điện I_2 trong mạch sẽ bằng không.

Gọi F là máy phát tín hiệu và T là máy thu tín hiệu thì khi có tín hiệu tác động vào máy phát F làm quay rôto của nó đi một góc θ (hình 20-8) thì các s.d.đ. $\vec{E}_{2F}$ và $\vec{E}_{2T}$ sẽ có góc lệch θ và do đó trong mạch rôto sẽ xuất hiện dòng điện $\vec{I}_2$:

$$\vec{I}_2 = \frac{\vec{E}_{2F} + \vec{E}_{2T}}{z_{2F} + z_{2T}} \quad (20-13)$$

trong đó z_{2F} và z_{2T} là tổng trở rôto của máy phát và máy thu.

Qua đồ thị vectơ ở hình 20-8 ta thấy, thành phần tác dụng của I_2 cùng chiều với $\vec{E}_{2T}$ do đó lực F_T và mômen M_T sinh ra sẽ làm quay rôto của máy T đi một góc θ . Trái lại thành phần tác dụng của dòng điện $\vec{I}_2$ ngược với chiều $\vec{E}_{2F}$ nên sẽ có mômen M_F kéo rôto của máy F trở về vị trí $\theta = 0$.

Hệ thống hai máy trên sẽ làm việc cân bằng khi góc lệch θ ở hai máy phát và thu bằng nhau. Vì vậy khi giữ rôto của máy F ở góc θ thì rôto của máy thu T cũng sẽ quay một góc đúng bằng θ .

Sự liên lạc như thế nhiều khi người ta còn gọi là sự liên lạc kiểu trực diện.

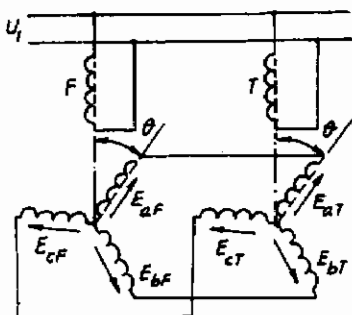
2. Hệ tự đồng bộ một pha (xenxin một pha)

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 20-10).

Khi cho dòng điện một pha vào dây quấn stato thì trong khe hở sinh ra từ trường đập mạch. Ta có thể phân từ trường đó làm hai từ trường quay ngược chiều nhau Φ_A và Φ_B và ta coi như có hai hệ thống đồng bộ ba pha hợp lại. Như vậy có thể dùng

nguyên lý làm việc của hệ ba pha tìm ra mômen từng phần và mômen tổng.

Quay rôto máy phát F theo chiều của Φ_{AF} một góc θ như ở hình 20-10. Đối với phân lượng từ trường quay Φ_{AF} và Φ_{AT} thì cũng giống như ở hệ tự đồng bộ ba pha, mômen M_{AF} và M_{AT} có khuynh hướng kéo hai rôto trở về cùng một vị trí. Đối với phân lượng từ trường quay ngược Φ_{BF} và Φ_{BT} cũng như vậy, vì vậy 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 nên làm trục quay. Như vậy nếu quay rôto máy phát một góc θ thì rôto máy thu cũng quay đi một góc θ .



Hình 20-10. Sơ đồ nguyên lý của xenxin một pha

Thường người ta đặt dây quấn sơ cấp một pha trên rôto còn dây quấn thứ cấp ba pha lắp trên stato, như vậy giảm đi được một vành trượt. Để có đặc tính mômen tốt, dây quấn một pha thường lắp trên cực từ lồi.

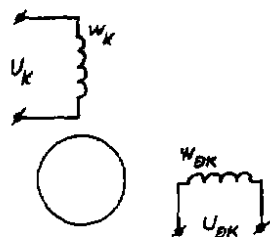
Ngày nay người ta đã chế tạo những xenxin một pha không vành trượt.

Hệ tự đồng bộ đang được áp dụng rộng rãi trong ngành tự động hóa và điều khiển.

20.3.5. Động cơ thừa hành không đồng bộ

Động cơ thừa hành không đồng bộ được dùng rộng rãi trong các hệ thống tự động khống chế. Đây là một loại động cơ điện không đồng bộ hai pha công suất 0,1 + 300 W. Kết cấu của máy về đại thể như sau: stato ghép bằng thép lá kỹ thuật điện có hai

cuộn dây đặt lệch nhau 90° , trong đó một cuộn w_K làm nhiệm vụ kích thích, một cuộn w_{DK} làm nhiệm vụ điều khiển. Rôto gồm nhiều loại tùy theo yêu cầu cụ thể. Có thể là rôto lồng sóc thường hoặc rôto rỗng làm bằng vật liệu không dẫn từ hoặc rôto rỗng bằng vật liệu dẫn từ có dát đồng thau ngoài bề mặt, v.v. (hình 20-11).



Hình 20-11. Sơ đồ nguyên lý động cơ thừa hành không đồng bộ

Để tạo nên từ trường quay trong máy, ngoài việc đặt hai dây quấn trong không gian còn cần có sự lệch pha nhau về thời gian giữa hai dòng điện trong cuộn w_K và w_{DK} . Yêu cầu này được thực hiện nhờ đặt một tụ điện nối tiếp trên cuộn kích thích w_K .

Dây quấn kích thích w_K được đặt thường trực dưới điện áp U_K , dây quấn điều khiển w_{DK} thì chờ nhận tín hiệu điều khiển ở ngoài đưa vào. Khi có tín hiệu, nghĩa là có điện áp U_{DK} đặt lên cuộn w_{DK} , trong máy sẽ có từ trường quay do hai dòng điện lệch pha nhau trong hai dây quấn w_K và w_{DK} sinh ra và làm cho rôto quay.

Động cơ thừa hành không đồng bộ cũng như các loại động cơ thừa hành khác thường đòi hỏi những yêu cầu sau:

- Không có quán tính, nghĩa là phải quay hoặc dừng tức khắc khi có hoặc mất tín hiệu điều khiển mà không nhờ một cơ cấu hãm.

- Mômen mở máy lớn;
- Đặc tính cơ tuyến tính;
- Phạm vi điều chỉnh tốc độ rộng;
- Công suất điều khiển nhỏ.

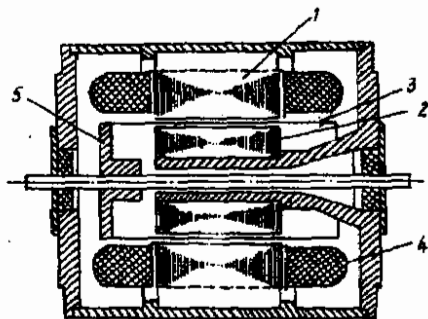
Yêu cầu không quay theo đà là một trong những yêu cầu cơ bản của động cơ thừa hành. Để thực hiện được điều này, người ta

có thể thiết kế động cơ có khả năng tự hãm về phương diện điện từ hoặc chế tạo loại động cơ thừa hành có mômen quán tính phân quay nhỏ, như loại động cơ thừa hành không đồng bộ rôto rỗng. Kết cấu và sơ đồ nguyên lý của động cơ điện loại này như ở hình 20-12.

Rôto của loại động cơ rỗng hình cốc này thường làm bằng nhôm hoặc đuyara. Dòng điện trong rôto là dòng điện xoay chiều cảm ứng trên mặt ngoài của cốc nhôm hoặc đuyara đó. Động cơ thừa hành này có mômen quán tính nhỏ, nhưng do khe hở không khí lớn ($\delta = 0,3 \div 1,4 \text{ mm}$) nên dòng điện từ hóa lớn, $\cos \varphi$ thấp, hiệu suất thấp, trọng lượng lớn.

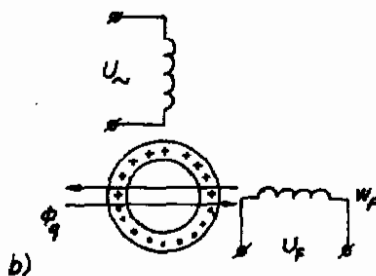
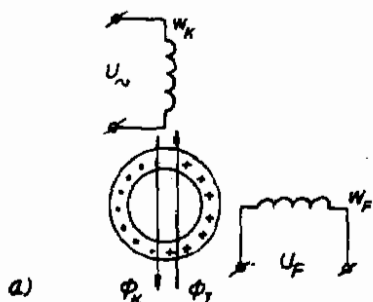
20.3.6. Máy phát tốc độ

Máy phát tốc độ không đồng bộ cũng như các loại máy phát tốc độ khác làm 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



Hình 20-12. Động cơ điện không đồng bộ rôto rỗng:

1. lõi sắt stato ngoài; 2. lõi sắt stato trong; 3. rôto cốc; 4. dây quấn stato; 5. giá đỡ rôto

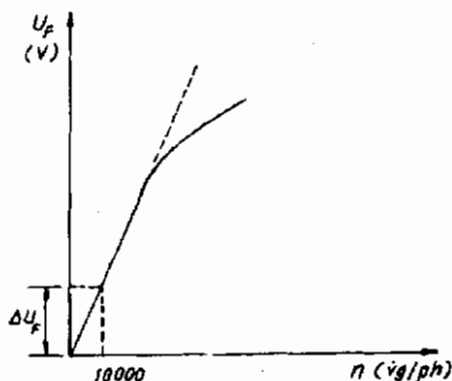


Hình 20-13. Nguyên lý làm việc của máy phát tốc độ

độ quay của một động cơ hoặc biến đổi các tín hiệu (gia tốc, ổn định) trong các cơ cấu tự động.

Trong các loại máy phát tốc độ xoay chiều, máy phát tốc độ không đồng bộ có ưu điểm là tần số của điện áp đưa ra không phụ thuộc vào tốc độ, điều này rất thuận tiện cho việc sử dụng các dụng cụ đo điện áp ở đầu ra.

Máy phát tốc độ không đồng bộ có cấu tạo giống như động cơ thừa hành không đồng bộ rôto rỗng. Trên hình 20-13, w_K là cuộn dây kích thích, w_F là cuộn dây phát. Nguyên lý làm việc của máy phát tốc độ lý tưởng như sau: khi cho dòng điện kích thích xoay chiều một pha tần số f_1 vào dây quấn w_K , trong máy xuất hiện một từ trường đập mạch Φ_K với tần số f_1 có phương trùng với trục của dây quấn w_K . Trong hình trụ của rôto rỗng đang đứng yên xuất hiện s.d.đ. và dòng điện xoay chiều với tần số f_1 giống như m.b.a. Chiều của từ trường đập mạch Φ_1 do dòng điện đó sinh ra được vẽ ở hình 20-13. Khi rôto đứng yên, do trục của cuộn dây w_F vuông góc với trục của dây quấn w_K , nghĩa là vuông góc với phương của Φ_K và Φ_1 nên trong cuộn w_F không xuất hiện s.d.đ., khi rôto quay trong rôto sẽ cảm ứng thêm một s.d.đ. quay e_q do từ trường Φ_K quét qua rôto. S.d.đ. e_q này tỷ lệ với tốc độ của rôto và sinh ra dòng điện I_q mà chiều được xác định như trong hình 20-13b. Vì Φ_K và Φ_1 đập mạch với tần số f_1 nên s.d.đ. e_q và dòng điện I_q cũng biến đổi với tần số f_1 . Dòng điện I_q tạo ra từ trường Φ_q đập mạch qua cuộn dây w_F và cảm ứng trong đó một s.d.đ.



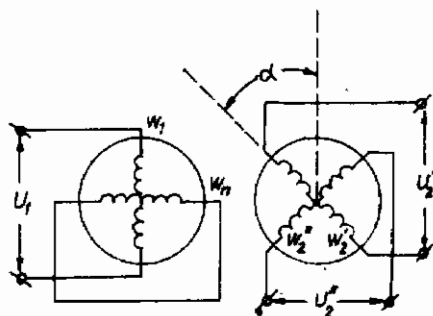
Hình 20-14. Quan hệ $U_F = f(n)$

xoay chiều e_F có tần số f_1 và độ lớn tỷ lệ với tốc độ quay n . Như vậy ở đầu ra của dây quấn w_F sẽ nhận được điện áp U_F tần số f_1 tỷ lệ với tốc độ n . Quan hệ $U_F = f(n)$ được thể hiện trên hình 20-14.

Trên thực tế, khi máy phát tốc độ cơ tải, phản ứng của dòng điện trong rôto gây nên sự biến dạng của từ trường và sự thay đổi các thông số của máy. Hiện tượng này gây nên sai số về trị số và làm mất tính chất tuyến tính của $U_F = f(n)$ nhất là khi tốc độ cao. Vì vậy máy phát tốc độ không đồng bộ hiện đại thường dùng để đo tốc độ trong phạm vi $8000 \div 10000$ *vg/ph* với $\Delta U_F = 5 \div 10$ V.

20.3.7. Máy biến áp xoay

Máy biến áp xoay là một thiết bị điện 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 điện không đồng bộ rôto dây quấn công suất nhỏ. Trên stato và rôto có đặt dây quấn hai pha đối xứng lệch nhau trong không gian 90° độ điện. Điện áp đầu ra của máy biến áp xoay có thể tỷ lệ với $\sin \alpha$, $\cos \alpha$ hoặc với bản thân góc xoay α của rôto, do đó người ta phân ra làm máy biến áp xoay sin-cosin và máy biến áp xoay tuyến tính. Sơ đồ nguyên lý của máy biến áp xoay sin-cosin như ở hình 20-15. Đặt vào dây quấn kích thích sơ cấp w_1 trên stato một điện áp xoay chiều $u_1 = \sqrt{2}U_1 \sin \omega t$ thì khi xoay rôto đi một góc α ta sẽ nhận được ở đầu ra dây quấn thứ cấp w_2 và



Hình 20-15. Máy biến áp xoay sin-cosin

xoay tuyến tính. Sơ đồ nguyên lý của máy biến áp xoay sin-cosin như ở hình 20-15. Đặt vào dây quấn kích thích sơ cấp w_1 trên stato một điện áp xoay chiều $u_1 = \sqrt{2}U_1 \sin \omega t$ thì khi xoay rôto đi một góc α ta sẽ nhận được ở đầu ra dây quấn thứ cấp w_2 và

w_2 nằm trên rôto một điện áp xoay chiều u_2 bằng:

$$u_2 = \sqrt{2} k_1 U_1 \sin \alpha \sin \omega t = \sqrt{2} U_2 \sin \omega t$$

(20-13)

$$u_2 = \sqrt{2} k_1 U_1 \cos \alpha \sin \omega t = \sqrt{2} U_2' \sin \omega t$$

trong đó: $k_1 = \frac{k_{dq2} w_2}{k_{dq1} w_1}$

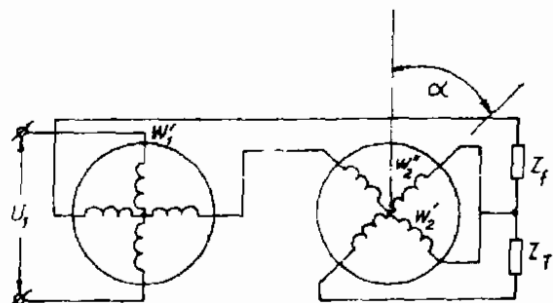
$$U_2 = k_1 U_1 \sin \alpha$$

$$U_2' = k_1 U_1 \cos \alpha$$

Như vậy ta thấy trị số hiệu dụng của điện áp đưa ra U_2 tỷ lệ với $\sin \alpha$ và U_2' tỷ lệ với $\cos \alpha$.

Khi máy biến áp xoay có tải, dòng điện i_2 và i_2' trong các dây quấn w_2 , w_2' tạo nên từ trường Φ_2 , và Φ_2' , có thể chia các từ thông đó thành hai phần dọc và ngang trục từ trường dây quấn sơ cấp Φ_1 . Từ trường ngang trục $\Phi_2 \cos \alpha$ và $\Phi_2' \sin \alpha$ làm cho từ trường tổng bị méo

đi, nên quan hệ hình sin của s.d.d. với góc α bị phá hủy. Để triệt tiêu thành phần này, trên stato ta đặt dây quấn ngắn mạch w_n vuông góc với dây quấn w_1 . Dòng điện trong dây quấn



Hình 20-16. Máy biến áp xoay tuyến tính

ngắn mạch này sẽ sinh ra từ trường bù thành phần từ trường ngang trục, do đó có thể giảm sai số đến mức tối thiểu. Nếu đem các dây quấn của máy biến áp xoay ở hình 20-15 đấu theo hình 20-16, ta có máy biến áp xoay tuyến tính.

Khi góc xoay α trong khoảng $0 < \alpha < 65^\circ$, điện áp ở đầu cuối hai dây quấn nối nối tiếp w_2 và w_n tỷ lệ thuận với góc xoay α ,

còn dây quấn w_2 ở rôto nối kín mạch với tổng trở z_f dùng để bù từ trường ngang trục.

Máy biến áp xoay ngày nay có sai số điện áp không quá 5%. Trong trường hợp đặc biệt, có thể làm cho sai số bé hơn $0,05 + 0,07\%$. Công suất của máy biến áp xoay thông thường trong khoảng vài VA với $U = 115\text{ V}$ và $f = 50\text{ Hz}$ đến $400 + 2500\text{ Hz}$.

Máy biến áp xoay được dùng trong các máy tính, các hệ tự động và các sơ đồ hệ thống quay trong trạm radar, v.v...

Câu hỏi

1. Vì sao máy phát điện không đồng bộ chỉ làm việc được khi trên lưới điện có máy đồng bộ hay có tụ điện? Phân tích quá trình làm việc của máy phát không đồng bộ ở hai trường hợp trên.

2. Giải thích nguyên lý làm việc của máy điện không đồng bộ ở ba phương pháp hãm điện của động cơ không đồng bộ.

3. Nguyên lý làm việc của máy điều chỉnh pha và máy điều chỉnh cảm ứng. Hai loại máy này giống nhau và khác nhau ở những điểm nào? Có thể lấy động cơ điện không đồng bộ rôto dây quấn ra làm máy điều chỉnh pha và máy điều chỉnh cảm ứng được không?

4. Nguyên lý làm việc của máy biến đổi tần số.

5. Nguyên lý làm việc của hệ tự đồng bộ (xenxin).

Giả sử máy phát tín hiệu có số đôi cực là p , máy thu có số đôi cực là $2p$, khi rôto máy phát quay một góc θ thì rôto máy thu quay một góc bằng bao nhiêu

6. Xenxin một pha so với xenxin ba pha có những ưu điểm gì?

7. Nguyên lý làm việc của động cơ thừa hành xoay chiều và máy biến áp xoay.

Chương 21

MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ MỘT PHA

21.1. ĐẠI CƯƠNG

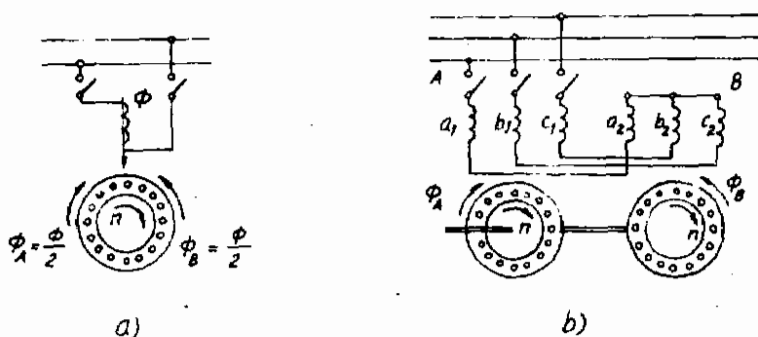
Động cơ không đồng bộ một pha thường được dùng trong các dụng cụ, thiết bị sinh hoạt và công nghiệp, công suất từ vài oát đến vài trăm oát và nối vào lưới xoay chiều một pha. Do nguyên lý mở máy khác nhau và yêu cầu tính năng khác nhau mà xuất hiện những kết cấu khác nhau, nhưng nói cho cùng vẫn có thể quy về một kết cấu cơ bản giống nhau như một động cơ điện ba pha, chỉ khác là trên stato có hai dây quấn: dây quấn chính (hay dây quấn làm việc) và dây quấn phụ (hay dây quấn mở máy). Rôto thường là lồng sóc.

Dây quấn chính được nối với lưới điện trong suốt quá trình làm việc, còn dây quấn phụ thường chỉ nối vào khi mở máy. Trong quá trình mở máy, khi tốc độ đạt đến 75 ~ 80% tốc độ đồng bộ thì dùng bộ ngắt điện kiểu ly tâm cắt dây quấn phụ ra khỏi lưới điện. Có loại động cơ điện sau khi mở máy, dây quấn phụ vẫn nối vào lưới. Đó là loại động cơ điện một pha kiểu điện dung.

So với động cơ điện không đồng bộ ba pha cùng kích thước, công suất của động cơ điện một pha chỉ bằng 70% công suất của động cơ điện ba pha, nhưng do các động cơ điện một pha có khả năng quá tải thấp nên trên thực tế, trừ động cơ điện kiểu điện dung ra, công suất của động cơ điện một pha bằng 40 ÷ 50% công suất động cơ điện ba pha.

21.2. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC

Khi dây quấn làm việc nối với điện áp một pha thì dòng điện trong dây quấn sẽ sinh ra từ trường đập mạch Φ . Từ trường này có thể phân thành hai từ trường quay ngược chiều nhau Φ_A và Φ_B có tốc độ bằng nhau và biên độ bằng một nửa từ trường đập mạch (hình 21-1a). Như vậy có thể xem động cơ điện một pha tương đương như một động cơ điện ba pha mà dây quấn stato gồm hai phần giống nhau mắc nối tiếp và tạo thành các từ trường quay theo những chiều ngược nhau (hình 21-1b). Tác dụng của các từ trường quay thuận nghịch đó với dòng điện ở rôto do chúng sinh ra tạo thành hai mômen ngược nhau M_A và M_B . Khi động cơ đứng yên ($s = 1$) thì hai mômen đó bằng nhau và ngược chiều nhau, do đó mômen quay tổng bằng không.



Hình 21-1. Nguyên lý làm việc của động cơ điện không đồng bộ một pha

Nếu ta quay rôto của động cơ điện theo một chiều nào đó (ví dụ theo chiều quay của từ trường dây quấn A như ở hình 21-1b) với tốc độ n thì tần số của s.d.đ. dòng điện cảm ứng ở rôto do từ trường quay thuận Φ_A sinh ra sẽ là:

$$f_{2B} = \frac{p(n_1 - n)}{60} = \frac{pn_1(n_1 - n)}{60n_1} = sf_1 \quad (21-1)$$

Còn đối với từ trường quay ngược Φ_B thì tần số ấy sẽ là:

$$f_{2A} = \frac{p(n_1 + n)}{60} = \frac{pn_1}{60} \left[\frac{2n_1 - (n_1 - n)}{n_1} \right] - (2 - s)f_1 \quad (21-2)$$

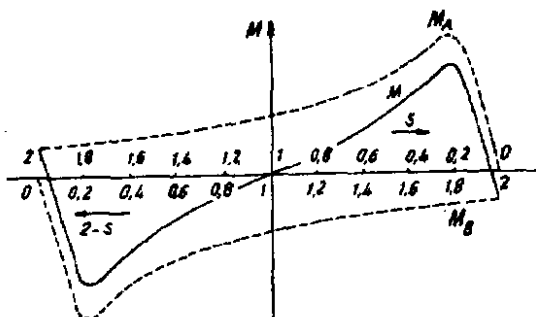
ở đây $(2 - s)$ chính là hệ số trượt của rôto đối với từ trường Φ_B .

Như vậy, khi $0 < s < 1$ đối với từ trường Φ_A máy làm việc ở chế độ động cơ điện, còn đối với từ trường Φ_B , do hệ số trượt của rôto đối với từ trường đó bằng $2 - s > 1$, nên máy sẽ làm việc trong chế độ hãm. Ngược lại, khi $1 < s < 2$ tức là khi rôto quay theo chiều của từ trường dây quấn B thì hệ số trượt đối với từ trường này sẽ là $0 < 2 - s < 1$; lúc đó đối với từ trường Φ_B , máy làm việc ở chế độ động cơ, còn đối với từ trường Φ_A thì ở chế độ hãm.

Cho rằng các mômen có trị số dương khi chúng tác dụng theo chiều quay của từ trường Φ_A , ta sẽ được các đường cong mômen M_A và M_B của các dây quấn A, B và mômen tổng theo hình 21-2. Từ ý nghĩa vật lý và hình 21-2 ta thấy rằng, đường đặc tính mômen của máy điện không đồng bộ một pha có tính chất đối xứng, cho nên động cơ có thể quay bất cứ chiều nào. Chiều quay thực tế của động cơ điện một pha chủ yếu phụ thuộc vào chiều quay của bộ phận mở máy.

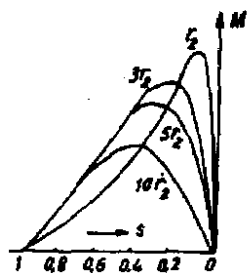
Cũng từ hình 21-2 ta thấy năng lực quá tải của động cơ điện một pha nhỏ hơn động cơ điện ba pha đồng thời khác với động cơ điện ba pha.

Mômen cực đại $M_{\max}$ của động cơ điện một pha phụ



Hình 21-2. Đặc tính $M = f(s)$ của động cơ điện không đồng bộ một pha

thuộc vào điện trở r_2 . Đây là vì khi r_2 tăng, mặc dầu M_{Amax} do từ trường thuận sinh ra không đổi nhưng hệ số trượt s_{Am} ứng với M_{Amax} tăng lên, đồng thời ở chế độ trượt đó, M_B do từ trường nghịch sinh ra cũng tăng lên nên mômen cực đại của động cơ nhỏ đi. Mômen cực đại thay đổi theo r_2 được biểu thị trong hình 21-3.



Hình 21-3. Ảnh hưởng của điện trở mạch điện rôto đối với mômen của động cơ điện không đồng bộ một pha

Mạch điện thay thế của máy điện không đồng bộ một pha có thể xây dựng theo nguyên lý về mạch điện thay thế của máy điện không đồng bộ ba pha.

Như đã nói ở trên, máy điện không đồng bộ một pha có thể coi như gồm hai dây quấn ba pha nối tiếp với nhau và sinh ra từ trường quay ngược nhau nên phương trình cân bằng về s.d.đ. ở dây quấn stato sẽ là:

$$\dot{U}_1 = - \dot{E}_{1A} - \dot{E}_{1B} + \dot{I}_1(r_1 + jx_1) \quad (21-3)$$

trong đó:

$\dot{E}_{1A}$ - s.d.đ. sinh ra bởi tổng hợp từ trường thuận phần tĩnh với từ trường phần quay;

$\dot{E}_{1B}$ - s.d.đ. sinh ra bởi tổng hợp từ trường ngược phần tĩnh với từ trường phần quay, r_1 , x_1 - điện trở và điện kháng tản của dây quấn phần tĩnh.

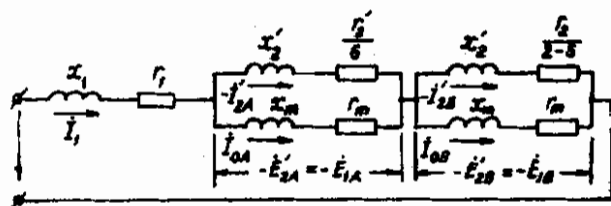
Giống như ở máy không đồng bộ ba pha ta có:

$$\left. \begin{aligned} \dot{E}_{1A} &= -j\dot{I}_{OA}z_m \\ \dot{E}_{1B} &= -j\dot{I}_{OB}z_m \end{aligned} \right\} \quad (21-4)$$

trong đó:

$z_m = r_m + jx_m$ - tổng trở mạch kích từ;

I_{OA} và I_{OB} - dòng điện từ hóa sinh ra từ trường thuận Φ_A và nghịch Φ_B .



Hình 21-4. Mạch điện thay thế động cơ điện không đồng bộ một pha

Ở mạch rôto ta có phương trình cân bằng về s.d.d.:

$$\left. \begin{aligned} \dot{E}_{2A} &= \dot{I}_{2A} \left(\frac{r_2}{s} + jx_2 \right) = \dot{E}_{1A} \\ \dot{E}_{2B} &= \dot{I}_{2B} \left(\frac{r_2}{2-s} + jx_2 \right) = \dot{E}_{1B} \end{aligned} \right\} \quad (21.5)$$

trong đó r_2 và x_2 là điện trở và điện kháng tản đã quy đổi của dây quấn rôto và không xét đến ảnh hưởng của tần số.

Về phương trình cân bằng s.t.d., ta có:

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_1 &= \dot{I}_{OB} + (-\dot{I}_{2A}); \\ \dot{I}_1 &= \dot{I}_{OB} + (-\dot{I}_{2B}). \end{aligned} \right\} \quad (21-6)$$

Dựa vào các phương trình trên có thể xây dựng mạch điện thay thế như ở hình 21-4. Theo mạch điện thay thế ta có thể viết:

$$\left. \begin{aligned} \dot{E}_{2A} = \dot{E}_{1A} &= \dot{I}_1 \left(\frac{1}{1/z_m + 1/z_{2A}} \right) \\ \dot{E}_{2B} = \dot{E}_{1B} &= \dot{I}_1 \left(\frac{1}{1/z_m + 1/z_{2B}} \right) \end{aligned} \right\} \quad (21-7)$$

trong đó $z_{2A} = \frac{r_2}{s} + jx_2$; $z_{2B} = \frac{r_2}{2-s} + jx_2$.

Khi rôto đứng yên, $s = 1$ thì $\frac{r_2}{s} = \frac{r_2}{2-s}$ nên $z_{2A} = z_{2B}$.

Vì vậy ta có $E_{1A} = E_{1B}$ nên từ thông sinh ra các s.d.d. đó cũng bằng nhau, $\Phi_A = \Phi_B$, do đó từ trường tổng là từ trường đập mạch, động cơ điện không quay được.

Khi $s < 1$ thì $\frac{r_2}{2-s} < \frac{r_2}{s}$ nên $z_{2B} < z_{2A}$. Vì vậy:

$E_{1A} > E_{1B}$ nên ta có $\Phi_A > \Phi_B$ do đó từ trường tổng không phải là từ trường đập mạch nữa mà là một từ trường quay hình elíp và quay với tốc độ đồng bộ, do đó động cơ điện quay được.

Mômen của động cơ điện không đồng bộ một pha bằng tổng hai mômen do từ trường thuận M_A và nghịch ($-M_B$) sinh ra:

$$M = M_A + (-M_B) \quad (21-8)$$

trong đó: $M_A = \frac{1}{\omega} I_{2A}^2 \frac{r_2}{s}$

$$M_B = \frac{1}{\omega} I_{2B}^2 \frac{r_2}{2-s}$$

và $M = \frac{1}{\omega} [I_{2A}^2 \frac{r_2}{s} - I_{2B}^2 \frac{r_2}{2-s}]$

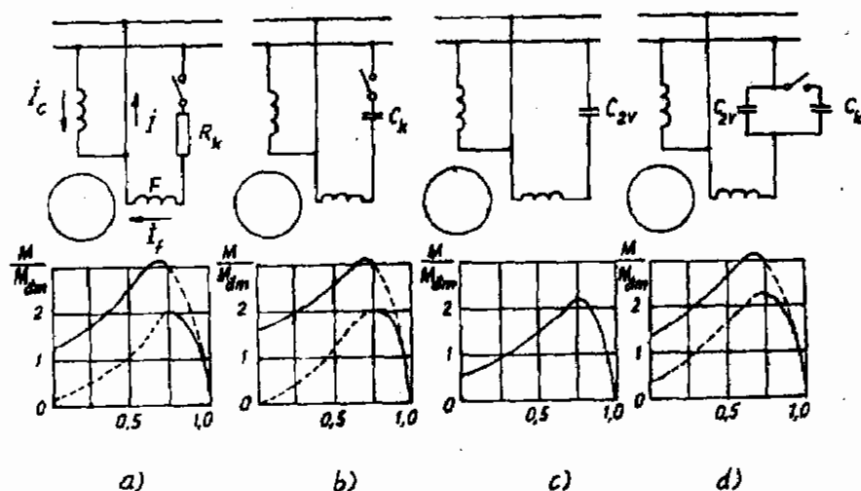
Trên cơ sở của mạch điện thay thế có thể thành lập đồ thị vòng tròn cho động cơ điện một pha.

21.3. PHƯƠNG PHÁP MỞ MÁY VÀ CÁC LOẠI ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT PHA

Như đã nghiên cứu ở trên, ta thấy nếu chỉ có một dây quấn chính thì động cơ một pha không thể tự mở máy được vì mômen mở máy bằng không.

Muốn động cơ tự mở máy cần phải thêm một dây quấn mở máy. Từ trường của dây quấn này sẽ cùng với từ trường dây quấn chính hợp thành một từ trường quay tạo nên mômen ban đầu. Muốn như vậy, tốt nhất dây quấn phụ cần lệch với dây quấn

chính một góc điện 90° trong không gian và dòng điện trong hai dây quấn đó phải lệch pha nhau một góc 90° về thời gian. Có thể tạo nên sự lệch pha đó bằng cách nối mạch điện dây quấn phụ với một điện cảm hay thường là điện dung (hình 21-5b). Lúc đó dòng điện trong dây quấn phụ I_f vượt trước điện áp lưới, làm cho góc pha giữa dòng điện trong dây quấn chính I_c và I_f lệch nhau một góc gần bằng 90° (hình 21-6). Nhờ vậy là trong khe hở của máy sinh ra một từ trường quay bảo đảm có một mômen mở máy tương đối lớn. Khi máy đã quay, ta dùng bộ ngắt điện kiểu ly tâm cắt dây quấn phụ ra khỏi nguồn điện. Động cơ điện mở máy bằng điện dung theo kiểu này gọi là động cơ điện mở máy bằng điện dung.

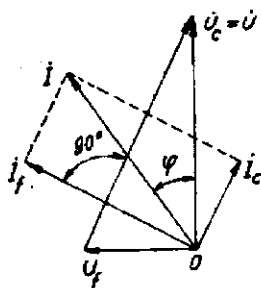


Hình 21-5. Các phương pháp mở máy và các loại động cơ điện không đồng bộ một pha

Trên dây quấn phụ có thể đấu điện trở để tạo mômen mở máy (hình 21-5a). Lúc đó dòng điện I_f và I_c cùng có một góc lệch pha nhất định, nhưng mômen mở máy của loại động cơ này tương đối nhỏ. Dùng phương pháp này thực tế là chỉ cần tính toán sao cho

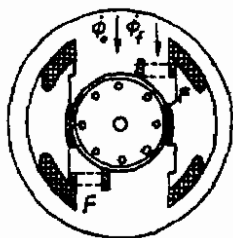
bản thân dây quấn phụ có điện trở tương đối lớn là được, không cần thêm điện trở ngoài nên kết cấu của máy đơn giản. Động cơ điện kiểu này gọi là động cơ điện mở máy bằng điện trở.

Dây quấn phụ đầu nối tiếp điện dung có thể thiết kế để làm việc lâu dài trên lưới điện sau khi mở máy mà không cần ngắt ra. Nhờ vậy bản thân động cơ điện được coi như động cơ điện hai pha. Loại này có đặc tính làm việc tốt, nhất là năng lực quá tải lớn, hệ số công suất của máy cũng được cải thiện (hình 21-5c). Do khi mở máy, dây quấn phụ cần nhiều điện dung hơn khi làm việc, nên thường dùng bộ ngắt điện kiểu ly tâm cắt bớt điện dung sau khi mở máy ra (hình 21-5d). Động cơ điện lúc mở máy và làm việc đều cần điện dung gọi là động cơ điện kiểu điện dung.



Hình 21-5. Đồ thị vectơ máy điện không đồng bộ khi mở máy bằng điện dung

Những động cơ điện một pha công suất rất nhỏ mở máy không tải hay tải nhẹ thường dùng kiểu vòng ngắn mạch để mở máy. Vòng ngắn mạch F đặt trên cực từ và đóng vai trò cuộn dây phụ (hình 21-7). Vòng ngắn mạch ôm lấy khoảng 1/3 cực từ. Khi đặt điện áp vào cuộn dây chính để mở máy, dây quấn này sẽ sinh ra một từ trường đập mạch chính Φ_c . Một phần của từ trường này Φ_c đi qua vòng ngắn mạch. Trong vòng ngắn mạch sẽ sinh ra dòng điện ngắn mạch I_n và dòng điện này sinh ra từ thông Φ_n . Từ thông Φ_n tác dụng với Φ_c để sinh ra từ thông phụ Φ_l đi qua vòng ngắn mạch (hình 21-8). Kết quả là dưới phần cực từ không có vòng ngắn mạch có từ thông $\Phi_c - \Phi_c$ đi qua, còn trong vòng ngắn mạch có Φ_l đi qua. Giữa chúng có một góc pha nhất định về thời gian và một góc lệch về không gian tạo nên một từ trường quay và máy có mômen ban đầu làm động cơ quay.

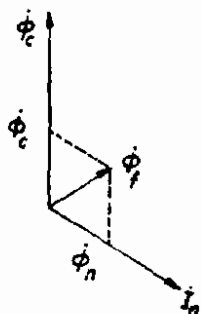


Hình 21-7. Sơ đồ động cơ điện không đồng bộ một pha có vòng ngắn mạch

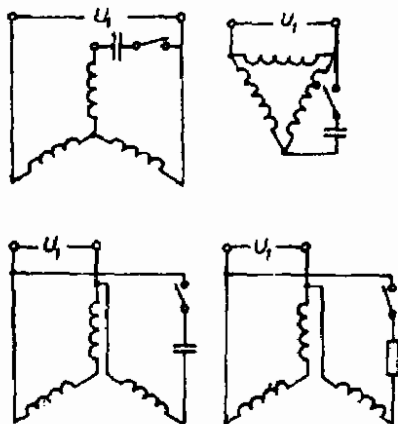
Động cơ này được dùng rộng rãi vì kết cấu đơn giản, vận hành đảm bảo.

Có nhiều trường hợp người ta dùng động cơ điện ba pha ở lưới điện một pha. Lúc đó chỉ cần đặt điện áp một pha vào hai dây quấn pha nối tiếp, dây quấn pha còn lại được nối thêm điện dung làm thành dây quấn phụ (hình 8-9) để mở máy và tăng cường mômen lúc làm việc. Kinh nghiệm và tính toán cho thấy rằng, đổi động cơ điện ba pha thành động cơ điện một pha kiểu

điện dung thì đặc tính của động cơ một pha có kém đi, giá tiền, điện dung đắt, do đó thường đổi động cơ điện ba pha công suất không quá 1,7 kW thành động cơ điện một pha kiểu điện dung.



Hình 21-8. Đồ thị vectơ về từ thông của động cơ điện không đồng bộ một pha có vòng ngắn mạch



Hình 21-9. Một vài phương pháp mở máy động cơ điện ba pha trên lưới điện một pha

Câu hỏi

1. Cấu tạo của động cơ điện không đồng bộ một pha. So sánh với động cơ ba pha.
2. Nguyên lý làm việc của động cơ điện không đồng bộ một pha.
3. Các phương pháp mở máy động cơ không đồng bộ một pha.
4. Có thể đem động cơ ba pha dùng như động cơ một pha được không? Lúc đó công suất và mômen của động cơ sẽ như thế nào?

PHỤ LỤC

PHỤ LỤC 1

*Đường cong từ hóa $H = f(B)$ của thép kỹ thuật điện
cán nóng 1211, 1212 và 1311; A/cm*

B, Testa	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,4	1,4	1,43	1,46	1,49	1,52	1,53	1,58	1,61	1,64	1,67
0,5	1,71	1,75	1,79	1,83	1,87	1,91	1,95	1,99	2,02	2,07
0,6	2,11	2,16	2,21	2,26	2,31	2,36	2,41	2,46	2,51	2,56
0,7	2,61	2,66	2,71	2,76	2,81	2,87	2,93	2,99	3,06	3,12
0,8	3,18	3,24	3,30	3,37	3,44	3,52	3,60	3,69	3,78	3,87
0,9	3,97	4,07	4,17	4,27	4,37	4,47	4,58	4,69	4,80	4,91
1,0	5,02	5,14	5,27	5,41	5,55	5,70	5,85	6,0	6,15	6,31
1,1	6,47	6,64	6,82	7,01	7,2	7,39	7,59	7,79	8,0	8,21
1,2	8,43	8,66	8,91	9,18	9,46	9,76	10,1	10,4	10,7	11,0
1,3	11,4	11,8	12,2	12,6	13,0	13,4	13,8	14,3	14,8	15,3
1,4	15,8	16,4	17,1	17,8	18,6	19,5	20,5	21,5	22,6	23,8
1,5	25,0	26,4	27,9	29,5	31,1	32,8	34,6	36,6	38,8	41,2
1,6	43,7	46,3	49,1	52,2	55,3	58,8	62,3	66,0	69,8	73,7
1,7	77,8	82,0	86,3	90,7	96,3	101	106	111	116	122
1,8	128	134	142	146	152	159	166	173	180	188
1,9	197	206	216	226	238	246	256	268	282	296
2,0	310	325	343	365	390	410	455	495	545	595
2,1	655	725	800	880	960	1040	1120	1200	1280	1360
2,2	1440	1520	1600	1680	1760	1840	1920	2000	2080	2160
2,3	2240	3220	2400	2480	2560	2640	2720	2800	2882	2960
2,4	3040	3120	3200	3280	3360	3440	3520	3600	3680	3760
2,5	3840	3920	4000	4080	4160	4240	4320	4400	4480	4560

PHỤ LỤC 2

*Đường cong từ hóa cơ bản $H = f(B)$ của thép kỹ thuật điện
cán nguội 2211 và 2312; A/cm*

B, Tesla	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.4	0.68	0.69	0.70	0.71	0.72	0.73	0.73	0.74	0.75	0.75
0.5	0.76	0.77	0.78	0.79	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85
0.6	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95
0.7	0.96	0.99	1.03	1.08	1.13	1.18	1.22	1.26	1.31	1.35
0.8	1.40	1.45	1.50	1.55	1.60	1.65	1.70	1.75	1.80	1.85
0.9	1.90	1.95	2.00	2.05	2.10	2.15	2.20	2.25	2.30	2.35
1.0	2.40	2.46	2.52	2.58	2.64	2.70	2.76	2.82	2.88	2.94
1.1	3.00	3.10	3.20	3.30	3.40	3.50	3.60	3.70	3.80	3.90
1.2	4.00	4.10	4.20	4.30	4.40	4.60	4.70	4.80	5.00	5.20
1.3	5.50	5.80	6.10	6.50	6.90	7.30	7.80	8.30	8.80	9.40
1.4	10.0	10.6	11.2	11.8	12.4	13.0	13.6	14.2	14.8	15.4
1.5	16	17.5	19.0	20.5	22.0	23.5	25.0	27.0	29.0	31.0
1.6	34.0	36.0	38.0	41.0	44.0	47.0	53.0	59.0	65.0	71.0
1.7	77.0	82.0	89.0	94.0	100	106	111	117	122	128
1.8	134	140	146	152	158	164	170	176	182	188
1.9	194	200	218	237	257	278	300	322	344	366
2.0	388	410	432	454	476	498	520	545	576	605
2.1	655	725	800	880	960	1040	1120	1200	1280	1360
2.2	1440	1520	1600	1680	1760	1840	1920	2000	2080	2160
2.3	2240	2320	2400	2480	2560	2640	2720	2800	2880	2960
2.4	3040	3120	3200	3280	3360	3440	3520	3600	3680	3760

PHỤ LỤC 3

*Đường cong từ hóa $H = f(B)$ của thép kỹ thuật điện cán nguội
2211 và 2312, ở gông động cơ điện không đồng bộ*

B, Tesla	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,4	0,89	0,91	0,93	0,94	0,96	0,98	1,0	1,02	1,04	1,06
0,5	1,08	1,1	1,13	1,15	1,18	1,2	1,22	1,24	1,26	1,28
0,6	1,31	1,34	1,36	1,39	1,41	1,44	1,47	1,5	1,53	1,56
0,7	1,59	1,62	1,66	1,69	1,76	1,72	1,8	1,83	1,86	1,9
0,9	1,94	1,98	2,01	2,04	2,08	2,12	2,16	2,2	2,23	2,27
1,0	2,74	2,79	2,84	2,89	2,95	3,0	3,05	3,11	3,16	3,23
1,1	3,32	3,38	3,44	3,51	3,57	3,67	3,74	3,82	3,9	3,98
1,2	4,1	4,18	4,26	4,35	4,44	4,55	4,66	4,75	4,85	4,98
1,3	5,09	5,21	5,33	5,46	5,58	5,72	5,85	6,0	6,18	6,35
1,4	6,56	6,75	6,95	7,17	7,4	7,63	7,89	8,15	8,43	8,7
1,5	9,05	9,34	9,65	10,0	10,4	10,9	11,3	11,9	12,4	12,9
1,6	13,7	14,4	15,2	15,9	16,6	17,2	18,2	19,1	20,1	21,0
1,7	21,8	23,1	24,1	25,5	26,1	27,2	28,4	29,8	31,3	32,9
1,8	34,6	36,3	38,0	39,7	41,4	43,0	44,9	46,7	48,5	50,4
1,9	52,2	56	60	64	69	74	79	85	91	97
2,0	104	111	118	125	133	141	149	158	167	176

PHỤ LỤC 4

Đường cong từ hóa $H = f(B)$ của thép kỹ thuật điện cán nguội 2211 và 2312 ở rằng động cơ điện không đồng bộ

B, Tesla	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,4	14	143	146	149	152	155	158	161	164	171
0,5	0,74	177	18	184	186	19	192	196	198	202
0,6	2,04	2,09	2,13	2,16	1,21	2,24	2,29	2,33	2,37	2,41
0,7	2,45	2,49	2,53	2,57	2,62	2,67	2,72	2,77	2,82	2,87
0,8	2,92	2,97	3,02	3,06	3,11	3,16	3,22	3,26	3,31	3,37
0,9	3,42	3,47	3,53	3,6	3,66	3,72	3,79	3,84	3,9	3,96
1,0	4,03	4,09	4,17	4,25	4,33	4,4	4,5	4,6	4,7	4,77
1,1	4,88	4,97	5,09	5,17	5,27	5,37	5,47	5,59	5,70	5,82
1,2	5,93	6,02	6,13	6,26	6,38	6,51	6,63	6,77	6,95	7,10
1,3	7,24	7,38	7,55	7,7	7,9	8,04	8,2	8,4	8,57	8,79
1,4	8,97	9,17	9,36	9,55	9,77	10,0	10,2	10,4	10,6	10,9
1,5	11,2	11,5	11,7	12,1	12,4	12,7	13,1	13,3	13,7	14,1
1,6	14,5	14,9	15,3	15,6	16,1	16,5	16,9	17,5	17,9	18,4
1,7	19,0	19,4	20,0	20,7	21,4	22,2	23,0	23,8	25	26
1,8	27	28	29,2	30,5	32,2	33,3	34,9	36,1	37,1	40,0
1,9	41,6	43,5	46	48	50,3	53,3	54,3	57,9	61,3	64,2
2,0	67,5	71,7	74	77,9	81,5	85,2	90,0	94,0	97,5	102
2,1	106	110	115	121	126	130	135	141	147	154
2,2	159	165	173	178	185	191	196	203	211	220
2,3	231	243	255	268	281	295	309	324	329	364

PHỤ LỤC 5

*Đường cong từ hóa $H = f(B)$ của thép làm thân
máy điện một chiều (A/cm)*

B, Tesla	0,	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	0	0,08	0,16	0,24	0,32	0,4	0,48	0,56	0,64	0,72
0,1	0,80	0,88	0,96	1,04	1,12	1,20	1,28	1,36	1,44	1,52
0,2	1,60	1,68	1,76	1,84	1,92	2,00	2,08	2,16	2,24	2,32
0,3	2,40	2,48	2,56	2,64	2,72	2,80	2,88	2,96	3,04	3,12
0,4	3,20	3,28	3,36	3,44	3,52	3,60	3,68	3,76	3,84	3,92
0,5	4,00	4,08	4,17	4,26	4,34	4,43	4,52	4,61	4,70	4,79
0,6	4,88	4,97	5,06	5,16	5,25	5,35	5,44	5,54	5,64	5,74
0,7	5,84	5,93	6,03	6,13	6,23	6,32	6,42	6,52	6,62	6,72
0,8	6,82	6,93	7,03	7,24	7,34	7,45	7,55	7,66	7,76	7,87
0,9	7,98	8,10	8,23	8,35	8,48	8,50	8,73	8,85	8,98	9,11
1,0	9,24	9,38	9,53	9,69	9,86	10,0	10,2	10,4	10,6	10,7
1,1	10,9	11,1	11,3	11,5	11,7	11,9	12,1	12,3	12,5	12,7
1,2	12,9	13,1	13,4	13,7	14,0	14,3	14,6	14,9	15,2	15,5
1,3	15,9	16,3	16,9	17,2	17,6	18,1	18,6	19,2	19,7	20,3
1,4	20,9	21,6	22,3	23,0	23,7	24,4	25,3	26,2	27,1	28,0
1,5	28,9	29,9	31,0	32,1	33,2	34,3	35,6	37,0	38,3	39,6
1,6	41,0	42,5	44,0	45,5	47,0	48,5	50,0	51,5	53,0	55,0

MỤC LỤC

Lời nói đầu	3
Mở đầu	5
0.1. Các khái niệm cơ bản	5
0.2 Các định luật thường dùng để nghiên cứu máy điện	6
0.3 Sơ lược về các vật liệu chế tạo máy điện	8

Phần thứ nhất MÁY BIẾN ÁP ✓

Chương 1. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ M.B.A

1.1. Đại cương	12
1.2. Nguyên lý làm việc cơ bản của m.b.a	13
1.3. Định nghĩa	15
1.4. Các lượng định mức	16
1.5. Các loại m.b.a chính	17
1.6. Cấu tạo m.b.a	17

Chương 2. TỔ NỐI DÂY VÀ MẠCH TỪ M.B.A

2.1. Tổ nối dây của m.b.a	28
2.2. Mạch từ của m.b.a	34

Chương 3. QUAN HỆ ĐIỆN TỪ TRONG M.B.A

3.1. Các phương trình cơ bản của m.b.a	47
3.2. Mạch điện thay thế của m.b.a	52
3.3. Đồ thị vectơ của m.b.a	57
3.7. Cách xác định các tham số của m.b.a	59

Chương 4. CÁC ĐẶC TÍNH LÀM VIỆC Ở TẢI ĐỐI XỨNG CỦA M.B.A

4.1. Giảm đồ năng lượng của m.b.a	74
4.2. Độ thay đổi điện áp của m.b.a và cách điều chỉnh điện áp	75
4.3. Hiệu suất của m.b.a	80
4.4. M.b.a làm việc song song	83

Chương 5. M.B.A LÀM VIỆC VỚI TẢI KHÔNG ĐỐI XỨNG	
5.1. Đại cương	93
5.2. Mạch điện thay thế và tổng trở của m.b.a đối với các thành phần đối xứng	94
5.3. Tải không đối xứng của m.b.a	97
5.4. Ngắn mạch không đối xứng của m.b.a	100
Chương 6. QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ TRONG M.B.A	
6.1. Đại cương	102
6.2. Quá dòng điện trong m.b.a	102
6.3. Quá điện áp trong m.b.a	108
Chương 7. CÁC LOẠI M.B.A. ĐẶC BIỆT	
7.1. M.b.a ba dây quấn	115
7.2. M.b.a tự ngẫu	119
7.3. Các m.b.a đặc biệt	123

Phần thứ hai

LÝ THUYẾT CHUNG CỦA MÁY ĐIỆN QUAY

Chương 8. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC VÀ SỰ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG TRONG MÁY ĐIỆN QUAY	
8.1. Nguyên lý làm việc của các máy điện quay	129
8.2. Sự biến đổi năng lượng cơ điện trong máy điện quay	135
Chương 9. DÂY QUẮN PHẦN CỨNG CỦA MÁY ĐIỆN QUAY	
A. Dây quấn máy điện một chiều	139
9.1. Đại cương	139
9.2. Dây quấn xếp đơn	142
9.3. Dây quấn xếp phức	151
9.4. Dây quấn sóng đơn	155
9.5. Dây quấn sóng phức	158
9.6. Khái niệm về dây quấn hỗn hợp	161

9.7. Dây cân bằng điện thế	162
9.8. Chọn kiểu dây quấn	164
B. Dây quấn máy điện xoay chiều	166
9.9. Đại cương	166
9.10. Dây quấn có q là số nguyên	166
9.11. Dây quấn có q là phân số	174
9.12. Dây quấn ngắn mạch kiểu lồng sóc	176
9.13. Cách thực hiện dây quấn máy điện xoay chiều	178
✓ Chương 10. SỨC ĐIỆN ĐỘNG CỦA MÁY ĐIỆN QUAY	
10.1. Sức điện động của máy điện một chiều	182
10.2. S.d.d. cảm ứng trong dây quấn máy điện xoay chiều	184
10.3. Cải thiện dạng sóng s.d.d	189
✓ Chương 11. SỨC TỪ ĐỘNG CỦA DÂY QUẤN MÁY ĐIỆN XOAY CHIỀU	
11.1. Đại cương	195
11.2. S.t.d. của dây quấn một pha	198
11.3. S.t.d. của dây quấn ba pha	203
11.4. S.t.d. của dây quấn hai pha	207
11.5. Phân tích s.t.d. của dây quấn bằng phương pháp đồ thị	208
✓ Chương 12. ĐIỆN KHÁNG CỦA DÂY QUẤN MÁY ĐIỆN XOAY CHIỀU	
12.1. Đại cương	213
12.2. Điện kháng chính của dây quấn máy điện xoay chiều	215
12.3. Điện kháng tản của dây quấn máy điện xoay chiều	216
Chương 13. MẠCH TỪ CỦA MÁY ĐIỆN QUAY	
13.1. Đại cương	222
13.2. Tính sức từ động khe hở	224
13.3. Tính sức từ động răng	227
13.4. Tính sức từ động lưng phần cứng	232

13.5. Tính sức từ động trên cực từ và giòong từ	232
13.6. Đường cong từ hóa	233

Chương 14. PHÁT NÓNG VÀ LÀM LẠNH CỦA CÁC MÁY ĐIỆN

14.1. Đại cương	240
14.2. Sự phát nóng và nguội lạnh của máy điện	244
14.3. Vấn đề làm lạnh các máy điện	248

Phần thứ ba

MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Chương 15. ĐẠI CƯƠNG VỀ MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

15.1. Phân loại và kết cấu	253
15.2. Các lượng định mức	256
15.3. Công dụng của máy điện không đồng bộ	258

Chương 16. QUAN HỆ ĐIỆN TỬ TRONG MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

16.1. Đại cương	260
16.2. Máy điện không đồng bộ khi rôto đứng yên	260
16.3. Máy điện không đồng bộ khi rôto quay	266
16.4. Các chế độ làm việc giản đồ năng lượng. Đồ thị vectơ của máy điện không đồng bộ	273
16.5. Biểu thức mômen điện từ của máy điện không đồng bộ	277
16.6. Mômen phụ của máy điện không đồng bộ	283
16.7. Các đường đặc tính của máy điện không đồng bộ	287
16.8. Các đường đặc tính của máy điện không đồng bộ trong điều kiện không định mức	290

Chương 17. ĐỒ THỊ VÒNG TRÒN CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

17.1. Đại cương	301
-----------------	-----

17.2. Cách xây dựng đồ thị vòng tròn	302
17.3. Xác định đặc tính làm việc của máy điện không đồng bộ bằng đồ thị vòng tròn	304
17.4. Xây dựng đồ thị vòng tròn bằng số liệu thí nghiệm. Cách vẽ thực tế	310
17.5. Đồ thị vòng tròn chính xác	315

Chương 18. ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ ỨNG DỤNG HIỆU ỨNG MẶT NGOÀI Ở DÂY QUẦN ROTO LỒNG SÓC

18.1. Đại cương	319
18.2. Động cơ điện rôto rãnh sâu	319
18.3. Động cơ điện hai lồng sóc	323
18.4. Các dạng răng rôto khác	326

✓ Chương 19. KHỞI ĐỘNG VÀ ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ

19.1. Quá trình khởi động động cơ điện không đồng bộ	328
19.2. Các phương pháp khởi động	329
19.3. Điều chỉnh tốc độ động cơ điện không đồng bộ	334

Chương 20. CÁC CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC VÀ CÁC DẠNG KHÁC CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

20.1. Đại cương	346
20.2. Các chế độ làm việc đặc biệt của máy điện không đồng bộ	347
20.3. Các dạng khác của máy điện không đồng bộ	352

✓ Chương 21. MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ MỘT PHA

21. Đại cương	366
21.2. Nguyên lý làm việc	367
21.3. Phương pháp khởi động và các loại động cơ điện một pha	371
Phụ lục	376