

VŨ GIA HANH (chủ biên)  
TRẦN KHÁNH HÀ - PHAN TỬ THỤ  
NGUYỄN VĂN SÁU

# MÁY ĐIỆN

★ TẬP 1

EBOOKBKMT.COM

TÌM KIẾM TÀI LIỆU MIỄN PHÍ

MÁY ĐIỆN



M.002256



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

**VŨ GIA HANH (Chú biên)**

**TRẦN KHÁNH HÀ PHAN TỬ THỤ**

**NGUYỄN VĂN SÁU**

TRƯỜNG TRUNG HỌC CƠ ĐIỆN VÀ  
KỸ THUẬT NÔNG NGHIỆP NAM BỘ

**THƯ VIỆN**

# MÁY ĐIỆN I

*In lần thứ 6, có sửa chữa và bổ sung*

*(Sách giáo trình dùng cho các trường đại học)*

**EBOOKBKMT.COM**

**TÌM KIẾM TÀI LIỆU MIỄN PHÍ**



**NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT**

**HÀ NỘI - NĂM 2006**

*Chịu trách nhiệm xuất bản:*

**PGS. TS DẶNG HẢI**

*Biên tập:*

**NGUYỄN NGỌC - PHẠM VĂN**

*Vẽ bìa:*

**TRỊNH TIẾN HÙNG**

---

In 1.000 cuốn, khổ 16 x 24cm, tại Xưởng in NXB Văn hoá Dân tộc  
Quyết định xuất bản số: 409- 2006/CXB/77-33/KHKT ngày 7/9/2006  
In xong và nộp lưu chiểu tháng 10 năm 2006.

## TÌM KIẾM TÀI LIỆU MIỄN PHÍ

## LỜI NÓI ĐẦU

Bộ sách "MÁY ĐIỆN" này được biên soạn theo quyển "GIÁO TRÌNH MÁY ĐIỆN" do khoa Đại học tại chức trường Đại học Bách khoa xuất bản năm 1970-1971, quyển "MÁY ĐIỆN" do Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật xuất bản (lần thứ nhất năm 1997, lần thứ hai năm 1998) và là tổng kết quá trình giảng dạy trên 40 năm qua của bộ môn Thiết bị điện trường Đại học Bách khoa Hà Nội cho các ngành thuộc khoa Điện.

Tập một gồm ba phần: 1- Máy biến áp, 2- Những vấn đề lý luận chung của các máy điện quay, 3- Máy điện không đồng bộ. Tập hai gồm bốn phần: 4- Máy điện đồng bộ, 5- Máy điện một chiều, 6- Máy điện xoay chiều có vành góp, 7- Lý thuyết tổng quát các máy điện. 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, 7 và mở đầu do Vũ Gia Hanh biên soạn; phần 1, 6 do Phan Tử Thụ biên soạn; phần 3 do Trần Khánh Hà biên soạn và phần 5 do Nguyễn Văn Sáu biên soạn.

So với các lần xuất bản trước, trong sách có một số thay đổi cơ bản như: Các máy điện quay được viết lại dựa trên quan điểm thống nhất là nguyên lý làm việc của chúng đều dựa vào hai định luật cơ bản về sức điện động cảm ứng và lực điện từ. Tùy theo cách tạo ra từ trường, kết cấu của mạch từ và dây quấn mà có thể phân máy điện quay thành máy điện không đồng bộ, máy điện đồng bộ, máy điện một chiều và máy điện xoay chiều có vành góp. Trên cơ sở đó đã viết lại hoàn toàn các chương về dây quấn, sức điện động, sức từ động của các máy điện quay. Sách cũng được bổ sung thêm phần 7 đề cập đến lý thuyết tổng quát các máy điện, trong đó các máy điện được biểu thị bằng một hệ phương trình các mạch điện có quan hệ điện từ với nhau. Điều đó là cần thiết khi xét hành vi của một máy điện quay lúc làm việc như một phần tử trong hệ thống điện hoặc trong một hệ thiết bị điện có các thiết bị biến đổi và thiết bị điều chỉnh. Ngoài ra trong sách cũng có bổ sung thêm các phương pháp điều chỉnh tốc độ, điện áp của các máy điện ứng dụng điện từ công suất và một số vấn đề khác. Những thay đổi này do Vũ Gia Hanh thực hiện.

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 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 HẠNH (CHỦ BIÊN) -

TRẦN KHÁNH HÀ - PHAN TỬ THỤ -

NGUYỄN VĂN SÁU

# MỞ ĐẦU

## 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 được 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 quay (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 trong 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 thành 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 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 phương trình 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:

$$e = B.l.v$$

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:

$$\oint Hdl = \sum iw = F$$

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  $w$  vòng dây của 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  $\overline{df}_M$  tác dụng trên một đơn vị dòng điện  $i\overline{dl}$  đặt ở điểm  $M$  có từ cảm  $\overline{B}_M$ . Lực này bằng tích vectơ của vectơ đơn vị dòng điện với vectơ từ cảm:

$$\overline{df}_M = i\overline{dl} \times \overline{B}_M$$

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

$$\overline{f} = \int_0^l B \sin\varphi dl$$

Trong đó  $\varphi$  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  $\mu$  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 và từ cảm  $L$  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 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 Kirhoff bằng một phương trình ma trận có dạng:

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

Trong đó:

$\vec{u}$  là 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;

$\vec{i}$  là vectơ dòng điện có các thành phần dòng điện chạy trong các mạch điện;

$Z$  là ma trận tổng trở.

Mômen điện từ sinh ra trong máy điện sẽ bằng:

$$M = k |\vec{\Psi} \times \vec{i}|.$$

Trong đó  $\vec{\Psi}$  là vectơ từ thông móc vòng có các thành phần bằng từ thông móc vòng sinh ra;  $k$  là một hệ số tỷ lệ.

#### 5. Đơn vị tương đối

Trong nghiên cứu thiết kế và tính toán các máy điện, để được tiện lợi người ta thường dùng hệ đơn vị tương đối. Trong hệ đơn vị tương đối các đại lượng như điện áp, dòng điện, công suất, tần số, tốc độ góc, mômen...



đều được biểu thị theo các lượng định mức tương ứng lấy làm cơ sở. Th dụ:

$$I_* = I/I_{cs}; U_* = U/U_{cs}; P_* = P/P_{cs}; M_* = M_{cs}; z_* = z/z_{cs}; \dots$$

trong đó  $I_{cs} = I_{dm}; U_{cs} = U_{dm}; P_{cs} = P_{dm}; M_{cs} = M_{dm} = P_{dm}/9,81\omega_{dm};$   
 $z_{cs} = z_{dm} = U_{cs}/I_{cs} = U_{dm}/I_{dm}; \dots$

### 0.3. SO 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

Vật liệu tác dụng gồm vật liệu dẫn từ và vật liệu 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 hay 0,27 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 cán nguội 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: dị hướng (hoặc có hướng) và đẳng hướng (hoặc vô hướng). Loại dị hướng có đặc điểm là dọc theo chiều cán thì tính năng từ tính tốt hơn hẳn so với lệch chiều cán, do đó thường được dùng trong máy biến áp; còn loại đẳng 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

Vật liệu kết cấu dùng để chế tạo các bộ phận và chi tiết truyền động

loại 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 ~ 10°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.



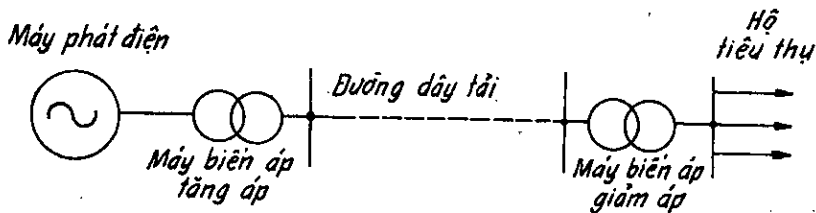
*PHẦN THỨ NHẤT*  
**MÁY BIẾN ÁP**

# 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 mạng 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 ít có khả năng phát ra những điện áp cao như vậy, thường chỉ từ 3 đến 21 kV, 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*. 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 máy biến áp trong hệ thống điện lực thường

gấp ba, bốn lần công suất của trạm phát điện. Những máy biến áp dùng trong hệ thống điện lực gọi là máy biến áp điện lực hay máy biến áp công suất. Từ đó ta cũng thấy rõ, máy biến áp chỉ làm nhiệm vụ truyền tải hoặc phân phối năng lượng chứ không chuyển hóa năng lượng.

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

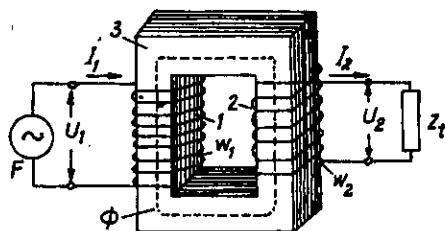
Khuynh hướng phát triển của máy biến áp điện lực hiện nay là thiết kế chế tạo những m.b.a có dung lượng thật lớn, điện áp thật cao, dùng nguyên liệu mới để giảm trọng lượng và kích thước máy. Về vật liệu hiện nay đã dùng loại thép cán lạnh không những có từ tính tốt mà tổn hao sắt lại thấp, do đó nâng cao được hiệu suất của máy biến áp. 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 máy biến áp đã ra đời ngay từ ngày hòa bình lập lại. Đến nay chúng ta đã sản xuất được một khối lượng khá lớn máy biến áp, 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 máy biến áp dung lượng 63000 kVA với điện áp 110 kV.

## 1.2. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CƠ BẢN CỦA MÁY BIẾN ÁP

Ta hãy xét sơ đồ nguyên lý của một máy biến áp vẽ trên hình 1-2. Đây là máy biến áp 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  $\Phi$  móc vòng với cả hai dây quấn 1 và 2, cảm ứng ra các s.d.đ  $e_1$  và  $e_2$ . Dây quấn 2 có s.d.đ 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 trị điện áp xoay chiều đặt vào là một hàm số hình sin,



Hình 1-2. Nguyên lý làm việc của máy biến áp

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.đ cảm ứng trong các dây quấn 1 và 2 sẽ là:

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

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

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.đ dây quấn 1 và dây quấn 2.

Các biểu thức (1-2a, b) cho thấy s.d.đ 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 máy biến áp như sau:

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} \quad (1-4)$$

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 máy biến áp như sau:

Máy biến áp 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.

Máy biến áp có hai dây quấn gọi là máy biến áp 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 máy biến áp giảm áp, nếu điện áp thứ cấp lớn hơn điện áp sơ cấp ta có máy biến áp tăng áp.

Ở máy biến áp 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). Máy biến áp biến đổi hệ thống dòng điện xoay chiều một pha gọi là máy biến áp một pha; máy biến áp biến đổi hệ thống dòng điện xoay chiều ba pha gọi là máy biến áp ba pha. Máy biến áp ngâm trong dầu gọi là máy biến áp dầu; máy biến áp không ngâm trong dầu gọi là máy biến áp khô.

#### 1.4. CÁC LƯỢNG ĐỊNH MỨC

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

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 máy biến áp, tính bằng kilôvôn-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 máy biến áp 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 kilôampe (kA). Có thể tính các dòng



điện như sau:

Đối với máy biến áp một pha:

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

Đối với máy biến áp 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 máy biến áp 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 máy biến áp, 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 MÁY BIẾN ÁP CHÍNH

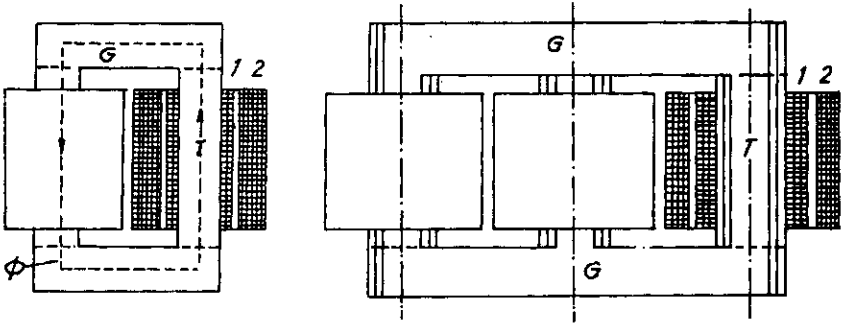
Theo công dụng, máy biến áp có thể gồm những loại chính sau đây:

1. *Máy biến áp điện lực* dùng để truyền tải và phân phối công suất trong hệ thống điện lực.
2. *Máy biến áp chuyên dùng* dùng cho các lò luyện kim, cho các thiết bị chỉnh lưu; máy biến áp hàn điện;...
3. *Máy biến áp tự ngẫu* biến đổi điện áp trong một phạm vi không lớn, dùng để mở máy các động cơ điện xoay chiều.
4. *Máy biến áp đo lường* dùng để giảm các điện áp và dòng điện lớn khi đưa vào các đồng hồ đo.
5. *Máy biến áp thí nghiệm* dùng để thí nghiệm các điện áp cao.

Máy biến áp 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 xét đến m.b.a điện lực hai dây quấn một pha và ba pha. Các máy biến áp khác sẽ được nghiên cứu trong Chương 7.

## 1.6. CẤU TẠO MÁY BIẾN ÁP

Máy biến áp có các bộ phận chính sau đây: lõi thép, dây quấn và vỏ máy.

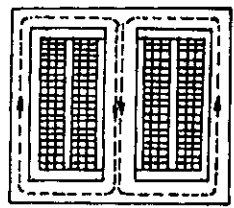


Hình 1-3. Máy biến áp kiểu lõi: a) một pha; b) ba pha

1.6.1. Lõi thép

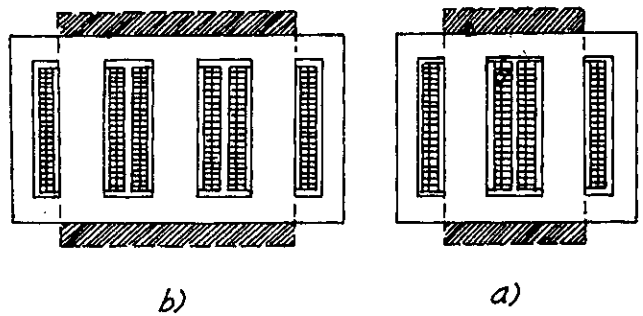
Lõi thép dùng làm mạch dẫn từ, đồng thời làm khung để quấn dây quấn. Theo hình dáng lõi thép, người ta chia ra:

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



Hình 1-4. Máy biến áp kiểu bọc

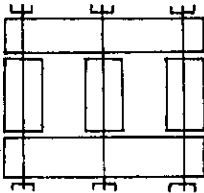
*Máy biến áp kiểu bọc* (hình 1-4): Mạch từ được phân nhánh ra hai bên và "bọc" lấy một phần dây quấn. Loại này thường chỉ dùng trong một vài ngành chuyên môn đặc biệt như máy biến áp dùng trong lò điện luyện kim hay máy biến áp một pha công suất nhỏ dùng trong kỹ thuật vô tuyến điện, truyền thanh v.v...



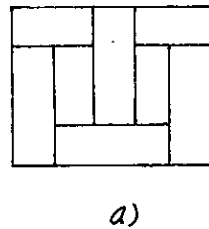
Hình 1-5. Máy biến áp kiểu trụ bọc: a) một pha và b) ba pha.

Ở các máy biến áp 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 máy biến áp kiểu trụ được phân nhánh sang hai bên nên máy biến áp mang hình dáng vừa kiểu trụ, vừa kiểu bọc, gọi là máy biến áp kiểu *trụ-bọc*. Hình 1-5a trình bày một kiểu máy biến áp trụ-bọc ba pha (trường hợp này có dây quấn ba pha, nhưng có năm trụ thép nên còn gọi là máy biến áp *ba pha năm trụ*).

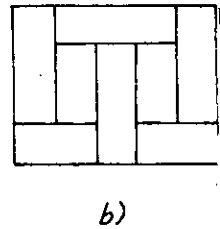
Lõi thép máy biến áp gồm có hai phần: phần trụ - ký hiệu bằng chữ *T* và phần gông - ký hiệu bằng chữ *G* (hình 1-3). Trụ là phần lõi thép có quấn dây quấn; gông là phần lõi thép nối các trụ lại với nhau thành mạch từ kín và không có dây quấn. Đối với máy biến áp kiểu bọc (hình 1-4) và kiểu trụ-bọc (hình 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 xi măng và bulông vít chặt lại (hình 1-6). Ghép xen kẽ thì toàn bộ lõi thép phía



Hình 1-6. Ghép rời lõi thép máy biến áp



a)

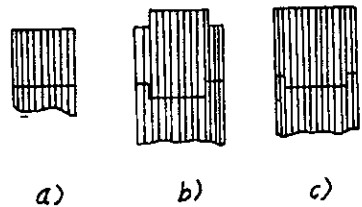


b)

Hình 1-7. Ghép xen kẽ lõi thép máy biến áp ba pha



Hình 1-8. Tiết diện của trụ thép



a)

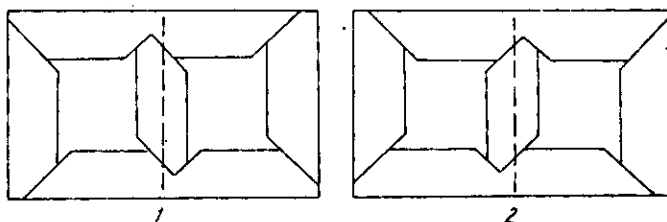
b)

c)

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

ghép đồng thời và các lớp lá thép được xếp xen kẽ với nhau lần lượt theo hình 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 máy biến áp hiện nay đều dùng kiểu ghép này.

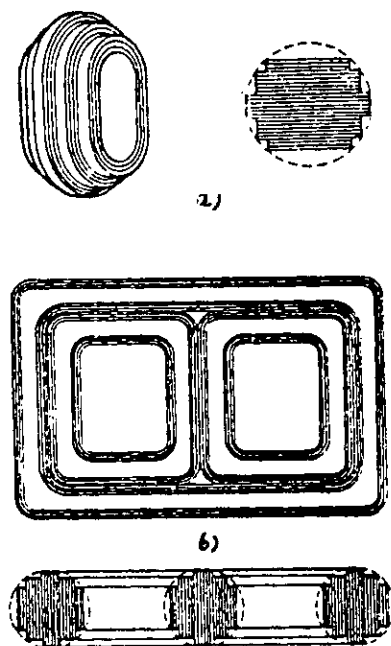
Do dây quấn thường quấn thành hình tròn, nên tiết diện ngang của trụ thép thường làm thành hình bậc thang gần tròn (hình 1-8). Gông từ là không quấn dây, do đó, để thuận tiện cho việc chế tạo, tiết diện ngang của gông có thể làm đơn giản: hình vuông, hình chữ nhật hoặc hình chữ nhật có góc (hình 1-9). Tuy nhiên, hiện nay hầu hết các máy biến áp hiện lực, người ta hay dùng tiết diện gông hình bậc thang có số bậc gần bằng số bậc của tiết diện trụ.



Hình 1-10. Ghép xen kẽ tôn cán nguội máy biến áp ba pha

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

Đối với tôn silic cán nguội dị hướng, để từ thông luôn đi theo chiều cán là hiệu quả từ dẫn lớn, lá thép được ghép từ các lá tôn có cắt chéo một góc nhất định, thí dụ như ở hình 1-10. Cách ghép từ thép bằng các lá tôn như trên các hình 1-7 và 1-10 được sử dụng khi chiều dày lá tôn trong khoảng từ 0,20 đến 0,35 mm. Khi chiều dày lá tôn nhỏ hơn 0,20 mm, người ta dùng công nghệ mạch từ uốn lá tôn vô định hình dày 0,10 mm. Việc quấn các dải tôn có bề rộng khác nhau với những độ dày thích đáng vẫn cho phép thực hiện mạch từ có tiết diện



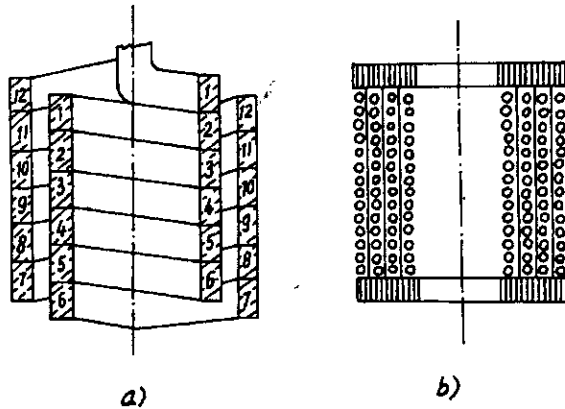
Hình 1-11. Mạch từ tôn cuộn  
a) một pha; b) ba pha

ngang có nhiều bậc nội tiếp trong vòng tròn. Khi công suất nhỏ và trung bình số bậc từ 5 đến 9; còn đối với những công suất lớn, số bậc từ 10 đến 13 (hình 1-11a). Việc thực hiện mạch từ ba pha từ các mạch từ từ cuộn một pha có thể thực hiện như trên hình 1-11b.

### 1.6.2. Dây quấn

Dây quấn là bộ phận dẫn điện của máy biến áp, làm nhiệm vụ truyền 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 những vòng tròn đồng tâm. Dây quấn *HA* thường quấn phía trong gần trục thép, còn dây quấn *CA* quấn phía ngoài bọc lấy dây quấn *HA* (hình 1-12). 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*.



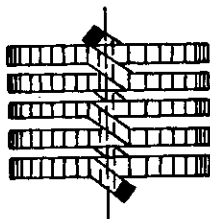
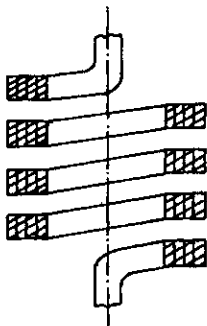
Hình 1-12. Dây quấn hình trụ a) dây tròn nhiều lớp và b) dây bẹt hai lớp

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 1-12b); nếu tiết diện dây lớn thì dùng dây bẹt thường quấn thành hai lớp (hình 1-12a). Dây 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 d

uấn hình trụ thường dùng cho các máy biến áp dung lượng 630 kVA trở xuống.

**b. Dây quấn hình xoắn:** Gồm nhiều dâyбет chập lại quấn theo đường xoắn ốc, giữa các vòng dây có rãnh hở (hình 1-13). Kiểu này thường dùng cho dây quấn HA của các máy biến áp dung lượng trung bình và lớn.

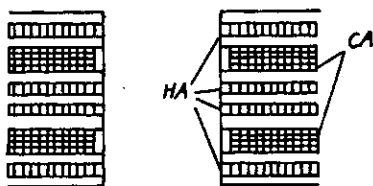


Hình 1-13. Dây quấn hình xoắn

Hình 1-14. Dây quấn xoáy ốc liên tục

**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 1-14). 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 được gọi là dây quấn xoáy ốc liên tục. Dây quấn này chủ yếu dùng làm cuộn CA, điện áp 35 kV trở lên và dung lượng lớn.

**2. Dây quấn xen kẽ:** Các bánh dây CA và HA lần lượt xen kẽ nhau dọc theo trụ thép (hình 1-15). Cần chú ý rằng, để cách điện được dễ dàng, các bánh dây sắt gông thường thuộc dây quấn HA. Kiểu dây quấn này hay dùng trong các máy biến áp kiểu bọc. Vì chế tạo và cách điện khó khăn, kém vững chắc về cơ học nên các máy biến áp kiểu trụ hầu như không dùng kiểu dây quấn xen kẽ.



Hình 1-15. Dây quấn xen kẽ

### 1.6.3. Vỏ máy

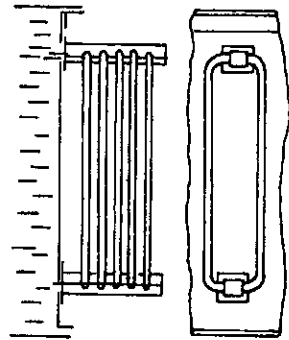
Vỏ máy gồm hai bộ phận: thùng và nắp thùng.

**1. Thùng máy biến áp:** Thùng máy làm bằng thép, thường là hình

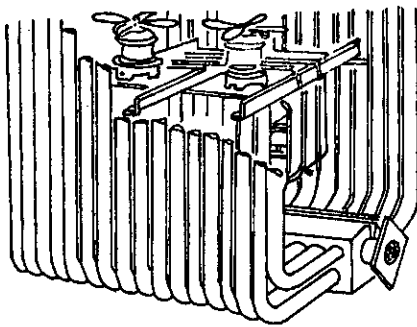
bầu dục. Lúc máy biến áp làm việc, một phần năng lượng bị tiêu hao thoát ra dưới dạng nhiệt đốt nóng lõi thép, dây quấn và các bộ phận khác làm cho nhiệt độ của chúng tăng lên. Do đó giữa máy biến áp và môi trường xung quanh có một hiệu số nhiệt độ gọi là *nhiệt độ chênh*. Nếu nhiệt độ chênh đó vượt quá mức quy định sẽ làm giảm tuổi thọ cách điện và có thể gây sự cố đối với máy biến áp.



Hình 1-16. Thùng dầu kiểu ống

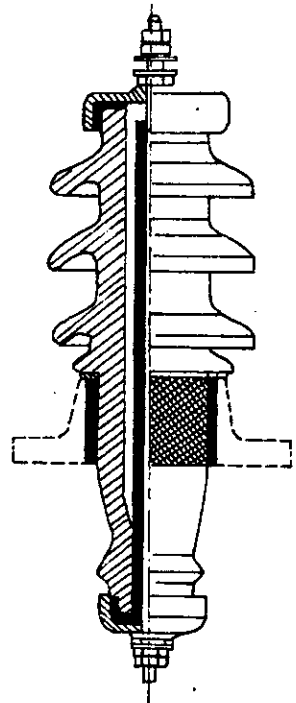


Hình 1-17. Thùng dầu có bộ tản nhiệt

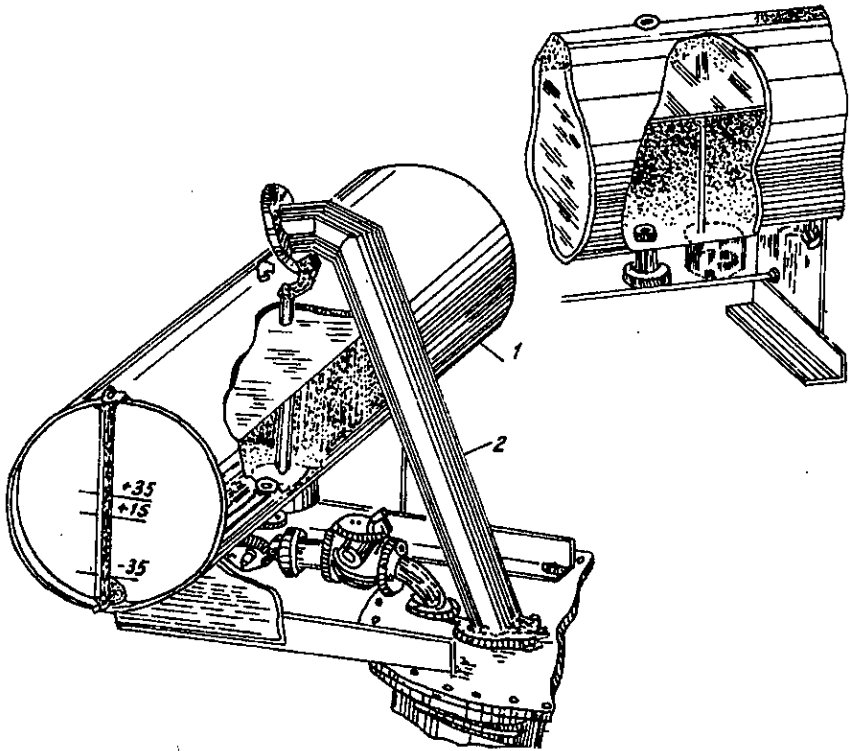


Hình 1-18. Bộ tản nhiệt có quạt gió

Để bảo đảm cho máy biến áp 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 máy biến áp trong thùng dầu. Nhờ sự đối lưu trong dầu, nhiệt truyền từ các bộ phận bên trong máy biến



Hình 1-19. Sú cách điện có dầu 35 kV



Hình 1-20. Bình giãn dầu (1) và ống bảo hiểm (2)

áp 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 máy biến áp. Mặt khác, dầu máy biến áp còn làm nhiệm vụ tăng cường cách điện.

Tùy theo dung lượng máy biến áp 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 máy biến áp dung lượng từ 30 kVA trở xuống. Đối với các máy biến áp cỡ trung bình và lớn, người ta hay dùng loại thùng dầu có ống (hình 1-16) hoặc loại thùng có bộ tản nhiệt (hình 1-17).

Ở những máy biến áp dung lượng đến 10000 kVA, người ta dùng những bộ tản nhiệt có thêm quạt gió để tăng cường làm lạnh (hình 1-18). Ở các máy biến áp dùng trong trạm thủy điện, dầu được bơm qua một hệ thống ống nước để tăng cường làm lạnh.

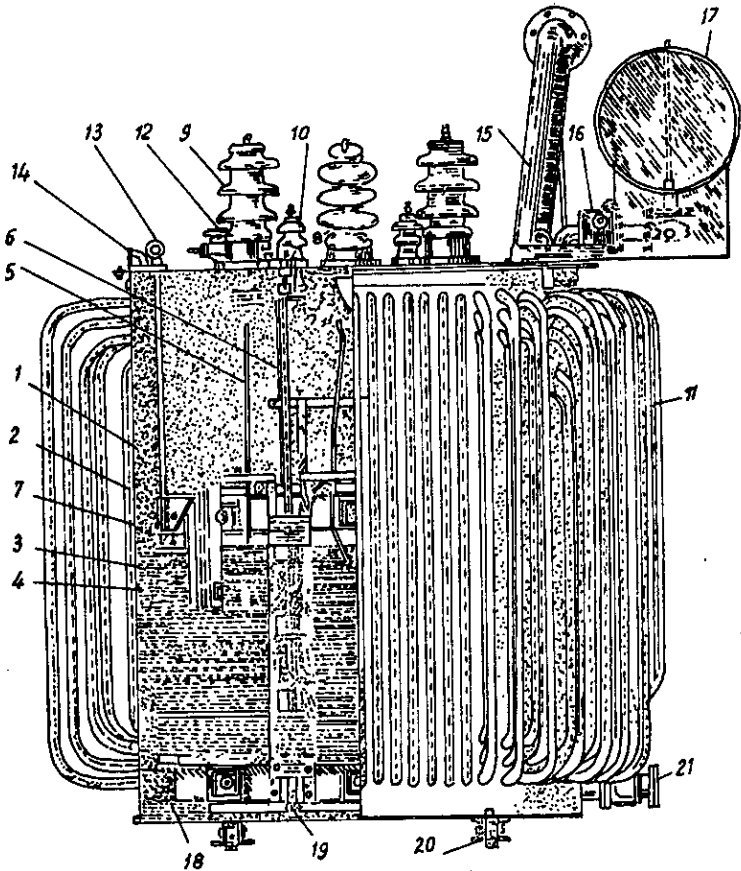
**2. Nắp thùng:** Nắp thùng dùng để đậy thùng và trên đó đặt các chi tiết máy quan trọng như:

- 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 máy biến áp mà người ta dùng sứ cách điện thường hoặc có dầu. Hình 1-19 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 1-20). Để bảo đảm dầu trong thùng luôn luôn đầy, phải duy trì dầu ở một mức nhất định. Dầu trong thùng máy biến áp thông qua bình giãn dầu giãn nở tự do. Ống chỉ mức



Hình 1-21. Máy biến áp 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 đầu 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. quai để nâng ruột máy ra; 14. mặt bích để nối với bơm chân không; 15. ống có màng bảo hiểm; 16. rơle hơi; 17. bình giãn dầu; 18. giá đỡ góc ở đáy thùng dầu; 19. bulông dọc để bắt chặt má sắt ép gông; 20. bánh xe lăn; 21. ống xả dầu

dầu đặt bên cạnh bình giãn dầu dùng để theo dõi 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 1-20). 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 máy biến áp không bị hư hỏng.

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

### Câu hỏi

1. Máy biến áp là gì ? Vai trò của máy biến áp trong hệ thống điện lực ? Kết cấu của máy biến áp ra sao ? Tác dụng của từng bộ phận trong máy biến áp ?

2. Trên máy biến áp 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 máy biến áp ?

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

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

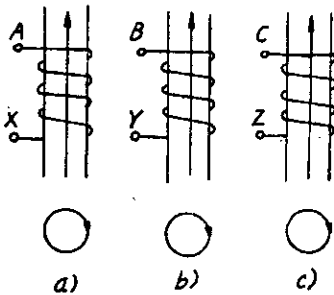
## TỔ NỐI DÂY VÀ MẠCH TỪ CỦA MÁY BIẾN ÁP

Để máy biến áp 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.đ pha không sin, tổn hao phụ tăng, v.v...

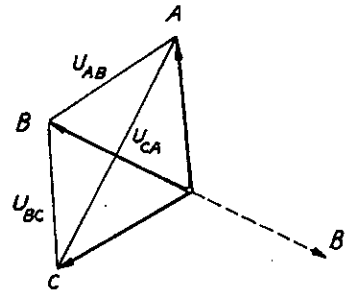
Trong chương này ta sẽ lần lượt xét các loại tổ nối dây và mạch từ, đồng thời xét các hiện tượng xảy ra khi từ hóa lõi thép và nêu lên cách tính toán về mạch từ của máy biến áp.

### 2.1. TỔ NỐI DÂY CỦA MÁY BIẾN ÁP

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



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



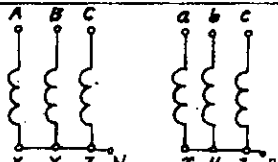
Hình 2-2. Điện áp dây không đối xứng lúc ký hiệu ngược hay đấu ngược một pha

#### 2.1.1. Cách ký hiệu đầu dây

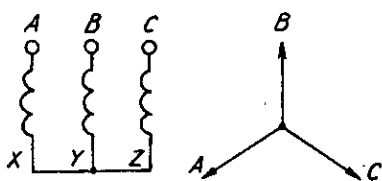
Các đầu tận cùng của dây quấn máy biến áp, một đầu gọi là *đầu đầu*, đầu kia gọi là *đầu cuối*. Đối với dây quấn một pha có thể tùy ý chọn đầu

dầu và đầu cuối. Đối với dây quấn ba pha, các đầu đầu và đầu cuối phải chọn một cách thống nhất : Giả thử 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).

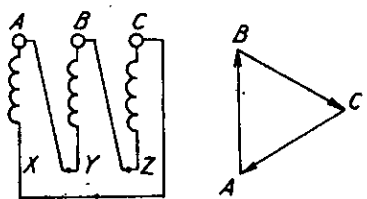
Để đơn giản và thuận tiện cho việc nghiên cứu, người ta thường đánh dấu các đầu tận cùng lên sơ đồ ký hiệu dây quấn của máy biến áp với quy ước sau đây:

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

Đối với máy biến áp ba dây quấn, ngoài hai dây quấn sơ cấp và thứ cấp còn có dây quấn điện áp trung bình. 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  $O_m$ .



Hình 2-3. Dấu hình sao dây quấn máy biến áp ba pha



Hình 2-4. Dấu hình tam giác dây quấn máy biến áp ba pha

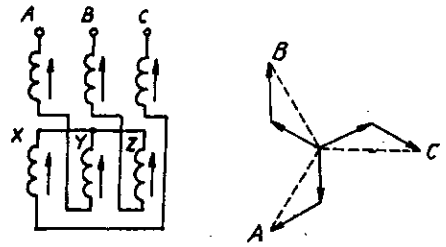
**2.1.2. Các kiểu dấu dây quấn**

Dây quấn của máy biến áp có thể dấu hình sao (ký hiệu bằng dấu "Y") hay hình tam giác (ký hiệu bằng dấu "Δ" hay bằng chữ "D"). Dấu sao thì ba đầu X, Y, Z nối lại với nhau, còn ba đầu A, B, C để tự do (hình

2-3). Nếu đầu sao có dây trung tính thì ký hiệu bằng đầu "Y<sub>0</sub>" hay Y<sub>n</sub>. Đầu tam giác thì đầu đầu của pha này nối với đầu cuối của pha kia theo thứ tự XA- YB - ZC - X (hình 2-4).

Cách đấu dây quấn CA và HA ở trong máy biến áp thường được ký hiệu như sau: Ví dụ máy biến áp đấu Y/Δ (hay Y/D) có nghĩa là dây quấn CA đấu sao và dây quấn HA đấu tam giác. Ở các máy biến áp 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 đầu Y<sub>0</sub> thông dụng đối với máy biến áp cung cấp cho tải hỗn hợp vừa dùng điện áp dây (chạy động cơ không đồng bộ), vừa dùng điện áp pha (chiếu sáng).

Ngoài hai kiểu đấu dây chủ yếu trên, dây quấn máy biến áp có thể đấu theo kiểu zic-zắc (ký hiệu bằng chữ "Z"). Lúc đó mỗi pha dây quấn gồm hai nửa cuộn dây ở trên hai trụ khác nhau nối nối tiếp và mắc ngược nhau (hình 2-5). Kiểu đấu dây này rất ít dùng vì tổn nhiều đồng hơn và chỉ gặp trong máy biến áp dùng cho các thiết bị chỉnh lưu hoặc trong máy biến áp đo lường để hiệu chỉnh sai số về góc lệch pha.



Hình 2-5. Kiểu đấu zic-zắc

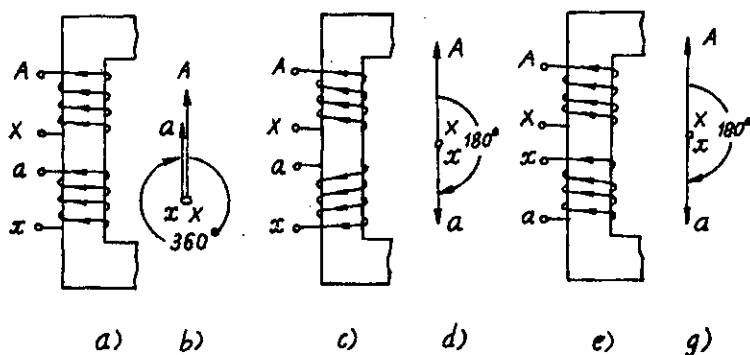
### 2.1.3. Tổ nối dây của máy biến áp

Tổ nối dây của máy biến áp 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.d. dây sơ cấp và dây thứ cấp của máy biến áp. 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 máy biến áp một pha có hai dây quấn sơ

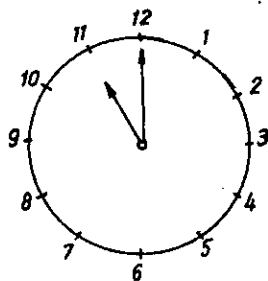
cấp AX và thứ cấp ax sau đây. Nếu có hai dây quấn được quấn cùng chiều trên trụ thép, ký hiệu các đầu dây như nhau (ví dụ A, a ở phía trên; X, x ở phía dưới (hình 2-6a) thì s.d.d cảm ứng trong chúng khi có từ thông biến thiên đi qua sẽ hoàn toàn trùng pha nhau: hoặc từ đầu đầu đến đầu cuối hoặc từ đầu 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 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  $360^\circ$  (hay  $0^\circ$ ); hai trường hợp sau là  $180^\circ$ .



Hình 2-6. Tổ nối dây của máy biến áp một pha

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

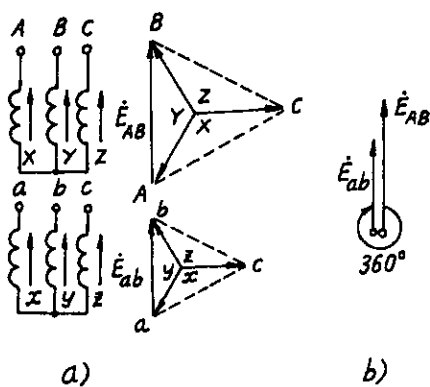
Trong thực tế, để thuận tiện, người ta không dùng "độ" để chỉ góc lệch pha đó mà dùng phương pháp kim đồng hồ để biểu thị và gọi tên tổ nối dây của máy biến áp. Cách biểu thị đó như sau: Kim dài của đồng hồ chỉ s.d.d dây sơ cấp đặt cố định ở con số 12, kim ngắn chỉ s.d.d dây thứ cấp đặt tương ứng ở các số 1, 2, ..., 12 tùy theo góc lệch pha giữa chúng là  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ , ...,  $360^\circ$  (hình 2-7). Với cách biểu thị này, đối với máy



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

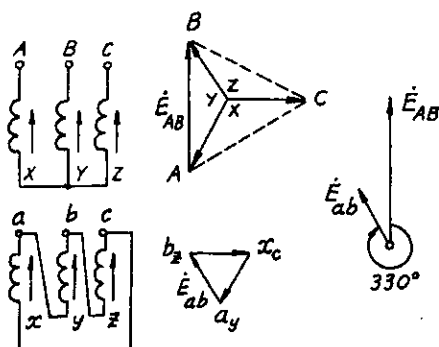
biến áp một pha trong ví dụ trên, trường hợp thứ nhất sẽ thuộc tổ nối dây I/I-12 hay I/I-0, vì góc lệch pha giữa hai s.d.đ là  $360^\circ$  (hay  $0^\circ$ ), hai trường hợp sau thuộc tổ nối dây I/I-6 vì góc lệch pha là  $180^\circ$  (ký hiệu I dùng cho m.b.a một pha).

Đối với máy biến áp ba pha sẽ có 12 tổ nối dây. Ví dụ một máy biến áp ba pha có hai dây quấn nối hình Y, cùng chiều quấn dây và cùng ký hiệu đầu dây (hình 2-8a) 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  $0^\circ$  hay  $360^\circ$  (hình 2-8b). Ta nói máy biến áp thuộc tổ nối dây 12 và ký hiệu là Y/Y-12 hay Y/Y-0. 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 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 đầu



Hình 2-8. Tổ nối dây Y/Y-12

theo sơ đồ Y/ $\Delta$  như trên hình 2-9 thì góc lệch pha giữa điện áp dây sơ cấp và thứ cấp là  $330^\circ$  - máy biến áp thuộc tổ nối dây Y/ $\Delta$ -11 hay Y/D-11. Thay đổi chiều quấn dây hay đổi ký hiệu đầu dây của dây quấn thứ cấp ta có tổ nối dây Y/ $\Delta$ -5 hay Y/D-5. Hoán vị các pha thứ cấp ta sẽ có các tổ nối dây lẻ 1, 3, 7, 9.



Hình 2-9. Tổ nối dây Y/ $\Delta$ -11

Sản xuất nhiều máy biến áp có tổ nối dây khác nhau rất bất tiện khi chế tạo và sử dụng, vì thế trên thực tế ở nước ta cũng như trên thế giới chỉ sản xuất các máy biến áp điện lực thuộc các tổ nối dây sau: Máy biến

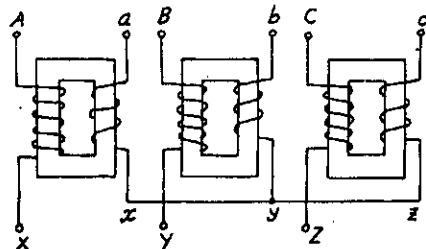
áp một pha có tổ I/I-12; máy biến áp ba pha có các tổ Y/Y<sub>0</sub>-12 (hay Y/Y<sub>n</sub>-0), Y/Δ-11 và Y<sub>0</sub>/Δ-11 (hay Y/D-11 và Y<sub>n</sub>/D-11). Phạm vi ứng dụng của chúng được ghi trong bảng dưới đây:

Tổ nối dây	Điện áp		Dung lượng của máy biến áp (kVA)
	CA (kV)	HA (V)	
Y/Y <sub>0</sub> - 12	≤ 35	230	≤ 630
Y/Δ - 11		400	≤ 2500
Y/Δ - 11	≥ 110	525	≤ 2500
Y <sub>0</sub> /Δ - 11		> 525	≤ 6300
		≥ 3150	≤ 4000
	≥ 6,3	≥ 3300	≤ 10000

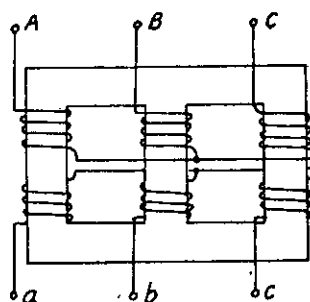
## 2.2. MẠCH TỪ CỦA MÁY BIẾN ÁP

### 2.2.1. Các dạng mạch từ

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



Hình 2-10. Tổ máy biến áp ba pha

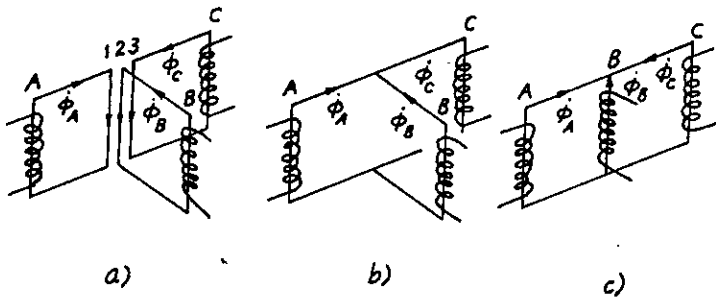


Hình 2-11. Máy biến áp ba pha ba trụ

Hệ thống mạch từ riêng là hệ thống mạch từ trong đó từ thông của ba pha độc lập đối với nhau như ở trường hợp máy biến áp ba pha ghép từ ba máy biến áp một pha gọi tắt là *tổ máy biến áp 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 *máy biến áp ba pha kiểu trụ* - để phân biệt



với loại trên ta gọi là *máy biến áp 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 máy biến áp một pha lại (tức ghép ba máy biến áp 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  $\dot{\Phi}_A + \dot{\Phi}_B + \dot{\Phi}_C = \sum \dot{\Phi} = 0$ . 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



Hình 2-12. Cách tạo nên máy biến áp ba pha ba trụ từ ba máy biến áp một pha

của máy biến áp.

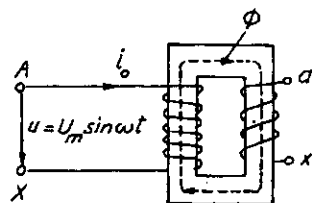
Nhưng kết cấu của lõi thép như hình 2-12b chế tạo rất khó khăn, nên để được đơn giản có thể rút ngắn trụ giữa lại, sao cho cả ba trụ cùng nằm trong một mặt phẳng (hình 2-12c), do đó máy biến áp ba pha ba trụ mang hình dáng như đã nói ở trên. Tất nhiên kết cấu lõi sắt trong trường hợp này rõ ràng là không đối xứng, ở trụ giữa mạch từ ngắn hơn, do đó dòng điện từ hóa của ba pha cũng không đối xứng ( $I_{OA} \approx I_{OC} = 1,2 + 1,5I_{OB}$ ). Nhưng sự không đối xứng này không ảnh hưởng tới sự làm việc bình thường của máy biến áp 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, máy biến áp 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 máy biến áp ba pha chỉ dùng cho các m.b.a cỡ lớn (dung lượng từ  $3 \times 6000$  kVA trở lên), vì vậy có thể vận chuyển từng pha máy biến áp một cách dễ dàng và thuận lợi.

### 2.2.2. Những hiện tượng xuất hiện khi từ hóa lõi thép máy biến áp

Khi từ hóa lõi thép máy biến áp, 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 máy biến áp. Chúng ta hãy xét những ảnh hưởng đáng kể đó khi máy biến áp làm việc không tải, nghĩa là khi đặt vào dây quấn sơ cấp điện áp hình sin, còn dây quấn thứ cấp hở mạch.



Hình 2-13. Từ hóa máy biến áp một pha

**1. Máy biến áp 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  $\Phi$  chạy trong lõi thép (hình 2-13).

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:

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

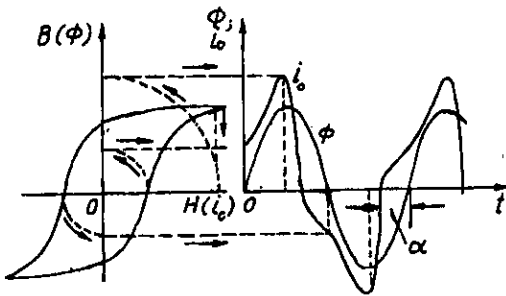
Trước tiên, nếu không kể đến tổn hao trong lõi thép thì dòng điện không tải  $i_0$  thuần túy là dòng điện phản kháng dùng để từ hóa lõi thép  $i_0 = i_{0x}$ . Do đó quan hệ  $\Phi = f(i_0)$  cũng chính là quan hệ từ hóa  $B = f(H)$ . Theo cơ sở lý thuyết mạch ta đã biết, do hiện tượng bão hòa của lõi thép, nếu  $\Phi$  là hình sin,  $i_0$  sẽ không hình sin mà có dạng nhọn đầu và trễ pha với  $\Phi$ , 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 là  $i_{03}$ , bậc 5 là  $i_{05}$ , bậc 7 là  $i_{07}, \dots$ , trong đó thành phần  $i_{03}$  lớn nhất và đáng kể hơn cả, còn các thành phần khác rất nhỏ, 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  $\Phi(t)$  và  $\Phi(i_0)$  là quan hệ trễ  $B(H)$ . Từ quan hệ  $\Phi(t)$  và  $\Phi(i_0)$  ta có thể vẽ được đường biểu diễn quan hệ  $i_0(t)$  như ở hình 2-14. Đường cong  $i_0(t)$  cho thấy nếu  $\Phi$  là hình sin thì  $i_0$  có dạng nhọn đầu nhưng vượt pha với  $\Phi$  một góc  $\alpha$  nào đó. Góc  $\alpha$  lớn hay bé là tùy theo mức độ trễ của  $B$  đối với  $H$  nhiều

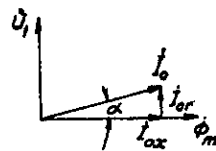
hay ít, nghĩa là tổn hao từ trễ trong lõi thép nhiều hay ít. Vì thế  $\alpha$  được gọi là *góc tổn hao từ trễ*. Hình 2-15 biểu diễn vectơ dòng điện  $I_0$  và từ thông  $\Phi_m$  khi có kể đến tổn hao trong lõi thép. Nhưng cần chú ý, vì dòng điện  $i_0$  là không sin nên trên đồ thị vectơ chỉ vẽ gần đúng với thành phần bậc 1 của  $i_0$ , hoặc là phải thay  $i_0$  bằng một dòng điện hình sin đồng 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  $\alpha$  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  $I_{0x} \approx I_0$ .



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

**2. Máy biến áp ba pha:** Khi không tải nếu xét từng pha riêng lẻ thì dòng điện bậc 3 trong các pha:

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

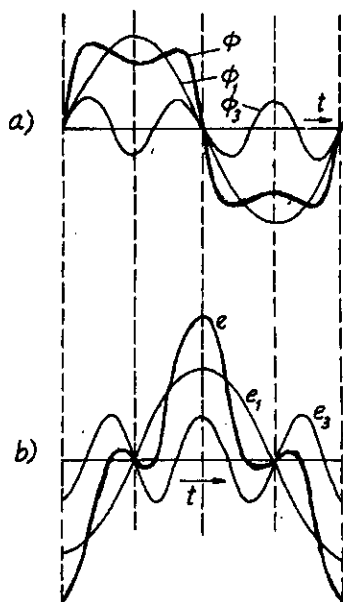
$$i_{03B} = I_{03m} \sin 3(\omega t - 120^\circ) = I_{03m} \sin 3\omega t, \quad (2-2b)$$

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

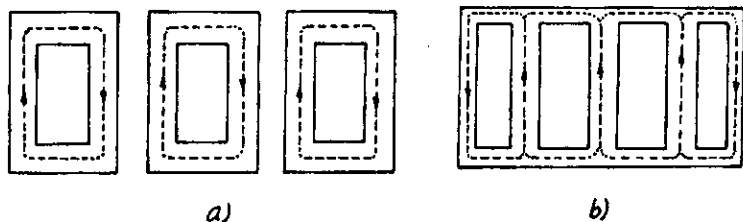
trùng pha nhau về thời gian, nghĩa là tại mọi thời điểm chiều của dòng điện trong cả ba pha hoặc hướng từ đầu đến cuối dây quấn hoặc hướng ngược lại. Song chúng có tồn tại hay không và dạng sóng như thế nào còn phụ thuộc vào kết cấu mạch từ và cách đấu dây quấn.

**a. Trường hợp máy biến áp 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  $i_m$  sẽ có dạng hình sin và từ thông do nó sinh ra sẽ có dạng vát đầu (đường đậm nét trên hình 2-16a). Như vậy có thể xem từ thông tổng  $\Phi$  gồm sóng cơ bản  $\Phi_1$  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  $\Phi_1$  và  $\Phi_3$ . Đối với tổ máy biến áp ba pha, vì mạch từ của cả ba pha riêng rẽ, từ thông  $\Phi_3$  của cả ba pha cùng chiều tại mọi thời điểm sẽ dễ dàng khép kín trong từng lõi thép như từ thông  $\Phi_1$  (hình 2-17a). Do từ trở của lõi thép rất bé, nên  $\Phi_3$  có trị số khá lớn,



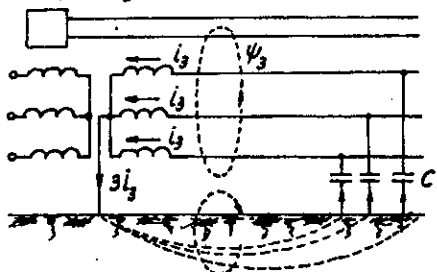
Hình 2-16. Đường biểu diễn từ thông (a) và s.d.d (b) của tổ m.b.a ba pha nối Y/Y



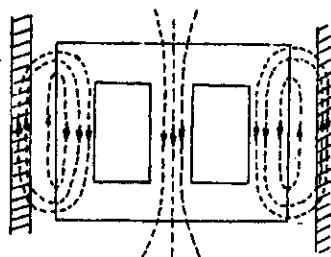
Hình 2-17. Từ thông điều hòa bậc ba:

a) trong tổ máy biến áp ba pha; b) trong máy biến áp ba pha năm trụ

hiết bị thông tin

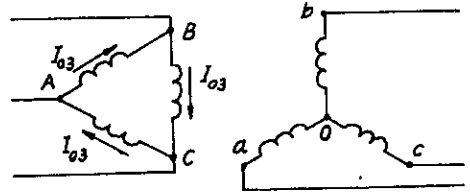


Hình 2-18. Ảnh hưởng của dòng điện điều hòa bậc 3 đối với đường dây thông tin



Hình 2-19. Từ thông điều hòa bậc 3 trong máy biến áp ba pha ba trụ.

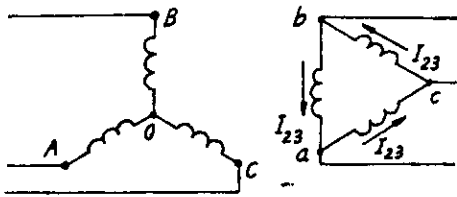
có thể đạt tới  $(15 + 20)\% \Phi_1$ .  
 Kết quả là trong dây quấn sơ cấp và thứ cấp, ngoài s.d.d cơ bản  $e_1$  do từ thông  $\Phi_1$  tạo ra và chậm sau  $\Phi_1$  một góc  $90^\circ$ , còn có các s.d.d. bậc ba  $e_3$  khá lớn (có thể đạt đến trị số  $E_3 = (45 + 60)\% E_1$ ) do từ thông  $\Phi_3$  tạo ra và chậm sau  $\Phi_3$  một góc  $90^\circ$ . Do đó s.d.d tổng trong pha



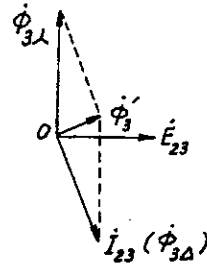
Hình 2-20. Dòng điện điều hòa bậc 3 trong dây quấn nối  $\Delta/Y$  khi không tải

$e = e_1 + e_3$  sẽ có dạng nhọn đầu (hình 2-16b), nghĩa là biên độ của s.d.d pha tăng lên rõ rệt. Sự tăng vọt của s.d.d 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 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 các máy biến áp ba pha. Cũng cần nói thêm rằng, dù s.d.d pha có trị số và hình dáng biến đổi nhiều nhưng các s.d.d. dây vẫn luôn luôn là hình sin, vì dây quấn nối  $Y$  thì s.d.d dây không có thành phần bậc 3.

Những hiện tượng xuất hiện trong máy biến áp ba pha nạm 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.



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



Hình 2-22. Tác dụng của dòng điện  $i_{23}$  khi dây quấn đấu  $Y/\Delta$

Đối với máy biến áp ba pha ba trụ, vì thuộc hệ thống mạch từ chung nên hiện tượng sẽ khác đi. Từ thông  $\Phi_3$  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  $\Phi_3$  không lớn lắm và có thể xem từ thông trong mạch từ là hình sin, nghĩa là s.d.d 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 máy biến áp giảm xuống. Do đó phương pháp đấu Y/Y đối với máy biến áp ba pha ba trụ cũng chỉ áp dụng cho các máy biến áp với dung lượng hạn chế từ 6300 kVA trở xuống.

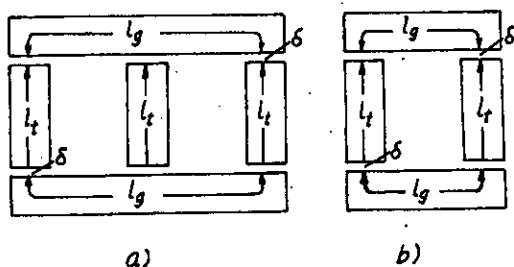
b. Trường hợp máy biến áp phụ nối  $\Delta/Y$  (hình 2-20): Dây quấn sơ cấp nối  $\Delta$ , nên dòng điện  $i_{03}$  sẽ khép kín trong tam giác đó, như vậy dòng điện từ hóa vì có thành phần bậc 3 sẽ có dạng nhọn đầu. Cũng tương tự như đối với máy biến áp một pha đã xét ở trên, từ thông tổng và các s.d.d 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 máy biến áp ba pha nối Y/ $\Delta$  (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 vạt đầu, nghĩa là thành phần từ thông bậc 3 là  $\Phi_{3Y}$ . Từ thông  $\Phi_{3Y}$  sẽ cảm ứng ra trong dây quấn thứ cấp s.d.d. bậc 3 là  $\dot{E}_{23}$  chậm sau  $\Phi_{3Y}$  một góc  $90^\circ$  (hình 2-22). Đến lượt  $\dot{E}_{23}$  gây ra dòng điện bậc 3 trong mạch vòng thứ cấp nối tam giác  $\dot{I}_{23}$ . Vì điện kháng của dây quấn lớn nên có thể xem  $\dot{I}_{23}$  chậm so với  $\dot{E}_{23}$  một góc gần  $90^\circ$  (hình 2-22), rõ ràng  $\dot{I}_{23}$  sẽ sinh ra từ thông cấp  $\Phi_{3\Delta}$  (có gần trùng pha với  $\dot{I}_{23}$ ) gần như ngược pha với  $\Phi_{3Y}$ . Do đó từ thông tổng bậc 3 trong lõi thép  $\Phi'_3 = \Phi_{3Y} + \Phi_{3\Delta}$  gần như bị triệt tiêu. Ảnh hưởng của từ thông bậc 3 trong mạch từ không đáng kể, s.d.d. pha sẽ gần hình sin.

Tóm lại khi máy biến áp làm việc không tải, các cách đấu dây quấn  $\Delta/Y$  hay  $Y/\Delta$  đều tránh được tác hại của từ thông và s.d.d. điều hòa bậc 3.

### 2.2.3. Tính toán mạch từ

Mục đích của tính toán mạch từ máy biến áp là xác định dòng điện cần thiết để từ hóa lõi thép và tổn hao trong mạch từ. Điều này rất cần thiết



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

khi tính toán thiết kế máy biến áp.

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:

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

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

$G_t$  và  $G_g$  là 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:

$$I_{or} = \frac{P_{Fe}}{mU_1}; A \quad (2-4)$$

trong đó  $m$  là số pha của máy biến áp.

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 máy biến áp:

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

Đối với máy biến áp một pha (hình 2-23b), sức từ động (viết tắt là s.t.đ) có giá trị:

$$F = 2H_t l_t + 2H_g l_g + n_k \frac{B_t}{\mu_0} \delta, \quad (2-6)$$

trong đó:

$H_t$  và  $H_g$  là cường độ từ trường trong trụ và gông, xác định theo đường cong từ hóa tương ứng với cường độ từ cảm  $B_t$  và  $B_g$ , A/cm;

$l_t$  và  $l_g$  là chiều dài trung bình của các đoạn mạch từ tương ứng với trụ và gông, cm;

$\delta$  là chiều dài của khe không khí giữa trụ và gông, cm;

$n_k$  là số khe không khí, đối với máy biến áp một pha  $n_k = 4$ .

Đối với máy biến áp ba pha ba trụ, do mạch không đối xứng (hình 2-23a) 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 sẽ có:

$$F' = H_1 l_1 + 2H_g l_g + n_k \frac{B_1}{\mu_0} \delta, \quad (2-7a)$$

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

$$F'' = H_1 l_1 + n_k \frac{B_1}{\mu_0} \delta, \quad (2-7b)$$

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

$$F = \frac{2F' + F''}{3} = H_1 l_1 + \frac{2}{3} H_g l_g + n'_k \frac{B_1}{\mu_0} \delta, \quad (2-8)$$

trong đó  $n'_k = 7/3$  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:

$\gamma$  là trọng lượng riêng của thép;



$$q_t = \frac{\pi f B H}{\gamma} = \frac{\pi f B^2}{\mu \gamma} \quad \text{là công suất phản kháng trên một đơn vị trọng}$$

lượng của thép, gọi tắt là suất từ hóa.

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

$$Q = q n_k \delta S = n_k q_\delta S, \quad (2-11)$$

trong đó:

$S$  là diện tích của khe không khí;

$n_k$  là số khe hở thực trên toàn bộ lõi thép;

$q$  là công suất phản kháng trên một đơn vị thể tích khe hở;

$q_\delta = q \delta$  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  $q_\delta$  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 :

$$Q_{ox} = m U_1 I_{ox}, \quad (2-12)$$

do đó dòng điện phản kháng :

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

trong đó:

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

$G_t$  và  $G_g$  là trọng lượng của trụ và gông.

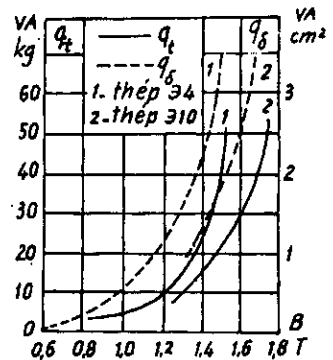
Cuối cùng dòng điện từ hóa toàn phần:

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

Dòng điện  $I_o$  trong máy biến áp 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 + 10, trong đó trị số sau dùng cho máy biến áp dung lượng bé.



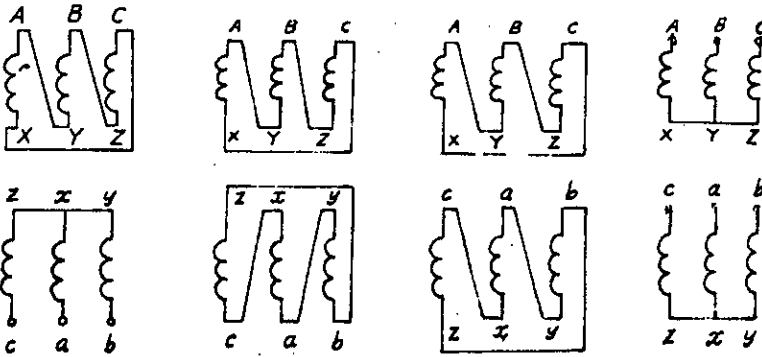
Hình 2-24. Quan hệ  $q_t = f(B)$  và  $q_\delta = f(B)$

### Câu hỏi

1. Tổ nối dây của máy biến áp 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 máy biến áp ba pha?
5. Nguyên tắc tính toán mạch từ của máy biến áp như thế nào?

### Bài tập

Hãy xác định tổ nối dây của các máy biến áp trên hình 2-25.



Hình 2-25

Đáp số: Δ/Y-11 Δ/Δ-10; Δ/Δ-4; Y/Y-4.

QUAN HỆ ĐIỆN TỪ TRONG MÁY BIẾN ÁP

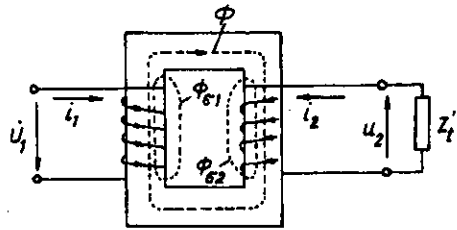
Trong chương này chúng ta sẽ nghiên cứu sự làm việc của máy biến áp lúc tải đối xứng và mọi vấn đề có liên quan đều được xét trên một pha của máy biến áp ba pha hay trên máy biến áp một pha.

3.1. CÁC PHƯƠNG TRÌNH CƠ BẢN CỦA MÁY BIẾN ÁP

Để thấy rõ quá trình năng lượng trong máy biến áp, ta hãy xét các quan hệ điện từ trong trường hợp này.

3.1.1. Phương trình cân bằng s.d.đ

Hãy lấy máy biến áp 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.đ 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 ra được khép mạch qua lõi thép móc vòng với cả dây quấn sơ cấp và thứ cấp và được gọi là từ thông chính  $\Phi$ . Từ thông chính gây nên trong các dây quấn sơ cấp và thứ cấp những s.d.đ chính như đã biết ở trên (xem mục 1.1.1):



Hình 3-1. Máy biến áp một pha làm việc có tải

$$e_1 = -w_1 \frac{d\Phi}{dt} = - \frac{d\Psi_1}{dt} ; \tag{3-1a}$$

$$e_2 = -w_2 \frac{d\Phi}{dt} = - \frac{d\Psi_2}{dt} , \tag{3-1b}$$

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  $\Phi$ .

Còn một phần rất nhỏ từ thông do các s.d.d  $i_1 w_1$  và  $i_2 w_2$  sinh ra bị tán ra ngoài lõi thép khép mạch qua không khí hay dầu gọi là các từ thông tán sơ cấp  $\Phi_{\sigma 1}$  và từ thông tán thứ cấp  $\Phi_{\sigma 2}$ . Từ thông tán  $\Phi_{\sigma 1}$  do dòng điện  $i_1$  sinh ra chỉ móc vòng với dây quấn sơ cấp; từ thông tán  $\Phi_{\sigma 2}$  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.d tản tương ứng:

$$e_{\sigma 1} = - w_1 \frac{d\Phi_{\sigma 1}}{dt} = - \frac{d\Psi_{\sigma 1}}{dt}; \quad (3-2a)$$

$$e_{\sigma 2} = - w_2 \frac{d\Phi_{\sigma 2}}{dt} = - \frac{d\Psi_{\sigma 2}}{dt}, \quad (3-2b)$$

trong đó  $\Psi_{\sigma 1} = w_1 \Phi_{\sigma 1}$  và  $\Psi_{\sigma 2} = w_2 \Phi_{\sigma 2}$  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  $\Psi_{\sigma 1}$  và  $\Psi_{\sigma 2}$  tỉ lệ với các dòng điện tương ứng sinh ra chúng qua các hệ số điện cảm tản  $L_{\sigma 1}$  và  $L_{\sigma 2}$  là những hằng số:

$$\Psi_{\sigma 1} = L_{\sigma 1} i_1; \quad (3-3a)$$

$$\Psi_{\sigma 2} = L_{\sigma 2} i_2; \quad (3-3b)$$

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

$$e_{\sigma 1} = - L_{\sigma 1} \frac{di_1}{dt}; \quad (3-4a)$$

$$e_{\sigma 2} = - L_{\sigma 2} \frac{di_2}{dt}; \quad (3-4b)$$

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

$$u_1 + e_1 + e_{\sigma 1} = i_1 r_1; \quad (3-5)$$

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

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

$$u_1 = - e_1 - e_{\sigma 1} + i_1 r_1. \quad (3-6)$$

Đối với dây quấn thứ cấp ta có:

$$e_2 + e_{\sigma 2} = u_2 + i_2 r_2; \quad (3-7)$$

$$\text{hay:} \quad u_2 = e_2 + e_{\sigma 2} - i_2 r_2; \quad (3-8)$$

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,  $\Psi_1$  và  $\Psi_2$  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:

$L_{11}$ ,  $L_{22}$  là tự cảm của dây quấn sơ cấp và thứ cấp khi từ thông khép mạch trong lõi thép;

$L_{12}$ ,  $L_{21}$  là hổ 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:  $\mu_{Fe} \neq 1$  nên rõ ràng là các hệ số  $L_{11}$ ,  $L_{22}$  và  $M$  không phải là những hằng số mà 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 máy biến áp mà được dùng chủ yếu khi phân tích các quá trình quá độ của máy biến áp.

Nếu điện áp, s.d.d, dòng điện là những lượng xoay chiều biến thiên theo qui luật hình sin theo thời gian thì các phương trình cân bằng s.d.d (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:

$$\begin{aligned}
 e_{\sigma 1} &= -L_{\sigma 1} \frac{dI_{1m} \sin \omega t}{dt} = -I_{1m} \omega L_{\sigma 1} \cos \omega t \\
 &= \sqrt{2} I_1 x_1 \sin \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right) \\
 &= \sqrt{2} E_{\sigma 1} \sin \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right), \quad (3-12)
 \end{aligned}$$

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  $90^\circ$ , 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 tần của dây quấn sơ cấp.

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

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

trong đó  $x_2 = \omega L_{\sigma 2}$  gọi là điện kháng tần 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:

$$\begin{aligned}
 \dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 + j \dot{I}_1 x_1 + \dot{I}_1 r_1 \\
 &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 (r_1 + jx_1) \\
 &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 Z_1. \quad (3-14a)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \dot{U}_2 &= \dot{E}_2 - j \dot{I}_2 x_2 - \dot{I}_2 r_2 \\
 &= \dot{E}_2 - \dot{I}_2 (r_2 + jx_2) \\
 &= \dot{E}_2 - \dot{I}_2 Z_2. \quad (3-14b)
 \end{aligned}$$

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  $I_1 Z_1$  và  $I_2 Z_2$  gọi là điện áp rơi trên dây quấn sơ cấp và thứ cấp.

### 3.1.2. Phương trình cân bằng s.t.đ

Như trên ta đã thấy, lúc máy biến áp làm việc có tải, từ thông chính trong máy là do s.t.đ tổng sơ cấp và thứ cấp ( $i_1 \omega_1 + i_2 \omega_2$ ) tạo nên. Bây giờ nếu hở mạch thứ cấp, nghĩa là máy biến áp 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 chỉ còn do s.t.đ  $i_0 \omega_1$  sinh ra. Nếu bỏ qua điện áp rơi trong

máy biến áp, 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:  $U_1 \approx E_1 = 4,44f w_1 \Phi_m$ . Nhưng điện áp  $U_1$  đặt vào thường được giữ bằng điện áp định mức và luôn luôn không đổi dù máy biến áp làm việc có tải hay không tải, nên s.d.đ  $E_1$  và do đó từ thông  $\Phi_m$  trong máy biến áp cũng luôn luôn có trị số không đổi.

Như vậy, nghĩa là s.d.đ  $(i_1 w_1 + i_2 w_2)$  sinh ra từ thông chính  $\Phi_m$  lúc có tải phải bằng s.d.đ  $i_0 w_1$  lúc không tải để bảo đảm cũng sinh ra được một từ thông chính  $\Phi_m$ . Do đó ta có phương trình cân bằng s.d.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.d.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:

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

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

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

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

Từ biểu thức (3-19) ta thấy, lúc máy biến áp có tải, dòng điện trong dây quấn sơ cấp  $I_1$  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 MÁY BIẾN ÁP

Như đã trình bày ở trên, máy biến áp truyền tải công suất dựa vào sự hỗ cảm giữa các dây quấn sơ cấp và thứ cấp thông qua lõi thép là mạch từ có  $\mu_{Fe} \neq C^{tc}$ . 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 đơn giản trong tính toán đối với bản thân máy biến áp cũng như đối với toàn bộ với điện, trong đó ngoài máy biến áp ra còn có máy phát điện, đường dây và hộ dùng điện, người ta thay các mạch điện và mạch từ của máy biến áp bằng một mạch điện tương đương gồm các điện trở và điện kháng đặc trưng cho máy biến áp gọi là mạch điện thay thế của máy biến áp.

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 máy biến áp như công suất truyền tải, tổn hao, năng lượng tích lũy trong từ trường của máy biến áp.

Dưới đây trước khi suy ra mạch điện thay thế của máy biến áp, ta hãy qui đổi dây quấn thứ cấp về dây quấn sơ cấp.

### 3.2.1. Qui đổi máy biến áp

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.đ thứ cấp qui đổi  $E'_2$ , dòng điện thứ cấp qui đổi  $I'_2$ ...

1. Sức điện động 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.đ thứ cấp qui đổi lúc này đúng bằng s.d.đ 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 :

$$E'_2 = \frac{\omega_1}{\omega_2} E_2 = kE_2, \quad (3-20)$$

trong đó  $k = \omega_1/\omega_2$  gọi là hệ số qui đổi thứ cấp về sơ cấp.

Tương tự, điện áp thứ cấp qui đổi:

$$U'_2 = kU_2. \quad (3-21)$$

Như vậy là khi máy biến áp 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 máy biến áp 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  $Z_t = r_t + jx_t$  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.đ và s.t.đ ở trên, ta được hệ thống các phương trình có 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 máy biến áp

Dựa vào các phương trình s.d.đ và s.t.đ. dưới dạng đã qui đổi, ta có thể suy ra một mạch điện tương ứng gọi là *mạch điện thay thế* của máy biến áp như trình bày ở hình 3-2. Rõ ràng là phương trình Kirhoff 2 viết cho điện áp và s.d.đ. của các mạch vòng 1 và 2 và phương trình Kirhoff 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.đ. (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  $\Phi$  được xem như do dòng điện  $i_0$  sinh ra, nên các từ thông móc vòng  $\Psi_2$  và  $\Psi_1$  ở các biểu thức (3-1a, b) có thể viết dưới dạng:

$$\Psi_2 = Mi_0, \quad (3-27a)$$

$$\Psi_1 = kMi_0, \quad (3-27b)$$

do đó:

$$e_1 = -kM \frac{di_0}{dt}; \quad (3-28a)$$

$$e_2 = -M \frac{di_0}{dt}. \quad (3-28b)$$

Giả thử rằng  $i_0$  biến thiên hình sin theo thời gian, ta có thể viết:

$$\dot{E}'_1 = \dot{E}'_2 = -j\omega kM \dot{I}'_0 = -j\dot{I}'_0 x_m. \quad (3-29)$$

Trong đó  $x_m = k\omega M$  biểu thị cho sự hỗ cảm giữa mạch sơ cấp và thứ cấp ứng với từ thông chính  $\Phi$ .

Tổn hao sắt từ trong lõi thép như đã biết trong giáo trình "Lý thuyết mạch", có thể biểu thị được bằng tổn hao trên điện trở từ hóa  $r_m$  đặt nối tiếp với điện kháng từ hóa  $x_m$  và có trị số:

$$r_m = \frac{P_{Fe}}{I_0^2} \quad (3-30)$$

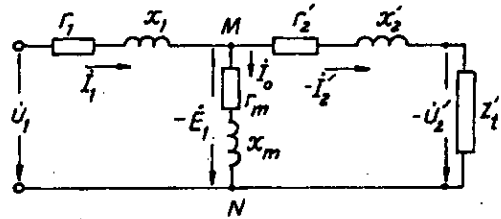
Do đó cuối cùng ta có:

$$\vec{E}_1 = \vec{E}'_2 = -\vec{I}_0(r_m + jx_m) = -\vec{I}_0 Z_m \quad (3-31)$$

trong đó  $Z_m$  gọi là tổng trở từ hóa của máy biến áp.

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 bốn 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  $\vec{I}_1$  và  $(-\vec{I}'_2)$  và nhánh thứ ba còn gọi là nhánh từ hóa có tổng trở  $Z_m = r_m + jx_m$  với dòng điện từ hóa  $\vec{I}_0$ , biểu thị các hiện tượng trong lõi thép và liên hệ giữa các dây quấn sơ cấp và thứ cấp.



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

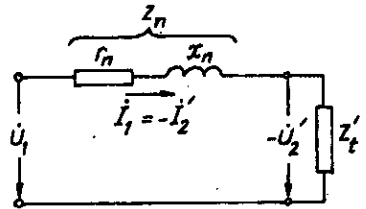
### 3.2.3. Mạch điện thay thế đơn giản

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  $\vec{I}_0 = 0$ , do đó  $\vec{I}_1 \approx -\vec{I}'_2$ . Như vậy máy biến áp 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 máy biến áp.

$$Z_n = r_n + jx_n$$

với  $r_n = r_1 + r'_2$ ,

và  $x_n = x_1 + x'_2$ .



Hình 3-3. Mạch điện thay thế đơn giản của máy biến áp

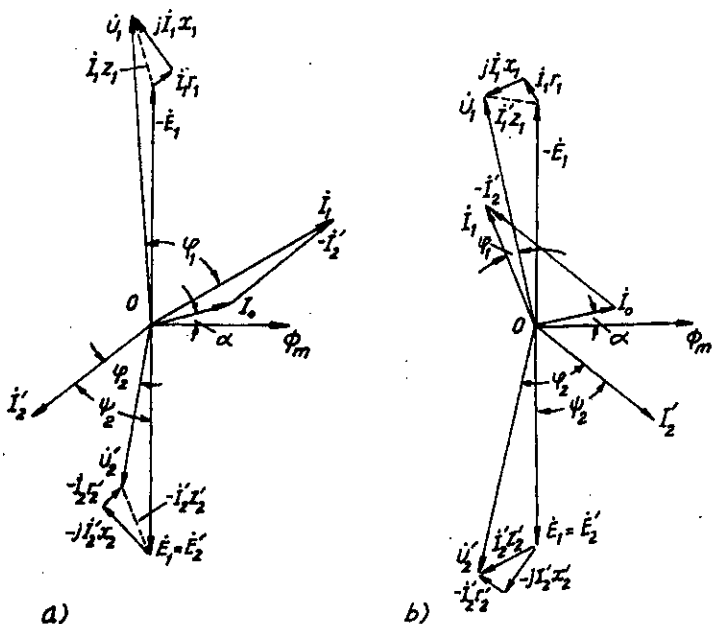
Sở dĩ có tên như vậy là vì tổng trở đẳng trị trên đúng bằng tổng trở khi ngắn mạch thứ cấp máy biến áp (nghĩa là  $U_2 = 0$ ) mà nó có thể xác định được từ thí nghiệm ngắn mạch (xem mục 3.4).

### 3.3. ĐỒ THỊ VECTƠ CỦA MÁY BIẾN ÁP

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

Hình 3-4a là đồ thị vectơ của máy biến áp 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  $\dot{\Phi}_m$  theo chiều dương trục hoành, dòng điện không tải  $\dot{I}_0$  sinh ra  $\dot{\Phi}_m$  vượt trước một góc  $\alpha$ . Các s.d.d  $\dot{E}'_1$  và  $\dot{E}'_2 = \dot{E}'_1$  do  $\dot{\Phi}_m$  sinh ra chậm sau nó một góc  $90^\circ$ . Vì tải có tính chất điện cảm, dòng điện  $\dot{I}'_2$  chậm sau s.d.d  $\dot{E}'_2$  một góc  $\psi_2$  quyết định bởi điện kháng và điện trở của tải và dây quấn thứ cấp:

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



Hình 3-4. Đồ thị vectơ của máy biến áp:

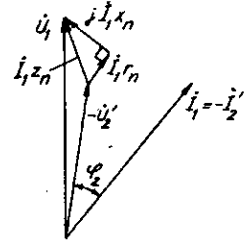
a) lúc tải có tính chất điện cảm; b) lúc tải có tính chất điện dung

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 s.d.d tần  $\dot{E}'_{o2} = -j\dot{I}'_2 x'_2$

và điện áp rơi  $-I_2' r_2'$ . Ở trường hợp này  $I_2'$  chậm sau  $U_2'$  một góc  $\varphi_2$  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  $-E_1$ ,  $\dot{I}_1 r_1$  và  $j\dot{I}_1 x_1$ . Góc giữa  $\dot{U}_1$  và  $\dot{I}_1$  là  $\varphi_1$ .

Đồ thị vectơ của máy biến áp 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  $I_2'$  vượt trước  $U_2'$  một góc  $\varphi_2$  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 máy biến áp, ta vẽ các vectơ  $-\dot{U}_2$  và  $-\dot{I}_2'$ , tức  $\dot{U}_2$  và  $\dot{I}_2'$  đã quay đi  $180^\circ$ . 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 MÁY BIẾN ÁP

Các tham số của máy biến áp 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  $U_1 = U_{\text{đm}}$ , hở mạch dây quấn thứ cấp. Nhờ vônmet, ampe mét và oátmét 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 máy biến áp lúc không tải:

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

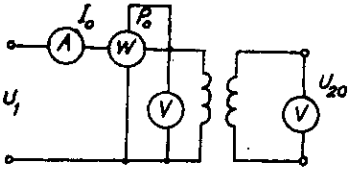
thường  $z_{0*} \approx x_{0*} = 10 \div 50$  và  $r_{0*} = 1,0 \div 5,0$ .

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

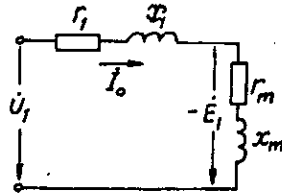
$$k = \frac{w_1}{w_2} \approx \frac{U_1}{U_2} \quad (3-34)$$

và hệ số công suất lúc không tải:

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



Hình 3-6. Sơ đồ thí nghiệm không tải của máy biến áp một pha



Hình 3-7. Mạch điện thay thế của máy biến áp lúc không tải

Lúc máy biến áp không tải, tức  $I_2 = 0$ , mạch điện thay thế của máy biến áp 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 máy biến áp 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:

$$z_0 \approx z_m; r_0 \approx r_m \text{ và } x_0 \approx x_m. \quad (3-37)$$

Cũng vì lý do đó, công suất lúc không tải  $P_0$ , thực tế có thể xem là tổn hao sắt  $p_{Fe}$  do từ trễ và dòng điện xoáy trong lõi thép gây nên:

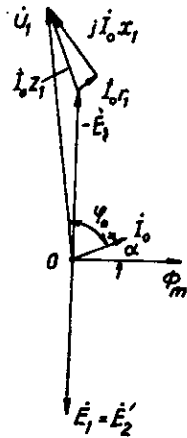
$$P_0 = p_{Fe} \quad (3-38)$$

Vì điện áp sơ cấp đặt vào không thay đổi, nên  $\Phi$ , 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 các phương trình:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_0 Z_1 \\ &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_0 (r_1 + jx_1) \end{aligned} \quad (3-39)$$

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



Hình 3-8. Đồ thị vectơ của máy biến áp không tải

$$I_1 = I_0 \quad (3-41)$$

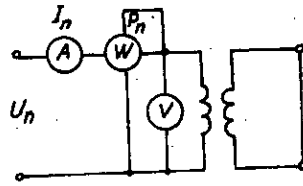
Do đó đồ thị vectơ tương ứng có dạng như vẽ ở hình 3-8. Từ đồ thị vectơ ta thấy, góc giữa  $\dot{U}_1$  và  $\dot{I}_0$  là  $\varphi_0 \approx 90^\circ$ , nghĩa là hệ số công suất lúc không tải rất thấp, thường  $\cos \varphi_0 \leq 0,1$ . Điều này có ý nghĩa thực tế lớn là không nên để máy biến áp 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

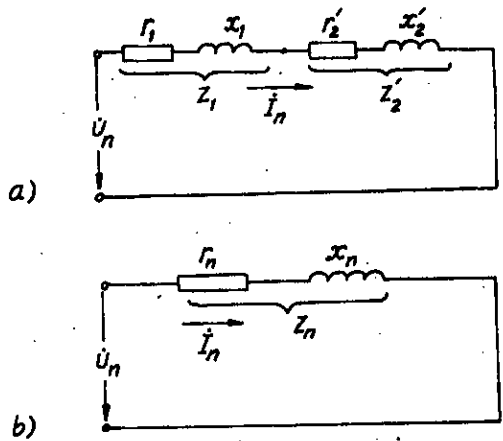
Sơ đồ thí nghiệm như ở hình 3-9, trong đó dây quấn thứ cấp bị nối ngắn mạch và điện áp đặt vào dây quấn sơ cấp phải được hạ thấp sao cho dòng điện trong đó bằng dòng điện định mức. Cũng như thí nghiệm không tải, từ các số liệu thí nghiệm ngắn mạch  $U_n$ ,  $I_n$  và  $P_n$  đo được, ta xác định các tham số ngắn mạch của máy biến áp:

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

Vì lúc ngắn mạch, điện áp đặt vào rất nhỏ, nên từ thông chính lúc ngắn mạch rất nhỏ, nghĩa là dòng điện từ hóa trong trường hợp này cũng rất nhỏ. Do đó, mạch điện thay thế của máy biến áp có thể xem như hệ 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 máy biến áp.



Hình 3-9. Sơ đồ thí nghiệm ngắn mạch của máy biến áp một pha



Hình 3-10. Mạch điện thay thế của máy biến áp lúc ngắn mạch

$$Z_n = Z_1 + Z'_2; r_n = r_1 + r'_2 \text{ và } x_n = x_1 + x'_2, \quad (3-43)$$

thường  $z_{1*} \approx z'_{2*} = 0,025 + 0,10$ .

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 máy biến áp:

$$\begin{aligned} P_n &= p_{Cu1} + p_{Cu2} = I_{1n}^2 r_1 + I_{2n}^2 r'_2 = \\ &= I_{1n}^2 (r_1 + r'_2) = I_{1n}^2 r_n. \end{aligned} \quad (3-44)$$

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 cách khác, *điện áp ngắn mạch gồm hai thành phần*:

*Thành phần tác dụng:*

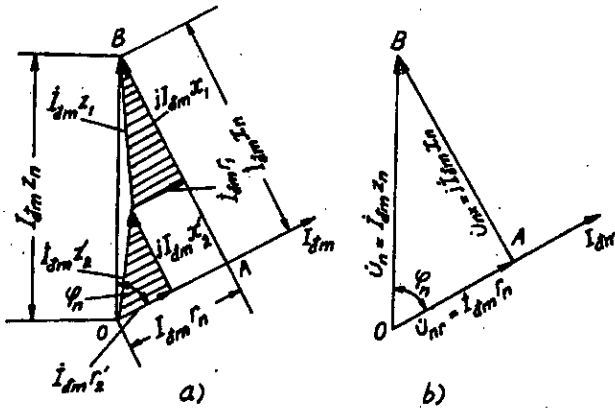
$$U_{nr} = I_1 r_n \quad (3-45)$$

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 máy biến áp.

Đồ thị vectơ của máy biến áp ngắn mạch với  $I_n = I_{dm}$  vẽ 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:



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

$$\left. \begin{aligned} U_{nr} &= U_n \cos \varphi_n \\ U_{nx} &= U_n \sin \varphi_n \end{aligned} \right\} \quad (3-47)$$

trong đó  $\varphi_n$  là góc giữa  $U_n$  và  $I_n$ .



Như vậy điện áp ngắn mạch có thể xem như đại lượng đặc trưng cho điện trở và điện kháng tản của dây quấn máy biến áp. Trong các máy biến áp 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:

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

và các thành phần điện áp ngắn mạch là:

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

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

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

$$\begin{aligned} u_{nr}\% &= \frac{I_{dm} r_n}{U_{dm}} \cdot \frac{I_{dm}}{I_{dm}} \cdot 100 = \frac{I_{dm}^2 r_n}{S_{dm}} \cdot 100 \\ &= \frac{P_n \text{ (W)}}{10 S_{dm} \text{ (kVA)}} \end{aligned} \quad (3-52)$$

Thường  $u_n\% = 5,5 \div 15$ , số đầu dùng cho các máy biến áp điện lực  $U_{dm} \leq 35 \text{ kV}$ , số sau dùng cho các máy biến áp có  $U_{dm} = 500 \text{ kV}$ .

*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 máy biến áp 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 máy biến áp, nên dòng điện ngắn mạch sự cố sẽ rất lớn:

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

hay:

$$I_n = \frac{U_{dm}}{z_n \frac{I_{dm}}{I_{dm}}} \cdot 100 = \frac{I_{dm}}{\frac{z_n I_{dm}}{U_{dm}}} \cdot 100 = \frac{I_{dm}}{u_n\%} \cdot 100. \quad (3-54)$$

Ví dụ một máy biến áp 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 máy biến áp. Do đó trong những trường hợp như vậy cần phải bố trí những thiết bị role bảo vệ, tự động cắt phần sự cố ra khỏi lưới điện.

### 3.4.2. 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 máy biến áp.

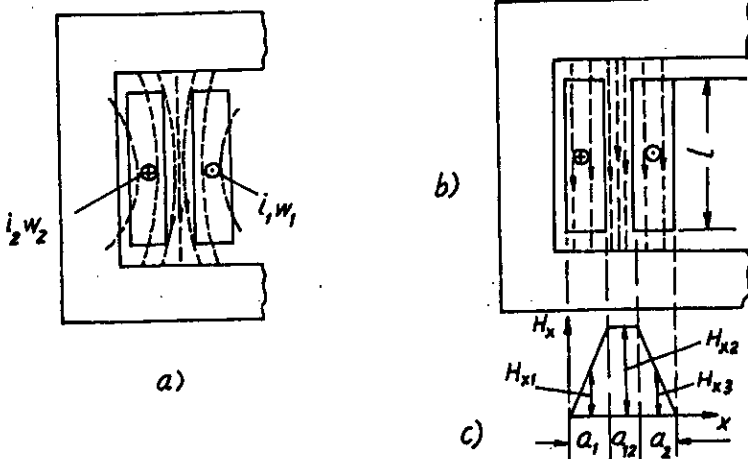
Điện trở từ hoá  $r_m$  có thể xác định theo biểu thức (3-30), trong đó  $P_{Fc}$  xác định theo biểu thức (2-3) và  $I_0$  theo biểu thức (2-14), (xem mục 2.2).

Điện kháng từ hóa  $x_m$  được xác định theo biểu thức:

$$x_m = \frac{E_1}{I_{cx}}, \quad (3-55)$$

trong đó  $I_{cx}$  tính theo biểu thức (2-9) hoặc (2-13), (xem mục 2.2).

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



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

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  $S$  và  $S_2$ , số vòng dây  $w_1$  và  $w_2$  và chiều dài trung bình của các vòng dây  $l_{tb,1}$  và  $l_{tb,2}$ :

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

và

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

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  $75^\circ\text{C}$ ; 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 để 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  $l_\sigma$  lớn hơn chiều dài thực  $l$  của dây quấn một ít, nghĩa là:

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

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 Ragóvski (xem tài liệu thiết kế máy biến áp).

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  $a_1$  ( $0 \leq x \leq a_1$ ):

$$H_{x1} l_\sigma = \sum w i = w_q i_1 \frac{x}{a_1},$$

do đó:

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

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

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

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:

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

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 giữa khe hở  $a_{12}$  (hình 3-12b).

Coi đường kính trung bình của cả hai ống dây là  $D_{tb}$  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:

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

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 :

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

móc vòng với một số vòng dây là  $w_1$  vòng.

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

$$\begin{aligned} \Psi_1 &= \int_0^{a_1} \frac{x}{a_1} w_1 \mu_0 \frac{w_1 i_1}{l_\sigma} \cdot \frac{x}{a_1} \pi D_{tb} dx + \\ &+ \int_{a_1}^{a_1 + \frac{a_{12}}{2}} w_1 \mu_0 \frac{w_1 i_1}{l_\sigma} \pi D_{tb} dx = \frac{\mu_0 w_1^2 i_1 \pi D_{tb}}{l_\sigma} \left( \frac{a_1}{3} + \frac{a_{12}}{2} \right). \end{aligned} \quad (3-62)$$

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

$$\Psi_2 = \frac{\mu_0 w_2^2 i_2 \pi D_{tb}}{l_\sigma} \left( \frac{a_2}{3} + \frac{a_{12}}{2} \right). \quad (3-63)$$

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  $l_\sigma$ . Thông thường các kích thước này được chọn sao cho bảo đảm sự làm việc của máy biến áp (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 máy biến áp ba pha có các số liệu sau đây:  $S_{dm} = 5600$  kVA;  $U_1/U_2 = 35000/6600$  V ;  $I_1/I_2 = 92,5/490$  A ;  $P_0 = 18,5$  kW ;  $i_0 = 4,5\%$ ;  $u_n = 7,5\%$ ;  $P_n = 57$  kW;  $f = 50$  Hz; Y/Δ-11.

Hãy xác định:

- Các tham số lúc không tải  $z_0$ ,  $r_0$  và  $x_0$ .
- Các tham số ngắn mạch  $z_n$ ,  $r_n$ ,  $x_n$  và các thành phần của điện áp ngắn mạch.

## Giải

a) Điện áp pha sơ cấp:

$$U_{1f} = \frac{U_1}{\sqrt{3}} = \frac{35000}{\sqrt{3}} = 20200 \text{ V.}$$

Dòng điện pha không tải:

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

Các tham số không tải:

$$z_o = \frac{U_{1f}}{I_{of}} = \frac{20200}{4,16} = 4850 \Omega,$$

$$r_o = \frac{P_o}{3I_{of}^2} = \frac{18500}{3 \cdot 4,16^2} = 356 \Omega,$$

$$x_o = \sqrt{z_o^2 - r_o^2} = \sqrt{48^2 - 356^2} = 4700 \Omega.$$

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

$$U_{1n} = U_{1f} u_{nr} = 20200 \cdot 0,075 = 1520 \text{ V}$$

Các tham số ngắn mạch:

$$z_n = \frac{U_{1n}}{I_{1f}} = \frac{1520}{92,5} = 16,4 \Omega.$$

$$r_n = \frac{P_n}{3I_{1f}^2} = \frac{57000}{3 \cdot 92,5^2} = 1,8 \Omega.$$

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

Các thành phần của điện áp ngắn mạch:

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

$$u_{rx}\% = \frac{I_{1f} x_n}{U_{1f}} 100 = \frac{92,5 \cdot 16,3}{20200} 100 = 7,45.$$

## Câu hỏi

1. Tại sao khi tăng dòng điện thứ cấp thì dòng điện sơ cấp lại tăng lên ? Lúc đó từ thông trong máy biến áp có thay đổi không ?

2. Làm thế nào để xác định được tham số từ hóa của máy biến áp ? Thực chất của dòng điện không tải, tổn hao không tải là gì ? Tại sao dung lượng máy

biến áp nhỏ thì dòng điện không tải lại lớn ? Khi không tải, tăng điện áp đặt vào máy biến áp thì  $\cos\varphi$  của máy biến áp thay đổi ra sao ?

3. Làm thế nào để xác định được tổng trở của mạch sơ cấp và thứ cấp của máy biến áp ? 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 máy biến áp ? Muốn giảm bớt dòng điện ngắn mạch  $I_n$  của máy biến áp 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 máy biến điện áp 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:

- Dây quấn sơ cấp và thứ cấp đều nối nối tiếp :  
 $I_1 = 0,227 \text{ A}; I_2 = 22,7 \text{ A}.$
- Dây quấn sơ cấp nối nối tiếp, dây quấn thứ cấp nối song song:  $I_1 = 0,227 \text{ A}; I_2 = 45,45 \text{ A}.$
- Dây quấn sơ cấp nối song song, dây quấn thứ cấp nối nối tiếp:  $I_1 = 0,454 \text{ A}; I_2 = 22,7 \text{ A}.$
- Dây quấn sơ cấp và thứ cấp đều nối song song:  
 $I_1 = 0,454 \text{ A}; I_2 = 45,45 \text{ A}.$

2. Cho một máy biến áp 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  $S = 3595 \text{ cm}^2$ , mật độ từ thông  $B = 1,35 \text{ T}$ . Tính số vòng dây của dây quấn sơ cấp và thứ cấp.

Đáp số:  $w_1 = 1177$  vòng;  $w_2 = 102$  vòng.

3. Một máy biến áp 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  $A - X_1$ , dòng điện chạy trong  $A_1 - X_1$  là  $I_{10}$ .

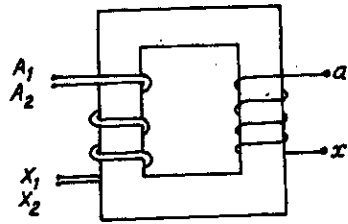
a) Dem nối  $X_1 - X_2$  với nhau và đo điện áp giữa  $A_1, A_2$  được trị số  $U_A$

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?

Đáp số:

a)  $r_1$ ; b)  $x_1$ , ( $r_1 \ll x_1$ ).



Hình 3-12.

4. Một máy biến áp ba pha Y/Y -

Δ2 có các số liệu sau đây :  $S_{dm} = 180$  VA;  $U_1/U_2 = 6000/400$  V; dòng điện không tải  $i_0\% = 6,4$ ; tổn hao không tải  $P_0 = 1000$  W; điện áp ngắn mạch  $u_n\% = 5,5$ ; tổn hao ngắn mạch  $P_n = 4000$  W. Giả sử  $r_1 = r_2$ ,  $x_1 = x_2$ .

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

Đáp số:  $r_m = 272 \Omega$ ,  $x_m = 3117 \Omega$ ,  $r_1 = r_2 = 2,25 \Omega$ .

$$x_1 = x_2 = 5 \Omega$$

$$u_{nr}\% = 2,23$$

$$u_{rx}\% = 5.$$

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

a) Tính  $z_n$ ,  $r_n$

b) Giả sử  $r_1 = r_2$ , 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 MÁY BIẾN ÁP

Trong điều kiện làm việc bình thường của lưới điện, ta có thể phân phối tải đều cho ba pha, lúc đó máy biến áp làm việc với điện áp đối xứng và dòng điện ở các pha bằng nhau. Ta hãy xét sự cân bằng năng lượng trong máy biến áp, các đặc tính khi máy biến áp làm việc riêng lẻ và khi làm việc song song với các điều kiện điện áp sơ cấp  $U_1 = C^{tc}$ , và tần số  $f = C^{tc}$ . 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 MÁY BIẾN ÁP

Trong quá trình truyền tải năng lượng qua máy biến áp, 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 máy biến áp. Sự cân bằng này có thể suy ra từ mạch điện thay thế của máy biến áp ở hình 3-2.

Gọi  $P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1$  là công suất đưa vào một pha của máy biến áp. 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  $p_{Fe} = r_m I_m^2$ . Phần còn lại là công suất điện từ truyền qua phía thứ cấp. Ta có:

$$P_{dt} = P_1 - p_{Cu1} - p_{Fe} = E_2 I_2 \cos \psi_2 \quad (4-1)$$

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  $q_1 = x_1 I_1^2$  và từ trường trong lõi thép  $q_m = x_m I_m^2$ , phần còn lại sẽ được đưa sang phía thứ cấp:

$$Q_{dt} = Q_1 - q_1 - q_m = E_2 I_2 \sin \psi_2 \quad (4-3)$$

Công suất phản kháng đầu ra bằng:

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

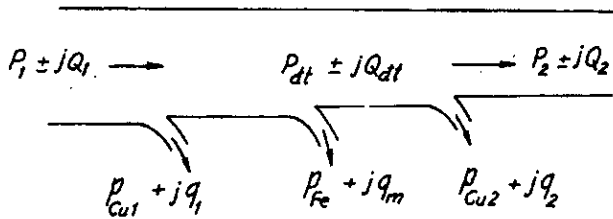
trong đó  $q_2 = x_2 I_2^2$  là công suất để tạo ra từ trường tản của dây quấn thứ cấp.

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

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



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

## 2. ĐỘ THAY ĐỔI ĐIỆN ÁP CỦA MÁY BIẾN ÁP VÀ CÁCH ĐIỀU CHỈNH ĐIỆN ÁP

Khi máy biến áp 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 là điện áp thứ cấp lúc không tải  $U_{20}$  và lúc có tải  $U_2$  trong điều kiện  $I_{1dm}$  không đổi gọi là độ thay đổi điện áp  $\Delta U$  của máy biến áp. Trong hệ đơn vị tương đối ta có:

$$\begin{aligned} \Delta U_* &= \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} = \\ &= \frac{U_{1dm} - U_2}{U_{1dm}} = 1 - U_{2*} \end{aligned} \quad (4-5)$$

Ta có thể căn cứ vào đồ thị vectơ của máy biến áp trình bày trên hình 3-5 để xác định  $\Delta U$  bằng phương pháp hình học, nhưng vì các cạnh của tam giác điện kháng rất nhỏ so với  $U_1$ ,  $U_2$  nên phương pháp này không được chính xác. Thông thường người ta dùng phương pháp giải tích

sau đây.

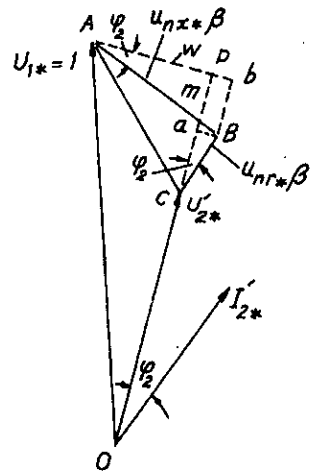
Giải thử máy biến áp làm việc ở một tải nào đó đối với hệ số tải  $\beta = \frac{I_2}{I_{2dm}}$  và hệ số công suất  $\cos\varphi_2$  cho biết và đồ thị vectơ tương ứng như ở hình 4-2. Khi ấy các cạnh của tam giác điện kháng ABC có trị số:

$$BC = \frac{I_2 r_n}{U_{1dm}} =$$

$$\frac{I_{2dm} r_n}{U_{1dm}} \cdot \frac{I_2}{I_{2dm}} = u_{nr*} \beta$$

$$AB = \frac{I_2 x_n}{U_{1dm}} =$$

$$= \frac{I_{2dm} x_n}{U_{1dm}} \cdot \frac{I_2}{I_{2dm}} = u_{rx*} \beta.$$



Hình 4-2. Xác định  $\Delta U$  của máy biến áp

Hạ đường thẳng góc AP xuống  $U_2'$  và gọi  $CP = m$  ta có:

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

Do đó:

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

Vì theo hình 4-2:

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

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

nên:

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

Số hạng sau cùng 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  $\Delta U$  theo phần trăm của  $U_{1dm}$  ta chỉ việc nhân hai v

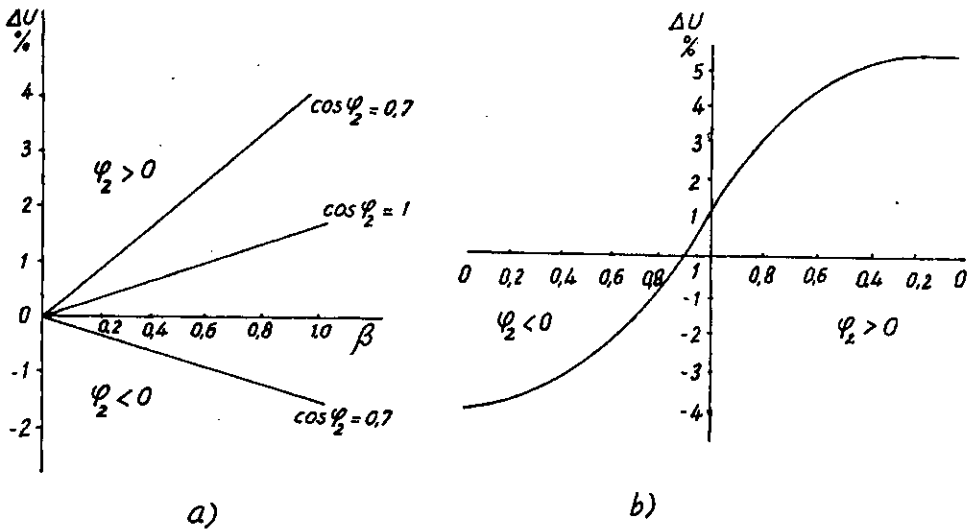
của biểu thức (4-8) với 100. Vì:

$$\Delta u_* = \frac{\Delta u \%}{100}; u_{nr*} = \frac{u_{nr} \%}{100}; u_{nx*} = \frac{u_{nx} \%}{100}$$

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  $\Delta U_*$  phụ thuộc vào hệ số tải và tính chất của tải. Hình 4-3 cho biết các quan hệ  $\Delta U = f(\beta)$  khi  $\cos \varphi_2 = C^{te}$  và  $\Delta U = f(\cos \varphi_2)$  khi  $\beta = C^{te}$ .

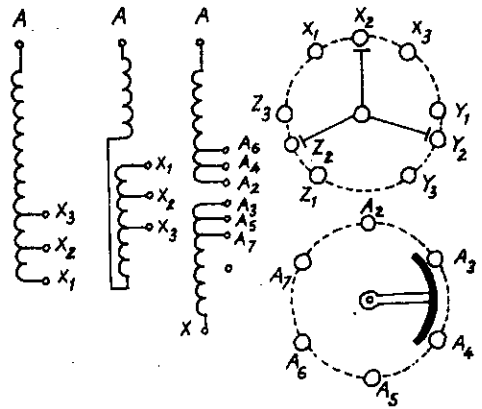


Hình 4-3.

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

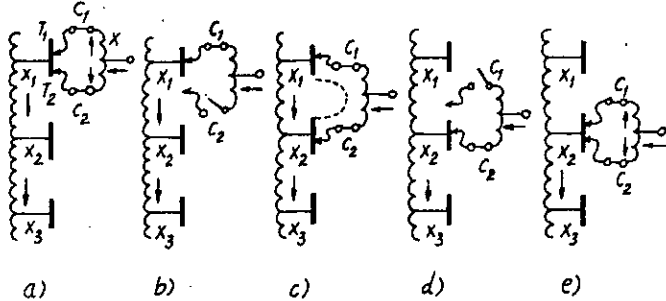
Trong thực tế muốn giữ cho điện áp  $U_2$  không đổi khi máy biến áp làm việc với các tải khác nhau thì phải điều chỉnh điện áp bằng cách

thay đổi lại số vòng dây, nghĩa là thay đổi tỉ số biến đổi  $k = w_1/w_2$ . 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 sẽ đối xứng hơn. Cũng cần 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 nối cũng gọn nhỏ hơn.



Hình 4-4. Các kiểu điều chỉnh điện áp

Việc thay đổi số vòng dây có thể được thực hiện khi máy ngừng làm việc, nghĩa là khi không có điện, nên thường gọi là *điều chỉnh không kích thích*. Trường hợp này thường ứng dụng với các máy biến áp hạ áp khi điện áp sơ cấp thay đổi hoặc khi cần điều chỉnh điện áp thứ cấp theo đề thị tải hàng năm.



Hình 4-5. Thiết bị đổi nối và quá trình điều chỉnh điện áp của máy biến áp điều chỉnh dưới tải

Nếu công suất nhỏ thì loại máy biến áp 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 đổi nối thực hiện khi máy ngừng làm việc nên thiết bị đổi nối tương đối đơn giản và rẻ

tiền. Thiết bị đổi nối được đặt ngay trong thùng dầu còn tay quay được đặt ở trên nắp thùng.

Trong hệ thống điện lực công suất lớn, nhiều khi cần phải điều chỉnh điện áp khi máy biến áp đang làm việc để phân phối lại công suất tác dụng và phản kháng giữa các phân đoạn của hệ thống. Các máy biến áp này có tên gọi là *máy biến áp điều chỉnh dưới tải*. Điện áp thường được điều chỉnh từng 1% trong phạm vi  $\pm 10\%U_{dm}$ . Ở trường hợp này thiết bị đổi 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 đổi 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 công tắc 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 máy biến áp 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 máy biến áp. Toàn bộ thiết bị đổi nối, cuộn kháng và các thiết bị điều khiển được chế tạo hợp bộ thành bộ điều chỉnh điện áp dưới tải, thường lắp bên cạnh máy biến áp.

### 4.3. HIỆU SUẤT CỦA MÁY BIẾN ÁP

Hiệu suất  $\eta$  của máy biến áp 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  $\eta$  nhỏ hơn 1 vì theo giản đồ năng lượng ở hình 4-1 ta thấy, trong quá trình truyền tải công suất qua máy biến áp 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 trễ. 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:

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

Khi thiết kế máy biến áp ta có thể tính được các tổn hao kể trên và xác định hiệu suất  $\eta$  bằng tính toán.

Lúc vận hành hiệu suất  $\eta$  của máy biến áp 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:

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

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

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  $U_1 = C^{lc}$  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:

$$\eta\% = \left(1 - \frac{P_0 + \beta^2 P_n}{\beta S_{dm} \cos\varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_n}\right)100. \quad (4-14)$$

Thường thì các tổn hao rất nhỏ so với công suất truyền tải nên hiệu suất  $\eta$  của máy biến áp rất cao. Đối với máy biến áp dung lượng lớn, hiệu suất  $\eta$  đạt tới trên 99%.

Từ biểu thức (4-14) ta thấy, nếu  $\cos\varphi_2 = C^{lc}$  thì  $\eta$  chỉ phụ thuộc vào  $\beta$  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  $\beta = \sqrt{P_o/P_n}$  hay  $P_o = \beta^2 P_n$ .

Như vậy là hiệu suất của máy biến áp 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 ằng tổn hao đồng.

Thông thường máy biến áp 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  $\eta_{max}$  ở trong giới hạn đó của  $\beta$ . Muốn vậy cấu tạo máy biến áp 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 máy biến áp 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 máy biến áp tính theo kilôoát giờ với điện năng đầu vào máy biến áp cũng trong thời gian đó.

### Thí dụ

Với các số liệu máy biến áp cho ở thí dụ 6, Chương 3, hãy tính:

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

### Giải

1) Trong thí dụ 6 ở Chương 3, ta đã tìm được  $u_{nr} = 0,825\%$ ,  $u_{rx} = 7,45\%$ . Theo biểu thức (4-9), ở trường hợp tải có tính chất điện cảm ta có:

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

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:

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

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

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



3) Hiệu suất cực đại của máy biến áp sẽ ứng với hệ số tải:

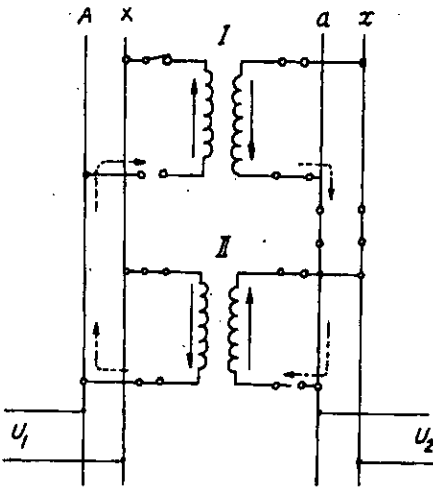
$$\beta = \sqrt{\frac{P_o}{P_n}} = \sqrt{\frac{18,5}{57}} = 0,57.$$

#### 4.4. MÁY BIẾN ÁP LÀM VIỆC SONG SONG

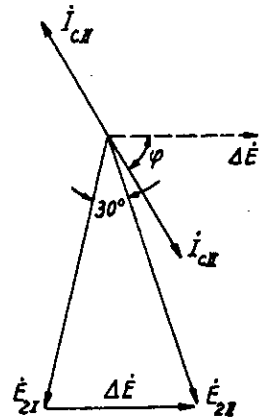
Trong các trạm biến áp, để đảm bảo các điều kiện kinh tế và kỹ thuật như tổn hao vận hành tối thiểu, liên tục truyền tải công suất khi xảy ra sự cố hay khi phải sửa chữa máy biến áp, người ta thường cho hai hoặc nhiều máy biến áp làm việc song song (hình 4-6).

Máy biến áp 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 máy biến áp.



Hình 4-6. Sơ đồ ghép song song máy biến áp một pha.



Hình 4-7. Sơ đồ điện áp và dòng điện của các máy biến áp có tổ nối dây khác nhau, làm việc song song

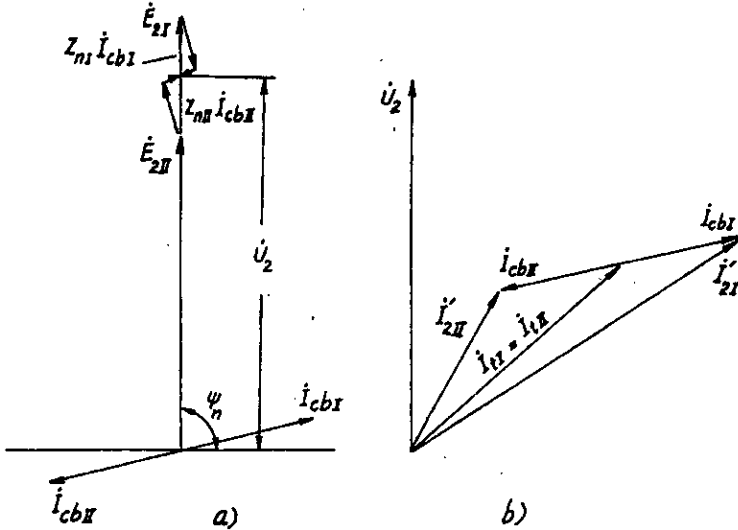
#### 4.4.1. Điều kiện cùng tổ nối dây

Nếu các máy biến áp 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 máy biến áp I có tổ nối dây Y/ $\Delta$ -11 còn máy biến áp II nối Y/Y-12 thì điện áp thứ cấp của hai máy biến áp sẽ lệch nhau  $30^\circ$  như ở hình 4-7. Trong mạch nối liền các dây quấn thứ cấp của hai máy biến áp sẽ xuất hiện một s.d.đ:

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

Kết quả là ngay khi không tải trong các dây quấn sơ cấp và thứ cấp của các máy biến áp sẽ có dòng điện:

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



Hình 4-8. Đồ thị vectơ và sự phân phối tải của các máy biến áp làm việc song song:  
a) khi không tải; b) khi có  $k$  khác nhau

Giá 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 máy biến áp. Vì vậy quy định rằng các máy biến áp 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 dấu lại các đầu dây của các máy biến áp, ta có thể biến các máy biến áp 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

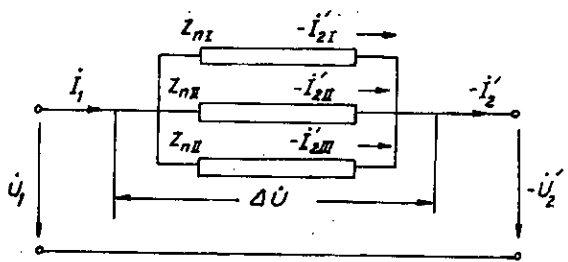
Nếu tỉ số biến đổi bằng nhau thì khi làm việc song song điện áp thứ cấp lúc không tải của các máy biến áp sẽ bằng nhau ( $E_{2I} = E_{2II}$ ), trong mạch nối liền các dây quấn thứ cấp của các máy biến áp sẽ không có dòng điện.

Giả thử tỉ số biến đổi  $k$  khác nhau thì  $E_{2I} \neq E_{2II}$  và ngay khi không tải trong dây quấn thứ cấp của các máy biến áp đã có dòng điện cân bằng  $I_{cb}$  sinh ra bởi điện áp  $\Delta E = E_{2I} - E_{2II}$ . Dòng điện đó sẽ chạy trong dây quấn của các máy biến áp theo chiều ngược nhau, thí dụ ở máy biến áp I từ  $x$  đến  $a$  còn ở máy biến áp II từ  $a$  đến  $x$ ,

và chậm pha sau  $\Delta E$  một góc  $90^\circ$  vì trong dây quấn  $x \gg r$ . Điện áp rơi trên các dây quấn máy biến áp 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  $I_{cb}$  sẽ cộng vào dòng điện tải  $I_1$ , 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  $\Delta k$  của các máy biến áp 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 máy biến áp làm việc song song. Ta hãy xét sự làm việc song song của máy biến áp có các điện áp ngắn mạch  $u_{nI}$ ,  $u_{nII}$ ,  $u_{nIII}$ . 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.



Hình 4-9. Mạch điện thay thế của các máy biến áp làm việc song song

Tổng trở tương đương của mạch điện:

$$Z = \frac{1}{\frac{1}{Z_{nI}} + \frac{1}{Z_{nII}} + \frac{1}{Z_{nIII}}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{\text{III}} \frac{1}{Z_{ni}}} \quad (4-17)$$

và điện áp rơi trên mạch điện bằng:

$$\Delta \dot{U} = \dot{U}_1 - \dot{U}_2 = Z \cdot \dot{I} \quad (4-18)$$

trong đó  $\dot{I} = \dot{I}_1 = \dot{I}_2$  là dòng điện tổng của các máy biến áp, do đó dòng điện tải của mỗi máy biến áp:

$$\dot{I}_{2I} = \frac{Z \cdot \dot{I}}{Z_{nI}} = \frac{\dot{I}}{Z_{nI} \sum \frac{1}{Z_{ni}}} \quad (4-19a)$$

$$\dot{I}_{2II} = \frac{Z \cdot \dot{I}}{Z_{nII}} = \frac{\dot{I}}{Z_{nII} \sum \frac{1}{Z_{ni}}} \quad (4-19b)$$

$$\dot{I}_{2III} = \frac{Z \cdot \dot{I}}{Z_{nIII}} = \frac{\dot{I}}{Z_{nIII} \sum \frac{1}{Z_{ni}}} \quad (4-19c)$$

Trên thực tế góc  $\varphi_n$  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.

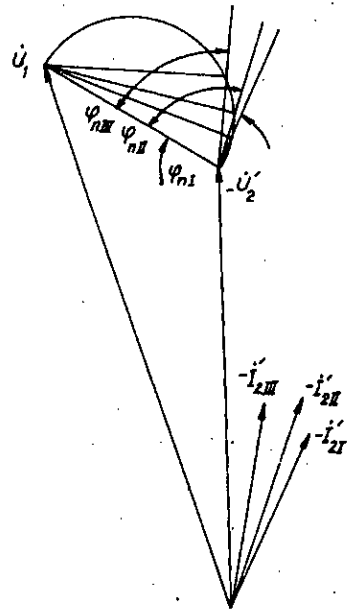
Ta có:

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

và biểu thức (4-19a) có thể viết:

$$I_{2I} = \frac{I}{\frac{u_{nI}}{I_{dml}} \sum \frac{I_{dmi}}{u_{ni}}} \quad (4-20)$$

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



Hình 4-10. Đồ thị vectơ của các máy biến áp làm việc song song

$$\beta_I = \frac{S_I}{S_{dmI}} = \frac{S}{u_{nI} \cdot \sum \frac{S_{dmi}}{u_{ni}}}, \quad (4-21a)$$

trong đó  $S = U_{Idm} I$  là tổng các công suất truyền tải của các máy biến áp.

Cũng như vậy đối với các máy biến áp 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 máy biến áp 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  $\beta$  bằng nhau, tải sẽ phân phối theo tỉ lệ công suất. Ngược lại nếu  $u_n$  khác nhau thì máy biến áp nào có  $u_n$  nhỏ sẽ có  $\beta$  lớn (tải nặng) còn máy biến áp có  $u_n$  lớn sẽ có  $\beta$  nhỏ (tải nhẹ hơn). Khi máy biến áp có  $u_n$  nhỏ làm việc ở định mức ( $\beta = 1$ ) thì máy biến áp có  $u_n$  lớn vẫn hút tải ( $\beta < 1$ ), kết quả là không sử dụng được hết công suất thiết kế của các máy biến áp.

Thông thường máy biến áp có dung lượng nhỏ thì  $u_n$  nhỏ, dung lượng lớn thì  $u_n$  lớn. Như vậy dung lượng các máy biến áp càng khác nhau quá nhiều thì khi làm việc song song càng không lợi. Cho nên theo qui định  $u_n$  của các máy biến áp 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 máy biến áp có cùng tổ nối dây quấn và tỉ số biến đổi với các số liệu:  $S_{dmI} = 180$  kVA,  $S_{dmII} = 240$  kVA,  $S_{dmIII} = 320$  kVA;  $u_{nI}\% = 5,4$ ,  $u_{nII}\% = 6$ ,  $u_{nIII}\% = 6,6$ . Hãy xác định tải của mỗi máy biến áp khi tải chung của máy biến áp bằng tổng công suất định mức của chúng:  $S = 180 + 240 + 320 = 740$  kVA và tính xem tải tổng tối đa để không

m.b.a nào bị quá tải bằng bao nhiêu ?

### Giải

Ta có:

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

Theo biểu thức (4-21):

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

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

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

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

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

hay là :  $S = 657,72 \text{ kVA}$ .

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

### Câu hỏi

1. Xét về mặt kết cấu của dây quấn, muốn giảm  $\Delta U$  của máy biến áp phải làm như thế nào ?
2. Sự liên quan giữa các thí nghiệm không tải và ngắn mạch của máy biến áp đến việc xác định  $\Delta u$  và  $\eta$  như thế nào ?
3. Nếu xét thật chặt chẽ thì tổn hao trong lõi thép  $p_{Fe}$  khi có tải khác với tổn hao không tải  $P_o$  như thế nào ? Tính chất của tải như thế nào sẽ ứng với  $p_{Fe} > P_o$  và  $p_{Fe} < P_o$ .
4. Cho hai máy biến áp 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 máy biến áp có tổ nối

dây Y/Δ-11 và Y/Δ-3 ?

### Bài tập

1. Cho ba máy biến áp 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:

- Tải của máy biến áp khi tải chung là 4500 kVA.
- Tải lớn nhất có thể cung cấp cho hộ dùng điện với điều kiện không một máy biến áp nào bị quá tải.
- Giả thử máy I được phép quá tải 20%, thì tải chung của các máy là bao nhiêu ?

Đáp số: a)  $S_1 = 928$  kVA ;  $S_2 = 1582$  kVA ;  
 $S_3 = 1990$  kVA;

b) 4847 kVA;

c) 5817 kVA.

2. Tính dòng điện cân bằng khi hai máy biến áp có các 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
$u_{nr}$ %	18	17
Tổ nối dây	Y/Δ-11	Y/Δ-11

Đáp số:  $I_{cb} = 298$  A.

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

a)  $U_n$ (V),  $U_{nr}$ (V),  $U_{rx}$ (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  $P_0 = 0,18$  kW, tính hiệu suất của máy ở các tải nói trên.

Đáp số: a)  $U_n = \sqrt{3} \cdot 190$  V;  $U_{nr} = \sqrt{3} \cdot 104$  V;

$$U_{nx} = \sqrt{3} \cdot 159$$

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 máy biến áp ba pha có  $S_{dm} = 1000$  kVA,  $U_1/U_2 = 10/0,4$  kV đấu Y/Y<sub>0</sub>-0,  $u_n(\%) = 5,5$ ,  $P_n = 12500$  W. Tính:

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

b)  $\Delta U$  khi máy biến áp 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

Máy biến áp 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 máy biến áp 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 máy biến áp, ta dùng phương pháp phân lượng đối xứng. Hệ thống dòng điện không đối xứng  $\dot{I}_a, \dot{I}_b, \dot{I}_c$  được phân tích thành ba hệ thống dòng điện đối xứng: *thứ tự thuận*  $\dot{I}_{a1}, \dot{I}_{b1}, \dot{I}_{c1}$ ; *thứ tự ngược*  $\dot{I}_{a2}, \dot{I}_{b2}, \dot{I}_{c2}$  và *thứ tự không*  $\dot{I}_{a0}, \dot{I}_{b0}, \dot{I}_{c0}$ . Quan hệ giữa chúng như sau:

$$\begin{vmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \dot{I}_{a0} \\ \dot{I}_{a1} \\ \dot{I}_{a2} \end{vmatrix} \quad (5-1)$$

và

$$\begin{vmatrix} \dot{I}_{a0} \\ \dot{I}_{a1} \\ \dot{I}_{a2} \end{vmatrix} = \frac{1}{3} \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{vmatrix} \quad (5-2)$$

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

Khi tải của máy biến áp 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  $\Delta$ .

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

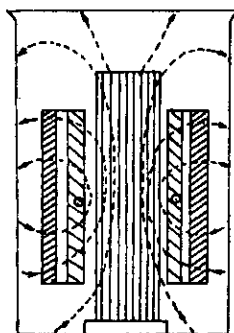
mạch từ của máy biến áp không bão hòa ( $\mu = C^{(c)}$ ). Ngoài ra khi phân tích ta xem như đã qui đổi các lượng thứ cấp về phía sơ cấp và để đơn giản bỏ qua dấu phẩy.

## 5.2. MẠCH ĐIỆN THAY THẾ VÀ TỔNG TRỞ CỦA MÁY BIẾN ÁP 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 máy biến áp đối với hệ thống dòng điện này ta đã xét ở Chương 3.

Hệ thống dòng điện thứ tự ngược trong máy biến áp cũng có tác dụng hoàn toàn giống như hệ thống dòng điện thứ tự thuận bởi vì nếu đem trao đổi 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 máy biến áp không có gì thay đổi. Cho nên mạch điện thay thế và tham số của máy biến áp 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 máy biến áp các từ thông thứ tự không  $\Phi_{10}$  trùng pha về thời gian. Trong tổ máy biến áp ba pha, từ thông  $\Phi_{10}$  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  $\Phi_{10}$  lớn. Trong máy biến áp ba trụ, từ thông  $\Phi_{10}$  phải khép mạch qua vách thùng dầu và dầu máy biến



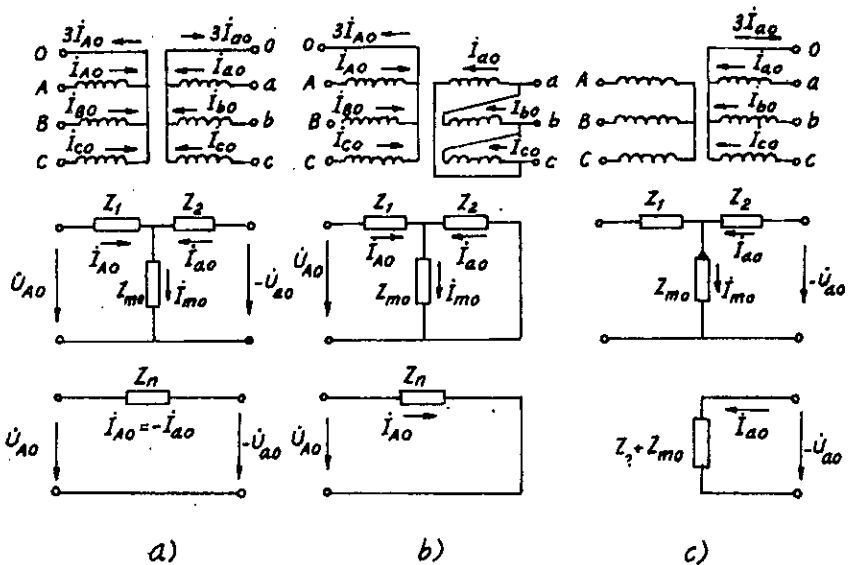
Hình 5-1. Từ trường do dòng điện thứ tự không trong m.b.a ba pha ba trụ

áp ở đó từ trở lớn nên từ thông  $\Phi_{10}$  nhỏ hơn (hình 5-1). Từ thông  $\Phi_{10}$  và  $I_{a0}$  cũng sinh ra trong các dây quấn sơ cấp và thứ cấp các s.d.d tự cảm và hồ 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 máy biến áp có tổ nối dây quấn:  $Y_0/Y_0$ ,  $Y_0/\Delta$  và  $Y/Y_0$  như ở hình 5-2.

Khi máy biến áp nối  $Y_0/Y_0$  hoặc  $Y_0/\Delta$ , 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 máy biến áp nối  $Y_0/\Delta$  thì phía thứ cấp của mạch điện thay thế bị nối tắt,

vì ở trường hợp dây quấn thứ cấp nối hình  $\Delta$  dòng điện thứ tự không không chạy ra mạch ngoài.

Nếu máy biến áp 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 máy biến áp đối với thành phần thứ tự không

Trong các mạch điện thay thế của máy biến áp 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 máy biến áp ba pha thì  $Z_{m0} = Z_m$ . Nếu là máy biến áp ba pha ba trụ thì vì  $\Phi_{10}$  khép mạch qua dầu và vách thùng dầu nên  $Z_{m0}$  nhỏ hơn (thường  $Z_{m0} = (7 + 15)Z_m$ ).

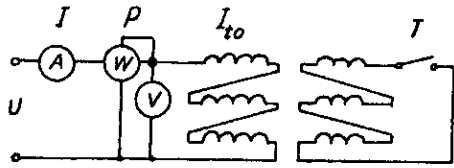
Cũng như đối với trường hợp phân lượng thứ tự thuận, s.d.d thứ tự không  $E_{10}$  do từ thông  $\Phi_{10}$  sinh ra có thể được biểu thị như sau:

$$\dot{E}_{10} = -Z_{m0} \dot{i}_{m0} \quad (5-3)$$

trong đó  $\dot{i}_{m0}$  là dòng điện từ hóa thứ tự không.

Trên hình 5-2 cũng trình bày các mạch điện thay thế đơn giản hóa ở các trường hợp  $Y/Y_0$ ,  $Y/\Delta$ , dòng điện thứ tự không tồn tại cả ở hai phía

sơ và thứ cấp và gần cân bằng nhau. ( $I_{A0} \approx -I_{a0}$ ), nên dòng điện từ hóa thứ tự không  $I_{m0}$  cần thiết để sinh ra  $\Phi_{10}$  rất nhỏ. Trong những trường hợp này có thể bỏ qua nhánh từ hóa và có  $Z_n = Z_1 + Z_2$ .



Hình 5-3. Sơ đồ nối dây xác định tổng trở thứ tự không của máy biến áp

Từ những mạch điện thay thế ở hình 5-2, ta thấy rằng tổng trở thứ tự không của máy biến áp  $Z_{10}$ ,

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  $Z_0$ .

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:

$$z_{10} = \frac{U}{3I} ; \quad (5-4)$$

$$r_{10} = \frac{P}{3I^2} ; \quad (5-5)$$

$$x_{10} = \sqrt{z_{10}^2 - r_{10}^2} \quad (5-6)$$

### 5.3. TẢI KHÔNG ĐỐI XỨNG CỦA MÁY BIẾN ÁP

#### 5.3.1. Khi có dòng điện thứ tự không

##### a) Trường hợp dây quấn nối Y/Y<sub>0</sub>.

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

$$I_A + I_B + I_C = 0 ; \quad (5-7)$$

$$I_a + I_b + I_c = I_d. \quad (5-8)$$

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  $I_{m1}$ ,

$\dot{I}_{m2}$  của các pha sẽ sinh ra các s.d.đ  $\dot{E}_A, \dot{E}_B, \dot{E}_C$ . Riêng dòng điện thứ tự không  $\dot{I}_{a0} = \dot{I}_{b0} = \frac{\dot{I}_d}{3}$  tồn tại ở phía thứ cấp không được cân bằng vì  $\dot{I}_{A0} = \dot{I}_{B0} = \dot{I}_{C0} = 0$  nên sẽ sinh ra  $\Phi_{10}$  và s.d.đ thứ tự không  $\dot{E}_{m0}$  tương đối lớn.

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

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

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:

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

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

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

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:

$$\begin{aligned} -\dot{U}_a &= \dot{U}'_A - \dot{I}_{A1} Z_1 + \dot{I}_{a1} Z_2 = \dot{U}'_A + \dot{I}_{a0} Z_{m0} \\ &\quad - (\dot{I}_{A1} + \dot{I}_{A2}) Z_1 + (\dot{I}_{a1} + \dot{I}_{a2} + \dot{I}_{a0}) Z_2 \end{aligned} \quad (5-13)$$

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:

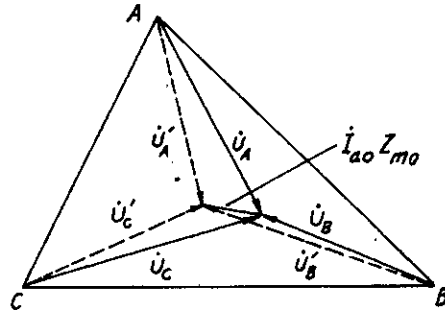
$$- \dot{U}_b = \dot{U}_B - \dot{I}_B Z_n + \dot{I}_{b0} Z_{10}$$

(5-14)

$$- \dot{U}_c = \dot{U}_C - \dot{I}_C Z_n + \dot{I}_{c0} Z_{10}$$

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 máy biến áp ba pha không được dùng tổ nối dây Y/Y<sub>0</sub>, vì  $Z_{m0}$  quá lớn. Đối với máy biến áp ba pha ba trụ, vì  $Z_{m0}$  nhỏ hơn nên cho phép dùng tổ nối dây Y/Y<sub>0</sub> với điều kiện  $S_{dm} < 6000$  kVA.



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

### b) Trường hợp dây quấn nối Y<sub>0</sub>/Y<sub>0</sub>, Y<sub>0</sub>/Δ

Ở những trường hợp này, dòng điện thứ tự không tồn tại cả ở phía sơ và thứ cấp và cân bằng nhau:  $I_{A(0)} = -I_{a(0)}$ ,... nên không sinh ra từ thông  $\Phi_{10}$  và s.d.d  $E_{10}$ . Như vậy các phương trình điện áp thứ cấp sẽ như sau:

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

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

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

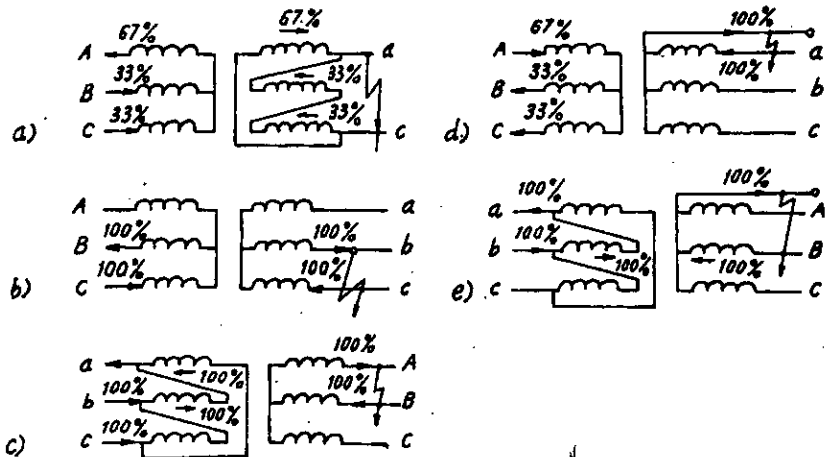
Điểm trung tính sẽ bị lệch một khoảng  $\dot{I}_{a0} Z_n = \frac{1}{3} \dot{I}_d Z_n$ . Sự xô dịch này không đáng kể vì  $Z_n$  rất nhỏ.

### 5.3.2. Khi không có dòng điện thứ tự không

Trường hợp này ứng với các tổ nối dây Y/Y,  $\Delta/Y$ , Y/ $\Delta$  và  $\Delta/\Delta$ . 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 phần 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,  $\Delta U$  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 MÁY BIẾN ÁP

Ngắn mạch không đối xứng xảy ra khi có 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



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

ha 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 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 máy biến áp ba pha và máy biến áp 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  $\Phi_{10}$  và từ thông  $\Phi_3$  (xem Chương 2) của ba pha đều trùng pha với nhau về thời gian và có thể khép mạch trong lõi thép của tổ máy biến áp ba pha nhưng khác nhau như thế nào?

3. Phân tích trường hợp ngắn mạch một pha của máy biến áp nối Y/Y<sub>0</sub> vẽ theo hình 5-5d. Vẽ đồ thị vectơ điện áp ứng với trường hợp đó.



## QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ TRONG MÁY BIẾN ÁP

### 6.1. ĐẠI CƯƠNG

Quá trình quá độ trong máy biến áp xảy ra khi có sự thay đổi độ ngớt 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 máy biến áp, 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 MÁY BIẾN ÁP

Hiện tượng quá dòng điện thường xảy ra khi đóng máy biến áp vào lưới điện lúc không tải hoặc khi xảy ra ngắn mạch đột nhiên.

#### 6.2.1. Đóng máy biến áp vào lưới điện khi không tải

Như ta đã biết, khi máy biến áp 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 máy biến áp 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 máy biến áp một pha vẽ ở hình 6-1.

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

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

trong đó  $\psi$  là góc pha của điện áp lúc đóng mạch.

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

Quan hệ giữa  $\Phi$  và  $i_0$  trong máy biến áp là quan hệ của đường cong từ hóa, vì vậy đây là phương trình vi phân phi tuyến. Để việc tính toán được đơn giản, ta giả thiết rằng từ thông tỉ lệ với dòng điện  $i_0$ , nghĩa là:

$$i_0 = \frac{\omega_1 \Phi}{L_1},$$

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

$$\frac{U_{1m}}{\omega_1} \sin(\omega t + \psi) = \frac{r_1}{L_1} \Phi + \frac{d\Phi}{dt}. \quad (6-2)$$

Như đã biết từ môn học Lý thuyết mạch, trong quá trình quá độ thì từ thông  $\Phi$ , 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:

$$\Phi_m = \frac{L_1 U_{1m}}{\omega_1 \sqrt{r_1^2 + (\omega L_1)^2}};$$

- Thành phần từ thông tự do:

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

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:

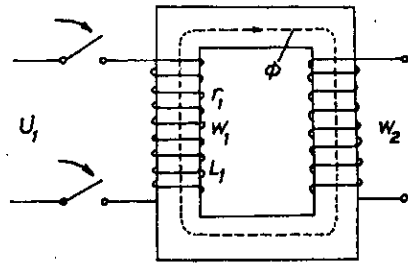
$$\Phi_{t=0} = [\Phi' + \Phi'']_{t=0} = -\Phi_m \cos\psi + C = \pm \Phi_{du}$$

hay là:  $C = \Phi_m \cos\psi \pm \Phi_{du}$ .

Như vậy:

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

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



Hình 6-1. Sơ đồ đóng m.b.a vào lưới điện lúc không tải

$$\Phi = -\Phi_m \cos(\omega t + \psi) + (\Phi_m \cos \psi \pm \Phi_{du}) e^{-r_1 t/L_1} \quad (6-7)$$

Từ biểu thức (6-7) ta thấy rằng, điều kiện thuận lợi nhất khi đóng máy biến áp 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  $\Phi_{du}$  có dấu dương. Lúc đó:

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

và đường biểu diễn tương ứng trình bày ở hình 6-2. Từ hình 6-2 ta thấy rằng từ thông  $\Phi$  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:

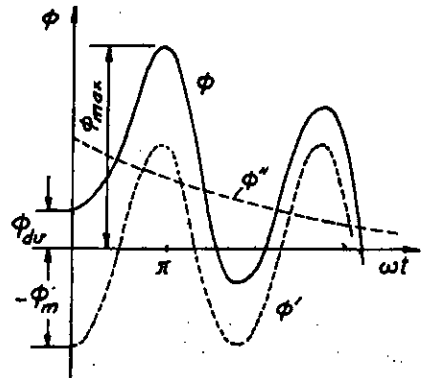
$$e^{-(r_1/L_1)t} = e^{-(r_1 \pi / \omega L_1)} \approx 1$$

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

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

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

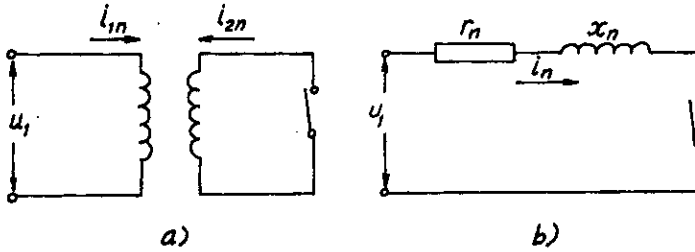
Vì thời gian quá độ rất ngắn (6 ÷ 8 s) nên dòng điện quá độ không nguy hiểm đối với máy biến áp, nhưng có thể làm cho rơle bảo vệ tác động, cắt máy biến áp ra khỏi lưới điện, vì vậy cần phải chú ý để tính toán và chỉnh định rơle cho đúng.



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

### 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 máy biến áp, vì vậy cần phải được chú ý đặc biệt.



Hình 6-3. Sơ đồ lúc máy biến áp bị ngắn mạch.

Giá thử mạch thứ cấp của máy biến áp vì cách điện hỏng hoặc vì thao tác lầm lẫn bị nối ngắn mạch như ở hình 6-3a. Cũng như trường hợp ngắn mạch xác lập, lõi thép máy biến áp không bão hòa và mạch điện hay thế của máy biến áp như ở hình 6-3b trong đó các tham 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 ở 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  $\psi_n$  là 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:

$$i_n = -\sqrt{2}I_n \cos \omega t + \sqrt{2}I_n e^{-(r_n/L_n)t}$$

và dòng điện đó sẽ đạt tới trị số lớn nhất (hoặc trị số xung) sau thời gian  $t = \frac{\pi}{\omega}$ , lúc đó:

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

Dung lượng của máy biến áp 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 máy biến áp dung lượng 1000 kVA với các số liệu  $u_n\% = 6,5$ ;  $u_{nr}\% = 1,5$ ;  $u_{rx}\% = 6,32$ , thì:

$$k_{xg} = 1 + e^{-(\pi r_n/x_n)} = 1 + e^{-(\pi u_m/u_{rx})} = 1,475$$

và dòng điện xung bằng:

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

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

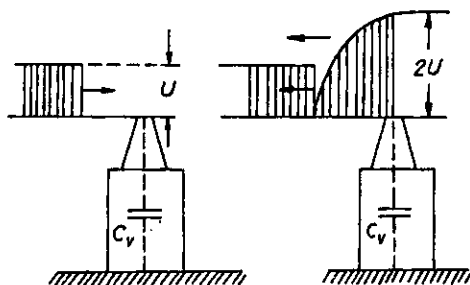
Khi ngắn mạch giữa các vòng dây bên trong máy biến áp, dòng điện xung còn lớn hơn cả trị số trên.

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 máy biến áp, người ta thường dùng những role tác động nhanh để tách chỗ có sự cố ngắn mạch ra làm cho dây quấn máy biến áp không bị nóng đến mức hỏng. Dây quấn máy biến áp thường bị hỏng khi xảy ra ngắn mạch bên trong giữa các vòng dây. Để bảo vệ ngắn mạch bên trong máy biến áp, người ta thường dùng role hơi để cắt máy biến áp ra khỏi lưới điện.

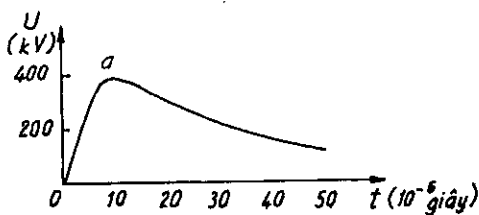
### 6.3. QUÁ ĐIỆN ÁP TRONG MÁY BIẾN ÁP

Khi làm việc trong lưới điện, máy biến áp 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 máy biến áp. Quá điện áp do sét đánh trên đường dây còn gọi là quá điện áp do khí quyển có tác dụng có trị số rất lớn, đến hàng triệu



Hình 6-4. Sóng điện áp xung kích tới và phản xạ ở đầu máy biến áp

hiếm đối với máy biến áp hơn cả, vì 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 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 thiết bị đặt trong trạm như máy biến áp chỉ còn chịu tác dụng của điện áp có trị số bằng 4 đến 5 lần điện áp của lưới điện. Cũng cần phải chú ý rằng, khi sóng xung kích điện áp truyền từ đường dây đến máy biến áp do có sự thay đổi của tổng trở (tổng trở của đường dây nhỏ so với tổng trở của máy biến áp) nên sóng phản xạ điện áp có biên độ tăng gấp đôi như hình 6-4.



Hình 6-5. Sóng điện áp xung kích do khí quyển

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 ( $f = 10000 + 50000$  Hz).

Dưới đây ta xét tác dụng và hậu quả của sóng điện áp xung kích đối với máy biến áp và đưa ra phương pháp bảo vệ cần thiết.

### 6.3.1. Mạch điện thay thế của máy biến áp khi có quá điện áp

Ta biết rằng ngoài điện trở  $r$  và điện kháng  $x_L = \omega L$ , dây quấn máy biến áp 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 (lõi thép như trình bày ở hình 6-6a). Trong hình,  $C_d$  là điện dung giữa các vòng dây hoặc giữa các cuộn dây và  $C_q$  là điện dung giữa các vòng dây hoặc các cuộn dây đối với đất. Ở chế độ làm việc bình thường với tần số  $f = 50$  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 máy biến áp và ta có mạch điện thay thế máy biến áp 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 máy biến áp có dạng như trình bày ở hình 6-6b và dây quấn máy biến áp 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:

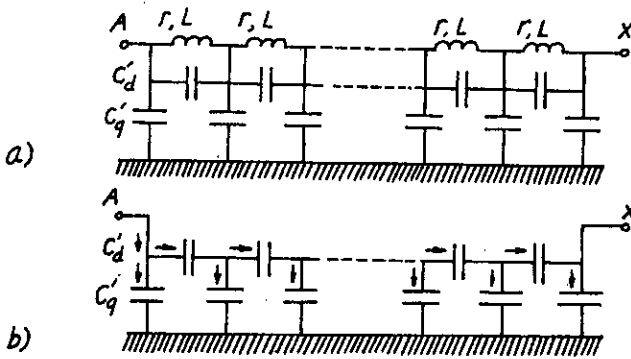
$$C_q = \sum C_q.$$

### 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:

$$u_x = U_A \frac{\text{sh} \alpha x}{\text{sh} \alpha} \quad (6-14)$$



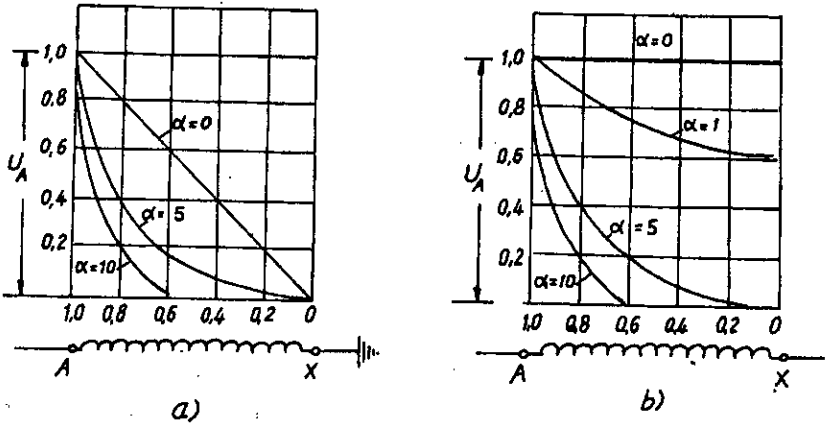
Hình 6-6. Sơ đồ biểu thị dây quấn của máy biến áp và tác dụng của sóng điện áp xung kích

và nếu dây quấn không nối đất:

$$u_x = U_A \frac{\text{ch} \alpha x}{\text{ch} \alpha} \quad (6-15)$$

trong đó  $U_A$  là 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  $\alpha = 0$ , điện áp sẽ phân bố đều dọc theo chiều dài của dây quấn ( $u_x = xU_A$ ). Nếu  $\alpha$  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 gradient điện áp đối với trường hợp dây quấn nối đất:

$$\frac{du_x}{dx} = \alpha U_A \frac{\operatorname{ch} \alpha x}{\operatorname{sh} \alpha} \quad (6-16)$$

và đối với trường hợp dây quấn không nối đất:

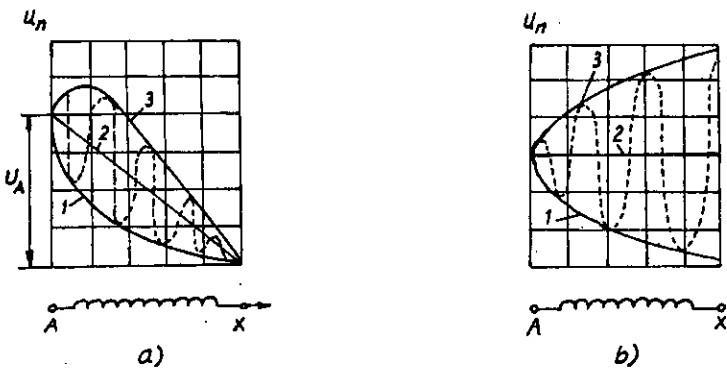
$$\frac{du_x}{dx} = \alpha U_A \frac{\operatorname{sh} \alpha x}{\operatorname{ch} \alpha} \quad (6-17)$$

Giả thử  $\alpha \geq 3$ , thì ở đầu dây quấn ( $x = 1$ ),  $\operatorname{th} \alpha = \operatorname{cth} \alpha = 1$  nên trong cả hai trường hợp:

$$\left. \frac{du_x}{dx} \right|_{x=1} = x U_A$$

và điện áp ban đầu trong trường hợp phân bố không đều ở cuộn dây đầu tiên lớn gấp  $\alpha$  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 có 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



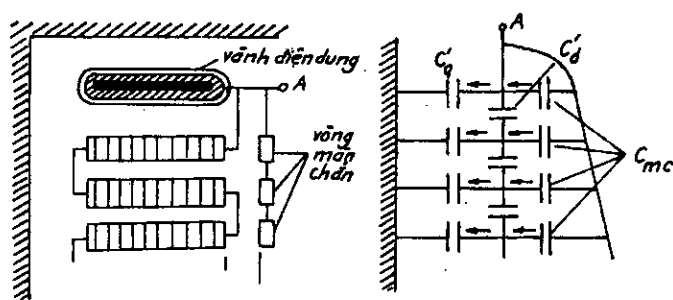
Hình 6-8. Quá trình quá độ trong dây quấn máy biến áp do sóng điện áp xung kích:  
a) dây quấn nối đất; b) dây quấn không nối đất

ình quá độ.

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 dây quấn, vì vậy cần phải tăng cường cách điện ở đó.

### 6.3.3. Bảo vệ máy biến áp khỏi quá điện áp

Do tác dụng của quá điện áp, cách điện của dây quấn máy biến áp 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 máy biến áp điện áp bằng hoặc lớn hơn 35 kV cũng thường được nối đất.



Hình 6-9. Vành điện dung và các vòng màn chắn ở đầu dây quấn

Ngoài ra người ta còn dùng một số biện pháp có hiệu lực khác để bảo vệ máy biến áp 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. 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  $C_{ij}$ . Như vậy dòng điện đi qua các điện dung dọc dây quấn  $C'_{ij}$  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

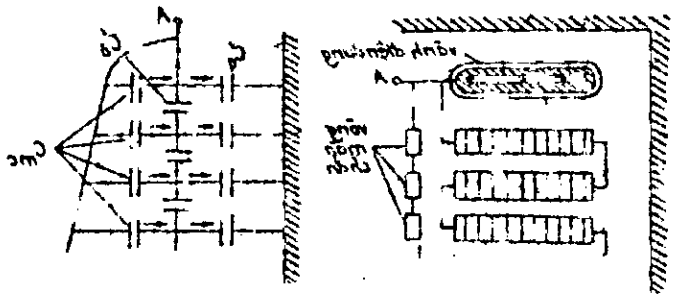
với dây quấn, đồng thời có bọc cách điện. Vành điện dung được đặt giữa cuộn dây đầu tiên và gông từ, còn các vòng điện dung thì ôm lấy các cuộn dây đầu tiên.

**Câu hỏi**

1. Quá dòng điện là gì ? Tại sao có hiện tượng dòng điện  $I_0$  tăng lên khi đóng máy biến áp 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 lại chịu tác dụng của điện áp lớn ? Các phương pháp bảo vệ quá điện áp?

3. Vì sao khi ngắn mạch bên trong máy biến áp dòng điện xung có trị số lớn hơn khi ngắn mạch bên ngoài máy biến áp ?



Hình 8-9. Vành điện dung và các vòng từ của máy biến áp.

Ngoài ra người ta còn dùng một số biện pháp có hiệu lực khác để bảo vệ máy biến áp khỏi quá điện áp bằng cách làm giảm hoặc triệt tiêu phần thừa của điện áp nơi trên. Muốn vậy phải làm sao cho đường phân bố điện áp ban đầu của cuộn dây biến áp có dạng hình chữ U như hình 8-10. Khi quá điện áp xảy ra các điện áp của cuộn dây sẽ rất nhỏ hoặc dao động sẽ không xảy ra. Các điện áp này thường được chế tạo thành như vành điện dung hoặc vòng từ, khi khuyết một đoạn để tránh trở thành những vòng ngắn mạch và khi

## Chương 7

### CÁC LOẠI MÁY BIẾN ÁP ĐẶC BIỆT

#### 1. MÁY BIẾN ÁP BA DÂY QUẤN

Trong hệ thống điện lực, những máy biến áp 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 lưới điện có những điện áp khác nhau, ứng với các tỉ số biến áp khác nhau:

$$k_{12} = \frac{w_1}{w_2} \approx \frac{U_1}{U_2} ; \quad k_{13} = \frac{w_1}{w_3} \approx \frac{U_1}{U_3} . \quad (17-1)$$

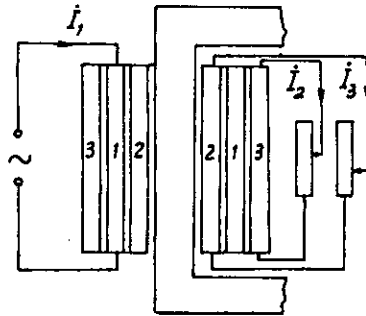
Máy biến áp ba dây quấn có ưu điểm nâng cao được chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật của trạm biến áp, vì số máy biến áp cần thiết của trạm sẽ ít hơn và tổn hao vận hành cũng nhỏ hơn.

Cũng giống như đối với máy biến áp hai dây quấn, người ta chế tạo máy biến áp ba dây quấn theo cấu trúc máy biến áp ba pha hoặc máy biến áp ba pha ba trụ; ở mỗi trụ có đặt ba dây quấn như ở hình 7-1. Các tổ nối dây tiêu chuẩn như sau:  $Y_0/Y_0/\Delta$ -12-11 và  $Y/\Delta/\Delta$ -11-11.

Theo qui định, công suất của 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 máy biến áp ba dây quấn lấy theo công suất của dây quấn sơ cấp (có công suất lớn nhất).



Hình 7-1. Máy biến áp ba dây quấn

### 7.1.1. Phương trình cơ bản, mạch điện thay thế và đồ thị của máy biến áp ba dây quấn

Cũng như trong máy biến áp hai dây quấn, dòng điện từ hóa của máy biến áp ba dây quấn rất nhỏ nên sau khi đã qui đổi các dây quấn 2 và 3 về dây quấn 1 ta có phương trình cơ bản sau đây:

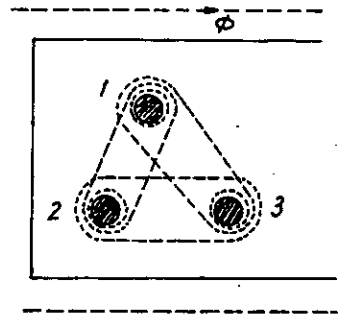
$$\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 = \dot{I}_0 \approx 0, \quad (7-2)$$

$$\dot{U}_1 - \dot{I}_1 Z_1 = -(\dot{U}_2 + \dot{I}_2 Z_2) = -(\dot{U}_3 + \dot{I}_2 Z_2), \quad (7-3)$$

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 máy biến áp 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 máy biến áp ba dây quấn

Các tham số của mạch điện thay

thế máy biến áp 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:

$$Z_{n12} = r_{n12} + jx_{n12} = (r_1 + r_2) + j(x_1 + x_2)$$

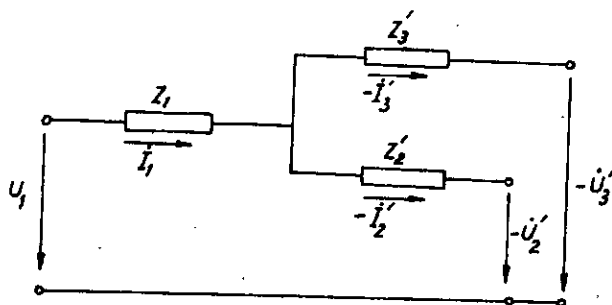
$$Z_{n13} = r_{n13} + jx_{n13} = (r_1 + r_3) + j(x_1 + x_3) \quad (7-4)$$

$$Z_{n23} = r_{n23} + jx_{n23} = (r_2 + r_3) + j(x_2 + x_3)$$

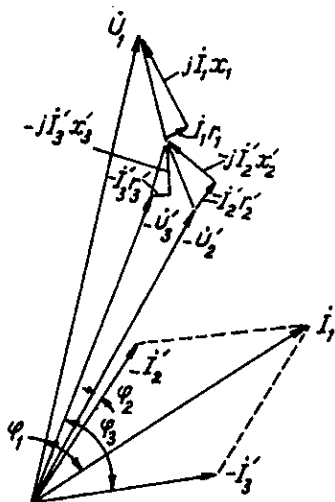
Các lượng trong các biểu thức trên đều được qui đổi về dây quấn 1. Từ các biểu thức đó suy ra:

$$\left. \begin{aligned} r_1 &= \frac{r_{n12} + r_{n13} - r_{n23}}{2} \\ r_2 &= \frac{r_{n12} + r_{n23} - r_{n13}}{2} \\ r_3 &= \frac{r_{n13} + r_{n23} - r_{n12}}{2} \end{aligned} \right\} \quad (7-5)$$

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  $Z_{n23}$ .



Hình 7-3. Mạch điện thay thế của m.b.a ba dây quấn

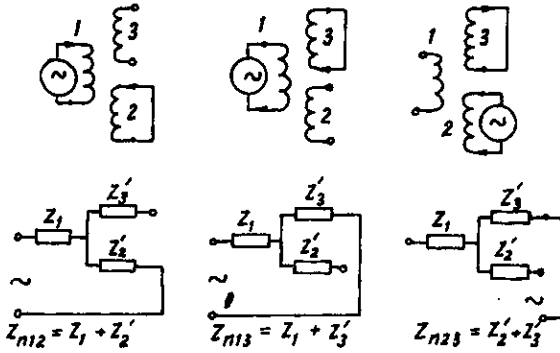


Hình 7-4. Đồ thị vectơ của máy biến áp ba dây quấn

### 7.1.2. Độ thay đổi điện áp của máy biến áp ba dây quấn

Cũng như ở trường hợp máy biến áp hai dây quấn, các điện áp đầu  $U_2$ ,  $U_3$  của máy biến áp 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 cấp thay đổi thì sẽ ảnh hưởng đến điện áp của dây quấn thứ cấp kia có điện áp rơi trên dây quấn sơ cấp  $I_1 Z_1, \dots$

Độ thay đổi điện áp ở các tải  $I_2$ ,  $I_3$  với hệ số công suất  $\cos\varphi_2$ ,  $\cos\varphi_3$  như sau:



Hình 7-5. Sơ đồ và mạch điện thay thế ứng với thí nghiệm ngắn mạch của máy biến áp ba dây quấn

$$\Delta U_{12*} = \frac{U_{1dm} - U_2}{U_{1dm}} =$$

$$= u_{nr12*} \cos \varphi_2 + u_{rx12*} \sin \varphi_2 + u_{nr(3)*} \cos \varphi_3 + u_{rx(3)*} \sin \varphi_3, \quad (7-6)$$

trong đó:

$$u_{nr12*} = \frac{r_{n12} I_2}{U_{1dm}}; \quad u_{rx12*} = \frac{x_{n12} I_2}{U_{1dm}};$$

$$u_{nr(3)*} = \frac{r_1 I_3}{U_{1dm}}; \quad u_{rx(3)*} = \frac{x_1 I_3}{U_{1dm}}$$

Biểu thức của  $\Delta U_{13*}$  cũng có dạng tương tự:

$$\Delta U_{13*} = \frac{U_{1dm} - U_3}{U_{1dm}} =$$

$$= u_{nr13*} \cos \varphi_3 + u_{rx13*} \sin \varphi_3 + u_{rx(2)*} \cos \varphi_2 + u_{nr(2)*} \sin \varphi_2 \quad (7-7)$$

trong đó:

$$u_{nr13*} = \frac{r_{n13} I_3}{U_{1dm}}; \quad u_{rx13*} = \frac{x_{n13} I_3}{U_{1dm}};$$

$$u_{nr(2)*} = \frac{r_1 I_2}{U_{1dm}}; \quad u_{rx(2)*} = \frac{x_1 I_2}{U_{1dm}}$$

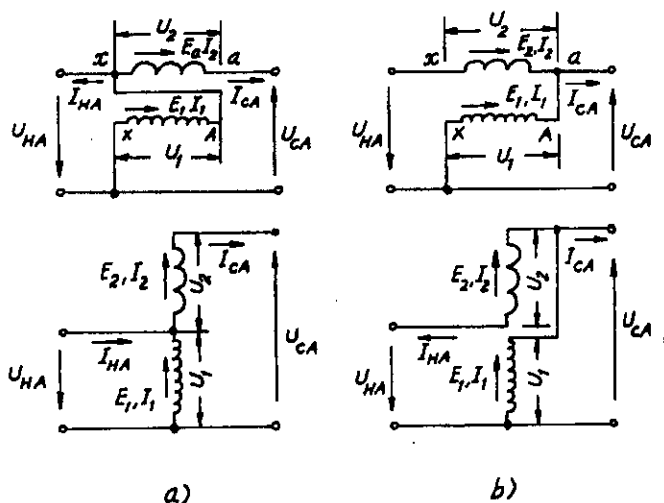
## 7.2. MÁY BIẾN ÁP TỰ NGẪU

Trong trường hợp điện áp của các lưới điện sơ cấp và thứ cấp k nhau không nhiều, nghĩa là tỉ số biến đổi điện áp nhỏ, để được kinh

hơn về chế tạo và vận hành người ta dùng máy biến áp tự ngẫu thay cho máy biến áp hai dây quấn.

Máy biến áp tự ngẫu khác máy biến áp 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 máy biến áp 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 máy biến áp 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.

Với cách nối dây như vậy, công suất truyền tải qua máy biến áp tự



Hình 7-6. Sơ đồ của máy biến áp tự ngẫu một pha  
a) nối thuận; b) nối ngược

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  $S_{t,l}$  của máy biến áp tự ngẫu. Giống như đối với máy biến áp hai dây quấn, dung lượng thiết kế máy biến áp 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 máy biến áp 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 máy biến áp tự



ngẫu bằng:

$$S_{II} = U_{CA} I_{CA} = U_{HA} I_{HA} \quad (7-9)$$

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:

$$\frac{S_{tk}}{S_{II}} = \frac{E_2 I_2}{U_{CA} I_{CA}} = \frac{(U_{CA} - U_{HA}) I_{CA}}{U_{CA} I_{CA}} = 1 - \frac{1}{k'} \quad (7-10)$$

và đối với hình 7-6b:

$$\frac{S_{tk}}{S_{II}} = \frac{E_2 I_2}{U_{CA} I_{CA}} = \frac{(U_{CA} - U_{HA}) I_{HA}}{U_{CA} I_{CA}} = k' - 1. \quad (7-11)$$

Bảng 7-1 cho biết các trị số của  $\frac{S_{tk}}{S_{II}}$  ứng với các trị số  $k'$  khác nhau của

hai kiểu nối dây máy biến áp 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  $S_{tk}/S_{II}$  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 máy biến áp tự ngẫu có  $k' \leq 2,5$  và dùng để nối liên lạc các lưới điện có điện áp khác nhau không nhiều: 110, 150, 220, 330, 500 kV.

Bảng 7.1.

$k'$	$S_{tk}/S_{II}$	
	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
300	0,67	2,00
500	0,80	4,00

Như vậy là máy biến áp tự ngẫu kinh tế hơn so với máy biến áp hai dây quấn về mặt chế tạo. Trong vận hành, tổn hao trong máy biến áp tự ngẫu cũng nhỏ hơn, vì nếu lấy tỉ số giữa tổn hao  $\Sigma p$  với dung lượng

truyền tải  $S_{II}$ , ta có:

$$\frac{\sum P}{S_{II}} = \frac{\sum P}{S_{tk}} \left(1 - \frac{1}{k'}\right)$$

nghĩa là giảm còn  $\left(1 - \frac{1}{k'}\right)$  so với tổn hao tính theo dung lượng thiết kế  $S_{tk}$  hay là tổn hao của máy biến áp hai dây quấn có cùng dung lượng.

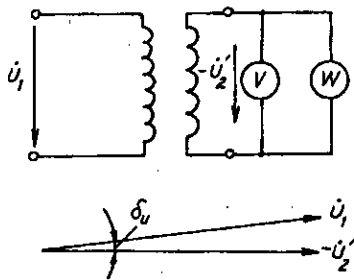
Cũng tương tự như vậy, điện áp ngắn mạch của máy biến áp tự ngẫu giảm còn  $\left(1 - \frac{1}{k'}\right)$  so với điện áp ngắn mạch của máy biến áp hai dây quấn, do đó độ thay đổi điện áp  $\Delta U$  hay điện áp rơi trong máy biến áp tự ngẫu cũng nhỏ hơn. Cần chú ý rằng do điện áp ngắn mạch của máy biến áp 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, máy biến áp tự ngẫu còn được dùng để mở máy động cơ điện không đồng bộ. Máy biến áp tự ngẫu cũng còn được dùng rộng rãi trong phòng thí nghiệm để thay đổi liên tục điện áp. Trong trường hợp này, số vòng 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

Máy biến áp 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 ÷ 100 V hoặc 1 ÷ 5 A) hoặc dùng trong mạch bảo vệ. Máy biến điện áp được chế tạo với công suất 25 ÷ 1000 VA và máy biến dòng điện với công suất 5 ÷ 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 của 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 điện áp bằng:

$$\Delta u\% = \frac{\frac{w_1}{w_2} U_2 - U_1}{U_1} \cdot 100 \quad (7-12)$$

và sai số về góc  $\delta_u$  giữa  $\dot{U}_1$  và  $-\dot{U}_2$  (hình 7-7) đều nhỏ.

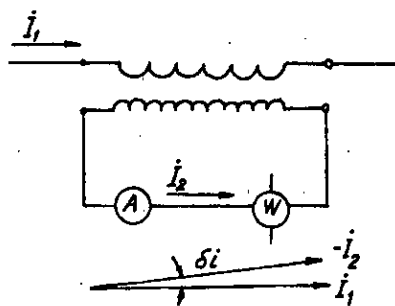
Tùy theo mức độ sai số, máy biến điện áp có các cấp chính xác 0,5 ; 1 ; 3, nghĩa là  $\Delta u\%$  tương ứng bằng  $\pm 0,5\%$  ;  $\pm 1\%$  ;  $\pm 3\%$  và  $\delta_u$  tương ứng bằng  $\pm 20'$  ,  $\pm 40'$  (đối với cấp 3 không có qui định tiêu chuẩn về  $\delta_u$ ). Khi sử dụng máy biến điện 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 nối tiếp với mạch cần đo dòng điện, còn dây quấn thứ cấp gồm nhiều vòng dây được nối với ampemét hoặc với các cuộn dây nối tiếp oátmét 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 bằng:

$$\Delta i\% = \frac{\frac{w_2}{w_1} I_2 - I_1}{I_1} \cdot 100 \quad (7-13)$$

và sai số về góc  $\delta_i$  (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  $\delta_i$  tương ứng bằng  $\pm 10'$  ;  $\pm 40'$  ;  $\pm 80'$  (đối với hai cấp 3 và 10 không có qui định tiêu chuẩn về  $\delta_i$ ).

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

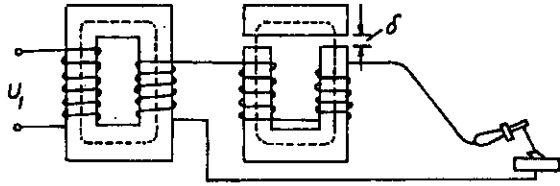


Hình 7-8. Sơ đồ nối dây và đồ thị vectơ của máy biến dòng

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 máy biến áp hàn hồ quang (hình 7-9). Các máy biến



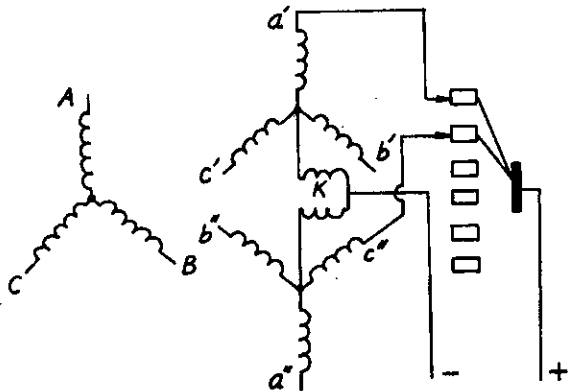
Hình 7-9. Máy biến áp hàn hồ quang làm việc có cuộn kháng

áp 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  $\delta$  của lõi thép của cuộn cảm.

Máy biến áp 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 máy biến áp 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 máy biến áp như trên hình 7-10. Như vậy máy biến áp luôn luôn làm việc trong tình trạng không



Hình 7-10. Sơ đồ máy biến áp chỉnh lưu

đối xứng, do đó phải chọn sơ đồ nối dây sao cho đảm bảo được điều kiện từ hóa bình thường của các trụ lõi thép và giảm nhỏ được sự đập mạch của điện áp và dòng điện chính lưu.

Muốn vậy phải tăng số pha của dây quấn thứ cấp (thường chọn số pha bằng 6) 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  $60^\circ$  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 máy biến áp ba dây quấn.
2. Vì sao trong máy biến áp ba dây quấn từ thông, s.d.đ và điện áp pha luôn luôn là hình sin ?
3. Nguyên lý làm việc và đặc điểm của máy biến áp tự ngẫu. So sánh m.b.a tự ngẫu với máy biến áp hai dây quấn.
4. Cấu tạo, nguyên lý làm việc và ứng dụng của máy biến áp đo lường. Những điểm cần chú ý khi sử dụng chúng.

### Bài tập

1. Cho một máy biến áp 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 máy biến áp.

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)  $r_1 = 3,29 \Omega$ ;  $r'_2 = 11,35 \Omega$ ;  $r'_3 = 6,23 \Omega$ ;

$x_1 = 87,2 \Omega$ ;  $x'_2 = 161,29 \Omega$ ;  $x'_3 = 66,25 \Omega$

b)  $\Delta u_{12}\% = 5,7$ ;  $\Delta u_{13}\% = 5,22$ .

2. Cho một máy biến áp ba pha dây quấn  $S_{dm} = 3200 \text{ kVA}$ ; 35/6 kV; 52,5/307,5 A; Y/Y-12;  $u_n\% = 6,94$ ;  $u_{nr}\% = 1,04$ ;  $p_{Fe} = 9,53 \text{ kW}$ ,  $p_{Cu} = 32,5 \text{ kW}$ . Bây giờ đem nối lại thành máy biến áp tự ngẫu 41/35 kV. Hãy:

- Trình bày cách nối dây của máy biến áp tự ngẫu.
- Tính công suất truyền tải của máy biến áp tự ngẫu; công suất của dây quấn sơ cấp và dây quấn thứ cấp.
- Hiệu suất của máy biến áp tự ngẫu ở tải định mức với  $\cos\varphi = 0,8$ .
- Dòng điện ngắn mạch của máy biến áp tự ngẫu.

Đáp số: a) Theo hình 7-6a;

$$b) S_{tt} = 21867 \text{ kVA};$$

$$S_{\Delta x(TN)} = S_{\Delta z(TN)} = 3200 \text{ kVA}$$

$$c) \eta = 99,76\%;$$

$$I_n = 30188 \text{ A}.$$

phần số cấp và đây phần 10 cấp.

c) Hiện suất của máy tính là tỷ lệ giữa số lần tính với cấp = 0.8.

d) Đồng diện nhận vào các máy tính là ngày.

7. Số: 0) Theo hình 7-04

01 20 2180V 1-VA

01 20 2180V 1-VA

01 20 2180V 1-VA

01 20 2180V 1-VA

*PHẦN THỨ HAI*  
**NHỮNG VẤN ĐỀ LÝ LUẬN CHUNG  
CỦA CÁC MÁY ĐIỆN QUAY**

**EBOOKBKMT.COM**  
**TÌM KIẾM TÀI LIỆU MIỄN PHÍ**



## Chương 8

# ĐẠI CƯƠNG VỀ CÁC MÁY ĐIỆN QUAY

### 8.1. KẾT CẤU CHUNG CỦA CÁC MÁY ĐIỆN QUAY

Máy điện quay thường gồm có hai bộ phận kết cấu chính là mạch từ và dây quấn, ở đó diễn ra sự biến đổi năng lượng cơ điện, và các bộ phận kết cấu khác.

Mạch từ của máy điện quay là hai khối thép đồng trục cách nhau bởi một khe hở đảm bảo cho một trong hai khối thép có thể chuyển động quay tương đối so với khối kia. Khối đứng yên được gọi là *phần tĩnh* hay *stato*, còn khối quay được gọi là *phần quay* hay *rôto*. Nếu từ thông trong khối thép là xoay chiều hoặc biến thiên thì nó được ghép bằng các lá tôn silic dày  $0,35 \div 0,5$  mm để làm giảm tổn hao do dòng xoáy, còn nếu từ thông là không đổi thì nó được đúc bằng thép hoặc ghép từ thép tấm.

Các dây quấn của máy điện quay được đặt ở hai phía khe hở trong các rãnh hoặc trên các cực từ của stato và rôto.

Các bộ phận kết cấu khác gồm có: vỏ máy, nắp máy, trục, ổ trục, quạt gió hoặc hệ thống làm mát...

### 8.2. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA CÁC MÁY ĐIỆN QUAY

Nguyên lý làm việc của tất cả các máy điện quay đều dựa vào hai định luật điện từ cơ bản. Định luật thứ nhất là *định luật sức điện động*  $e$  cảm ứng được trong một thanh dẫn có chiều dài  $l$  chuyển động với tốc độ  $v$  trong một từ trường đứng yên có từ cảm  $B$ . Chiều và giá trị của sức điện động đó được xác định từ tích vectơ  $\vec{e} = \vec{v} \wedge \vec{B}$ . Đó là định luật cơ sở của máy phát điện biến đổi cơ năng thành điện năng. Định luật thứ hai là *định luật về lực điện từ*  $f$  tác dụng lên thanh dẫn có chiều dài  $l$  khi nó có dòng điện  $i$  và nằm trong từ trường có từ cảm  $B$ . Chiều và độ lớn của lực  $f$  được xác định theo tích vectơ  $\vec{f} = \vec{i} \wedge \vec{B}$ . Đó là định luật cơ bản của động cơ biến đổi điện năng thành cơ năng. Vì hai định luật điện từ cơ bản nói trên là thuận nghịch nên bất kỳ một máy điện quay nào cũng có thể làm việc thuận nghịch, nghĩa là có thể làm việc như máy

phát điện hoặc như động cơ điện.

Tùy theo cách tạo ra từ trường, kết cấu của mạch từ và dây quấn mà ta có bốn loại máy điện quay cơ bản sau:

- máy điện không đồng bộ;
- máy điện đồng bộ;
- máy điện một chiều;
- máy điện xoay chiều có vành góp.

Sau đây ta hãy xét nguyên lý làm việc cơ bản của từng loại máy.

### 8.2.1. 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  $n_1 = 60f_1/p$ , 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.đ 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:

$$s\% = \frac{n_1 - n}{n_1} 100 . \quad (8-1)$$

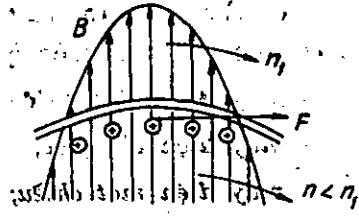
Như vậy khi  $n = n_1$  thì  $s = 0$ ; khi  $n > n_1$ ,  $s < 0$  và khi rôto quay ngược chiều từ trường quay  $n < 0$  thì  $s > 1$ .

**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  $\Phi$  và của rôto  $n$  như trong hình 8-1. Do  $n < n_1$ , nên từ trường đó vẫn quét qua thanh dẫn theo chiều quay của từ trường và chiều s.d.đ 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.đ 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.



2. Trường hợp rôto quay thuận và nhanh hơn tốc độ đồng bộ ( $n > n_1$ ) (hệ số trượt  $s < 0$ )

Dùng một động cơ 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  $n$ , nghĩa là ngược với chiều của rôto, nên đó là mômen hãm (hình 8-2). 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 ( $n < 0$ ) (hệ số trượt  $s > 1$ )

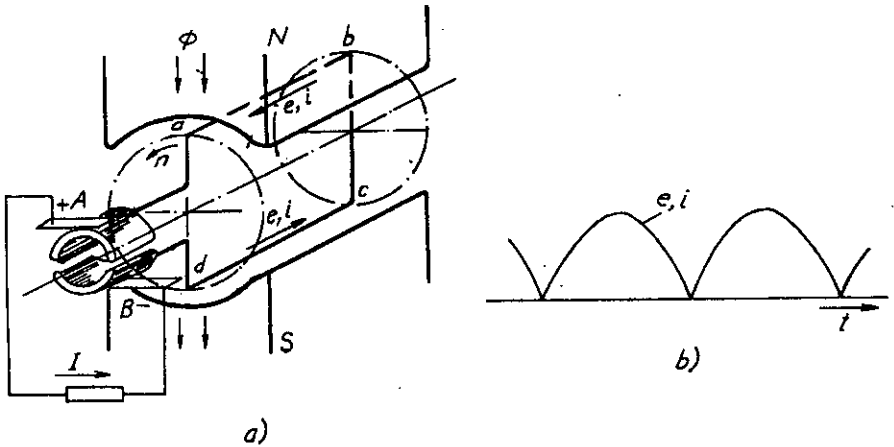
Vì một nguyên nhân nào đó rôto quay ngược chiều với chiều từ trường quay (hình 8-3) thì lúc đó chiều của s.d.d. dòng điện và mômen vẫn giống như lúc ở chế độ đồng bộ. Vì mômen sinh ra ngược với chiều quay của rôto nên có tác dụng hãm rôto đứng lại. Trong trường hợp này, máy vẫn lấy điện năng từ lưới điện vào và biến thành điện năng từ phía rôto trở lại lưới điện.



Tóm lại, cơ thể biểu thị các chế độ làm việc theo phạm vi hệ số trượt



hoặc sau nửa vòng quay với thanh dẫn  $dc$  có chiều s.d.đ từ  $c$  đến  $d$ , nên sẽ là chổi dương. Chổi  $B$  luôn tiếp xúc với thanh dẫn nằm dưới cực  $S$  hoặc thanh dẫn  $dc$  với s.d.đ có chiều từ  $d$  đến  $c$  hoặc thanh dẫn  $ab$  với s.d.đ có chiều từ  $a$  đến  $b$  do đó mang dấu chổi âm. Như vậy s.d.đ xoay chiều trong vòng dây đã được chỉnh lưu ở mạch ngoài thành s.d.đ và dòng điện một chiều nhờ hệ thống vành góp và chổi điện. Để s.d.đ một chiều giữa các chổi điện có trị số lớn và ít đập mạch, dây quấn rôto thường có nhiều vòng dây nối với nhiều phiến góp làm thành dây quấn phân ứng và cổ góp điện (còn gọi là vành góp hoặc vành đổi chiều).



Hình 8-5. Nguyên lý làm việc của máy điện một chiều

### 8.2.4. Máy điện xoay chiều có vành góp

Là máy điện xoay chiều có tốc độ quay của rôto  $n$  khác với tốc độ của từ trường quay  $n_1$  vì vậy thuộc loại máy 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 ba pha được dùng chủ yếu làm động cơ điện thay cho động cơ không đồng bộ ở những trường hợp cần điều chỉnh tốc độ liên tục trong phạm vi rộng với  $\cos\varphi$  cao. Do cấu tạo phức tạp, giá thành cao, hơn nữa ngày nay có thể dùng điện tử công suất để điều chỉnh dễ dàng tốc độ của động cơ không đồng bộ nên hiện động cơ xoay chiều có vành góp ba pha ít được sử dụng.

Như đã thấy ở trên, nguyên lý làm việc cơ bản của các máy điện quay đều dựa vào nguyên lý về cảm ứng điện từ nên trước khi xét riêng từng loại máy cần nghiên cứu những vấn đề chung như: *dây quấn, sức điện*

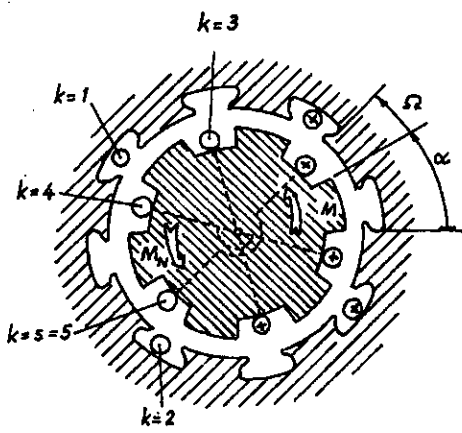
động, sức từ động, điện kháng của dây quấn, cách tính mạch từ và các vấn đề tổn hao phát nóng và làm lạnh của các máy điện quay và sẽ được trình bày ở các chương tiếp theo.

### B.3. 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 Kirhốp cho các mạch vòng dây quấn và phương trình chuyển động của rô-tô.

Giả thiết máy có  $s = 5$  mạch vòng, trong đó trên stato có hai mạch vòng (1 và 2), rô-tô có ba mạch vòng (3, 4, 5) 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

$$\Psi_k = \sum_{n=1}^s \Psi_{kn} = \sum_{n=1}^s i_n L_{kn} \quad (8-2)$$

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 rô-tô  $L_{kn} = f(\alpha)$ . Hệ phương trình Kirhốp cho các điện áp dây quấn gồm  $s$  phương trình thành lập cho từng mạch vòng.

Phương trình cho mạch vòng thứ  $k$  bằng:

$$u_k = R_k i_k + \frac{d\Psi_k}{dt} = R_k i_k + \sum_{n=1}^s \left( L_{kn} \frac{di_n}{dt} + i_n \omega \frac{dL_{kn}}{d\alpha} \right), \quad (8-3)$$

trong đó:

$L_{kn} \frac{di_n}{dt}$  là các sức điện động biến áp liên quan đến sự biến đổi của

dòng điện trong mạch vòng thứ  $n$ ;

$i_n \omega \frac{dL_{kn}}{d\alpha} = - i_n \omega \frac{dL_{kn}}{d\alpha}$  là các sức điện động quay liên quan đến sự biến

đối 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

$$\text{tốc độ góc } \omega = \frac{d\alpha}{dt}$$

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,  $u_k = 0$ .

Trên cơ sở của hệ phương trình điện áp (8-3), với  $k = 1 \div s$  sẽ tiến hành xây dựng lý thuyết máy điện tổng quát trình bày ở Phần 7.

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:

$$P_k = u_k i_k + R_k i_k^2 + i_k \sum_{n=1}^s L_{kn} \frac{di_n}{dt} + i_k \omega \sum_{n=1}^s i_n \frac{dL_{kn}}{d\alpha} \quad (8-4)$$

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:

$$\sum_{k=1}^s P_k = \sum_{k=1}^s R_k i_k^2 + \sum_{k=1}^s i_k \sum_{n=1}^s L_{kn} \frac{di_n}{dt} + \omega \sum_{k=1}^s i_k \sum_{n=1}^s i_n \frac{dL_{kn}}{d\alpha} \quad (8-5)$$

Ta thấy một phần của công suất  $\sum_{k=1}^s P_k$  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 hồ 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:

$$dW = \frac{\partial W}{\partial i_k} di_k + \frac{\partial W}{\partial i_n} di_n + \frac{\partial W}{\partial L_{kn}} dL_{kn} =$$

$$= \sum_{k=1}^s i_k \sum_{n=1}^s L_{kn} di_n + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^s i_{kn} \sum_{n=1}^s i_n L_{kn}.$$

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:

$$P_{c\alpha} = \sum_{k=1}^s P_k - P_d - P_w = \frac{\omega}{2} \sum_{k=1}^s i_k \sum_{n=1}^s i_n \frac{dL_{kn}}{d\alpha}.$$

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:

$$M = \frac{P_{c\alpha}}{\omega} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^s i_k \sum_{n=1}^s \frac{dL_{kn}}{d\alpha} = \frac{dW}{d\alpha} \text{ với } i_k = \text{const.}$$

Quan hệ giữa mômen điện từ với mômen cản đầu trục có thể biểu thị bằng:

$$M = M_c + J \frac{d\omega}{dt},$$

trong đó:

$\omega$  là tốc độ góc của rôto;

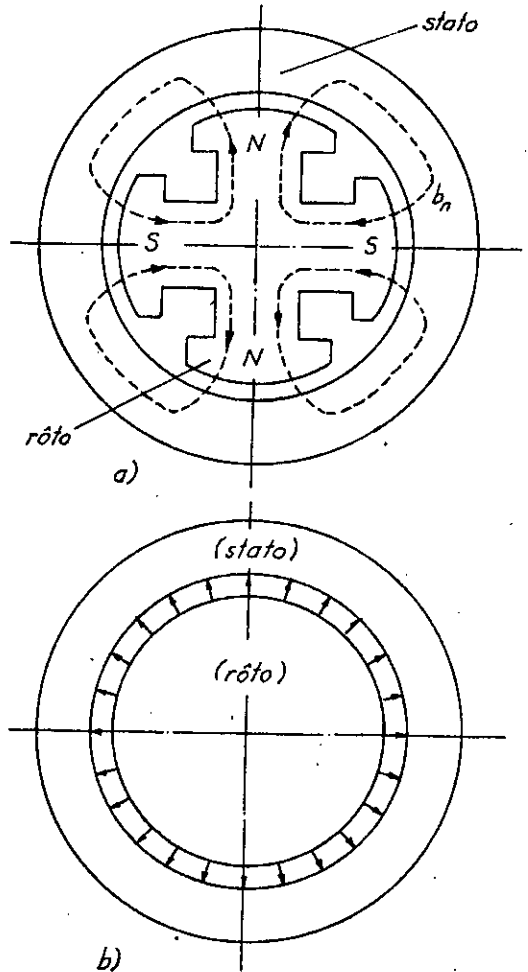
$J$  là hằng số mômen quán tính.



9.1. ĐẠI CƯƠNG

Dây quấn của các máy điện quay được bố trí ở hai bên khe hở trên lõi thép của phần tĩnh và phần quay và là bộ phận cấu tạo chính để thực hiện sự biến đổi năng lượng cơ điện. Một cách tổng quát có thể chia dây quấn các máy điện quay thành hai loại: *dây quấn phần cảm* (còn gọi là *dây quấn kích từ*) và *dây quấn phần ứng*.

Dây quấn phần cảm có nhiệm vụ sinh ra từ trường ở khe hở lúc không tải. Từ trường này trong phần lớn các máy điện quay thường có cực tính thay đổi (hình 9-1a) nghĩa là các cực N và S được đặt xen kẽ nhau dọc khe hở, kết quả là nếu ở cực S đường sức từ đi vào mặt rôto theo hướng kính thì ở cực N đi ra khỏi mặt rôto. Tuy nhiên từ trường khe hở cũng có thể có cực tính không đổi, nghĩa là quanh khe hở chiều đường sức từ theo hướng kính là không đổi, thí dụ từ rôto sang stato như ở hình 9-1b.



Hình 9-1 a) Máy có cực tính tính thay đổi;  
b) Máy có cực tính không đổi.

Dây quấn phần ứng có nhiệm vụ cảm ứng được một sức điện động nhất định khi có chuyển động tương đối với từ trường khe hở. Rõ ràng là nếu từ trường khe hở có cực tính thay đổi thì s.d.d. cảm ứng là s.d.d. xoay chiều còn nếu từ trường khe hở có cực tính không đổi thì s.d.d. cảm ứng là s.d.d. một chiều.

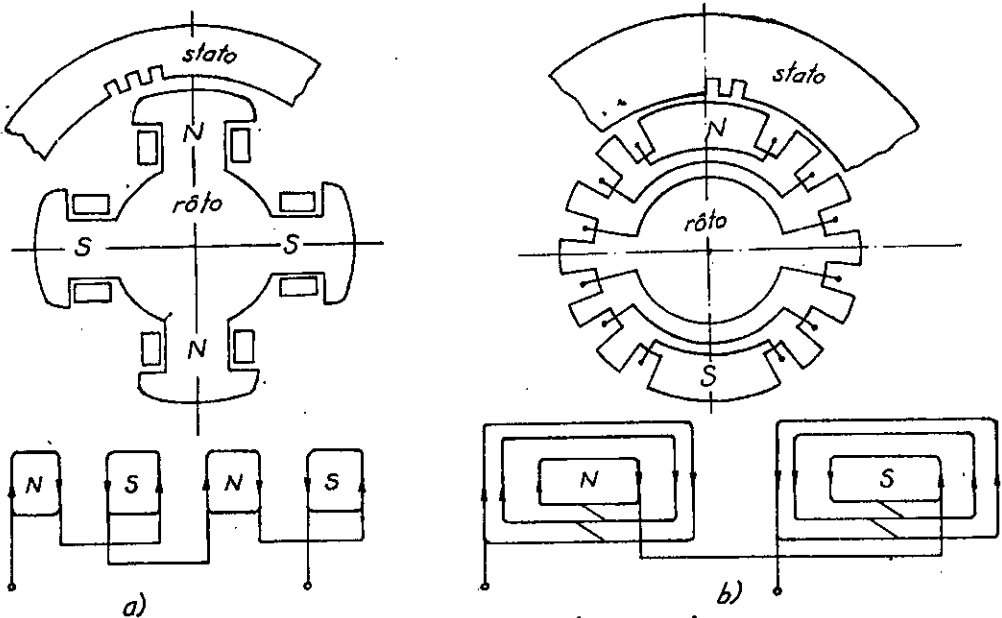
Nói chung dây quấn máy điện quay phải đảm bảo được những yêu cầu sau:

1. Tạo ra ở khe hở một từ trường phân bố hình sin (đối với dây quấn phân cảm) hoặc đảm bảo có được một s.d.d. và một dòng điện tương ứng với công suất điện từ của máy (đối với dây quấn phần ứng).
2. Bền về các mặt điện, cơ, nhiệt.
3. Tiết kiệm được kim loại màu.
4. Chế tạo, lắp ráp, sửa chữa được dễ dàng.

## 9.2. DÂY QUẤN PHẦN CẢM CỦA MÁY ĐIỆN QUAY

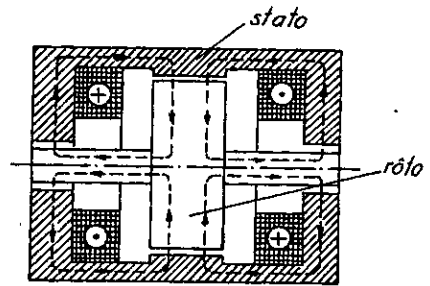
### 9.2.1. Máy có cực tính thay đổi

Để hình thành từ trường khe hở có cực tính  $N$  và  $S$  xen kẽ, dây quấn phần cảm được quấn tập trung thành các cuộn dây đặt vào thân cực từ



Hình 9-2. Máy có cực tính thay đổi  
Dây quấn phần cảm: a) quấn tập trung; b) quấn rải

của stato hoặc rôto khi máy có cực lồi (hình 9-2a) hoặc được quấn rải thành nhiều bối dây đặt trong các rãnh khi máy có cực ẩn (hình 9-2b). Trong cả hai trường hợp, nguyên tắc đấu dây giữa các bối dây của các cực khác nhau thành mạch nối tiếp (hoặc song song) phải đảm bảo chiều dòng điện kích thích từ trong bối dây của cực  $N$  và cực  $S$  là ngược nhau.



Hình 9-3. Máy có cực tính không đối

### 9.2.2. Máy có cực tính không đối

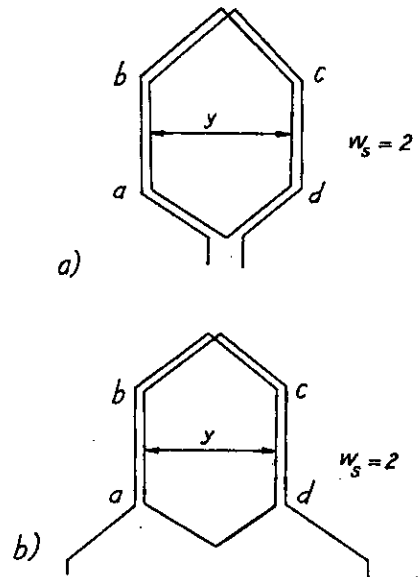
Để từ trường khe hở có cực tính không đối, dây quấn phần cảm được quấn thành một hoặc hai cuộn dây có trục trùng với trục máy. Ở trường hợp máy có hai cuộn dây với chiều dòng kích từ như trên hình 9-3, dọc khe hở các đường sức từ đều đi từ stato vào mặt rôto.

## 9.3. DÂY QUẤN PHẦN ỨNG CỦA MÁY ĐIỆN QUAY

Tùy theo cực tính quanh khe hở là xen kẽ hoặc không đối mà dây quấn phần ứng sẽ có cấu tạo khác nhau.

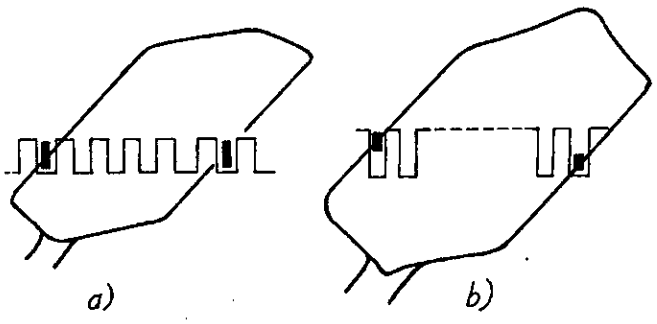
### 9.3.1. Máy có cực tính xen kẽ

Ở trường hợp các cực  $N$  và  $S$  xen kẽ nhau quanh khe hở, cũng là trường hợp thường gặp nhất, dây quấn phần ứng được hình thành do tổ hợp các bối dây với nhau. Mỗi bối dây của dây quấn xếp (hình 9-4a) hoặc của dây quấn sóng (hình 9-4b) gồm có  $w_s$  vòng dây. Các phần  $ab$ ,  $cd$  được đặt trong các rãnh của lõi thép và quét từ trường của các cực từ ở khe hở gọi là các cạnh tác dụng. Khoảng cách  $y$  giữa hai cạnh tác dụng của bối dây, tính bằng số rãnh, gọi là bước dây quấn. Nếu  $y = \tau$ ,  $\tau$  là bước cực tính



Hình 9-4. Bối dây a) của dây quấn xếp, b) của dây quấn sóng

bằng số rãnh dưới một cực thì dây quấn có bước đủ. Nếu  $y < \tau$  thì dây quấn có bước ngắn với hệ số bước ngắn  $\beta = y/\tau$ . Các phần  $bc$  và  $ad$  nằm bên ngoài rãnh gọi là phần đầu nối. Các bố dây có thể đặt trong rãnh thành một lớp, khi ấy trong mỗi rãnh chỉ có một cạnh tác dụng của bố dây (hình 9-5a) hoặc thành hai lớp, khi ấy một cạnh của bố dây nằm ở lớp trên của rãnh còn cạnh kia của bố dây nằm ở lớp dưới của một rãnh khác và như vậy trong mỗi rãnh sẽ có hai cạnh tác dụng của hai bố dây khác nhau (hình 9-5b).



Hình 9-5. Dây quấn một lớp (a), hai lớp (b)

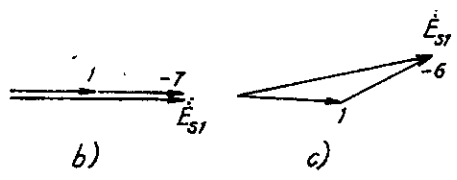
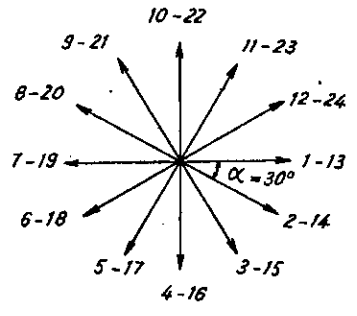
**9.3.1.1. Nguyên tắc thực hiện dây quấn phần ứng**

Việc nối các bố dây với nhau thành dây quấn phần ứng dựa trên yêu cầu hình thành sức điện động của dây quấn là xoay chiều  $m$  pha ( $m = 3, 2, 1$ ) hoặc một chiều.

Để hiểu rõ cách tổ hợp các bố dây, trước hết cần xét sự hình thành s.d.d của các bố dây đặt liên tiếp trong các rãnh máy điện. Vì quanh khe hở, có  $Z$  rãnh đặt dưới  $p$  đôi cực có từ trường phân bố hình sin ứng với  $p.360^\circ$  nên góc điện giữa hai rãnh cạnh nhau, hay góc lệch pha giữa các s.d.d của hai thanh dẫn đặt trong các rãnh đó là:

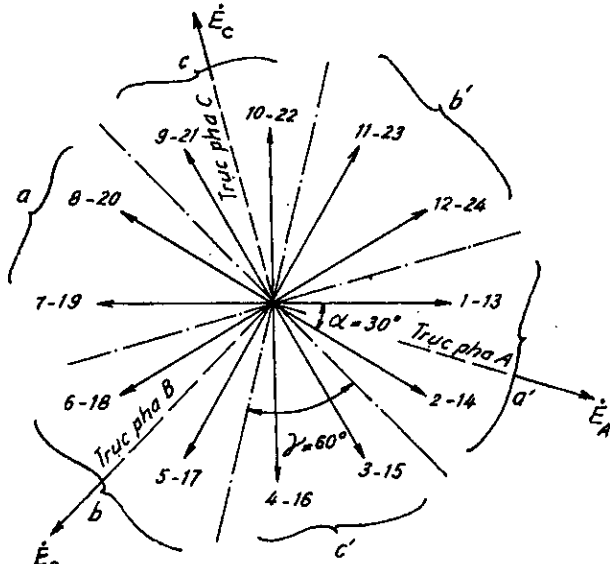
$$\alpha = \frac{p.360^\circ}{Z} \quad (9-1)$$

Khi biểu thị s.d.d của một cạnh tác dụng bằng một vectơ thì s.d.d các cạnh tác dụng đặt trong  $Z$  rãnh sẽ hình thành  $p$  hình sao



Hình 9-6. a) Hình sao s.d.d cạnh tác dụng; b) S.d.d bố dây bước đủ, c) S.d.d bố dây bước ngắn  $\beta = 5/6$ .

s.d.d cạnh tác dụng trùng nhau, mỗi hình sao ứng với một đôi cực và có  $Z/p$  vectơ lệch nhau góc  $\alpha$ . Hình 9-6a cho thấy, khi  $Z = 24$  rãnh và  $p = 2$  đôi cực có hai hình sao s.d.d cạnh tác dụng trùng nhau, mỗi hình sao có  $Z/p = 12$  vectơ lệch pha nhau góc  $\alpha = 30^\circ$ . Sức điện động bởi dây là tổng s.d.d của hai cạnh tác dụng. Ở trường hợp bởi dây bước đủ, hai cạnh tác dụng cách nhau một bước cực  $y = \tau$ , s.d.d hai cạnh tác dụng lệch pha góc  $180^\circ$ , thí dụ vectơ 1 và vectơ 7. Vì cuối của hai cạnh tác dụng nối với nhau nên s.d.d bởi dây là tổng của hai vectơ 1 và 7 như ở hình 9-6b.



Hình 9-7. Hình sao s.d.d bởi dây và các vùng pha  $\gamma = 60^\circ$  của dây quấn hai lớp bước đủ với  $m = 3$ ,  $Z = 24$ ,  $p = 2$

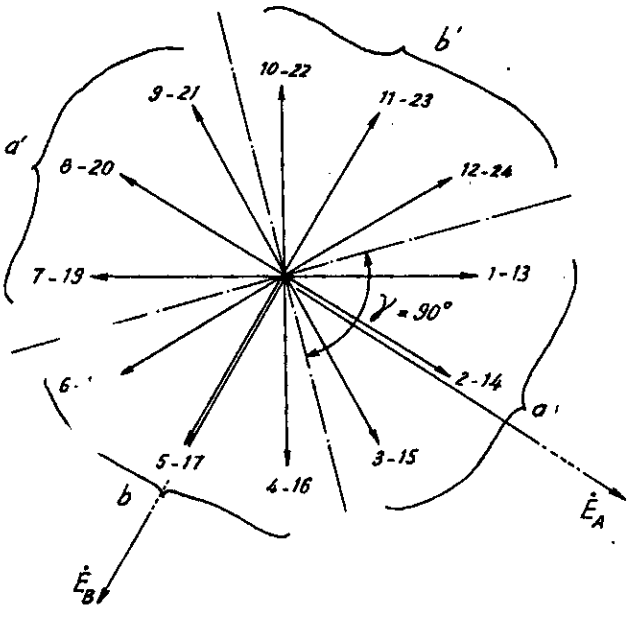
Hình 9-6c trình bày vectơ s.d.d bởi dây bước ngắn với tỷ số bước ngắn  $\beta = y/\tau = 5/6$ , trong đó s.d.d hai cạnh tác dụng 1 và 6 của nó lệch pha một góc  $\beta \cdot 180^\circ = 150^\circ$ . Với dây quấn hai lớp, s.d.d của các bởi dây đặt kế tiếp nhau trong  $Z = 24$  rãnh dưới  $p = 2$  đôi cực cũng tạo thành  $p = 2$  hình sao s.d.d bởi dây, mỗi hình sao có  $Z/p = 12$  vectơ, góc lệch pha giữa các vectơ cũng là  $\alpha = 30^\circ$  (hình 9-7). Chú ý rằng một nửa hình sao s.d.d bởi dây thuộc về cực N còn nửa kia thuộc về cực S.

Đối với dây quấn phần ứng máy điện xoay chiều để có dây quấn nhiều pha, tùy theo số pha  $m$ , thường chia mỗi cực hoặc một nửa hình sao s.d.d thành  $m$  vùng pha hay cả hình sao s.d.d bởi dây thành  $2m$  vùng pha, góc của mỗi vùng pha  $\gamma = \frac{360^\circ}{2m}$  (\*). Mỗi pha chiếm hai vùng pha đối xứng qua tâm, một vùng pha dưới cực N và một vùng dưới cực S. Ở dây quấn hai

\* Cũng có thể chia hình sao s.d.d bởi dây thành  $m$  vùng pha và góc mỗi vùng pha  $\gamma = \frac{360^\circ}{m}$ . Tuy nhiên với cùng một số bởi dây s.d.d với vùng pha  $\gamma = \frac{360^\circ}{2m}$  sẽ lớn hơn s.d.d với vùng pha  $\gamma = \frac{360^\circ}{m}$ . Công thức (10 - 7)

lớp, mỗi vùng pha có số rãnh hoặc số bội dây của một pha dưới một cực là  $q = \frac{Z}{2mp}$ . Các vùng pha của các pha lệch nhau góc  $360^\circ/m$ . Vectơ s.d.đ pha là tổng các vectơ s.d.đ bội dây thuộc hai vùng pha đối xứng qua tâm. Vì hai vùng pha đó thuộc hai cực N và S nên khi cộng phải đối chiều các vectơ s.d.đ bội dây của

một trong hai vùng pha nói trên; điều đó được thực hiện bằng cách nối đầu cuối của nhóm q bội dây dưới cực N với đầu cuối nhóm q bội dây dưới cực S. Do vùng pha của các pha lệch nhau  $360^\circ/m$  nên các vectơ s.d.đ pha sẽ làm thành một hệ vectơ m pha đối xứng lệch nhau  $360^\circ/m$ . Khi số pha  $m = 3$ , mỗi hình sao s.d.đ bội dây được chia thành  $2m = 6$ . Vùng pha với  $\gamma = 60^\circ$ , mỗi vùng pha có  $q = 2$  vectơ s.d.đ bội dây như trình bày trên hình 9-7.



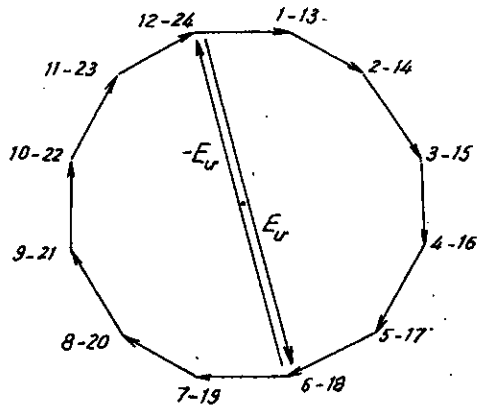
Hình 9-8. Hình sao s.d.đ bội dây và các vùng  $\gamma = 90^\circ$  của dây quấn 2 lớp với  $m = 2, Z = 24, p = 2$

Các pha A, B, C mỗi pha có 8 bội dây thuộc các vùng pha a, a' - b, b' - c, c'. Tổng các s.d.đ bội dây của các pha sẽ cho hệ s.d.đ pha  $\vec{E}_A, \vec{E}_B, \vec{E}_C$  đối xứng lệch nhau  $120^\circ$ .

Khi số pha  $m = 2$ , mỗi hình sao s.d.đ bội dây được chia thành  $2m = 4$ . Vùng pha với  $\gamma = 90^\circ$ , mỗi vùng pha có  $q = 3$  vectơ s.d.đ bội dây dưới một cực (hình 9-8). Pha A và pha B mỗi pha có 12 bội dây thuộc các vùng pha a, a' và b, b'. Tổng các s.d.đ bội dây của từng pha sẽ cho hai s.d.đ pha  $\vec{E}_A, \vec{E}_B$  lệch nhau  $90^\circ$ .

Dây quấn phần ứng máy điện một chiều thực chất là dây quấn phần ứng máy điện xoay chiều một pha,  $m = 1$ , kết hợp vành đổi chiều (còn gọi là vành góp) để chỉnh lưu s.d.đ xoay chiều thành s.d.đ một chiều. Ở dây quấn máy điện một chiều các bội dây được nối nối tiếp nhau thành

một mạch kín (hai đầu của mỗi bó dây được nối với hai phiên góp của vành đổi chiều (hình 8-5). Như vậy các vectơ s.d.d bó dây nối tiếp nhau sẽ hình thành  $a = 2$  đa giác s.d.d (hình 9-9). Hai vectơ tổng các s.d.d bó dây  $E_U$  dưới cực  $N$  sẽ ngược với hai vectơ tổng các s.d.d bó dây  $E_U$  dưới cực  $S$ . Vành đổi chiều sẽ có tác dụng chỉnh lưu các s.d.d  $-E_U$  thành  $+E_U$  và như vậy giữa các chổi điện sẽ hình thành bốn nhánh có s.d.d  $E_U$  ghép song song với nhau.



Hình 9-9. Đa giác s.d.d dây quấn phần ứng máy một chiều và s.d.d  $E_U$  ở đầu chổi điện.

### 9.3.1.2. Các loại dây quấn phần ứng máy điện xoay chiều

Dây quấn phần ứng máy điện xoay chiều một lớp hoặc hai lớp 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  $m = \frac{Z_2}{p}$ , trong đó  $Z_2$  là số rãnh rôto,  $p$  là số đôi cực của máy. 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.

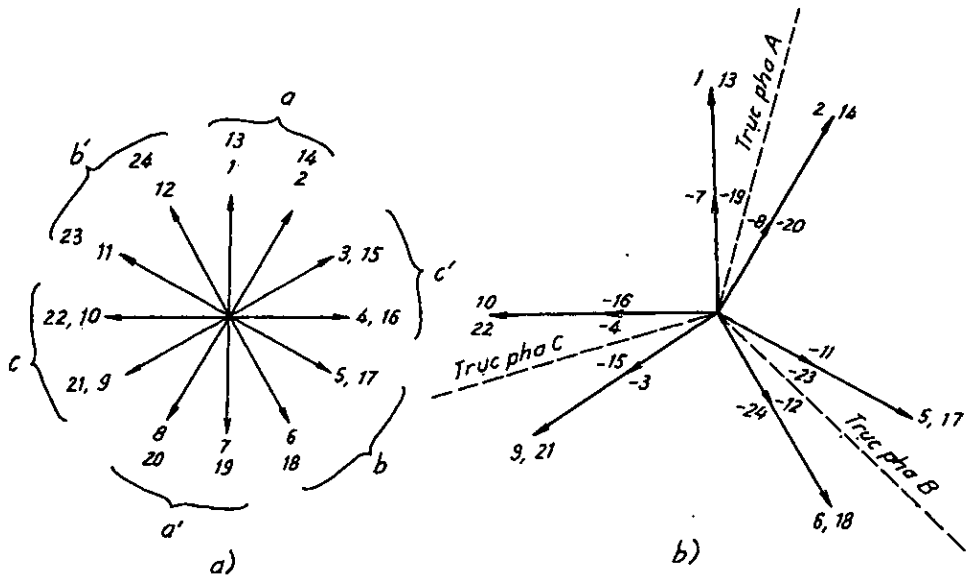
Trong thực tế có rất nhiều kiểu dây quấn máy điện xoay chiều, ở đây ta chỉ đề cập đến một số kiểu dây quấn và đối với mỗi loại chủ yếu chỉ nêu lên phương pháp phân tích và sơ đồ nối dây.

#### a) Dây quấn có $q$ là số nguyên

##### 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. Vì trong mỗi rãnh chỉ đặt một cạnh của một bó dây, và mỗi bó dây có hai cạnh tác dụng nên đối với dây quấn một lớp số bó dây  $S = \frac{Z}{2}$ . Với thí dụ  $Z = 24$  rãnh,  $p = 2$  đôi cực ta hãy thiết lập sơ đồ nối dây của dây quấn một lớp có

số pha  $m = 3$ . Trước hết ta thiết lập hình sao s.d.d cạnh tác dụng của dây quấn (hình 9-6a). Chia hình sao s.d.d đó thành  $2m = 6$  vùng pha, góc mỗi vùng pha  $\gamma = 60^\circ$ , các pha A, B, C lần lượt gồm các vùng pha  $a-a'$ ,  $b-b'$ ,  $c-c'$ , và mỗi vùng pha có  $q = \frac{Z}{2m.p} = 2$  rãnh (hoặc cạnh tác dụng như ở hình 9-10a). Do hai cạnh của một bối dây cách nhau  $y = \tau = 3q = 6$  rãnh nên pha A gồm hai bối dây (1-7), (2-8) dưới đôi cực thứ nhất và hai bối dây (13-19), (14-20) dưới đôi cực thứ hai. Tương tự pha B gồm các bối dây (5-11), (6-12), (17-23), (18-24) và pha C gồm các bối dây (9-15), (10-16), (21-3), (22-4). Như vậy mỗi pha có bốn bối dây, số bối dây của dây quấn  $S = \frac{Z}{2} = \frac{24}{2} = 12$ . Cộng các vectơ s.d.d bối dây của từng pha ta sẽ được các s.d.d  $\vec{E}_A, \vec{E}_B, \vec{E}_C$  như ở hình 9-10b.



Hình 9-10.

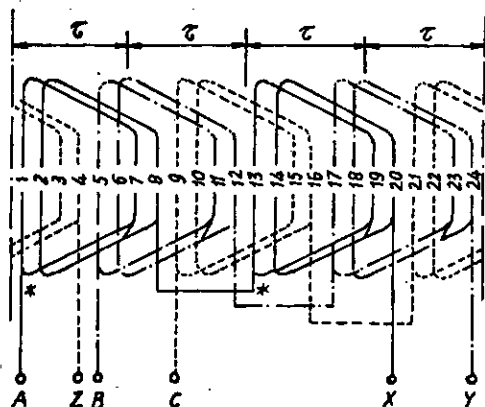
Hình sao s.d.d. rãnh (a) và hình sao s.d.d. phần tử (b) của dây quấn có  $Z = 24$ ;  $m = 3$ ;  $2p = 4$ ;  $q = 2$

Dem nối nối tiếp các phần tử thuộc cùng một pha với nhau ta được dây quấn ba pha. Hình 9-11 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

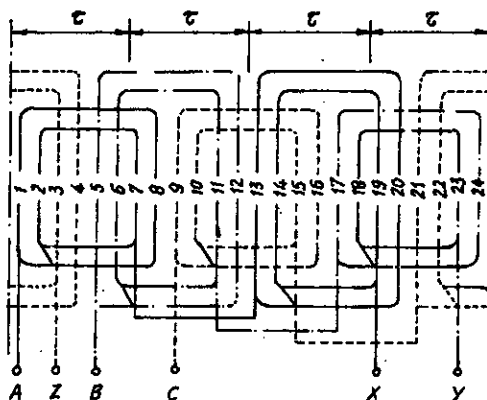


mạch nhánh ghép song song - nếu nối đầu của hai nhóm phần tử với nhau và cuối của chúng với nhau. Đầu của nhóm phần tử thí dụ của pha A có ghi ký hiệu (\*) như trên hình 9-11. Cách nối dây trên hình 9-11 ứng với trường hợp mỗi pha có một mạch nhánh. Khi nối thành hai mạch nhánh, s.d.d. của mỗi pha sẽ giảm đi một nửa nhưng dòng điện của 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 đúng  $p$ .

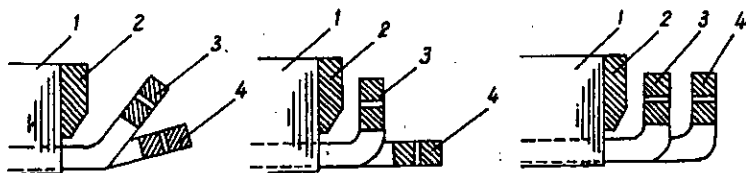
Từ hình 9-10b ta nhận thấy rằng, trị số s.d.d. của mỗi pha không phụ thuộc vào thứ tự nối các rãnh tác dụng. Lấy thí dụ đối với pha A có thể nối các cạnh tác dụng theo thứ tự 1-8 - 2-7 ở dưới đôi cực thứ nhất và 13-20 - 14-19 dưới đôi cực thứ hai và được hai nhóm có hai phần tử kích thước



Hình 9-11. Dây quấn ba pha đồng khuôn đơn giản với  $Z = 24$ ;  $2p = 4$ ;  $q = 2$ .



Hình 9-12. Dây quấn ba pha đồng tâm hai mặt với  $Z = 24$ ;  $2p = 4$ ;  $q = 2$ .

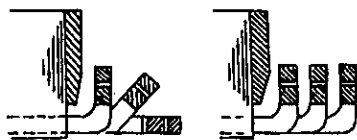


Hình 9-13.

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 bố dây ngắn; 4. nhóm bố dây dài.

không giống nhau (hình 9-12). 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 9-13. Ở đây phần đầu nối được bố trí trên hai mặt. Cũng có thể bố trí phần đầu nối của ba pha trên ba mặt



Hình 9-14. Bố trí phần đầu nối trên ba mặt khác nhau.

khác nhau như trình bày trên hình 9-14. 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.

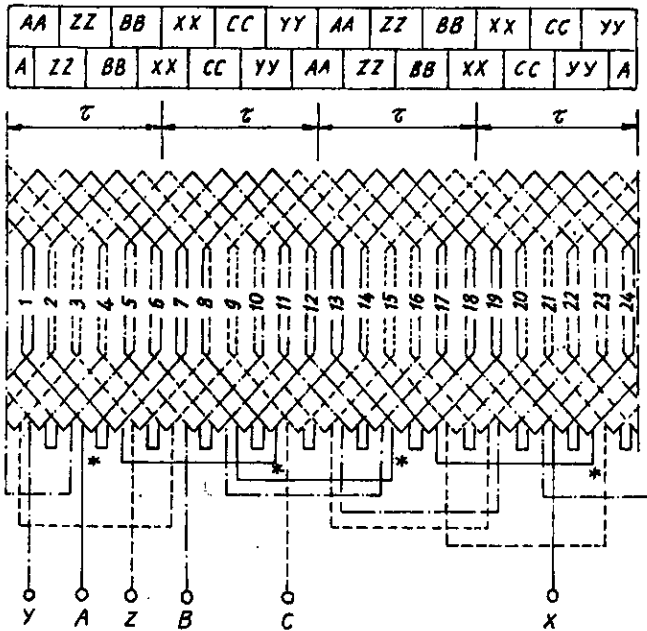
## 2. Dây quấn hai lớp

Dây quấn hai lớp là loại dây quấn mà trong mỗi rãnh có đặt hai cạnh tác dụng, như vậy số bội dây bằng số rãnh  $S = Z$ . Khi quấn dây, cạnh thứ nhất của mỗi bội dây được đặt ở lớp trên của một rãnh, còn cạnh thứ hai được đặt ở lớp dưới của một rãnh khác với khoảng cách  $y$  giữa hai cạnh bội dây hay bước dây quấn bằng hoặc gần bằng bước cực  $\tau$ . Thường thì dây quấn hai lớp có bước ngắn ( $y < \tau$ ) để làm yếu s.d.đ bậc cao, do đó cải thiện được dạng sóng s.d.đ, đó là ưu điểm của nó so với dây quấn một lớp. Tuy nhiên nó cũng có nhược điểm là khiến việc lồng dây quấn vào rãnh cũng như việc sửa chữa dây quấn gặp khó khăn hơn. Dây quấn hai lớp của máy điện xoay chiều có thể chế tạo thành kiểu dây 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.

Ta sẽ thực hiện sơ đồ dây quấn ba pha hai lớp với  $Z = 24$ ;  $p = 2$ . Ở đây số bội dây  $S = Z = 24$ . Hình sao s.d.đ bố trí dây của dây quấn này với 6 vùng pha  $\gamma = 60^\circ$  đã được trình bày trên hình 9-7. Mỗi pha dưới mỗi cực có một vùng pha với hai vectơ s.d.đ. bố trí dây. Thí dụ pha A có hai nhóm hai vectơ 1-12 và 13-14 thuộc vùng pha  $a$  dưới hai cực N và hai nhóm hai vectơ 7-8 và 19-20 thuộc vùng pha  $a$  dưới hai cực S. Dựa vào hình sao s.d.đ. đó có thể quấn dây theo dây quấn xếp hoặc theo dây quấn sóng.

Hình 9-15 trình bày sơ đồ khai triển của dây quấn xếp, dưới mỗi cực mỗi pha có hai bội dây nối tiếp nhau thành một nhóm. Vì các nhóm bội dây được đặt liên tiếp dưới các cực N và S nên s.d.đ cảm ứng của

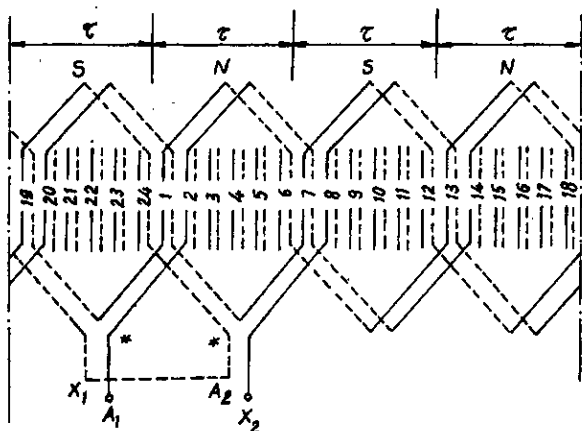
chúng có chiều ngược nhau, đầu của các nhóm bố dây, thí dụ của pha A có ghi ký hiệu "\*\*\*"). Để các s.d.d. đó cùng chiều và cộng lại với nhau phải nối cuối của nhóm bố dây trước với đầu của nhóm bố dây tiếp theo. Nếu muốn mỗi pha có nhiều mạch nhánh song song phải nối đầu của các nhóm bố dây của pha đó với nhau và cuối của các nhóm bố dây đó với nhau. Nói chung số nhánh song song của một pha là  $k$  với điều kiện  $k$  chia đúng  $2p$ .



Hình 9-15. Dây quấn xếp ba pha hai lớp với  $Z = 24$ ;  $2p = 4$ ;  $q = 2$ ;  $y = 5$ ;  $\beta = 5/6$

Hình 9-16 trình bày sơ đồ quấn dây kiểu dây quấn sóng. Để đơn giản trên hình chỉ trình bày cách nối dây của một pha. Vì mỗi pha vẫn gồm những phần tử giống như của 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. Đối với dây quấn sóng ở mỗi pha hình thành hai nhóm bố dây: các bố dây dưới các cực  $N$  nối nối tiếp nhau thành nhóm thứ nhất và các bố dây dưới các cực  $S$  nối nối tiếp nhau thành nhóm thứ hai. Thí dụ 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 nhóm các bố dây 2, 14, 1, 13 nằm dưới các cực  $N$ . Cũng như vậy nếu bắt đầu từ  $X_2$  đến  $A_2$  thì sau khi đi quanh phần

ing 2 vòng ta có nhóm các bó dây 8, 20, 7, 19 nằm dưới các cực S. Sức điện động của hai nhóm bó dây nằm dưới các cực khác tên sẽ có chiều ngược nhau, đầu của hai nhóm bó dây đó có ghi ký hiệu "\*\*". Vì vậy nếu muốn nối pha có một nhánh thì phải nối  $X_1$  với  $A_2$  để s.d.d của hai nhóm cùng chiều nhau.



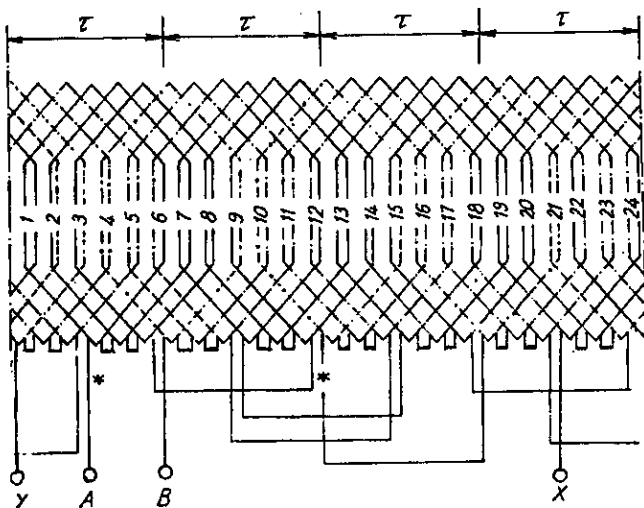
Hình 9-16. Dây quấn sóng ba pha hai lớp với  $Z = 24; 2p = 4; q = 2; y = 5; \beta = 5/6$

Ở trên đã trình bày dây quấn ba pha một lớp và hai lớp. Trong các máy điện nhỏ dùng trong tự động hoặc trong sinh hoạt còn thường gặp dây quấn hai pha hoặc một pha.

Dây quấn hai pha khác với dây quấn ba pha ở chỗ chỉ có hai dây quấn đặt lệch nhau góc điện bằng  $90^\circ$ . Hình 9-17 trình bày dây quấn xếp hai pha hai lớp cũng với  $Z = 24, p = 2$ . Hình sao s.d.d. bó dây của dây quấn này với 4 vùng pha  $\gamma = 90^\circ$ , mỗi vùng pha có  $q = 3$  vectơ s.d.d.

bó dây dưới một cực đã được thiết lập ở hình 9-8. Cách đấu các nhóm ba bó dây dưới các cực N và S của mỗi pha giống như ở trường hợp dây quấn ba pha 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 dưới một cực. Khi dây quấn một pha được quấn thành hai lớp bước ngắn thì



Hình 9-17. Dây quấn hai pha hai lớp với  $Z = 24, 2p = 4; q = 3; y = 5; \beta = 5/6$

sẽ có một số rãnh chỉ có một cạnh bởi dây và phải 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 9-15) thành dây quấn một pha có thể nối các đầu  $X$  và  $Z$  với nhau và như vậy đã 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

*$\beta$ ) 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.d. 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:  $q = \frac{N}{d} = b + \frac{c}{d}$ . 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.

Chú ý rằng số bởi dây của một pha dưới một cực  $q = \frac{N}{d}$  là một phân số và cũng là trị số trung bình của  $N$  bởi dây dưới  $d$  cực. Trên thực tế khi quấn dây, số bởi dây của một pha dưới một cực phải là số nguyên. Để thực hiện điều đó ta viết:

$$q = \frac{N}{d} = b + \frac{c}{d} = \frac{bd + c}{d} = \frac{(d - c)b + c(b + 1)}{d} \quad (9-2)$$

Từ biểu thức đó có thể bố trí  $N$  bởi dây của một pha dưới  $d$  cực thành  $(d - c)$  cực có  $b$  bởi dây và  $c$  cực có  $(b + 1)$  bởi dây.

Mỗi pha có số nhóm  $N$  bởi dây liên tiếp là  $\frac{S}{mN} = \frac{Z}{mN} = \frac{2m.p.q}{m.q.d} = \frac{2p}{d}$ , vậy số nhánh song song của một pha là  $k$  với điều kiện  $k$  chia đúng  $\frac{2p}{d}$ .

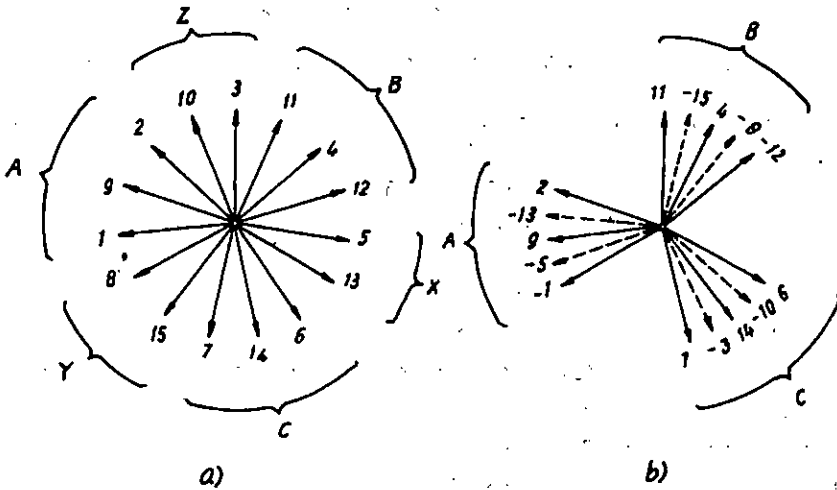
Ta hãy xét dây quấn hai lớp có các số liệu  $Z = S = 15$ ,  $2p = 4$ ,  $m = 3$ . Số rãnh của một pha dưới một cực:

$$q = \frac{Z}{2m.p} = \frac{15}{2 \times 3 \times 2} = \frac{5}{4} = 1 \frac{1}{4} = \frac{(4 - 1)1 + 1(1 + 1)}{4}$$

(với  $N = 5$ ,  $d = 4$ ,  $b = 1$ ,  $c = 1$ ).

Như vậy năm bối dây dưới bốn cực được bố trí thành:  $d - c = 4 - 1 = 3$  cực có  $b = 1$  bối dây và  $c = 1$  cực có  $(b + 1) = 1 + 1 = 2$  bối dây.

Để có thể hiểu và thiết lập sơ đồ nối dây ta bắt đầu nghiên cứu từ hình sao s.d.d. Với  $\alpha = p \frac{360^\circ}{Z} = \frac{2.360^\circ}{15} = 48^\circ$  ta có hình sao s.d.d ứng với 15 phần tử như trên hình 9-18a. Phân khu vực theo vùng pha  $\gamma = 60^\circ$  ta thấy mỗi pha có năm vectơ ứng với năm bối dây, thí dụ pha A có các vectơ 1, 2, 5, 9, 13.

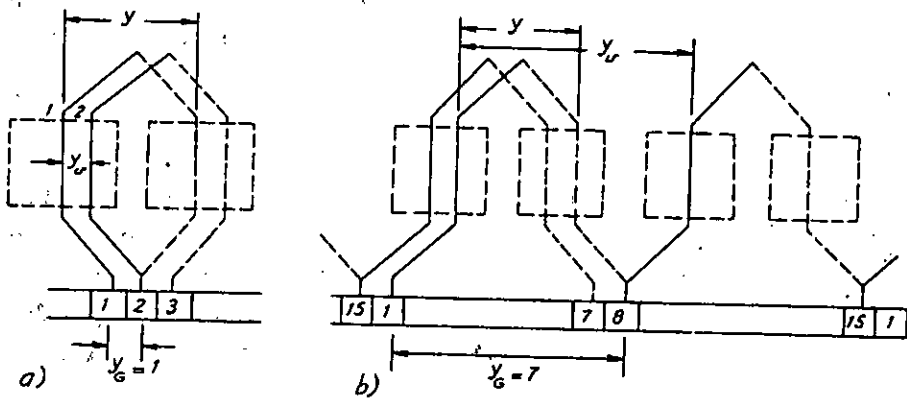


Hình 9-18. Hình sao s.d.d. phần tử (a) và các vectơ s.d.d. phần tử đẳng trị của các pha (b) của dây quấn ba pha hai lớp với  $Z = 15$ ;  $2p = 4$ ;  $q = \frac{1}{4}$

Sơ đồ khai triển (đối với một pha) của dây quấn  $q$  phần số đó được trình bày trên hình 9-19. Ở đây dây quấn được quấn với bước ngắn  $\beta =$

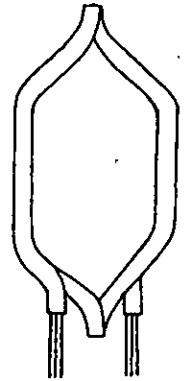
$$\frac{y}{\tau} = \frac{3}{15/4} = 0,8.$$

Từ hình sao s.d.d trên hình 9-18a ta có thể xem như 15 bối dây của dây quấn đều nằm dưới một đôi cực (vì một hình sao s.d.d ứng với một đôi cực). Như vậy số bối dây hoặc rãnh đẳng trị của một pha dưới một



Hình 9-22. Hai phần tử nối tiếp nhau của a) dây quấn xếp; b) dây quấn sóng

s.d.d. một chiều. Trên thực tế dây quấn này được hình thành do đầu nối tiếp các phần tử dây quấn xếp (hoặc sóng) trên hình 9-22, thành một hoặc hai, ba mạch kín, hai đầu của mỗi phần tử hàn vào hai phiến đối chiều của vành đối chiều. Để giảm bớt số rãnh so với số phần tử, có thể chế tạo bố dây gộp  $u = 1, 2, 3, \dots$ , phần tử lại với nhau (hình 9-23). Như vậy khi đặt bố dây vào rãnh thành dây quấn hai lớp trong rãnh sẽ có  $2u$  cạnh tác dụng. Chia rãnh thành  $u$  rãnh nguyên tố, mỗi rãnh nguyên tố có hai cạnh tác dụng, một cạnh nằm ở lớp trên, một cạnh nằm ở lớp dưới (hình 9-24) thì quan hệ giữa số rãnh  $Z$  của phần ứng với số rãnh nguyên tố  $Z_{nt}$  như sau:



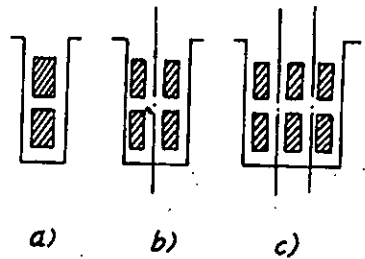
Hình 9-23. Bố dây ba phần tử.

$$Z_{nt} = u \cdot Z \quad (9-6)$$

Vì mỗi rãnh nguyên tố có đặt hai cạnh tác dụng, mỗi phần tử có hai cạnh tác dụng và mỗi phiến góp cũng hàn với hai cạnh tác dụng của hai phần tử nối tiếp nhau nên ta có quan hệ:

$$Z_{nt} = S = G, \quad (9-7)$$

trong đó  $G$  là số phiến góp.



Hình 9-24. Rãnh thực có  $u = 1, 2, 3$  rãnh nguyên tố

Bước dây quấn  $y$ , khoảng cách giữa hai cạnh của mỗi phần tử, của dây quấn phần ứng máy một chiều là khoảng cách của một bước cực như ở dây quấn máy điện xoay chiều nhưng được tính theo số rãnh nguyên tố trong khoảng một bước cực:

$$y = \frac{Z_{nt}}{2p} \pm \epsilon = \text{số nguyên.} \quad (9-8)$$

Khi  $\epsilon = 0$  ta có dây quấn bước đủ,  $y = \tau$ . Khi  $\epsilon \neq 0$ , với dấu (-) ta có dây quấn bước ngắn, với dấu (+) ta có dây quấn bước dài.

Để tiến hành nối tiếp các phần tử còn cần chú ý đến các bước cơ bản sau đây:

Bước trên phần ứng  $y_u$  là khoảng cách giữa hai cạnh tác dụng đầu (hoặc cuối) của hai phần tử liên tiếp tính bằng số rãnh nguyên tố

Bước trên vành góp  $y_G$  là khoảng cách giữa hai phiến góp nối với hai đầu dây của một phần tử, cũng là khoảng cách giữa hai đầu của hai phần tử liên tiếp tính bằng số phiến góp (hình 9-22).

Khi đặt hai phần tử liên tiếp cách nhau  $y_u$  rãnh nguyên tố trên phần ứng thì cũng phải xê dịch  $y_G$  phiến góp trên vành góp, nên phải có quan hệ:

$$y_u = y_G. \quad (9-9)$$

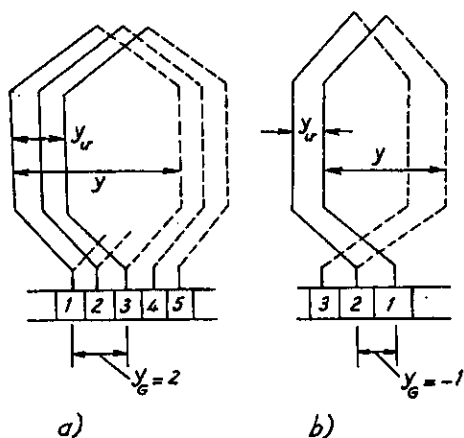
Sau đây sẽ xét các loại dây quấn phần ứng chính của máy điện một chiều.

### 1- Dây quấn xếp

Dây quấn xếp có bước trên vành góp:

$$y_G = \pm m, \quad (m = 1, 2, 3) \quad (9-10)$$

Khi  $m = 1$  ta có dây quấn xếp đơn, khi  $m \geq 2$  ta có dây quấn xếp phức tạp. Chỉ trong máy có công suất thật lớn mới dùng  $m > 2$ . Dấu (+) trong biểu thức ứng với cách quấn phải hoặc quấn tiến, dấu (-) ứng với cách quấn trái hoặc quấn lùi (hình 9-25).



Hình 9-25 a) Dây quấn xếp phức tạp quấn phải;  
b) Dây quấn xếp đơn quấn trái



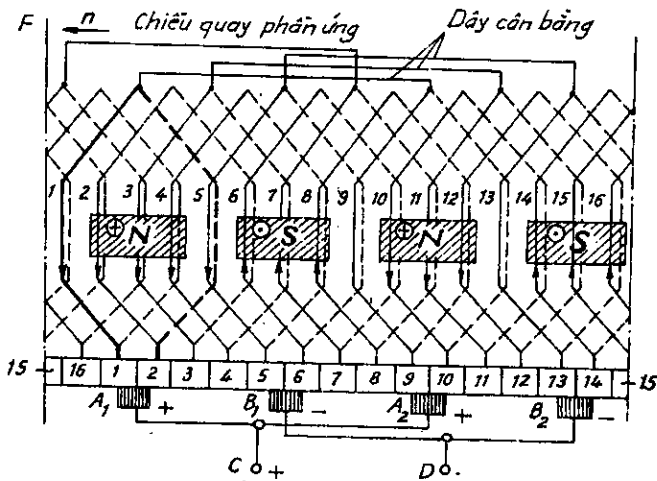
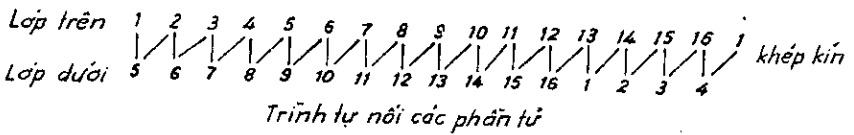
*α) Dây quấn xếp đơn*

Để phân tích cụ thể, và cũng để hình vẽ đơn giản hơn, thay cho số bố trí dây  $S = 24$  của dây quấn máy điện một chiều trên hình 9-9, ta hãy xét dây quấn xếp đơn có  $Z = Z_{nt} = S = G = 16$ ,  $2p = 4$ ,  $y_G = +1$ .

Các bước dây quấn:

$$y = \frac{Z_{nt}}{2p} \pm \epsilon = \frac{16}{4} = 4, \text{ dây quấn bước đủ.}$$

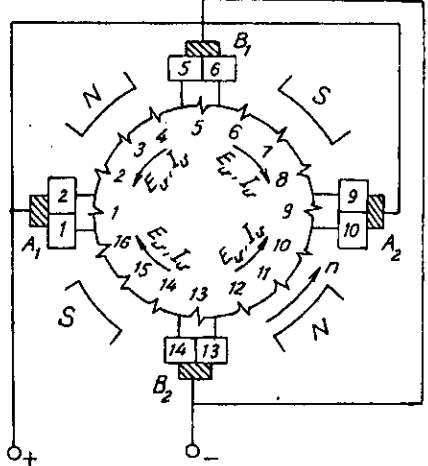
$y_G = y_u = +1$ , dây quấn xếp đơn quấn phải.



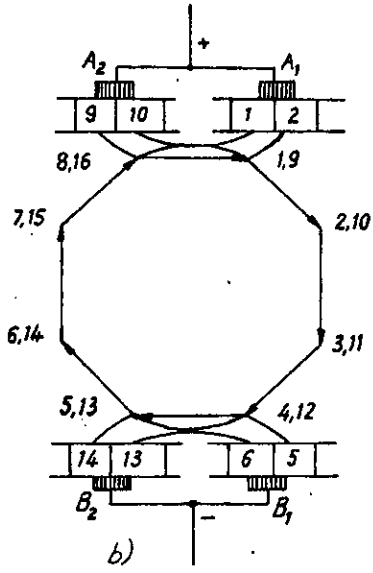
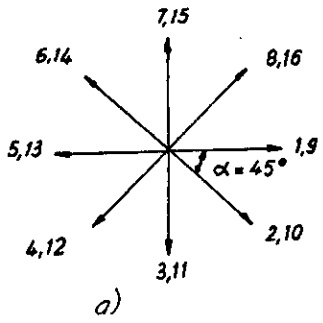
Hình 9-26. Giản đồ khai triển dây quấn xếp đơn  $2p = 4$ ,  $y_G = +1$ ,  $Z = S = G = 16$ ,

Vì  $S = Z = 16$  ta có dây quấn hai lớp. Căn cứ vào các bước dây quấn, lập trình tự nối các phần tử ta có thể vẽ giản đồ khai triển của dây quấn (hình 9-26). Lần lượt đặt 16 phần tử vào 16 rãnh bắt đầu từ phần tử thứ nhất với cạnh tác dụng thứ nhất nối với phiến đối chiều số 1 được đặt ở lớp trên (vẽ bằng đường nét liền) trong rãnh số 1 và cạnh tác dụng thứ hai nối với phiến đối chiều số 5 được đặt ở lớp dưới (đường nét đứt) trong rãnh số 5, tiếp tục sang phần tử thứ hai cho đến phần tử thứ 16 ta trở về phiến đối chiều số 1 và được một mạch khép kín. 16 phần tử với bước cực  $\tau$  được đặt dưới 4 cực từ  $N$  và  $S$  xen kẽ nhau.

Đi vòng từ phần tử 1 đến phần tử 16, với cực tính và chiều quay  $n$  của phần ứng máy phát  $F$  ghi trên hình 9-26 thì chiều s.d.d của các phần tử 2, 3, 4 và 10, 11, 12 dưới hai cực  $N$  ngược với chiều đi vòng, còn chiều s.d.d của các phần tử 6, 7, 8 và 14, 15, 16 dưới hai cực  $S$  thuận theo chiều đi vòng. Theo chiều s.d.d của các nhóm phần tử dưới bốn cực thì các chổi điện  $A_1, A_2$ , đặt trên đường trung tâm các cực  $N$  nối với nhau sẽ là cực (+) của máy, còn các chổi điện  $B_1, B_2$ , đặt trên đường trung tâm các cực  $S$  nối với nhau sẽ là cực (-) của máy. Từ ngoài chổi điện nhìn vào có thể biểu thị dây quấn bằng sơ đồ ký hiệu như trên hình 9-27.



Hình 9-27. Sơ đồ ký hiệu của dây quấn xếp đơn ở hình 9-26



Hình 9-28. a) Hình sao s.d.d.;  
b) đa giác s.d.d của dây quấn xếp đơn ở hình 9-26

Đó là một mạch điện gồm bốn mạch nhánh ghép song song. Khi phần ứng quay, vị trí các phần tử thay đổi nhưng nhìn từ chổi điện vào vẫn là bốn mạch song song. Nếu số cực từ là  $2p$  thì số mạch song song  $2a$  cũng sẽ bằng  $2p$ , hay:

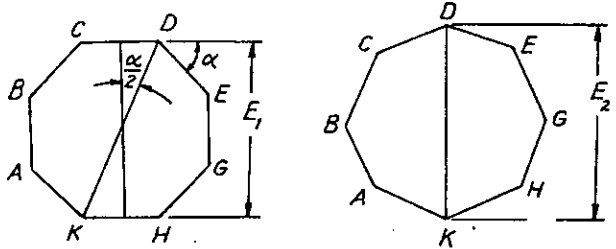
$$a = p \quad (9-11)$$

nghĩa là số đôi mạch nhánh bằng số đôi cực từ.

Nếu biểu thị s.d.đ các phần tử bằng các vectơ thì các vectơ s.d.đ của các phần tử đặt trong các rãnh cạnh nhau sẽ lệch nhau góc điện:

$$\alpha = \frac{p \cdot 360^\circ}{Z} = \frac{p \cdot 360^\circ}{16} = 45^\circ$$

và s.d.đ của 16 phần tử liên tiếp sẽ hình thành hai hình sao s.d.đ. 8 tia trùng nhau. Do các phần tử nối nối tiếp nhau thành một mạch kín, các vectơ s.d.đ của chúng cộng lại sẽ tạo thành hai đa giác s.d.đ trùng nhau, hình (9-28b).



Ta nhận thấy:

1. Một đa giác hay **Hình 9-28. Sự đập mạch của s.d.đ. ở các chổi điện** một đôi mạch nhánh ứng với một đôi cực từ, nghĩa là  $a = p$ .

2. Hình chiếu của đa giác s.d.đ. lên trục tung là trị số s.d.đ. của các nhánh cũng là s.d.đ. ở đầu ra của các chổi điện (+) và (-). Khi rôto quay thì đa giác quay và hình chiếu đó thay đổi giữa hai trị số  $E_1$  và  $E_2$  một cách chu kỳ (hình 9-29). Từ hình 9-29 ta có:

$$E_1 = E_2 \cos \frac{\alpha}{2}$$

Sức điện động trung bình trên chổi điện bằng:

$$E_{tb} = \frac{E_1 + E_2}{2} = \frac{1}{2} E_2 (1 + \cos \frac{\alpha}{2}). \quad (9-12)$$

Hiệu số s.d.đ.  $E_1$  hay  $E_2$  với  $E_{tb}$  bằng:

$$\Delta E = E_2 - E_{tb} = E_{tb} - E_1 = \frac{1}{2} E_2 (1 - \cos \frac{\alpha}{2}).$$

Sự đập mạch của s.d.đ. ở đầu chổi điện:

$$\frac{\Delta E}{E_{tb}} = \frac{\frac{1}{2} E_2 (1 - \cos \frac{\alpha}{2})}{\frac{1}{2} E_2 (1 + \cos \frac{\alpha}{2})} = \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2} \quad (9-13)$$

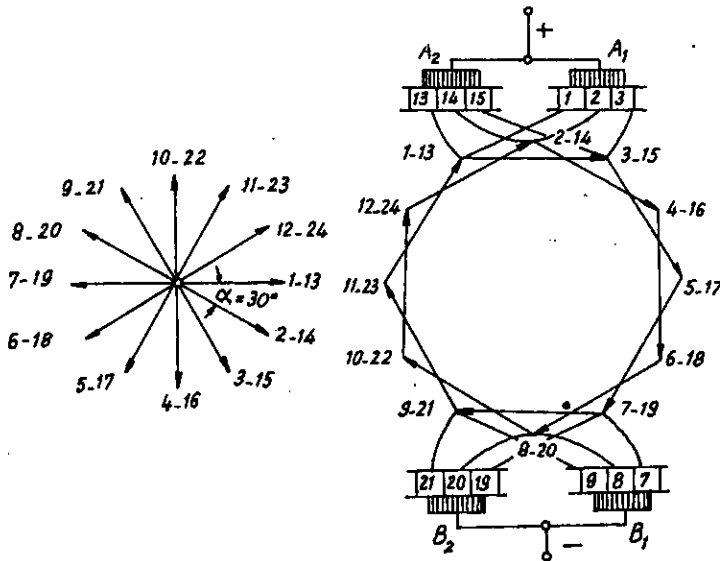
$$\forall \alpha = \frac{p \cdot 360^\circ}{S} = \frac{180^\circ}{S/2p} = \frac{180^\circ}{G/2p} \text{ ta thấy, nếu } \frac{G}{2p} \text{ càng lớn thì } \alpha \text{ càng nhỏ,}$$

sự đập mạch s.d.d. càng ít. Khi  $\frac{G}{2p} = 8$  thì sự đập mạch đó đã nhỏ hơn 1% và s.d.d. của máy điện một chiều được coi như không đổi.

**β) Dây quấn xếp phức tạp**

Dây quấn xếp phức tạp khác với dây quấn xếp đơn ở bước trên vành góp  $y_G = m$ , trong đó  $m = 2, 3, \dots$  Thường thì  $m = 2$ . Theo hình 9-25a, khi  $y_G = 2$  thì phần tử 1 không nối với phần tử 2 mà với phần tử 3 rồi đến phần tử 5 và cứ như vậy cho đến khi khép kín mạch. Nếu còn lại những phần tử thì nối chúng với nhau thành một mạch khép kín thứ hai xen kẽ với mạch kín thứ nhất và cùng được nối song song thông qua chổi điện. Đó là trường hợp dây quấn xếp phức tạp có  $G$  chia chẵn cho  $m$  hay  $\frac{G}{m} = \frac{G}{2} = \text{số nguyên}$ . Nếu  $G$  không chia chẵn cho  $m = 2$  thì dây quấn xếp phức tạp sẽ chỉ có một mạch khép kín.

Ta hãy xét dây quấn xếp phức tạp có  $Z_{nt} = Z = S = G = 24, 2p = 4, y_G = 2$ .



Hình 9-30. Hình tia và đa giác s.d.d. của dây quấn xếp phức tạp ở hình 9-31

Các bước dây quấn như sau:

$$y = \frac{Z_{nt}}{2p} \pm \epsilon = \frac{24}{4} = 6 \text{ (dây quấn bước đủ);}$$

$$y_u = y_G = 2 \text{ (quấn phải).}$$

Góc lệch giữa các phần tử (hình 9-30a) bằng:

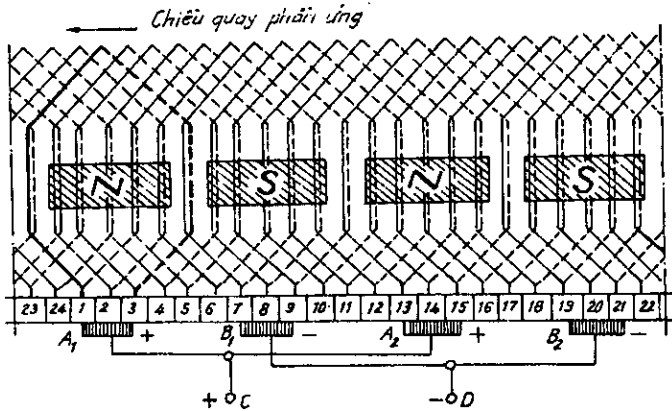
$$\alpha = \frac{p \cdot 360^\circ}{G} = \frac{2 \times 360^\circ}{24} = 30^\circ.$$

Vì  $G = 24$  chia chẵn cho  $m = 2$  cho nên dây quấn này hợp bởi hai dây quấn xếp đơn ứng với hai mạch khép kín. Nối các phần tử 1, 3, 5, ..., 23 ta có mạch khép kín thứ nhất ứng với hai đa giác s.d.d. phần tử số lẻ. Các phần tử còn lại 2, 4, 6, ..., 24 nối tiếp nhau làm thành mạch khép kín thứ hai ứng với hai đa giác s.d.d. phần tử số chẵn (hình 9-30b). Vì mỗi đa giác s.d.d. ứng với một đôi mạch nhánh nên với bốn đa giác s.d.d. dây quấn xếp phức tạp có bốn đôi mạch nhánh. Thực tế dây quấn xếp phức tạp do 2 hay  $m$  dây quấn xếp đơn hợp lại cùng dấu chung với chổi điện, nên từ phía ngoài chổi điện nhìn vào số đôi mạch nhánh song song của dây quấn gấp 2 hay  $m$  lần số đôi mạch nhánh của dây quấn xếp đơn:

$$a = mp, \tag{9-14}$$

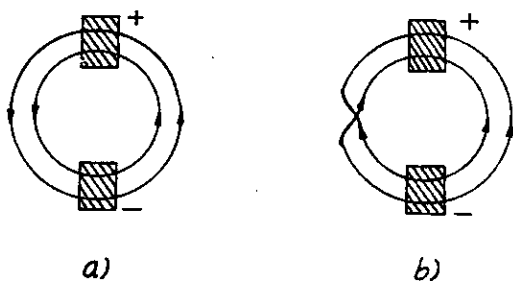
Giản đồ khai triển của dây quấn như trên hình 9-31. Cách bố trí cực từ và chổi điện như ở dây quấn xếp đơn, chỉ khác là bề rộng chổi điện ít nhất phải bằng bề rộng hai phiên đối chiều để có thể tiếp xúc với cả hai dây quấn xếp đơn.

Nếu  $G$  không chia chẵn cho  $m = 2$  như ở dây quấn xếp phức tạp với  $Z_{nt} = S = G = 23$ ,  $2p = 4$ ,  $y_G = m = 2$ , ta vẫn có hai dây quấn xếp đơn không tồn tại độc lập mà nối tiếp nhau thành một mạch khép kín.



Hình 9-31. Giản đồ khai triển dây quấn xếp phức tạp có  $Z = S = G = 24$ ,  $2p = 4$ ,  $y_G = 2$

Điều đó có thể thấy rõ khi nối nối tiếp các vectơ s.d.d. phần tử 1, 3, ..., 23 ta được hai đa giác s.d.d. phần tử, tiếp tục sang các vectơ s.d.d. phần tử 2, 4, ..., 22 và trở về 1 ta được hai đa giác s.d.d. phần tử nữa và làm thành một mạch khép kín. Ở đây quần này vẫn hình thành bốn đa giác s.d.d. phần tử và số đôi mạch nhánh  $a = m.p = 2 \times 2 = 4$ . Sơ đồ đa giác s.d.d. của dây quần xếp phức tạp hai mạch điện độc lập và không độc lập như ở hình 9-32a và b.



Hình 9-32. Dây quần có hai mạch điện kín độc lập (a) và không độc lập (b).

## 2. Dây quần sóng

Ở dây quần sóng hai phần tử tiếp nhau được đặt cách nhau khoảng một đôi cực dưới các cực từ cùng cực tính và có vị trí gần giống nhau trong từ trường để s.d.d. của chúng cùng chiều và cộng với nhau được. Nếu máy có  $p$  đôi cực thì khi quần vòng quanh bề mặt phần ứng một vòng phải có  $p$  phần tử và trở về cách phần tử đầu tiên  $m$  rãnh nguyên tố để lại quần sang vòng thứ hai và cứ như thế tiếp tục vòng sau cách vòng trước  $m$  rãnh nguyên tố cho đến khi khép kín mạch. Như vậy đối với một vòng quanh phần ứng phải có:

$$p.y_u = Z_{nt} \pm m$$

và bước trên phần ứng: 
$$y_u = \frac{Z_{nt} \pm m}{p} \quad (9-15)$$

hoặc bước trên vành góp:

$$y_G = y_u = \frac{G \pm m}{p} \quad (9-16)$$

Khi  $m = 1$  ta có dây quần sóng đơn; khi  $m \geq 2$  ta có dây quần sóng phức tạp.

Dấu "-" ứng với dây quần trái, dấu "+" ứng với dây quần phải.

### α) Dây quần sóng đơn

Xét dây quần sóng đơn có  $Z_{nt} = Z = S = G = 15$ ,  $2p = 4$ ,  $m = 1$ .

Các bước dây quần như sau:

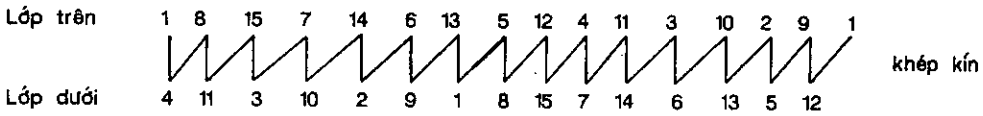
$$y = \frac{Z_{nt} \pm \epsilon}{2p} = \frac{15}{4} - \frac{3}{4} = 3, \text{ (chọn bước ngắn)}$$

$$y_u = y_G = \frac{G \pm m}{p} = \frac{15 - 1}{2} = 7, \text{ (dây quấn trái)}$$

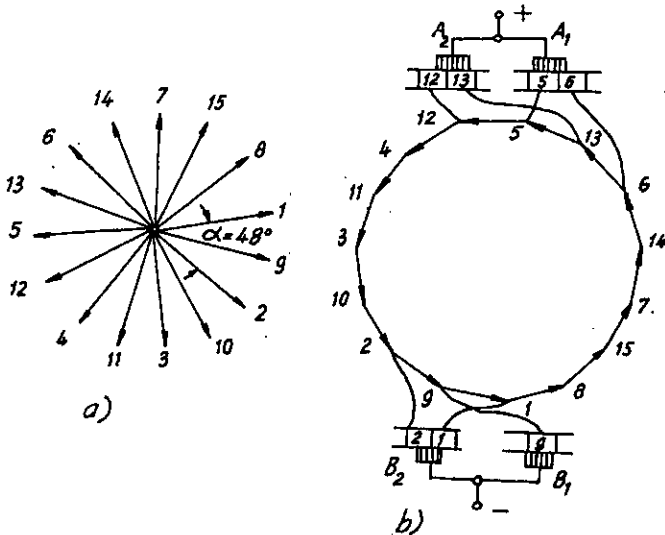
Góc lệch giữa hai phần tử kề nhau:

$$\alpha = \frac{p \cdot 360^\circ}{S} = \frac{2 \times 360^\circ}{15} = 48^\circ.$$

Khi vẽ hình sao vectơ s.d.d. ta thấy không có vectơ nào trùng nhau (hình 9-33a). Theo thứ tự nối các phần tử:



Cộng vectơ s.d.d của các phần tử nối tiếp nhau ta chỉ được một đa giác s.d.d (hình 9-33b). Một nửa đa giác gồm các vectơ s.d.d. phần tử 1, 8, 15, 7, 14, 6, nằm ở dưới các cực N, các vectơ s.d.d phần tử 12, 4, 11, ..., 9, nằm dưới các cực S. Vì vậy quy luật nối dây của dây quấn sóng đơn là trước hết nối nối tiếp tất cả các phần tử dưới các cực cùng cực tính, tiếp đến tất cả các phần tử ở dưới các cực khác cực tính cho đến khi khép kín mạch.

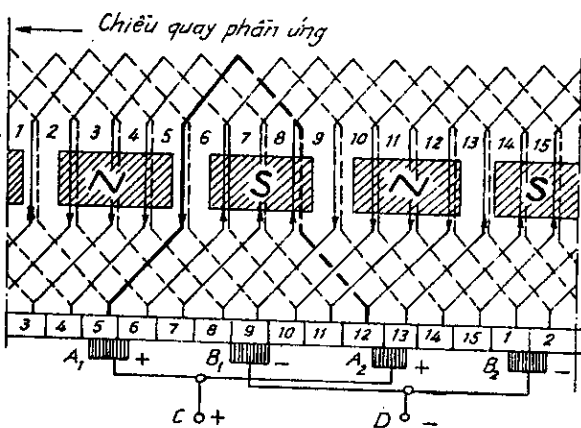


Hình 9-33. Hình sao và đa giác s.d.d của dây quấn sóng đơn

Ở dây quấn sóng đơn chỉ có một đa giác s.d.d. nên chỉ có một đôi mạch nhánh hay:

$$a = 1 \quad (9-17)$$

Giản đồ khai triển của dây quấn như trên hình 9-34. Cách vẽ vị trí cực từ và chổi điện giống như ở dây quấn xếp. Về lý luận chỉ cần hai chổi điện cũng đủ (vì chỉ có một đôi mạch nhánh) nhưng thường vẫn đặt số chổi điện bằng số cực từ. Làm như vậy một phần để phân bố dòng điện trên nhiều chổi hơn, kích thước chổi điện ngắn đi, giảm được chiều dài của vành góp, nhưng chủ yếu là



Hình 9-34. Giản đồ khai triển dây quấn sóng đơn.  
 $Z = S = G = 15, 2p = 4$

để đảm bảo tính đối xứng của hai mạch nhánh. Theo hình 9-33b ta thấy, có năm phần tử bị ngắn mạch và khép kín qua các chổi điện (2, 5, 6, 9 và 13) nên trong mỗi mạch nhánh còn lại năm phần tử, nghĩa là chúng đối xứng nhau.

$\beta$ ) Dây quấn sóng phức tạp

Xét dây quấn sóng phức tạp  $m = 2, 2p = 4, Z_{nt} = Z = S = G = 18, 2p = 4$ .

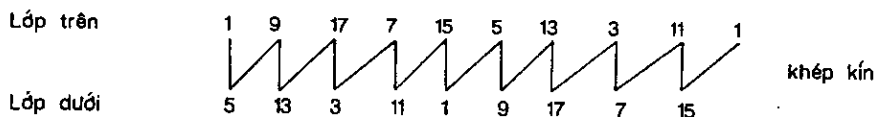
Các bước dây quấn:

$$y = \frac{Z_{nt}}{2p} \pm \epsilon = \frac{18}{4} - 2 = 4, \text{ bước ngắn}$$

$$y_u = y_G = \frac{G \pm m}{p} = \frac{18 - 2}{2} = 8, \text{ quấn trái}$$

$$\alpha = \frac{p \cdot 360^\circ}{Z} = \frac{2 \times 360^\circ}{18} = 40^\circ$$

Trình tự nối các phần tử:





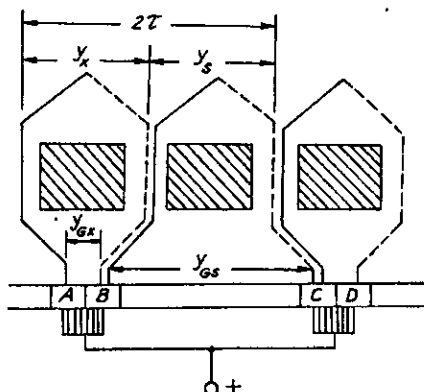


Nó có thể gồm nhiều mạch kín độc lập hay cũng có thể chỉ nối thành một mạch kín. Khi máy làm việc hai loại dây quấn đó không có gì khác nhau. Nói chung nếu  $a = m$  có ước số chung lớn nhất là  $t$  thì có  $t$  mạch vòng độc lập.

### 3. Khái niệm về dây quấn hỗn hợp

Trên thực tế, ở 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 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  $m = p$



Hình 9-37. Bước cực của các phần tử dây quấn hỗn hợp

để cho số đôi mạch nhánh của chúng bằng nhau. Quan hệ giữa dây quấn sóng và xếp trong dây quấn hỗn hợp như ở hình 9-37.

Loại dây quấn này thường dùng trong máy điện công suất lớn, tốc độ cao và đổi chiều khó khăn.

### 4. Dây cân bằng điện thế

Dây quấn máy điện một chiều tương ứng như một mạch điện gồm một số nhánh song song ghép lại. Trong điều kiện bình thường, s.d.d. 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.

*α) 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.d. 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 ở bi 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.d cảm ứng trong các mạch nhánh sẽ không giống nhau. Sự không cân bằng s.d.d trong các mạch nhánh sẽ làm cho trong dây quấn sinh ra dòng điện cân bằng. Vì điện trở dây quấn rất nhỏ nên một sự không cân bằng rất nhỏ về s.d.d 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 nói các điểm về lý luận là đẳng thế lại với nhau. Trong thí dụ về dây quấn xếp đơn trên hình 9-26 và 9-28, 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  $y_1$  bằng số phiến đổi chiều dưới mỗi đôi cực và vì trong dây quấn xếp đơn  $a = p$ , nên ta có:

$$y_1 = \frac{G}{p} = \frac{G}{a} \quad (9-19)$$

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 9-26).

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.

*β) 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.d 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.d 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 người 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:

$$y_1 = \frac{S}{a} = \frac{G}{a} \quad (9-20)$$

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.

### 9.3.2. Máy có cực tính không đổi

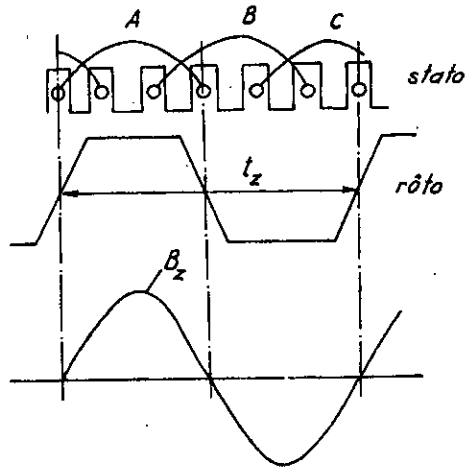
#### a. Dây quấn phản ứng máy điện xoay chiều

Trong các máy phát tần số cao có cực tính không đổi, rôto là một bánh xe răng có số răng  $Z_2$  rất lớn và không có dây quấn. Từ trường dọc khe hở trong phạm vi một răng và một rãnh phân bố dạng hình sin, tương tự như của một đôi cực từ. Trong các rãnh ở stato ứng với một răng và một rãnh rôto có thể đặt dây quấn một pha hoặc ba pha của máy điện xoay chiều giống như dây quấn của máy có cực tính thay đổi (hình 9-38).

#### b. Dây quấn phản ứng máy điện một chiều

Trong các máy phát một chiều điện áp thấp (vài vôn), dòng điện lớn

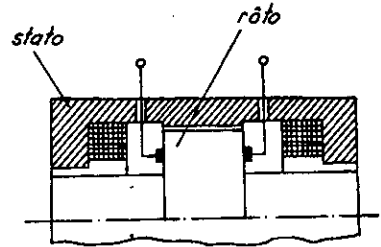
$10^3 + 100.10^3$  A dùng cho nghiên cứu phản ứng nhiệt hạch, xincroclotron, bơm điện từ, điện phân... dây quấn phần ứng ở rôto thường là khối đồng hình trụ hoặc hình đĩa. Khi rôto quay hai đầu khối trụ sẽ hình thành s.d.d một chiều. Dòng điện lấy từ dây quấn phần ứng ra thông qua chổi điện hoặc tiếp xúc thủy ngân như ở hình 9-39.



Hình 9-38. Dây quấn ba pha trong một bước răng  $l_z$  của rôto

### 9.3.3. Cách thực hiện dây quấn phần ứng

Dây quấn phần ứng máy điện quay được đặt trong các rãnh trên stato hoặc rôto. Các rãnh này có thể có miệng rãnh nửa kín, nửa hở và hở như trên hình 9-40.



Hình 9-39. Dây quấn phần ứng kiểu hình trụ

Rãnh nửa kín thường dùng cho dây quấn phần ứng máy điện xoay chiều công suất tới 100 kW điện áp đến 660 V hoặc máy điện một chiều công suất đến 10 kW điện áp đến

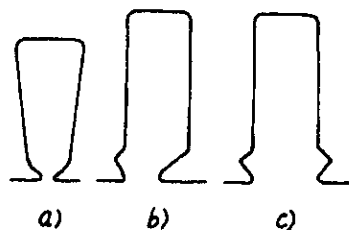
600 V. Cách điện rãnh thường dày khoảng  $0,35 + 0,65$  mm. Dây quấn gồm những bó dây mềm có nhiều vòng dây tiết diện tròn với đường kính tới 2,5 mm. Khi lồng dây phải cho từng một hoặc hai vòng dây qua miệng rãnh.

Rãnh nửa hở thường dùng cho máy điện xoay chiều công suất đến 300÷400 kW điện áp đến 660 V. Ở trường hợp này bó dây cứng được chia thành hai nửa bó theo chiều rộng của rãnh; các nửa bó dây đó gồm nhiều vòng dây tiết diện chữ nhật quấn theo khuôn định hình. Các bó dây đã được cách điện trước và khi lồng dây thì cho cả nửa bó dây qua miệng rãnh.

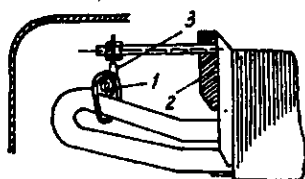
Rãnh hở đối với máy điện xoay chiều công suất đến trăm nghìn kilôoát, điện áp đến hàng nghìn vôn hoặc máy một chiều công suất đến 300 kW, điện áp đến 600 V. Trong trường hợp này dây quấn được chế tạo từ dây dẫn tiết diện chữ nhật quấn theo khuôn thành các bó dây cứng và được cách điện trước khi đặt vào rãnh.

Sau khi lồng dây vào rãnh, miệng rãnh được nẹp kín bằng các thanh nẹp làm từ vật liệu cách điện như tre, gỗ đã được xử lý gétinac, textolit... và như vậy cạnh tác dụng của bó dây được ép chặt trong rãnh.

Nếu dây quấn được đặt ở rôto thì phần đầu nối của nó được dai chặt bằng dây thép để tránh bị bung 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 có bulông bắt chặt vào thân máy như trên hình 9-41.



Hình 9-40. Rãnh nửa kín (a) rãnh nửa hở (b) và rãnh hở của máy điện xoay chiều.



Hình 9-41. Cố định phần đầu nối của dây quấn stato 1) vòng thép; 2) vành ép thép stato; 3) bulông

### Câu hỏi

- 1- Dây quấn máy điện một chiều khác dây quấn máy điện xoay chiều như thế nào? Nguyên tắc chuyển từ dây quấn máy điện xoay chiều sang dây quấn máy điện một chiều.
- 2- 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 cần đảm bảo những điều kiện gì?
- 3- Nguyên tắc quấn dây của dây quấn ba pha hai lớp với  $q$  phân số? Điều kiện để tạo thành các nhánh song song của mỗi pha. Ý nghĩa của dây quấn này đối với việc cải thiện dạng sóng s.d.đ của dây quấn. Phạm vi ứng dụng của nó.
- 4- Vì sao dây quấn một pha chỉ đặt trong  $2/3$  số rãnh của mỗi cực (so sánh qua các thí dụ khi  $Z = 36, q = 9; p = 2$  và khi  $Z = 36, q = 6, p = 2$ ).
- 5- Quy luật nối các phần tử của dây quấn xếp và sóng của máy điện một

chiều có những điểm nào khác nhau? Quan hệ giữa số đôi mạch nhánh của chúng như thế nào?

6- Nếu một máy bốn cực dây quấn xếp đơn đổi thành dây quấn 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?

7- Tại sao trong giản đồ khai triển của dây quấn khi vị trí chổi điện 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?

8- Sự khác nhau chính giữa dây quấn xếp đơn và dây quấn xếp phức tạp, dây quấn sóng đơn và dây quấn sóng phức tạp như thế nào?

9- 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?

### Bài tập

1. Dây quấn ba pha của máy điện xoay chiều có các số liệu sau:  $Z = 24$ ,  $2p = 2$ . Vẽ giản đồ khai triển của:

- Dây quấn đồng tâm ba mặt;
- Dây quấn đồng khuôn đơn giản;
- Dây quấn đồng khuôn phân tán.

2. Lõi thép phần ứng của một máy điện xoay chiều 4 cực có 36 rãnh. Hãy vẽ giản đồ khai triển khi quấn dây thành:

- Dây quấn xếp ba pha hai lớp bước ngắn  $\beta = 7/9$ , mỗi pha có hai nhánh song song.
- Dây quấn sóng ba pha hai lớp, bước ngắn như trên.
- Dây quấn xếp hai pha một lớp, pha chính chiếm  $2/3$  số rãnh của mỗi cực, số rãnh còn lại của pha phụ.

3. Vẽ giản đồ khai triển của dây quấn xếp ba pha hai lớp với các số liệu sau:  $Z = 15$ ,  $2p = 2$ .

4. Một dây quấn xếp đơn quấn phải có các số liệu sau:  $S = G = 24$ ,  $p = 3$ ,  $u = 1$ , có lắp  $1/3$  tổng số dây cân bằng điện thế. Vẽ giản đồ khai triển dây quấn.

5. 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 vượt quá 300 A thì phải sử dụng dây quấn loại gì?

Đáp số: Dây quấn xếp phức với  $m = 2$  hay sóng phức với  $m = 3$ .

6. Một dây quấn sóng đơn quấn trái bước ngắn có số liệu sau:  $Z_{nt} = 19$ ,  $p = 2$ . Hỏi:

- Các bước dây quấn  $y$ ,  $y_U$ ,  $y_G$ .
- Số đôi mạch nhánh
- Vẽ hình sao s.d.d. và đa giác s.d.d.
- Vẽ giản đồ khai triển dây quấn.

Đáp số: a)  $y = 4$ ,  $y_U = y_G = 9$

b)  $a = 1$

7. Một máy điện một chiều có  $S = G = Z_{nt} = 16$ ,  $p = 2$ . Hỏi nếu chọn  $m \leq 2$  thì có thể quấn theo loại dây quấn nào? Lúc đó tìm:

- Các bước dây quấn  $y$ ,  $y_U$ ,  $y_G$  và số đôi mạch nhánh  $a$ .
- Tỷ số điện áp và dòng điện định mức của các loại dây quấn đó.

Đáp số: a) Xếp đơn  $y_G = y_U = \pm 1$ ;  $y = 4$ ;  $a = 2$

Xếp kép  $y_G = y_U = \pm 2$ ;  $y = 4$ ;  $a = 4$

Sóng kép  $y_G = y_U = 9$  (quấn phải);  $y = 4$ ;  $a = 2$   
 $= 7$  (quấn trái)

b) Tỷ số điện áp các dây quấn ngược tỷ số  $a$  của chúng. Tỷ số dòng điện các dây quấn bằng tỷ số  $a$  của chúng.



## **Chương 10**

# **SỨC ĐIỆN ĐỘNG CỦA DÂY QUẤN PHẦN ỨNG MÁY ĐIỆN QUAY**

### **10.1. KHÁI NIỆM**

Khi từ thông của phần cảm xuyên qua dây quấn phần ứng biến thiên thì trong dây quấn phần ứng sẽ sinh ra sức điện động (viết tắt là s.d.d). Trong các máy điện quay có hai cách để tạo ra sự biến thiên của từ thông xuyên qua dây quấn phần ứng. Cách thứ nhất là cho dây quấn phần ứng có chuyển động tương đối với từ trường phần cảm. Nếu từ trường phần cảm có cực tính xen kẽ thì s.d.d cảm ứng là xoay chiều, còn nếu từ trường phần cảm có cực tính không đổi thì s.d.d cảm ứng là một chiều. Cách thứ hai là cho xuyên qua dây quấn phần ứng đứng yên một từ trường đập mạch hoặc một từ trường không đổi nhưng từ dẫn của mạch từ thay đổi. Trong cả hai trường hợp s.d.d cảm ứng đều là xoay chiều.

Để máy điện làm việc được tốt, yêu cầu s.d.d xoay chiều phải biến đổi hình sin theo thời gian, còn s.d.d một chiều phải có trị số không đổi.

### **10.2. SỨC ĐIỆN ĐỘNG CẢM ỨNG KHI DÂY QUẤN PHẦN ỨNG CHUYỂN ĐỘNG TƯƠNG ĐỐI VỚI TỪ TRƯỜNG PHẦN CẢM**

#### **10.2.1. Từ trường phần cảm có cực tính xen kẽ**

##### **10.2.1.1. Máy điện xoay chiều**

Để cho các máy điện xoay chiều làm việc được tốt, sức điện động cảm ứng trong các dây quấn phải có dạng hình sin và muốn như vậy thì từ trường phần cảm có cực tính xen kẽ 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 hình sin và có thể phân tích thành sóng cơ bản và các sóng bậc cao. Thí dụ trên hình 10-1 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  $\tau$  còn  $B_v$  có bước cực  $\tau_v = \frac{\tau}{v}$ . Khi có chuyển động tương đối giữa từ trường của cực

từ và dây quấn thì tương ứng với  $B_1, B_3, B_5$ , trong dây quấn sẽ cảm ứng được các s.d.đ hình sin  $e_1, e_3, e_5$ . Do tần số của các s.d.đ này khác nhau nên s.d.đ tổng trong dây quấn sẽ có dạng không hình sin.

Dưới đây ta sẽ xét trị số của các s.d.đ. nói trên và nghiên cứu phương pháp làm triệt tiêu hoặc giảm các s.d.đ bậc cao để cải thiện dạng sóng của s.d.đ tổng khiến nó gần giống dạng hình sin.

Để có được trị số của s.d.đ của dây quấn máy điện xoay chiều ta sẽ lần lượt xét s.d.đ do từ trường cơ bản (bậc 1) và các s.d.đ do từ trường bậc cao, sau đó suy ra trị số của s.d.đ tổng của dây quấn.

### 1. Sức điện động của dây quấn do từ trường cơ bản

*Sức điện động 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  $B_x = B_m \sin \frac{\pi}{\tau} x$  với thanh dẫn có chiều dài  $l$  như trên hình 10-2 thì trong thanh dẫn sẽ cảm ứng được s.d.đ:

$$e_{td} = vlB_x = B_m v l \sin \frac{\pi}{\tau} x,$$

trong đó:

$$v = \frac{x}{t} = \frac{2\tau}{T} = 2\tau f.$$

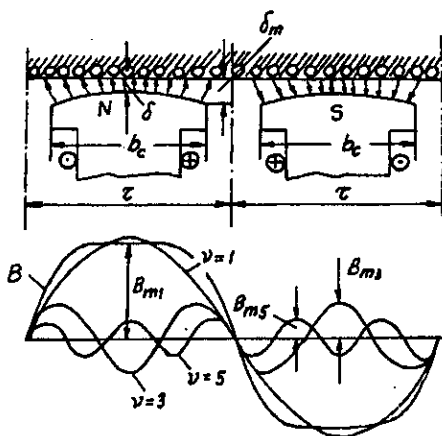
Vì tốc độ góc  $\omega = 2\pi f$  và từ thông ứng với một bước cực bằng:

$$\Phi = \frac{2}{\pi} B_m l \tau,$$

nên:  $e_{td} = \pi f \Phi \sin \omega t$

và trị số hiệu dụng của s.d.đ. đó bằng:

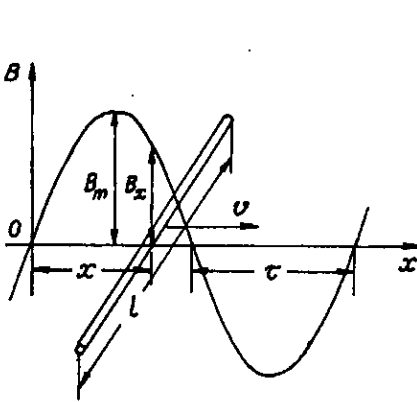
$$E_{td} = \frac{\pi}{\sqrt{2}} f \Phi = 2,22 f \Phi. \quad (10-1)$$



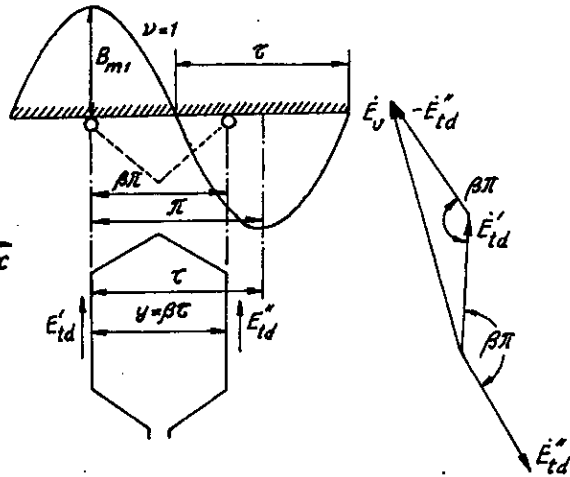
Hình 10-1. Sự phân bố từ cảm của từ trường cực từ của máy điện đồng bộ cực lồi dọc bề mặt stato

Sức điện động của một vòng dây quấn và s.d.d của một bối dây (phần tử)

Sức điện động 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  $\frac{y}{\tau} \cdot \pi$  của hai thanh dẫn đó.



Hình 10-2. Chuyển động tương đối của thanh dẫn trong từ trường hình sin



Hình 10-3. Sức điện động của một vòng dây

Từ hình 10-3 ta có:

$$\dot{E}_v = |\dot{E}'_{td} - \dot{E}''_{td}| = 2E_{td} \sin \frac{y}{\tau} \cdot \frac{\pi}{2} = 4,44f\Phi k_n \quad (10-2)$$

trong đó:

$$k_n = \sin \frac{y}{\tau} \cdot \frac{\pi}{2} = \sin \beta \frac{\pi}{2} \quad (10-3)$$

Thông thường  $\beta = \frac{y}{\tau} < 1$ , do đó  $k_n$  được gọi là hệ số bước ngắn;  $\beta$  được gọi là tỷ số bước dây quấn.

Nếu trong hai rãnh nói trên có đặt một bối gồm  $w_s$  vòng dây thì s.d.d của bối dây đó bằng:

$$E_s = 4,44k_n f w_s \Phi. \quad (10-4)$$

Sức điện động của một nhóm bối dây. Giả sử 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:

$$\alpha = \frac{2\pi}{Z/p} = \frac{2\pi p}{Z} \quad (10-5)$$

trong đó  $Z/p$  là số rãnh dưới một đôi cực, nên s.d.đ của  $q$  bởi dây có thể biểu thị được bằng  $q$  vectơ  $\vec{E}'$ , lệch nhau cùng một góc  $\alpha$  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 dây thuộc một pha trong từ trường cực từ. Dây quấn một pha được thực hiện với  $\gamma = 60^\circ$ .

Sức điện động tổng của nhóm bởi dây  $E_q$  là tổng hình học của  $q$  vectơ  $E$ , như trình bày ở hình 10-5b, do đó:

$$\vec{E}_q = q\vec{E}_s k_r \quad (10-6)$$

trong đó:

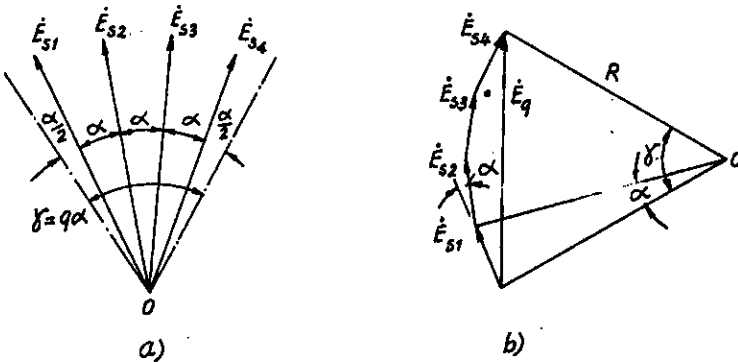
$$k_r = \frac{\text{tổng hình học các s.d.đ}}{\text{tổng số học các s.d.đ}} = \frac{\sin \frac{q\alpha}{2}}{q \sin \frac{\alpha}{2}} \quad (10-7)$$

là hệ số quấn rải của dây quấn.

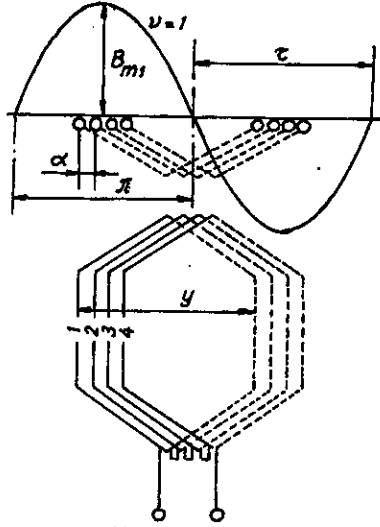
Thay (10-4) vào (10-6) ta được:

$$E_q = 4,44 \cdot k_{dq} q w_s f \Phi \quad (10-8)$$

trong đó  $k_{dq} = k_n k_r$  là hệ số dây quấn



Hình 10-5. Sức điện động của nhóm  $q = 4$  bởi dây



Hình 10-4. Nhóm  $q = 4$  bởi dây trong từ trường

Sức điện động 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.đ của một pha là s.d.đ 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.đ của chúng có thể cộng số học với nhau và ta có:

$$E_1 = 4,44 k_{dq} n q \omega_s f \Phi = 4,44 k_{dq} \omega f \Phi, \quad (10-9)$$

trong đó  $\omega = n q \omega_s$  là số vòng dây của một nhánh song song.

## 2. Sức điện động của dây quấn do từ trường bậc cao

Biểu thức s.d.đ của dây quấn do từ trường bậc cao cũng có dạng tương tự như biểu thức s.d.đ do từ trường cơ bản. Tuy nhiên ta cần chú ý rằng bước cực của từ trường bậc  $\nu$  nhỏ  $\nu$  lần bước cực của từ trường cơ bản (hình 10-1) vì vậy góc điện  $2\pi$  của từ trường cơ bản sẽ ứng với góc  $2\nu\pi$  đối với từ trường bậc  $\nu$ , do đó ở đây các hệ số bước ngắn và hệ số quấn rải bằng:

$$k_{m\nu} = \sin \nu \beta \frac{\pi}{2}; \quad (10-10)$$

$$k_{r\nu} = \frac{\sin \nu \frac{q\alpha}{2}}{q \sin \nu \frac{\alpha}{2}}. \quad (10-11)$$

Hệ số dây quấn đối với từ trường bậc cao sẽ là:

$$k_{dq\nu} = k_{m\nu} k_{r\nu} \quad (10-12)$$

Ngoài ra khi dây quấn chuyển động với tốc độ  $\nu$  trong từ trường bậc  $\nu$  thì s.d.đ cảm ứng trong dây quấn sẽ có tần số  $f_\nu = \nu f$ . Kết quả là s.d.đ của dây quấn do từ trường bậc cao sẽ là:

$$E_\nu = 4,44 k_{dq\nu} \omega_\nu f_\nu \Phi_\nu, \quad (10-13)$$

trong đó:

$$\Phi_\nu = \frac{2}{\pi} B_{m\nu} l \tau_\nu = \frac{2}{\nu\pi} B_{m\nu} l \tau.$$

Cũng cần nhấn mạnh rằng nếu tốc độ tương đối giữa từ trường bậc  $\nu$  và dây quấn là  $\nu/\nu$  thì tần số của s.d.đ. do từ trường đó là  $f_\nu = f$ . Đó là trường hợp của từ trường bậc  $\nu$  chuyển động với tốc độ  $\nu/\nu$  so với dây quấn và sinh ra bởi dòng điện xoay chiều  $m$  pha tần số  $f$  chảy trong dây quấn  $m$  pha, mà ta sẽ xét đến ở mục 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.đ cảm ứng trong dây quấn một pha là tổng của một dãy các s.d.đ điều hòa có tần số khác nhau. Trị số hiệu dụng của s.d.đ tổng có trị số:

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_3^2 + E_5^2 + \dots + E_n^2 + \dots} \quad (10-14)$$

### 3. Cải tiến dạng sóng s.d.đ

Như đã trình bày ở trên, nguyên nhân khiến cho dạng sóng s.d.đ không hình sin là do sự phân bố của từ trường khác hình sin, vì vậy để cải thiện dạng sóng s.d.đ 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 mòm cực như trên hình 10-1. Nếu gọi  $\delta$  là khe hở nhỏ nhất ở giữa mặt cực thì khe hở ở vị trí cách giữa mặt cực khoảng cách  $x$  có thể tính đúng theo biểu thức sau:

$$\delta_x \approx \frac{\delta}{\cos(\dots)} \quad (10-15)$$

Thông thường bề rộng của mặt cực  $b \approx (0,65 + 0,75)\tau$  nên từ biểu thức (10-15) có thể suy ra được khe hở ở mòm cực từ  $\delta_{\max} \approx (1,5 + 2,6)\delta$ .

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.đ 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 bố trí dây có  $q > 1$  và đặt dây quấn trong rãnh chéo. Dưới đây ta sẽ phân tích tỉ mỉ các biện pháp đó.

*Rút ngắn bước dây quấn.* Khi bước dây quấn  $y = \tau$  thì tất cả các s.d.đ bậc cao đều tồn tại, vì theo biểu thức (10-10)  $k_{np} = \pm 1$ . Nhưng nếu rút ngắn thích đáng bước dây quấn thì có thể khiến cho một s.d.đ bậc cao tùy ý triệt tiêu và muốn vậy thì phải làm cho hệ số bước ngắn  $k_{np}$  ứng với s.d.đ bậc 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  $\tau/7$ , 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  $\tau/6$  và  $\beta = 5/6$ . Như vậy:

$$k_{n5} = \sin 5 \frac{5}{6} \frac{\pi}{2} = \sin 375^\circ = \sin 15^\circ = 0,259$$

$$k_{n7} = \sin 7 \frac{5}{6} \frac{\pi}{2} = \sin 525^\circ = \sin 165^\circ = 0,259.$$

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 phải 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  $\beta = 0,8 + 0,86$ .

*Quấn rài.* 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  $k_{r1}$  (xem bảng 10-1) và nếu  $q$  càng lớn thì  $k_{rv}$  càng nhỏ nhiều so với  $k_{r1}$ .

Cũng từ bảng 10-1 ta thấy rằng, một số s.d.d bậc cao không bị giảm yếu đi vì có  $k_{rv} = k_{r1}$ . Bậc của các s.d.d đó có thể biểu thị theo biểu thức:

$$\nu_z = 2mqk \pm 1 \quad (10-16)$$

với  $k = 1, 2, 3, \dots$

trong đó  $m$  là số pha;  $q$  là số rãnh của một pha dưới một cực.

Vì  $2mq = \frac{Z}{p}$  nên (10-16) trở thành:

$$\nu_z = k \frac{Z}{p} \pm 1. \quad (10-17)$$

Các sóng điều hòa bậc  $\nu_z$  được gọi là các *sóng điều hòa răng*. Sở dĩ các sóng điều hòa răng có  $k_{rv} = k_{r1}$  là do góc lệch pha  $\alpha_{\nu_z}$  giữa các s.d.d của các bố dây đặt trong các rãnh liên tiếp do từ trường bậc  $\nu_z$  hoàn toàn bằng góc lệch pha  $\alpha$  ứng với từ trường cơ bản. Thật vậy, từ (10-5) và (10-17) ta có:

$$\alpha_{\nu_z} = \nu_z \alpha = \left(k \frac{Z}{p} \pm 1\right) \frac{2\pi p}{Z} = 2\pi k \pm \frac{2\pi p}{Z} = 2\pi k \pm \alpha. \quad (10-18)$$

Như vậy tác dụng của quán rài không thể triệt tiêu được các s.d.d điều hòa răng. Tuy nhiên khi tăng  $q$ , bậc của  $v_z$  tăng theo và  $B_{mv}$  nhỏ hơn, kết quả là s.d.d điều hòa răng cũng giảm đi tương ứng và dạng sóng s.d.d được cải thiện một phần nào.

Bảng 10.1.

Hệ số quán rài  $k_{rv}$  của dây quấn ba pha có vùng pha  $60^\circ$

$\nu \backslash q$	2	3	4	5	6	$\infty$
1	<b>0,966</b>	<b>0,960</b>	<b>0,958</b>	<b>0,957</b>	<b>0,957</b>	<b>0,955</b>
3	0,707	0,667	0,654	0,646	0,644	0,363
5	0,259	0,217	0,205	0,200	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	-0,212
11	<b>-0,966</b>	-0,177	-0,126	-0,110	-0,102	-0,087
13	<b>-0,966</b>	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	<b>0,960</b>	0,158	0,102	0,084	0,056
19	0,259	<b>0,960</b>	-0,205	-0,110	-0,084	-0,050
21	0,707	0,667	-0,654	-0,247	-0,172	-0,091
23	<b>0,966</b>	0,217	<b>-0,958</b>	-0,149	-0,092	-0,041
25	<b>0,966</b>	-0,177	<b>-0,958</b>	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	<b>0,957</b>	0,145	0,033
31	-0,259	0,217	0,158	<b>0,957</b>	-0,197	-0,051
33	-0,707	0,667	0,270	0,646	-0,644	-0,058
35	<b>-0,966</b>	<b>0,960</b>	0,126	0,200	<b>-0,957</b>	-0,027
37	<b>-0,966</b>	<b>0,960</b>	-0,126	-0,149	<b>-0,957</b>	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	<b>0,966</b>	-0,177	<b>0,958</b>	0,102	0,102	-0,020

**Rãnh chéo.** Việc thực hiện rãnh chéo như trình bày trên hình 10-6 là một biện pháp có hiệu lực để triệt tiêu các s.d.d điều hòa răng. Từ hình 10-6 ta có thể thấy ngay rằng, từ cảm  $B_{rv}$  dọc hai nửa thanh dẫn có cực tính 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 (10-17) là mạnh nhất, nên để làm triệt tiêu ảnh hưởng của nó cần phải chọn bước rãnh chéo:

$$b_c = 2\tau_{rv} = \frac{2\tau}{v_z} = \frac{2p\tau}{Z \pm p}$$



Vì  $p \ll Z$  nên trên thực tế người ta thường chọn:

$$b_c \approx \frac{2p\tau}{Z} = \text{một bước răng} \quad (10-19)$$

và tất cả các s.d.đ sóng điều hòa răng đều bị giảm nhỏ đi nhiều.

### 10.2.1.2. Máy điện một chiều

Ta đã biết s.d.đ của máy điện một chiều là s.d.đ của máy điện xoay chiều được chỉnh lưu nhờ vành đổi chiều và chổi điện. Vì dây quấn phần ứng máy một chiều gồm có  $2a$  mạch nhánh có s.d.đ bằng nhau ghép song song nên s.d.đ của máy điện một chiều  $E_u$  bằng s.d.đ cảm ứng trên một nhánh. Số thanh dẫn của một nhánh là  $N/2a$  và s.d.đ trung bình của một thanh dẫn là  $E_{tb}$ , nên ta có:

$$E_u = \frac{N}{2a} E_{tb} = \frac{N}{2a} \frac{2}{\pi} E_m = \frac{N}{2a} \frac{2}{\pi} \sqrt{2} E,$$

trong đó theo (10-1) thì  $E = \frac{\pi}{\sqrt{2}} f\Phi$ , với  $f = \frac{pn}{60}$ .

Do đó:

$$E_u = \frac{N}{2a} 2 \frac{pn}{60} \Phi = \frac{pN}{60a} n\Phi = C_e n\Phi, \text{ V.} \quad (10-20)$$

trong đó:

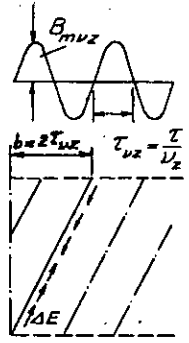
$\Phi$ , tính bằng Wb;  $n$  tính bằng vg/ph

$C_e = \frac{pN}{60a}$  là hệ số phụ thuộc vào kết cấu của máy và dây quấn.

### 10.2.1.3. Máy xoay chiều có vành góp

Ở một số máy xoay chiều có vành góp dây quấn  $a$  kiểu dây quấn phần ứng máy điện một chiều được quay với tốc độ  $n$  cùng hoặc ngược chiều với tốc độ  $n_1$  của từ trường quay trong máy (hình 10-17). Tốc độ tương đối giữa dây quấn đó với từ trường quay là  $n_1 \pm n$  và s.d.đ ở các chổi điện A, A' cũng là s.d.đ của các bối dây nối tiếp giữa các chổi điện đó, theo (10-8) sẽ là:

$$E_G = 4,44 w_G k_{dqG} p \frac{n_1 \pm n}{60} \Phi = 4,44 w_G k_{dqG} s f \Phi = s E'_G, \quad (10-21)$$



Hình 10-6. Trường hợp rãnh chéo một bước răng  $E_{vt} = 0$

trong đó:

$w_G, k_{dqG}$  là số vòng dây giữa các chổi A, A' và hệ số dây quấn của dây quấn nối với vành góp;

$$s = \frac{n_1 \pm n}{n_1} \text{ là hệ số trượt;}$$

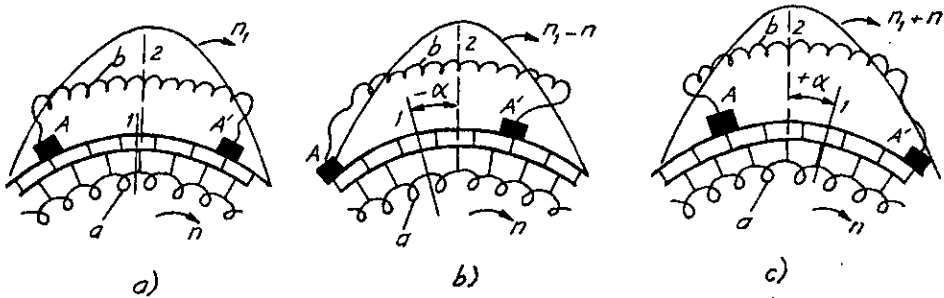
$$f = \frac{pn_1}{60} \text{ là tần số dòng điện xoay chiều sinh ra từ trường quay } n_1.$$

$$E'_G = 4,44w_G k_{dqG} f \Phi \text{ là } E_{G(n=n_1)}.$$

Biểu thức (10-21) tương ứng với khi trục 1 của dây quấn a nối với các phiến góp giữa các chổi điện A, A' trùng với trục 2 của dây quấn b nối với các chổi điện đó như trên hình 10-7a. Khi xê dịch các chổi điện A, A', trục 1 xê dịch ngược hoặc thuận chiều từ trường quay một góc  $\alpha$  đến các vị trí trên hình 10-7b và c thì s.d.d giữa các chổi điện sẽ là:

$$E_{G\alpha} = sE'_G e^{\mp j\alpha}, \quad (10-22)$$

Dấu "-" cho thấy  $E_{G\alpha}$  vượt pha trước  $E'_G$  một góc  $\alpha$ , còn với dấu "+" thì  $E_{G\alpha}$  chậm pha sau  $E'_G$  góc  $\alpha$ .



Hình 10-7. a) Khi trục hai dây quấn a và b trùng nhau;  
b) Xê dịch A, A' ngược chiều quay n; c) Xê dịch A, A' thuận chiều quay n.

### 10.2.2. Từ trường phần cảm có cực tính không đổi

Trong máy phát một chiều trên hình 10-8, phần ứng hình trụ được quay trong từ trường có cực tính không đổi với từ cảm  $B_\delta$  hướng vào rôto. Gọi l là khoảng cách giữa hai chổi điện trên chiều dài dọc trục của rôto, v là tốc độ dài trên bề mặt rôto thì s.d.d một chiều trên các chổi điện như sau:

$$E = v l B_\delta. \quad (10-23)$$

### 10.3. SỨC ĐIỆN ĐỘNG CẢM ỨNG KHI TỪ THÔNG PHẦN CẢM XUYÊN QUA DÂY QUẤN PHẦN ỨNG BIẾN THIÊN

#### 10.3.1. Từ thông phần cảm biến thiên theo thời gian

##### a. Sức điện động biến áp

Nếu dây quấn phần ứng  $a$  đứng yên có trục làm thành một góc  $\beta$  với từ trường phần cảm phân bố hình sin dọc khe hở và đập mạch với tần số  $f$  như trên hình 10-9a thì trong nó sẽ cảm ứng được một s.d.đ biến áp:

$$E_{ba\beta} = E_{ba} \cos\beta, \quad (10-24)$$

trong đó:

$\beta$  là góc giữa từ trường đập mạch và trục dây quấn  $a$  có số vòng dây  $w$  và hệ số dây quấn  $k_{dq}$ ;

$$E_{ba} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f w k_{dq} \Phi_m \text{ là sức điện động}$$

biến áp khi  $\beta = 0$ .

Ở trường hợp dây quấn phần ứng của máy có vành góp như trên hình 10-9b, trục các chổi điện  $A, B$  là trục của dây quấn phần ứng và do  $w = \frac{N}{2.2a}$  và  $k_{dq} = \frac{2}{\pi}$  nên s.d.đ ở các chổi điện là:

$$E_{AB} = E_{ba} \cos\beta = f \frac{N}{a} \cdot \frac{\Phi_m}{2} \cos\beta, \quad (10-25)$$

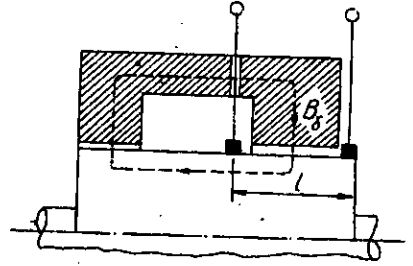
trong đó  $N$  là số thanh dẫn của dây quấn nói trên.

$$\text{Khi } \beta = 0, E_{AB\beta} = E_{ba} = f \frac{N}{a} \cdot \frac{\Phi_m}{2}$$

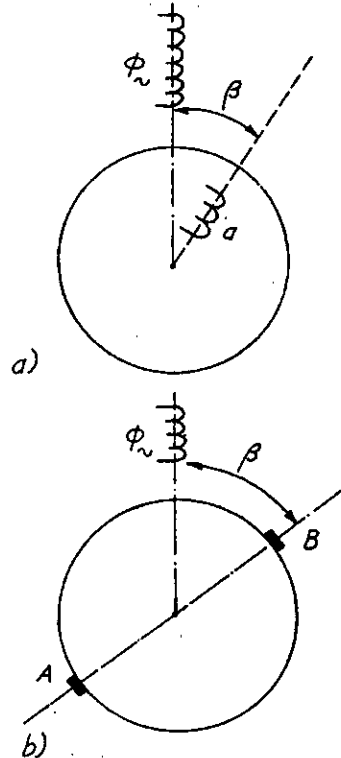
$$\text{Khi } \beta = 90^\circ, E_{AB} = 0.$$

##### b. Sức điện động quay

Khi dây quấn phần ứng của máy có vành góp quay với tốc độ  $n$  trong từ trường đập



Hình 10-8. Máy phát một chiều cực tính không đối.



Hình 10-9. Sức điện động biến áp của dây quấn máy xoay chiều (a) và của dây quấn nối với vành góp (b).

mạch (hình 10-10) nếu trục các chổi điện  $A, B$  thẳng góc với trục của từ trường thì rõ ràng là  $E_{ba} = 0$ , vì  $\beta = 90^\circ$ , nhưng ở các chổi điện sẽ có s.d.đ quay:

$$E_q = 4,44fwk_{dq}\Phi_m.$$

Do  $w = \frac{N}{2.2a}$  và  $k_{dq} = \frac{2}{\pi}$  nên:

$$E_q = \frac{pN}{\sqrt{2}a} n\Phi_m. \quad (10-26)$$

*Chú thích:* Khi tần số  $f$  của từ trường đập mạch bằng không  $\Phi_m$  là hằng số, ta có biểu thức s.d.đ của máy điện một chiều:

$$E = \frac{pN}{a} n\Phi$$

### 10.3.2. Sức điện động cảm ứng khi từ thông không đổi nhưng từ dẫn mạch từ thay đổi

Ở các máy phát tần số cao có cực tính không đổi (hoặc cực tính xen kẽ) rôto là một bánh xe răng như trên hình 10-11. Khi rôto quay tuy từ thông tổng của mạch từ không đổi nhưng từ thông qua răng stato đập mạch giữa hai trị số  $\Phi_{max}$  và  $\Phi_{min}$  do từ dẫn ở khe hở thay đổi, kết quả là s.d.đ cảm ứng ở các pha có số vòng dây  $w$  ở stato sẽ là:

$$E = 2,22f\omega(\Phi_{max} - \Phi_{min}) \quad (10-27)$$

trong đó:

$$f = \frac{Z_2 n}{60}$$

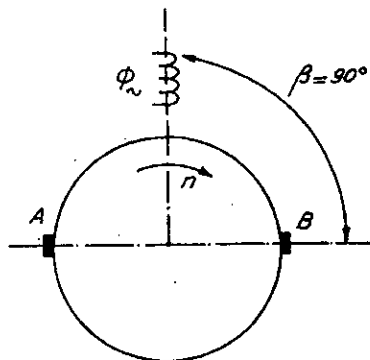
$Z_2$  là số răng rôto;

$n$  là tốc độ quay của rôto.

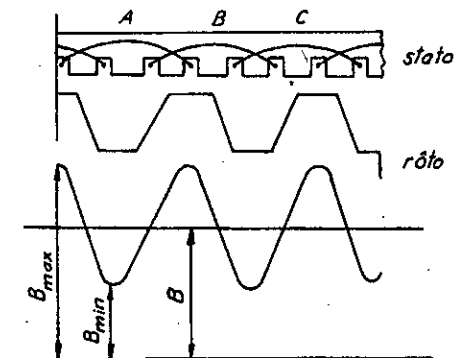
#### Câu hỏi

1. Nêu rõ quan hệ giữa s.d.đ của máy điện một chiều với s.d.đ của máy điện xoay chiều.

2. Vì sao yêu cầu s.d.đ của máy điện



Hình 10-10. Sức điện động quay của dây quấn phần ứng nối với vành góp



Hình 10-11. Sức điện động do từ dẫn mạch từ thay đổi

xoay chiều phải có dạng hình sin. Làm thế nào để đảm bảo được yêu cầu đó?

3. Hãy xác định biểu thức s.d.d của dây quấn một pha khi từ trường không hình sin.

4. Các biện pháp để cải thiện dạng sóng s.d.d và hiệu lực của các biện pháp đó.

5. 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  $D = 0,7$  m, từ cảm trung bình  $B_{tb1} = 0,6$  T, chiều dài tính toán của stato  $l = 1,3$  m. Cho biết  $B_{tb3} = 0,325B_{tb1}$ ;  $B_{tb5} = 0,15B_{tb1}$ . 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:

$$E_1 = 95,2 \text{ V}; E_3 = 30,94 \text{ V}; E_5 = 14,28 \text{ V};$$

$$E = 101 \text{ V}.$$

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 bố dây có  $w_s = 5$  vòng và s.d.d của thanh dẫn  $E_{td} = 5$  V. Hãy tính s.d.d pha của dây quấn đó.

Đáp số:  $E_f = 373,2$  V

3. Cho một máy phát điện ba pha 6000 kW; 6300 V; 3000 vg/ph;  $f = 50$  Hz;  $\cos\varphi = 0,8$ ; đường kính trong của stato  $D = 0,7$  m; chiều dài stato  $l = 1,35$  m;  $B_{tb} = 0,4890$  T;  $Z = 36$ ;  $y = 13$ ;  $w = 24$ . Hãy tính s.d.d pha của máy.

Đáp số:  $E_f = 3350$  V.

## Chương 11

# SỨC TỪ ĐỘNG CỦA DÂY QUẤN MÁY ĐIỆN QUAY

### 11.1. ĐẠI CƯƠNG

Dòng điện chảy trong dây quấn của các máy điện quay tạo ra sức từ động (s.t.đ) của dây quấn và sinh ra từ trường bao quanh dây quấn đó. Để việc nghiên cứu tính toán được dễ dàng người ta thường chia và xét từ trường của dây quấn của máy điện quay ở ba vùng không gian: từ trường ở khe hở giữa stato và rôto, từ trường ở rãnh và từ trường ở phần đầu nối. Trong chương này ta chỉ xét từ trường ở khe hở. Với giả thiết rằng khe hở  $\delta$  là đều và từ trở của thép stato và rôto trên mạch từ không đáng kể, (hệ số dẫn từ  $\mu_{Fe} = \infty$ ), thì sự phân bố từ trường ở khe hở cũng là sự phân bố s.t.đ của dây quấn. Nói chung s.t.đ ở khe hở phụ thuộc vào kiểu dây quấn là tập trung hay quấn rải và vào dòng điện. Khi dòng điện là một chiều thì s.t.đ khe hở là không đổi nếu từ dẫn khe hở không đổi, và là đập mạch nếu từ dẫn khe hở thay đổi. Nếu dòng điện là xoay chiều một pha, s.t.đ là đập mạch. Dòng điện xoay chiều  $m$  pha (với  $m \neq 1$ ) đối xứng sẽ sinh ra s.t.đ quay tròn; còn dòng điện xoay chiều  $m$  pha không đối xứng sẽ sinh ra s.t.đ quay elip.

Để thuận tiện cho việc phân tích s.t.đ của dây quấn máy điện xoay chiều ta cần nhắc lại các khái niệm về s.t.đ đập mạch, s.t.đ quay và quan hệ giữa các s.t.đ đó.

Biểu thức toán học của s.t.đ đập mạch có thể viết như sau:

$$F = F_m \sin \omega t \cos \alpha, \quad (11-1)$$

trong đó  $\alpha$  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.đ 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*, trong trường hợp đơn giản này phân bố hình sin trong không gian và biến đổi hình sin theo thời gian (hình 11-1a).

Ta có thể biểu thị *s.t.d. đập mạch* ở vị trí không gian  $\alpha = 0$  bằng một vectơ có độ dài thay đổi theo  $t$  như trên hình 11-1b.

Biểu thức toán học của *s.t.d.* khác nhau; b) Vectơ *s.t.d. đập mạch* ở  $\alpha = 0$  quay tròn với biên độ không đổi có dạng:

$$F = F_m \sin(\omega t \mp \alpha). \quad (11-2)$$

Thật vậy, giả thử ta xét một điểm bất kỳ tùy ý của sóng *s.t.d.* có trị số không đổi thì:

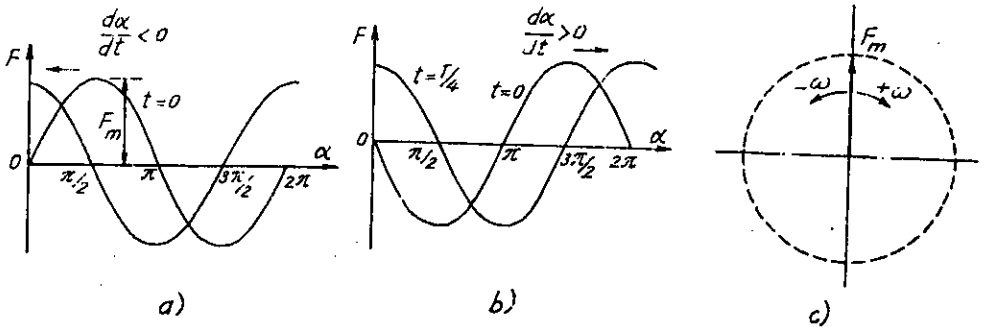
$$\sin(\omega t \mp \alpha) = \text{const},$$

hay là :

$$\omega t \mp \alpha = \text{const}.$$

Lấy vi phân biểu thức đó theo thời gian ta có:

$$\frac{d\alpha}{dt} = \pm \omega \quad (11-3)$$



Hình 11-2.

Vị trí của sóng quay ngược (a) và quay thuận (b) ở thời điểm  $t = 0$  và  $t = T/4$ . (c) biểu thị *s.t.d.* quay bằng vectơ quay

Đạo hàm của  $\alpha$  theo  $t$  theo 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.

Sức từ động quay tròn có thể biểu thị bằng một vectơ có độ lớn  $F_m$  không đổi quay với tốc độ góc  $+\omega$  hoặc  $-\omega$ , mút vectơ đó vẽ thành một hình tròn như trên hình 11-2c.

Để thấy rõ quan hệ giữa các s.t.đ đập mạch và s.t.đ quay trước hết chú ý rằng:

$$F_m \sin \omega t \cos \alpha = \frac{1}{2} F_m \sin(\omega t - \alpha) + \frac{1}{2} F_m \sin(\omega t + \alpha) = F_1 + F_2 \quad (11-4a)$$

nghĩa là s.t.đ đập mạch là tổng của hai s.t.đ quay:  $F_1$  quay thuận với tốc độ  $+\omega$  và  $F_2$  quay ngược với tốc độ  $-\omega$ . Biên độ của các s.t.đ quay đó bằng một nửa của s.t.đ đập mạch. Hình 11-3 biểu thị vectơ s.t.đ đập mạch  $F$  tổng của hai vectơ s.t.đ quay  $F_1$  và  $F_2$  ở các thời điểm  $t = \frac{T}{4}$

và  $t = \frac{5T}{12}$ .

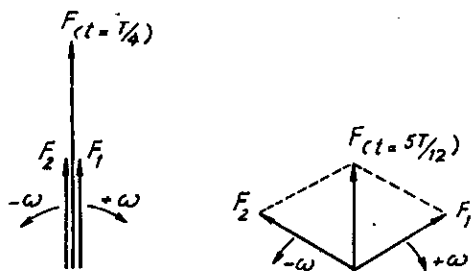
Mặt khác từ biểu thức:

$$\begin{aligned} F_m \sin(\omega t \pm \alpha) &= F_m \sin \omega t \cos \alpha \pm F_m \cos \omega t \sin \alpha \\ &= F_m \sin \omega t \cos \alpha \mp F_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \cos\left(\alpha - \frac{\pi}{2}\right), \end{aligned} \quad (11-4b)$$

ta cũng thấy rằng s.t.đ quay tròn là tổng hợp của hai s.t.đ đập mạch khác pha nhau về thời gian là  $\pi/2$  và lệch nhau trong không gian một góc  $\pi/2$ .

*Sức từ động quay elip.*

Trong động cơ chấp hành không đồng bộ và động cơ chấp hành đồng bộ một pha vành chập ta còn gặp các trường hợp sau: Khi hai s.t.đ đập mạch (của dây quấn hai pha) lệch nhau trong không gian góc  $\pi/2$  nhưng lệch pha nhau về thời gian góc  $\beta \neq \pi/2$ :



Hình 11-3. Sức từ động đập mạch, tổng của hai s.t.đ., quay tròn thuận và ngược.



$$F = F_m \sin \omega t \cos \alpha + F'_m \sin(\omega t - \beta) \cos(\alpha - \frac{\pi}{2}) \quad (11-5)$$

hoặc có biên độ khác nhau:

$$F = F_m \sin \omega t \cos \alpha + F'_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \cos(\alpha - \frac{\pi}{2}) \quad (11-6)$$

hoặc khi hai s.t.d. đập mạch có biên độ bằng nhau, lệch pha nhau  $\frac{\pi}{2}$  về thời gian nhưng lệch nhau trong không gian góc  $\gamma \neq \frac{\pi}{2}$ :

$$F = F_m \sin \omega t \cos \alpha + F_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \cos(\alpha - \gamma) \quad (11-7)$$

thì s.t.d tổng hợp  $F$  của chúng ở cả ba trường hợp trên đều có thể biểu thị bằng một vectơ quay mà mút vectơ vẽ thành hình elip. Từ trường quay trong máy là từ trường elip.

Trước hết xét tổng hợp của hai s.t.d. đập mạch theo (11-6):

$$F = F_m \sin \omega t \cos \alpha + F'_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \cos(\alpha - \frac{\pi}{2})$$

Phân tích mỗi s.t.d. đập mạch của biểu thức trên thành hai s.t.d. quay tròn theo biểu thức (11-4a), với chú ý rằng  $\sin(\omega t + \alpha - \pi) = -\sin(\omega t + \pi)$  ta có:

$$F = \frac{F_m + F'_m}{2} \sin(\omega t - \alpha) + \frac{F_m - F'_m}{2} \sin(\omega t + \alpha) \quad (11-8)$$

$$= F_1 \sin(\omega t - \alpha) + F_2 \sin(\omega t + \alpha)$$

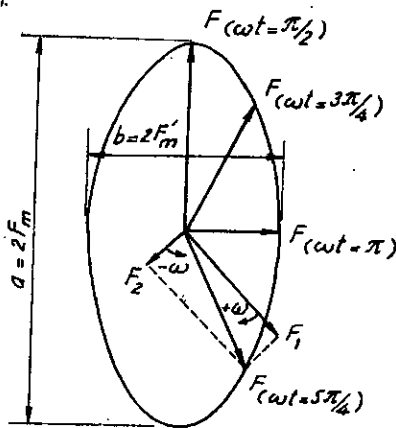
Vậy s.t.d.  $F$  là tổng hợp của hai s.t.d. có biên độ khác nhau quay theo hai chiều thuận và ngược với cùng một tốc độ, được biểu thị bằng một vectơ quay  $F$  mà mút của vectơ vẽ thành hình elip như trên hình 11-4. Trục lớn  $a$  và trục nhỏ  $b$  của từ trường elip có giá trị bằng:

$$a = 2(F_1 + F_2) = 2F'_m$$

$$\text{(ứng với } \alpha = 0, \omega t = \frac{\pi}{2} \text{)}$$

$$b = 2(F_1 - F_2) = 2F_m$$

Cũng chứng minh tương tự như trên đối với trường hợp hai s.t.d. đập mạch lệch pha nhau về thời gian góc  $\beta \neq \frac{\pi}{2}$ , theo (11-5) ta có:



Hình 11-4. Từ trường elip theo biểu thức (11-6),  $F_m \neq F'_m$

$$F = F_m \sin \omega t \cos \alpha + F_m \sin(\omega t - \beta) \cos(\alpha - \frac{\pi}{2}),$$

$$= F_1 \sin(\omega t - \alpha') + F_2 \sin(\omega t + \alpha' - \beta), \quad (11-9)$$

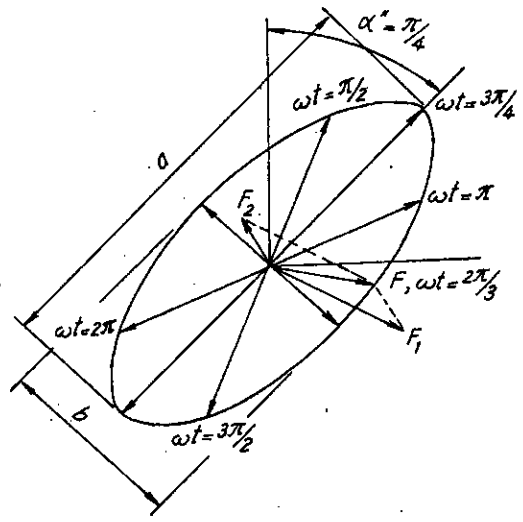
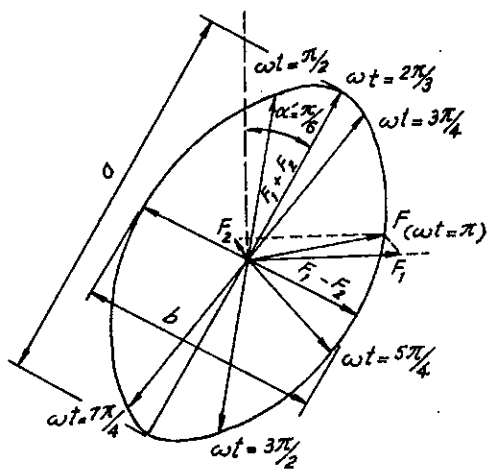
trong đó:

$$F_1 = F_m \cos \beta'$$

$$F_2 = F_m \sin(-\beta'),$$

với 
$$\beta' = \frac{\beta}{2} - \frac{\pi}{4}; \quad \alpha' = \alpha + \frac{\beta}{2} - \frac{\pi}{4}$$

Sức từ động tổng  $F$  ở trường hợp này cũng biểu thị được bằng một vectơ quay mà mút của vectơ vẽ thành hình elip có trục lớn  $a = 2(F_1 + F_2)$  ứng với khi  $(\omega t - \alpha') = (\omega t + \alpha' - \beta) = \frac{\pi}{2}$  hay là  $\alpha' = \frac{\beta}{2}$  và  $\omega t = \frac{\pi + \beta}{2}$ . Từ trường elip khi hai s.t.d lệch pha nhau về thời gian góc  $\beta = \frac{\pi}{3}$  được trình bày trên hình 11-5.



Hình 11-5. Từ trường elip theo biểu thức (11-5), khi  $\beta = \frac{\pi}{3}$

Hình 11-6. Từ trường elip theo biểu thức (11-7), khi  $\gamma = \frac{\pi}{4}$

Khi hai s.t.d. đập mạch lệch pha nhau trong không gian góc  $\gamma \neq \frac{\pi}{2}$  theo (11-7) ta có:

$$F = F_m \sin \omega t \cos \alpha + F_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \cos(\alpha - \gamma)$$

$$= F_1 \sin(\omega t - \alpha'') + F_2 \sin(\omega t + \alpha'' - \frac{\pi}{2}), \quad (11-10)$$

trong đó:

$$F_1 = F_m \cos \gamma'$$

$$F_2 = F_m \sin \gamma'$$

$$\text{với } \gamma' = \frac{\pi}{4} - \frac{\gamma}{2}; \quad \alpha'' = \alpha + \frac{\pi}{4} - \frac{\gamma}{2}$$

Ở trường hợp này s.t.d  $F$  cũng là s.t.d. elip. Trục lớn của hình elíp là  $a = 2(F_1 + F_2)$  ứng với khi  $\alpha'' = \frac{\pi}{4}$  và  $\omega t = \frac{3\pi}{4}$

Từ trường elíp do hai s.t.d đập mạch lệch nhau trong không gian góc  $\gamma = \frac{\pi}{4}$  được trình bày trên hình 11-6.

Như sẽ thấy ở phần sau của chương này, s.t.d elip còn được hình thành trong dây quấn nhiều pha khi dòng điện trong các pha không đối xứng. Các thành phần thứ tự thuận và thứ tự ngược của dòng không đối xứng sẽ sinh ra các từ trường quay thuận  $F_1$  và từ trường ngược  $F_2$  với cùng một tốc độ. Tổng hợp của  $F_1$  và  $F_2$  sẽ tạo ra từ trường elip.

## 11.2. SỨC TỪ ĐỘNG CỦA DÂY QUẤN PHẦN CẢM MÁY ĐIỆN QUAY

### 11.2.1. Dây quấn phần cảm tập trung

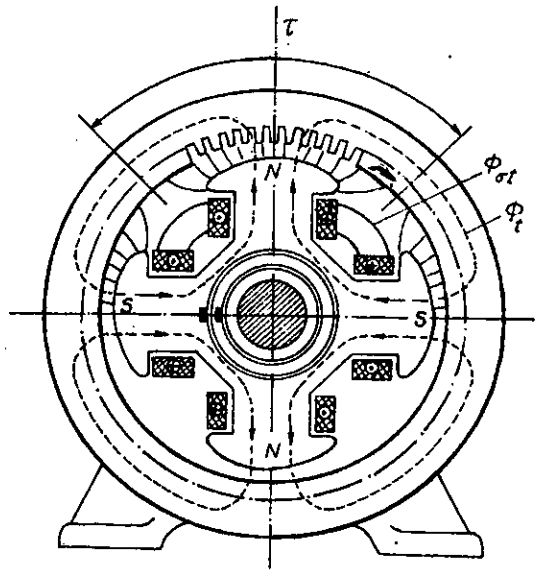
Ở các máy điện quay cực lõi, dây quấn phần cảm được quấn thành các cuộn dây bao quanh thân cực từ (hình 11-7), s.t.d. của mỗi cực từ bằng:

$$F_1 = \frac{\omega_1 I_1}{2p}, \quad A/\text{cực.} \quad (11-11)$$

trong đó  $\omega_1$  là tổng số vòng dây trên  $2p$  cực từ.

$I_1$  là dòng điện kích thích từ có chiều như trên hình vẽ.

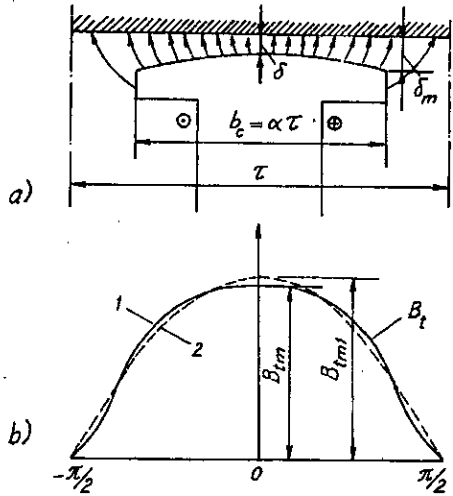
Từ thông do s.t.d đó sinh ra gồm hai phần: từ thông chính  $\Phi_1$  đi qua khe hở ở mốt vòng với dây quấn stato và từ



Hình 11-7. Từ trường của dây quấn phần cảm ở máy cực lõi.

thông tản  $\Phi_{ot}$  đi từ cực  $N$  sang cực  $S$  không móc vòng với dây quấn đó.

Sự phân bố của các đường từ lực ở mặt cực được trình bày trên hình 11-8a. Do khe hở giữa mặt cực và phần ứng không đều: nhỏ ở giữa cực và lớn ở móm cực, nên mật độ từ thông ở giữa mặt cực lớn hơn ở móm cực. Dùng phương pháp chia từ thông ở khe hở thành các đơn vị ống từ, có thể chứng minh rằng từ cảm  $B_t$  ở từng điểm dọc mặt cực tỷ lệ ngược với chiều dài khe hở ở ở điểm đó và vẽ dự



Hình 11-8. Từ trường do dây quấn kích thích ở khe hở của máy điện đồng bộ cực lồi.

khó khăn về gia công độ cong của mặt cực nên không thể tạo được sự phân bố của từ cảm  $B_t$  theo hình sin, nhưng đường phân bố từ cảm không sin đó có thể phân tích thành sóng cơ bản và sóng bậc cao. Trong máy đồng bộ sóng cơ bản là chủ yếu và sẽ tạo nên các s.d.d. có tần số cơ bản ở dây quấn stato, còn các từ trường bậc cao của cực từ thường rất nhỏ, hơn nữa s.d.d. do chúng sinh ra còn bị giảm đi nếu chọn thích đáng bước ngắn  $\gamma$  và số rãnh của một pha ở một cực  $q$  của dây quấn stato.

Sự khác nhau giữa sóng cơ bản với từ cảm  $B_t$  được biểu thị bằng hệ số dạng sóng của từ trường:

$$k_t = \frac{B_{t1m}}{B_{tm}} \quad (11-12)$$

trong đó  $B_{t1m}$  là biên độ của sóng cơ bản;

$B_{tm}$  là trị số cực đại của từ cảm.

Trị số của  $k_t$  phụ thuộc vào tỷ số  $\delta_m/\delta$  và vào hệ số mặt cực  $\alpha = b_c/\tau$ . Thông thường  $\delta_m/\delta = 1 \div 2,5$ ;  $\alpha = 0,67 \div 0,75$  và  $k_t = 0,95 \div 1,15$ .

Từ biểu thức (11-12) có:

$$B_{t1m} = k_t B_{tm} = \frac{\mu_0 F_1}{k_\delta k_{\mu d} \delta} k_t = \frac{\mu_0}{k_\delta k_{\mu d} \delta} \cdot \frac{w_1 i_1}{2p} k_t \quad (11-13)$$

trong đó:

$k_\delta$  là hệ số khe hở;

$k_{\mu d}$  là hệ số bão hòa dọc trục cực từ.

Ở các máy điện quay cực ẩn, dây quấn phần cảm được quấn rải thành nhiều bố trí dây; đường biểu diễn s.t.d của cực từ có dạng hình thang như trên hình 11-9, có thể phân tích theo dãy Fourier thành các sóng điều hòa 1, 3, 5, 7...

$$F_t = F_{t1} \cos \alpha + F_{t3} \cos 3\alpha + F_{t5} \cos 5\alpha + \dots + F_{t\nu} \cos \nu \alpha = \sum_{\nu=1,3,5} F_{t\nu} \cos \nu \alpha \quad (11-14)$$

trong đó:

$$\begin{aligned} F_{t\nu} &= \frac{2}{\pi} \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} F_t \cos \nu \alpha d\alpha = \\ &= \frac{4}{\pi} \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{(1-\gamma)\pi}{2}} F_t \cos \nu \alpha d\alpha + \frac{4}{\pi} \int_{\frac{(1-\gamma)\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{2}{\gamma\pi} \left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) F_t \cos \nu \alpha d\alpha = \\ &= \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{F_t}{\gamma} \cdot \frac{1}{\nu^2} \sin \frac{\gamma\pi}{2} \sin \nu \gamma \frac{\pi}{2} \end{aligned} \quad (11-15)$$

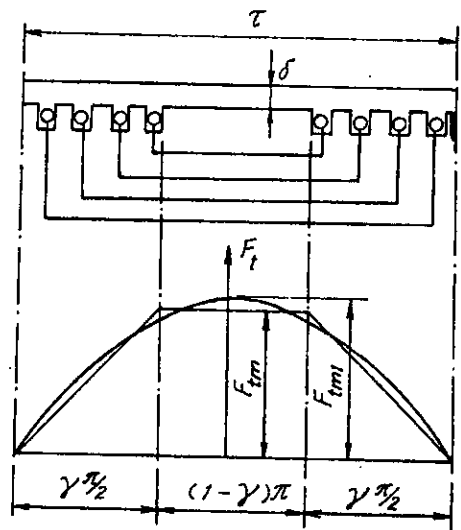
Biên độ của s.t.d. cơ bản ( $\nu = 1$ ) bằng:

$$F_{t1} = \frac{8 \sin \frac{\gamma\pi}{2}}{\gamma\pi^2} F_t \quad (11-16)$$

Trong máy cực ẩn vì khe hở  $\delta = \text{const}$ , hệ số dạng sóng của s.t.d. hay từ trường của dây quấn phần cảm là:

$$k_t = \frac{F_{t1}}{F_t} = \frac{B_{t1}}{B_{tm}} = \frac{8 \sin \frac{\gamma\pi}{2}}{\gamma\pi^2} \quad (11-17)$$

trong đó  $\gamma$  là tỷ số giữa phần có quấn dây của bước cực và bước cực. Thường  $\gamma = 0,6 \div 0,85$  vậy  $k_t = 1,065 \div 0,965$ .



Hình 11-9. Từ trường của dây quấn phần cảm của máy cực ẩn

### 11.3. SỨC TỪ ĐỘNG CỦA DÂY QUẤN PHẦN ỨNG MÁY ĐIỆN QUAY

#### 11.3.1. Sức từ động của dây quấn phần ứng máy điện xoay chiều

##### a. Sức từ động của dây quấn một pha

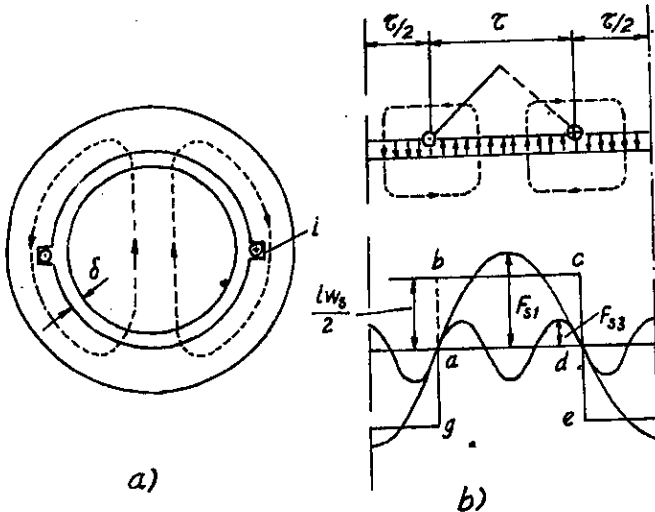
Để nghiên cứu s.t.d. của dây quấn một pha, trước hết ta xét s.t.d. của một phần tử sau đó s.t.d. của dây quấn một pha một lớp gồm có  $q$  phần tử và cuối cùng s.t.d. của dây quấn một pha hai lớp bước ngắn.

##### Sức từ động của một phần tử

Giả sử ta có một phần tử gồm  $w_s$  vòng dây bước đủ ( $y = \tau$ ) đặt ở stato của một máy điện như trên hình 11-10a. Khi trong phần tử có dòng điện  $i = \sqrt{2}I\sin\omega t$  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 có thể viết:

$$\oint Hdl = i \quad (11-18)$$

trong đó  $H$  là cường độ từ trường dọc theo đường sức từ.



Hình 11-10. 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)

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  $\delta$ :

$$H2\delta = iw_s. \quad (11-19)$$

Như vậy s.t.d. ứng với một khe không khí bằng:

$$F_s = \frac{1}{2}iw_s \quad (11-20)$$

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  $iw_s/2$  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  $i = \sqrt{2}I \sin \omega t$  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  $i$ .

Sức từ động phân bố hình chữ nhật trong không gian và biến đổi hình sin theo thời gian đó có thể phân tích theo dãy Fourier thành các sóng điều hòa 1, 3, 5, 7, ... Với góc tọa độ được chọn như ở hình 11-10b ta có:

$$F_s = F_{s1} \cos \alpha + F_{s3} \cos 3\alpha + \dots + F_{sv} \cos v\alpha + \dots = \sum_{v=1,3,5} F_{sv} \cos v\alpha, \quad (11-21)$$

trong đó:

$$F_{sv} = \frac{2}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} F_s \cos v\alpha d\alpha = \frac{4}{v\pi} F_s \sin v \frac{\pi}{2}. \quad (11-22)$$

Thay (11-22) vào (11-21) đồng thời kết hợp với (11-20) ta được:

$$F_s = \sum_{v=1,3,5} F_{sv} \cos v\alpha \sin \omega t, \quad (11-23)$$

ở đây:

$$\begin{aligned} F_{sv} &= \frac{2\sqrt{2}}{v\pi} Iw_s \sin v \frac{\pi}{2} = \\ &= \pm \frac{2\sqrt{2}}{v\pi} Iw_s = \pm 0,9 \frac{Iw_s}{v}. \end{aligned} \quad (11-24)$$

Căn cứ theo (11-23) ta thấy rằng s.t.d. của một phần tử trong có dòng điện xoay chiều là tổng hợp của  $v$  sóng đập mạch phân bố hình sin trong không gian và biến đổi hình sin theo thời gian.

**Sức từ động 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

ừ có  $w_s$  vòng dây như ở hình 11-11. Sức từ động của dây quấn đó là tổng của ba 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

lích ba sóng chữ nhật đó theo cấp số Fourier 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 với tất cả các bậc  $\nu$  để có s.t.d. tổng của dây quấn đó.

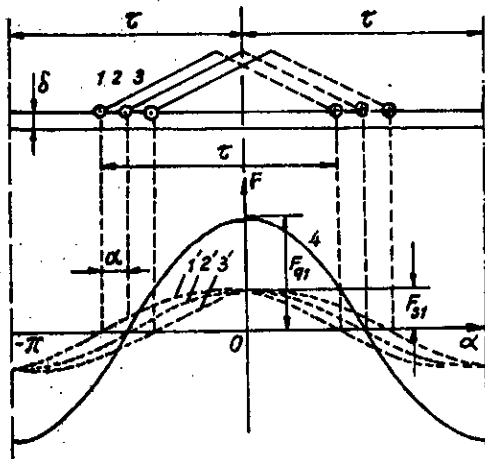
Với  $\nu = 1$  ta có ba sóng s.t.d. hình sin cơ bản 1', 2' và 3' lệch nhau về không gian góc  $\alpha$  và có thể biểu thị được bằng ba vectơ lệch nhau góc không gian  $\alpha$  như trên hình 11-12. Tổng của ba sóng s.t.d. hình sin đó cũng là một sóng hình sin (đường 4) và là sóng s.t.d. cơ bản của 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 11-12. Giống như biểu thức (10-6) đối với s.t.d. tổng của nhóm phần tử ta có s.t.d. cơ bản của nhóm phần tử:

$$F_{q1} = qk_{r1}F_{sm1} \quad (11-25)$$

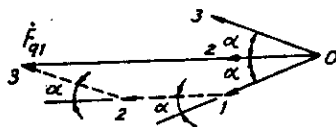
trong đó  $k_{r1}$  là hệ số quấn rải xác định theo (10-7).

Với sóng bậc  $\nu$  thì góc lệch giữa các sóng s.t.d. bậc  $\nu$  là  $\nu\alpha$  và vectơ s.t.d. tổng bậc  $\nu$  có biên độ:

$$F_{q\nu} = qk_{r\nu}F_{sm\nu} \quad (11-26)$$



Hình 11-11. Sức từ động của dây quấn một lớp bước chẵn có  $q = 3$



Hình 11-12. Cộng s.t.d. của ba phần tử



trong đó  $k_{rv}$  là hệ số xác định theo (10-11).

Như vậy s.t.d. của dây quấn một lớp bước đủ có thể biểu thị như sau:

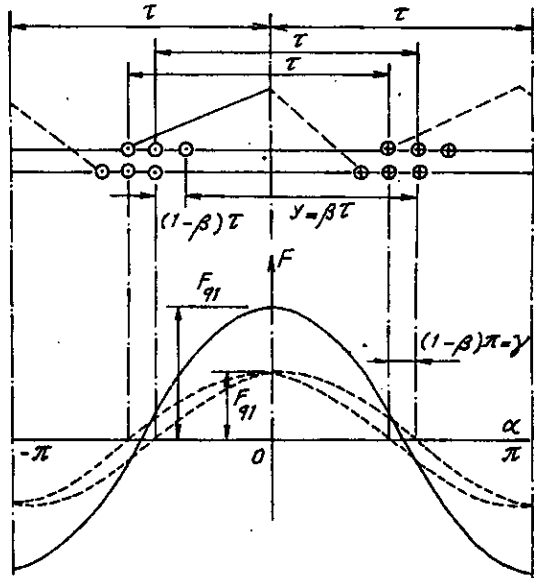
$$F_q = \sum_{s,m} q F_{sm} k_{rv} \cos v \alpha \sin \omega t. \quad (11-27)$$

$v = 1, 3, 5$

**Sức từ động của dây quấn một pha hai lớp bước ngắn**

Sức từ động của dây quấn hai lớp bước ngắn có thể được xem như tổng s.t.d. của hai dây quấn một lớp bước đủ, một đặt ở lớp trên và một đặt ở lớp dưới nhưng lệch nhau góc điện  $\alpha$  như trên hình 11-13.

Đối với sóng cơ bản ( $v = 1$ ) góc lệch  $\gamma = (1 - \beta)\pi$ , trong đó  $\beta = \frac{y}{\tau}$  và theo hình 11-13 thì:



Hình 11-13. Sức từ động cơ bản ( $v = 1$ ) của dây quấn một pha hai lớp bước ngắn.

$$F_{f1} = 2F_q \cos(1 - \beta) \frac{\pi}{2} = 2F_q k_{n1} \quad (11-28)$$

trong đó:

$$k_{n1} = \cos(1 - \beta) \frac{\pi}{2} = \sin \beta \frac{\pi}{2}.$$

Cũng như vậy đối với sóng bậc  $v$ :

$$F_{fv} = 2F_{qv} \cos v (1 - \beta) \frac{\pi}{2} = 2F_{qv} k_{nv} \quad (11-29)$$

với:

$$k_{nv} = \cos v (1 - \beta) \frac{\pi}{2} = \sin v \beta \frac{\pi}{2}.$$

Kết quả là s.t.d. của dây quấn một pha hai lớp bước ngắn có thể biểu thị dưới dạng:

$$F_f = \sum_{s,m} 2q k_{rv} k_{nv} F_{smv} \cos v \alpha \sin \omega t, \quad (11-30)$$

$v = 1, 3, 5$

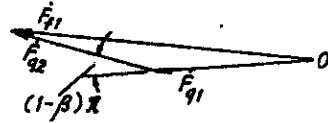
Thay trị số của  $F_{smv}$  theo (11-24) và chú ý rằng trong dây quấn hai lớp số vòng dây của một pha  $w = 2pqw_s$ , biểu thức (11-30) có thể viết:

$$F_f = \sum_{v=1,3,5} F_{fv} \cos v \alpha \sin \omega t; \quad (11-31)$$

trong đó:

$$F_f = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \frac{\omega k_{dqv}}{vp} I = 0,9 \frac{\omega k_{dqv}}{vp} I. \quad (11-32)$$

Từ những biểu thức (11-27), (11-32) ta thấy rằng, s.t.d. của dây quấn một pha (một lớp hoặc hai lớp) là tổng hợp của một dây 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 chảy trong dây quấn đó.

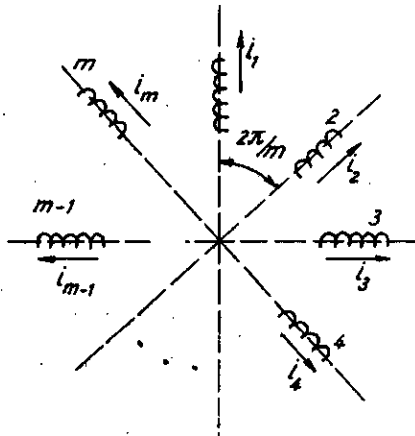


Hình 11-14. Công s.t.d. cơ bản ( $v = 1$ ) của hai lớp của dây quấn một pha trên hình 11-13.

#### b. Sức từ động của dây quấn m pha

Ta hãy xét tổng quát s.t.d. của dây quấn m pha rồi từ đó suy ra s.t.d. của dây quấn ba pha ( $m = 3$ ) và s.t.d. của dây quấn hai pha ( $m = 2$ ).

Giả thử cho dây quấn m pha đặt lệch nhau về không gian góc điện  $2\pi/m$  (hình 11-15) trong đó có dòng điện m pha đối xứng lệch nhau về thời gian góc  $2\pi/m$ .



Hình 11-15. Dây quấn m pha

$$\left. \begin{aligned} i_1 &= \sqrt{2} I \sin \omega t. \\ i_2 &= \sqrt{2} I \sin \left( \omega t - \frac{2\pi}{m} \right) \\ i_m &= \sqrt{2} I \sin \left[ \omega t - (m-1) \frac{2\pi}{m} \right] \end{aligned} \right\} \quad (11-33)$$

Ta hãy nghiên cứu tính chất và biểu thức của s.t.d. của dây quấn m pha đó.

Như đã biết theo (11-31) s.t.d. của mỗi pha là một s.t.d. đập mạch và được biểu thị như sau:

$$\begin{cases}
 F_1 = \sum_{v=1,3,5} F_{fv} \sin \omega t \cos v \alpha; \\
 F_2 = \sum_{v=1,3,5} F_{fv} \sin \left( \omega t - \frac{2\pi}{m} \right) \cos v \left( \alpha - \frac{2\pi}{m} \right); \\
 \dots \\
 F_m = \sum_{v=1,3,5} F_{fv} \sin \left[ \omega t - (m-1) \frac{2\pi}{m} \right] \cos v \left[ \alpha - (m-1) \frac{2\pi}{m} \right];
 \end{cases} \quad (11-34)$$

Để có s.t.d của dây quấn m pha ta lấy tổng của m s.t.d. đáp mạch đó. Muốn cho sự phân tích được dễ dàng, dựa theo (11-4a) có thể phân tích s.t.d bậc v của mỗi pha thành hai s.t.d. quay thuận và ngược; như vậy s.t.d. của dây quấn m pha sẽ là tổng của tất cả các s.t.d. quay thuận và các s.t.d. quay ngược đó. Ta có:

$$\begin{aligned}
 F_1 &= F_{fv} \sin \omega t \cos v \alpha = \frac{F_{fv}}{2} \sin(\omega t - v\alpha) + \frac{F_{fv}}{2} \sin(\omega t + v\alpha) \\
 F_2 &= F_{fv} \sin \left[ \omega t - \frac{2\pi}{m} \right] \cos v \left[ \alpha - \frac{2\pi}{m} \right] \\
 &= \frac{F_{fv}}{2} \sin \left[ (\omega t - v\alpha) + (v-1) \frac{2\pi}{m} \right] + \frac{F_{fv}}{2} \sin \left[ (\omega t + v\alpha) - (v+1) \frac{2\pi}{m} \right] \\
 F_m &= F_{fv} \sin \left[ \omega t - (m-1) \frac{2\pi}{m} \right] \cos v \left[ \alpha - (m-1) \frac{2\pi}{m} \right] \\
 &= \frac{F_{fv}}{2} \sin \left[ (\omega t - v\alpha) + (m-1)(v-1) \frac{2\pi}{m} \right] + \frac{F_{fv}}{2} \sin \left[ (\omega t + v\alpha) - (m-1)(v+1) \frac{2\pi}{m} \right]
 \end{aligned} \quad (11-35)$$



trong đó  $v = 1, 3, 5, \dots$  có thể chia thành ba nhóm như sau:

$$\left. \begin{aligned}
 1/ \quad v &= mk \\
 2/ \quad v &= 2mk + 1 \\
 3/ \quad v &= 2mk - 1
 \end{aligned} \right\} \quad \left[ \frac{2s}{m} (1 - \dots) \right] \quad (11-36)$$

Trước hết ta hãy xét tổng của các s.t.d. quay thuận, tức là tổng các số hạng thứ nhất ở vế phải của các biểu thức (11-35). Các s.t.d. quay thuận đó có thể viết như sau:

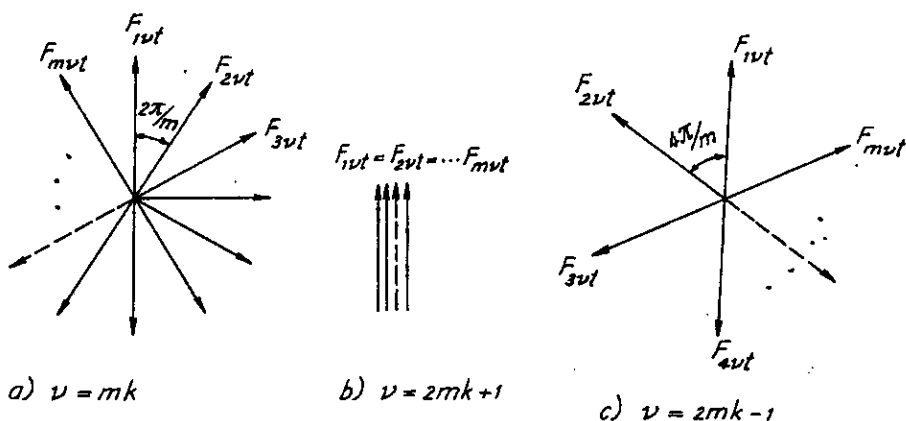
$$\left. \begin{aligned} F_{1vt} &= \frac{F_{fv}}{2} \sin(\omega t - v\alpha) \\ F_{2vt} &= \frac{F_{fv}}{2} \sin[(\omega t - v\alpha) + (\nu - 1)\frac{2\pi}{m}] \\ F_{mvt} &= \frac{F_{fv}}{2} \sin[(\omega t - v\alpha) + (m-1)(\nu - 1)\frac{2\pi}{m}] \end{aligned} \right\} \quad (11-37)$$

Tổng của chúng là tổng của những sóng quay hình sin lệch nhau góc  $(\nu - 1)\frac{2\pi}{m}$ , trong đó  $\nu$  có trị số xác định theo các biểu thức (11-36).

• Với nhóm  $\nu = mk$  ta có:

$$(\nu - 1)\frac{2\pi}{m} = (mk - 1)\frac{2\pi}{m} = 2k\pi - \frac{2\pi}{m},$$

và thay trị số đó vào các biểu thức (11-37) ta thấy, với mỗi trị số của  $k, m$  s.t.đ đó là những sóng hình sin quay với cùng tốc độ, các vectơ tương ứng với các sóng hình sin đó lệch nhau góc  $2\pi/m$  làm thành một hình sao đối xứng (hình 11-16a) do đó tổng của chúng bằng không.



Hình 11-16. Cộng các s.t.đ. quay thuận bậc  $\nu$  của các pha

• Với nhóm  $\nu = 2mk + 1$  ta có:

$$(\nu - 1)\frac{2\pi}{m} = 4\pi k$$

và các s.t.đ theo (11-37) tương ứng với mỗi trị số của  $k$  là những s.t.đ quay thuận trùng pha nhau (hình 14-16b), do đó tổng của chúng bằng:

$$F_t = \sum_{\nu = 2mk+1}^m \frac{m}{2} F_{t\nu} \sin(\omega t - \nu\alpha). \quad (11-38)$$

• Với nhóm  $\nu = 2mk - 1$  ta có:

$$(\nu - 1) \frac{2\pi}{m} = 4\pi k - \frac{4\pi}{m}$$

và các s.t.d. theo (11-37) tương ứng với mỗi trị số của  $k$  là những s.t.d. quay với cùng tốc độ và lệch nhau  $\frac{4\pi}{m}$  (hình 11-16c), 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 (11-35) ta sẽ thấy tổng của các s.t.d. có  $\nu = mk$  và  $2mk+1$  bằng không. Riêng nhóm s.t.d. ứng với  $\nu = 2mk-1$  trùng pha nhau nên tổng của chúng là:

$$F_{ng} = \sum_{\nu = 2mk-1}^m \frac{m}{2} F_{t\nu} \sin(\omega t + \nu\alpha). \quad (11-39)$$

Như vậy s.t.d. của dây quấn  $m$  pha, tổng của các sóng quay thuận và ngược cho bởi các biểu thức (11-38), (11-39) có thể viết gộp lại như sau:

$$F_{(m)} = \sum_{\nu = 2mk \pm 1}^m \frac{m}{2} F_{t\nu} \sin(\omega t \mp \nu\alpha) \quad (11-40)$$

trong đó:

$$\frac{m}{2} F_{t\nu} = 0,45m \frac{wk_{dq\nu}}{vp} I. \quad (11-41)$$

Tốc độ quay của s.t.d. quay bậc  $\nu$  là  $\omega_{\nu} = \pm \frac{\omega}{\nu}$ ; hay là:

$$n_{\nu} = \pm \frac{n}{\nu}, \quad (11-42)$$

trong đó:

$$n = \frac{60f}{p}, \text{ vg/ph}$$

Điều đó có thể chứng minh bằng cách lấy đạo hàm theo  $t$  của biểu thức  $\omega t \mp \nu\alpha = \text{const}$ ; để cho s.t.d. bậc  $\nu$  đó luôn có giá trị không đổi khi quay.

Đối với dây quấn ba pha, thay  $m = 3$  vào (11-40) ta có s.t.d. của dây quấn ba pha:

$$F_{(3)} = \sum_{\nu = 6k \pm 1}^3 \frac{3}{2} F_{t\nu} \sin(\omega t \mp \nu\alpha) \quad (11-43)$$

trong đó:

$$\frac{3}{2}F_{1v} = 1,35 \frac{wk_{dqv}}{vp} I. \quad (11-44)$$

Ta có thể kết luận rằng s.t.d. của dây quấn ba pha là tổng của các s.t.d. bậc  $v = 6k + 1 = 1, 7, 13...$  quay thuận và các s.t.d. bậc  $v = 6k - 1 = 5, 11, 17...$  quay ngược. Biên độ của s.t.d. quay bậc  $v$  bằng  $3/2$  lần biên độ của s.t.d. một pha bậc  $v$ , tốc độ quay của s.t.d. bậc  $v$  là  $n_v = \frac{n}{v}$ .

Đối với dây quấn hai pha đặt lệch nhau trong không gian góc điện  $\pi/2$  có dòng điện trong hai pha lệch nhau về thời gian góc  $\pi/2$  thì thay  $m = 2$  vào (11-40) ta có:

$$F_{(2)} = \sum_{v=4k \pm 1} F_{1v} \sin(\omega t \mp v\alpha), \quad (11-45)$$

trong đó 
$$F_{1v} = 0,9 \frac{wk_{dqv}}{vp} I,$$

nghĩa là s.t.d. của dây quấn hai pha là tổng của các s.t.d. bậc  $v = 4k + 1$  quay thuận và các s.t.d. bậc  $v = 4k - 1$  quay ngược. Biên độ của s.t.d. quay bậc  $v$  bằng biên độ của s.t.d. một pha bậc  $v$ , tốc độ quay của s.t.d. bậc  $v$  là  $n_v = \frac{n}{v}$ .

#### Chú thích:

Khi dòng điện  $m$  pha trong dây quấn  $m$  pha là không đối xứng thì ta có thể phân tích dòng không đối xứng đó thành dòng điện  $m$  pha thứ tự thuận  $I_1$ , dòng điện  $m$  pha thứ tự ngược  $I_2$  và dòng điện  $m$  pha thứ tự không  $I_0$  theo phương pháp các thành phần đối xứng.

Thành phần dòng điện đối xứng thứ tự thuận  $I_{11}, I_{21}, \dots, I_{m1}$  sẽ sinh ra s.t.d. của dây quấn  $m$  pha theo (11-40):

$$F_{1(m)} = \sum_{v=2mk \pm 1} \frac{m}{2} F_{1v} \sin(\omega t \mp v\alpha), \quad (11-46)$$

trong đó: 
$$\frac{m}{2} F_{1v} = 0,45m \frac{wk_{dqv}}{vp} I_1.$$

Thành phần dòng điện đối xứng thứ tự ngược  $I_{12}, I_{22}, \dots, I_{m2}$  sẽ sinh ra s.t.d. của dây quấn  $m$  pha:

$$F_{2(m)} = \sum_{v=2mk \pm 1} \frac{m}{2} F_{2v} \sin(\omega t \pm v\alpha) \quad (11-47)$$



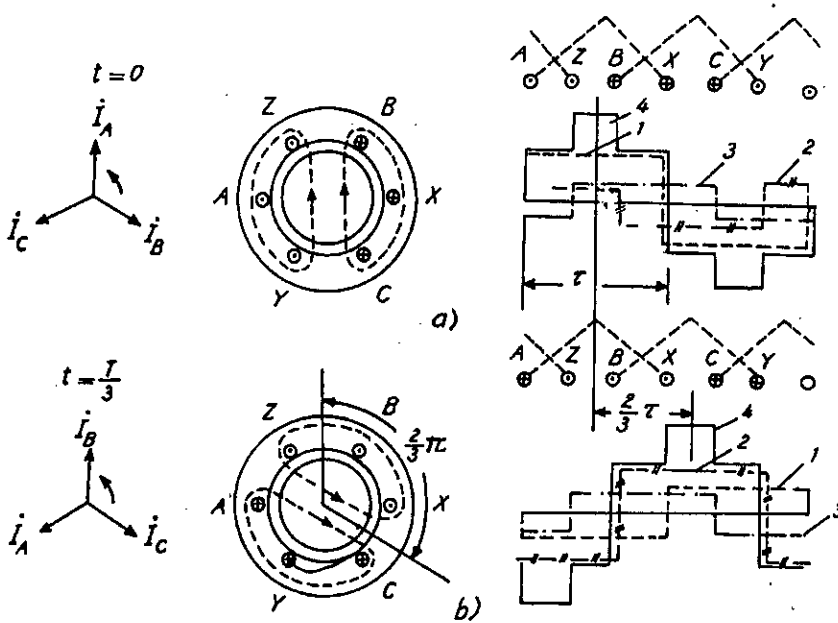
và ngược cùng bậc, có biên độ khác nhau do  $I_1 \neq I_2$ , tổng hợp lại sẽ cho những s.t.d. elip.

Đối với dây quấn ba pha, ( $m = 3$ ), ứng với  $\nu = 1, 7, 13, \dots$  là các s.t.d. quay elip, quay thuận;  $\nu = 5, 11, \dots$  là các s.t.d. quay elip, quay ngược.

Hình 11-17 trình bày s.t.d. elip ứng với  $\nu = 1$  và  $\nu = 5$  của dây quấn ba pha.

**Phân tích s.t.d của dây quấn  $m$  pha bằng phương pháp đồ thị**

Ở trên ta đã nghiên cứu s.t.d. của dây quấn  $m$  pha 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 từ trường quay. Ở đây ta sẽ dùng phương pháp đồ thị để chứng minh điều đó.



Hình 11-18. Sức từ động của dây quấn ba pha có  $q = 1, 2p = 2$  ở các thời điểm  $t = 0$  và  $t = T/3$

Để đơn giản trước hết ta hãy xét s.t.d. sinh ra bởi dòng điện ba pha  $i_A, i_B, i_C$  chảy trong dây quấn ba pha A - X, B - Y, C - Z, có  $q = 1, p = 1$  như trên hình 11-18 ở các thời điểm khác nhau.



Giá thử ở thời điểm  $t = 0$  dòng điện pha A là cực đại:

$$i_A = + I_m,$$

còn:

$$i_B = i_C = - \frac{I_m}{2}$$

và giá 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 11-18.

Các s.t.d.  $F_A$ ,  $F_B$  và  $F_C$  có trị số tỷ lệ với dòng điện chảy trong các pha đó phân bố dọc hai cực như trình bày bằng các đường biểu diễn 1, 2, 3 trên hình 11-18a. Cộng các tung độ của ba đường biểu diễn đó ở từng điểm ta sẽ được s.t.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 11-18b.

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 xê 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) *Sức từ động 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 được  $2\pi$  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

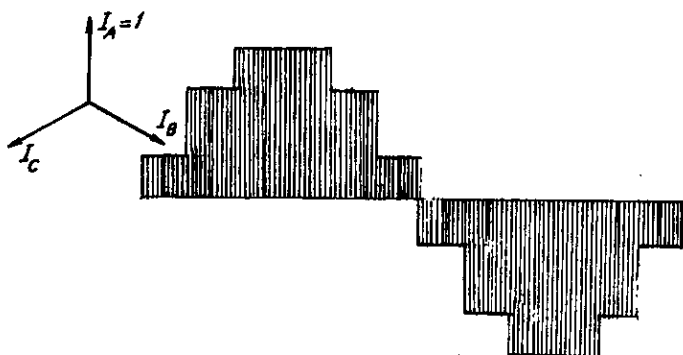
nên s.t.d. không thay đổi ở khoảng giữa các rãnh (trong khoảng đó đường phân bố s.t.d. song song với trục ngang) mà chỉ thay đổi ở vị trí của rãnh tỷ lệ với tổng đại số các dòng điện trong rãnh đó (tung độ của đường phân bố s.t.d. sẽ tăng (hoặc giảm) một đoạn tỷ lệ với tổng đại số các dòng điện đó). 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 bằng một trị số.

Lớp trên

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

Lớp dưới

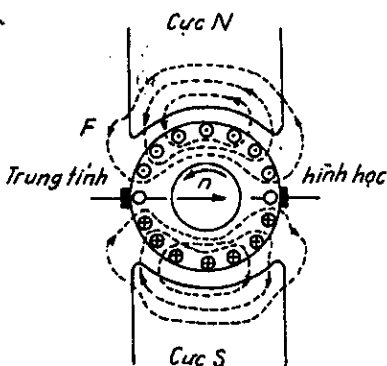
Hình 11-19 nêu lên thí dụ ứng dụng phương pháp tổng quát vẽ đường phân bố s.t.d. tổng ở thời điểm ứng với  $i_A = I_m$  của dây quấn ba pha  $Z = 24; 2p = 4; y = 5/6\tau$  có sơ đồ quấn dây trên hình 9-15. Trình tự tiến hành như sau:



Hình 11-19. Thành lập đường phân bố sức từ động của dây quấn ba pha bằng phương pháp đồ thị.

1. Vẽ giản đồ khai triển của dây quấn ở hình 9-15 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.

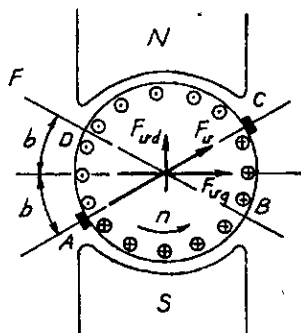
Chú ý rằng trên hình 11-19 chỉ vẽ đường biểu diễn s.t.d. ứng với một đôi cực của dây quấn.



Hình 11-20. Từ trường phần ứng khi chổi than ở đường trung tâm hình học

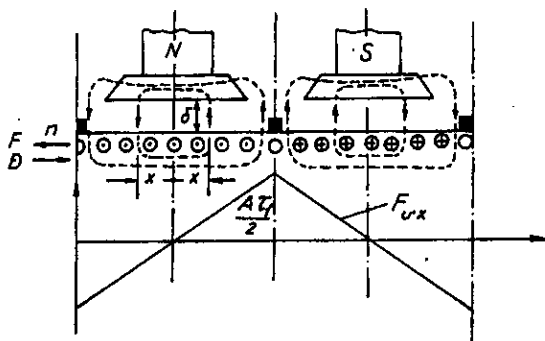
### 11.3.2. Sức từ động của dây quấn phản ứng máy điện một chiều

Như đã biết ở hình 9-26, s.d.d  $e_U$  và dòng  $i_U$  (khi máy phát điện một chiều làm việc có tải) trong các nhánh song song của dây quấn phản ứng đặt dưới các cực  $N$  và  $S$  có chiều khác nhau và có thể trình bày đơn giản như trên hình 11-20. Các đường từ lực do  $i_U$  sinh ra, vẽ bằng đường nét đứt, đều khép mạch qua đầu cực từ. Như vậy bản thân phần ứng là một nam châm điện có trục của từ trường hay trục của s.d.d dây quấn phản ứng  $F_U$  trùng với trục của chổi điện đặt trên đường trung tính hình học. Nếu chổi điện được quay đi một góc khỏi đường trung tính hình học tương đương với một khoảng cách  $b$  trên phần ứng như ở hình 11-21 thì do dòng điện ở hai bên chổi điện vẫn có chiều khác nhau nên trục s.d.d  $F_U$  cũng quay đi một góc và luôn luôn trùng với trục chổi điện. Khi đó ta có thể phân s.d.d. phản ứng  $F_U$  ra làm hai thành phần: thành phần thẳng góc với s.d.d cực từ gọi là s.d.d ngang trục  $F_{Uq}$  do dòng điện trong cung  $AB$  và  $CD$  sinh ra, và thành phần cùng trục với s.d.d cực từ gọi là s.d.d. dọc trục  $F_{Ud}$  do dòng điện trong cung  $AD$  và  $CB$  sinh ra (cung này bằng  $2b$ ).



Hình 11-21. Từ trường phản ứng khi chổi than không ở trên đường trung tính hình học

Với giả thiết bề mặt phần ứng nhẵn, khe hở đều dưới mặt cực từ và dây quấn phản ứng phân bố đều trên mặt phần ứng, ta hãy tìm biểu thức của s.d.d.  $F_U$  và suy ra sự phân bố của nó dọc khe hở trên bề mặt phần ứng. Xét một đường sức từ khép kín ở cách đường trung tâm cực từ một khoảng  $x$  trên hình 11-22 và áp dụng định luật



Hình 11-22. Đường phân bố s.d.d. và từ cảm phản ứng khi chổi than ở trên đường trung tính hình học

$$F_{ux} = A2x, A/\text{đôi cực.} \quad (11-50)$$

trong đó:  $A = \frac{Ni_u}{\pi D}$ ,  $A/\text{cm}$  là phụ tải đường của phần ứng.

Với  $N$  là tổng số thanh dẫn của dây quấn.

$i_u = \frac{I_u}{2a}$  là dòng điện trong thanh dẫn (trong đó  $I_u$  là dòng điện phần ứng,  $a$  là số đôi mạch nhánh).

$D$  là đường kính ngoài của phần ứng tính bằng cm.

Đó là s.t.d. cần thiết để đường sức từ đi qua chủ yếu hai lần khe hở giữa phần ứng và cực từ, ở đó từ trở của không khí lớn rất nhiều so với từ trở của thép mặt cực và của lõi thép rôto.

Như vậy  $F_{ux}$  là một hàm bậc nhất của  $x$  và nó lớn nhất khi  $x = \tau/2$ . Sức từ động  $F_{ux}$  còn tỷ lệ với  $A$  nghĩa là khi dòng điện tải  $I_u$  càng lớn thì s.t.d. phần ứng càng lớn.

Sự phân bố s.t.d. phần ứng  $x$  trên bề mặt phần ứng như ở hình 11-22 với quy ước  $F_{ux}$  có giá trị dương khi đường sức từ hướng xuống và có giá trị dương khi đường sức từ hướng lên.

Nếu chổi than không ở trên đường trung tính hình học như hình 11-21 thì:

$$\left. \begin{aligned} F_{uq} &= A(\tau - 2b), A/\text{đôi cực} \\ F_{ud} &= A.2b, A/\text{đôi cực.} \end{aligned} \right\} \quad (11-51)$$

Tóm lại s.t.d. của phần ứng phụ thuộc vào tải và vào vị trí chổi điện và chính những yếu tố đó quyết định tác dụng của từ trường phần ứng trên từ trường của cực từ chính như sẽ thấy khi xét về từ trường trong máy điện một chiều.

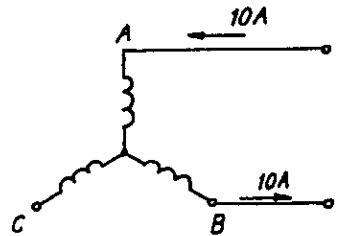
### Câu hỏi

1. Phân biệt s.t.d. đập mạch và s.t.d. quay. Sức từ động 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 thử 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 11-23 (pha C hở mạch) trong trường hợp:



Hình 11-23.

- a) dòng xoay chiều; b) dòng một chiều.

Đáp số:  $F_{\Sigma} = 460 \text{ A/cực}$

$F_{\Sigma} = 325,3 \text{ A/cực}$

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 tử  $Z = 480$ , 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.

Đáp số: a)  $F_{s1,3,5} = 1656; 552; 331,2 \text{ A/cực}$

b)  $F_{q1,3,5} = 3196; 780; 171 \text{ A/cực}$ .

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  $\nu$  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 vào 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 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:

$$B_{m\nu} = \frac{\mu_0}{k_\mu k_\delta \delta} F_\nu = \frac{\mu_0}{k_\mu k_\delta \delta} \frac{m\sqrt{2}}{\pi} \frac{wk_{dq\nu}}{\nu p} I, \quad (12-1)$$

trong đó:  $k_\delta = \frac{B'_{m\nu}}{B_{m\nu}}$  là hệ số khe hở xét đến ảnh hưởng làm giảm biên độ

từ cảm do khe hở không đều;

$B'_{m\nu}$  là trị số cực đại của từ cảm không hình sin  $B'_\nu$  do khe hở không đều;

$B_{m\nu}$  là biên độ của sóng  $B_\nu$ ;

$k_\mu$  là hệ số bão hòa của mạch từ.

Hình 12-1 cho thấy sự phân bố từ cảm do s.t.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  $\nu$  sinh ra có trị số:

$$\Phi_\nu = B_{\tau_{b\nu}} \tau_\nu l_\delta = \frac{\mu_0 \tau l_\delta}{k_\mu k_\delta \delta} \frac{m2\sqrt{2}}{\pi^2} \frac{wk_{dq\nu}}{\nu^2 p} I. \quad (12-2)$$

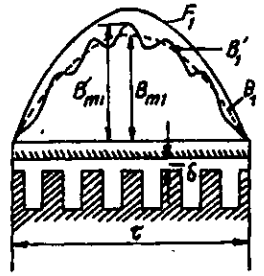
Tác dụng điện từ trong máy điện chủ yếu dựa vào từ thông  $\Phi_1$  ứng với từ trường của sóng cơ bản ( $\nu = 1$ ) ở khe hở còn gọi là từ trường chính. Từ thông  $\Phi_1$  sinh ra s.d.d. tự cảm trong bản thân dây quấn đó hoặc s.d.d. hổ cảm trong dây quấn khác và tương ứng sẽ có các điện kháng tự cảm  $x_1$  và điện kháng hổ cảm  $x_{12}$ .

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.

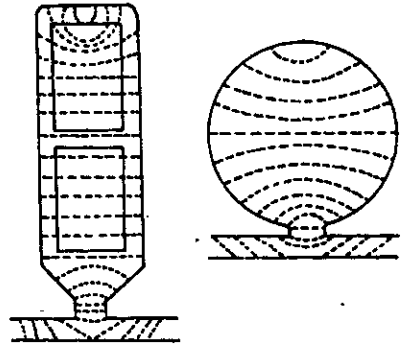
Từ trường ở rãnh là do dòng điện xoay chiều chạy trong cạnh tác dụng của phần tử đặt trong rãnh sinh ra. Từ trường ở rãnh có dạng như trình bày ở hình 12-2, trong đó các đường sức từ đều thẳng góc với mặt rãnh (do điều kiện  $\mu_{Fe} = \infty$ ) và chủ yếu chỉ móc vòng với thanh dẫn đặt trong rãnh. Hình dạng của các ống từ hoàn toàn phụ thuộc vào dạng hình học của rãnh. Ứng với từ trường ở rãnh có điện kháng  $x_{or}$ .

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 đó 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  $x_{dn}$ .

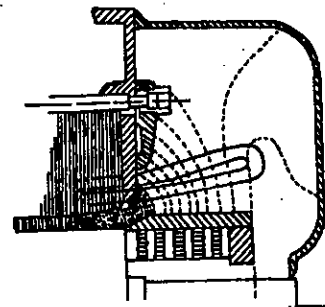
Trong máy điện xoay chiều, sự



Hình 12-1. Sự phân bố từ cảm sinh ra bởi s.d.d. bậc một.



Hình 12-2. Từ trường ở rãnh.



Hình 12-3. Từ trường ở phần đầu nối của máy

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 nói 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  $\Phi_1$  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:

$$E_1 = \pi\sqrt{2}fw_1k_{dq1}\Phi_1$$

hay kết hợp với (12-2) khi  $v = 1$  ta có:

$$E_1 = \frac{4m_1f}{\pi} \frac{\mu_0\tau l_\delta}{k_\mu k_\delta \delta} \frac{w_1^2 k_{dq1}^2}{p} I_1. \quad (12-3)$$

Điện kháng chính của dây quấn có trị số:

$$x_1 = \frac{E_1}{I_1} = \frac{4m_1f}{\pi} \frac{\mu_0\tau l_\delta}{k_\mu k_\delta \delta} \frac{w_1^2 k_{dq1}^2}{p}. \quad (12-4)$$

Sức điện động hổ cảm trong dây quấn 2 có số vòng dây  $w_2$  do từ thông  $\Phi_1$  có trị số như sau:

$$\begin{aligned} E_{12} &= \pi\sqrt{2}fw_2k_{dq2}\Phi_1 = \\ &= \frac{4m_2f}{\pi} \frac{\mu_0\tau l_\delta}{k_\mu k_\delta \delta} \frac{w_1 k_{dq1} w_2 k_{dq2}}{p} I_1 \end{aligned} \quad (12-5)$$

và điện kháng hổ cảm chính tương ứng:

$$x_{12} = \frac{4m_2f}{\pi} \frac{\mu_0\tau l_\delta}{k_\mu k_\delta \delta} \frac{w_1 k_{dq1} w_2 k_{dq2}}{p}. \quad (12-6)$$

Như vậy ta thấy các điện kháng tự cảm và hổ cảm đều tỷ lệ thuận với bình phương của số vòng dây ( $w^2$ ) và tỷ lệ nghịch với khe hở  $\delta$ .

## 12.3. ĐIỆN KHÁNG TẢN CỦA DÂY QUẤN MÁY ĐIỆN XOAY CHIỀU

### 12.3.1. Điện kháng tản 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 tản  $x = \omega L = \omega \Psi / i$ , nên để tìm trị số của  $x$  trước hết cần tính toàn bộ từ thông móc vòng  $\Psi$  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  $x/h_1 \cdot w_s$  và số ampe thanh dẫn xuyên qua đường sức từ đó bằng  $\frac{x}{h_1} w_s i$ . Ứng dụng định luật toàn dòng điện cho đường từ lực đó với điều kiện:

$$\frac{B_{x1} b_r}{\mu_0} = \frac{x}{h_1} w_s i,$$

$$\text{hay: } B_{x1} = \frac{\mu_0 x}{b_r h_1} w_s i. \quad (12-7)$$

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  $l_\delta$  là chiều dài toán của rãnh, ở các khu vực 1 và 2 bằng:

$$d\Phi_{x1} = B_{x1} l_\delta dx; \quad d\Phi_{x2} = B_{x2} l_\delta dx.$$

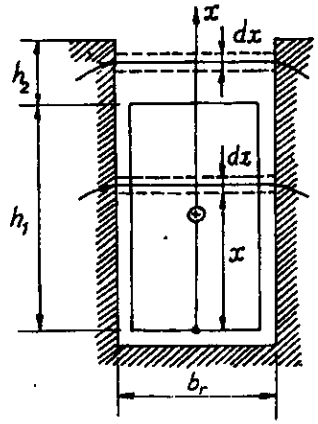
Từ thông móc vòng tương ứng:

$$\left. \begin{aligned} d\Psi_{x1} &= \frac{x}{h_1} w_s d\Phi_{x1} = \frac{x}{h_1} w_s B_{x1} l_\delta dx \\ d\Psi_{x2} &= w_s d\Phi_{x2} = w_s B_{x2} l_\delta dx \end{aligned} \right\} \quad (12-9)$$

Toàn bộ từ thông móc vòng với cạnh tác dụng đặt trong rãnh có trị số:

$$\Psi_r = \int_{x=0}^{x=h_1} d\Psi_{x1} + \int_{x=h_1}^{x=h_1+h_2} d\Psi_{x2} = \mu_0 w_s^2 i l_\delta \lambda_r, \quad (12-10)$$

$$\text{trong đó: } \lambda_r = \frac{h_1}{3b_r} + \frac{h_2}{b_r} \quad (12-11)$$



Hình 12-4. Tính toán từ trường tản ở rãnh

được gọi là suất dẫn từ tương đối của rãnh, tức là từ thông tản móc vòng trên một đơn vị dài của rãnh trong có 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  $\lambda_r$  càng lớn. Thông thường  $\lambda_r = 1,0 \div 4,0$ . Cách tính  $\lambda_r$  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:

$$L_{rn} = \frac{2pq}{a} \cdot \frac{\Psi_r}{i} \quad (12-12)$$

và điện kháng tản ở rãnh của một nhánh song song bằng:

$$x_{rn} = 2\pi f L_{rn} = 4\pi f \cdot \frac{pq}{a} \cdot \frac{\Psi_r}{i} \quad (12-13)$$

Thay trị số của  $\Psi_r$  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:

$$x_r = 4\pi \mu_0 f \frac{w^2}{pq} l_\delta \lambda_r \quad (12-14)$$

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 hồ 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  $\lambda_r$  được thay bằng suất dẫn từ tương đối của phần đầu nối  $\lambda_{dn}$ .

Đối với dây quấn hai lớp bước ngắn thì:

$$\lambda_{dn} = 0,34 \frac{q}{l_\delta} (l_{dn} - 0,64\beta\tau) k_n^2 \quad (12-15)$$

trong đó  $l_{dn}$  là chiều dài trung bình của phần đầu nối của một nửa vòng dây.

### 12.3.3. Điện kháng tán xạ

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 tán. Như vậy điện kháng tán xạ tương ứng là tổng của các điện kháng tự cảm của tất cả các sóng bậc  $\nu$  ứng với  $\nu \neq 1$ . Trên cơ sở tương tự biểu thức (12-4) ta có:

$$(12-16) \quad x_1 = \sum_{\nu \neq 1} \frac{E_\nu}{I} = \frac{4mf}{\pi} \cdot \frac{\mu_0 T l_d}{k_1 k_2 \delta} \cdot \frac{\omega^2}{\sum_{\nu \neq 1} \frac{k_{d\nu}^2}{v^2}} \quad (12-16)$$

Tỷ số  $k_1$  giữa  $x_1$  và  $x_{d\nu}$  được gọi là hệ số tán xạ. Ta có:

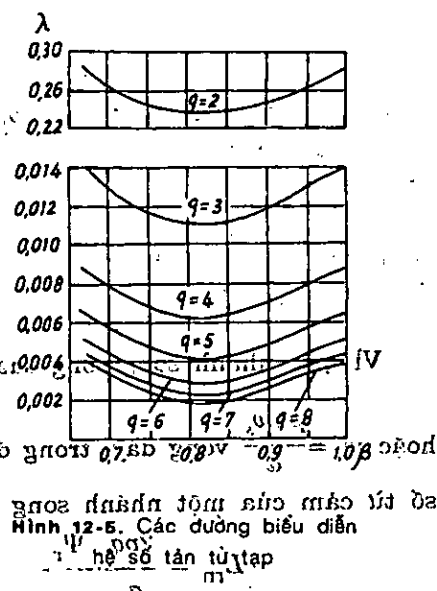
$$(12-17) \quad k_1 = \frac{x_1}{x_{d\nu}} = \frac{1}{k_{d\nu}^2} \sum_{\nu \neq 1} \frac{k_{d\nu}^2}{v^2}$$

Đối với dây quấn hai lớp,  $k_1$  phụ thuộc vào  $\beta$  và  $q$  và có trị số như trên hình 12-5.

Đối với dây quấn lồng sóc  $k_{d\nu} = k_{d\nu} = 1$ , nên từ (12-17) và (10-17), ta có:

$$(12-18) \quad \text{Đóng điện kháng tán xạ từ phần đầu dây quấn là } x_{d\nu} = \frac{4mf}{\pi} \cdot \frac{\mu_0 T l_d}{k_{d\nu}^2} \cdot \frac{\omega^2}{\sum_{\nu \neq 1} \frac{k_{d\nu}^2}{v^2}} \quad (12-18)$$

Những nghiên cứu tỷ mỉ cho biết, do ảnh hưởng của các rãnh từ 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 tại 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



Hình 12-5. Các đường biểu diễn hệ số tán xạ  $k_1$  theo  $q$ .

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  $\lambda_r$  bằng suất dẫn từ tản tập  $\lambda_t$ . 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:

$$\lambda_t = \frac{mqk_{dq}^2}{\pi^2 k_\mu k_\delta} k_t. \quad (12-21)$$

#### 12.3.4. Trị số của điện kháng tản $x_\sigma$ của dây quấn máy điện xoay chiều

Trị số của điện kháng tản  $x_\sigma$  là tổng số của các điện kháng tản ở rãnh, ở phần đầu nối và điện kháng tản tập, nghĩa là:

$$x_\sigma = x_r + x_{dn} + x_t = 4\pi\mu_0 f \frac{w^2}{pq} l_\delta (\lambda_r + \lambda_{dn} + \lambda_t). \quad (12-22)$$

So sánh các thành phần của  $x_\sigma$  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  $\delta$  lớn, ngoài ra đối với máy phát điện tuabin hơi, do  $q = 5 + 12$ , nên điện kháng tản tập nhỏ hơn các điện kháng tản rãnh và đầu nối.

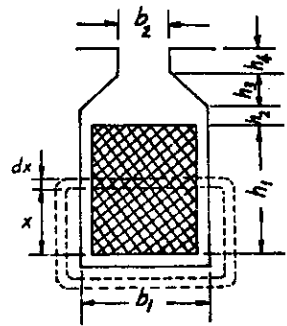
Thông thường đối với máy điện đồng bộ  $x_\sigma = 0,08 + 0,2$  và đối với máy điện không đồng bộ  $x_\sigma = 0,1$ .

Ta cũng cần chú ý thêm rằng, trong điều kiện làm việc bình thường của máy điện thì  $x_\sigma$  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 răng của lõi thép bị bão hòa rất mạnh, kết quả là trị số của  $x_\sigma$  bị giảm đi vào khoảng 15 + 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?



Hình 12-6.

### Bài tập

Tính suất dẫn từ tản ở rãnh khi tiết diện và kích thước rãnh như trình bày trên hình 12-6.

Đáp số:

$$\lambda_r = \frac{h_1}{3b_1} + \frac{h_2}{b_1} + \frac{2h_3}{b_1 + b_2} + \frac{h_4}{b_2}$$

## Chương 13

# MẠCH TỪ CỦA MÁY ĐIỆN QUAY

### 13.1. ĐẠI CƯƠNG

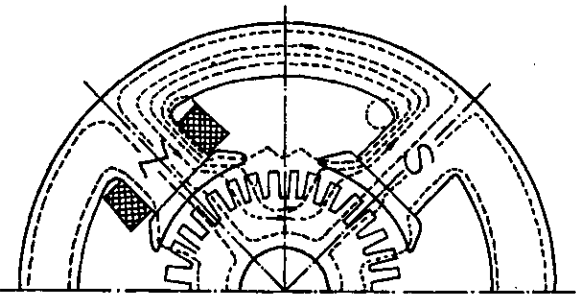
Từ trường trong máy điện là một yếu tố không thể thiếu được để sinh ra s.d.đ và mômen điện từ. Trong hầu hết những máy điện hiện nay, từ trường lúc không tải đều do dòng điện một chiều chạy qua dây quấn kích từ đặt trên cực từ sinh ra.

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.đ) cần thiết để tạo ra từ thông ở khe hở đủ để sinh ra trong dây quấn phần ứng một s.d.đ. 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 có tính 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 rỗi 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  $\Phi_0$ . Từ thông



Hình 13-1. Sự phân bố của từ trường chính và từ trường tán trong máy điện một chiều

này cảm ứng nên s.d.đ. 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  $\Phi_c$ .

Phần từ thông không đi qua phần ứng gọi là từ thông tản  $\Phi_o$ , nó không cảm ứng nên s.d.đ 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:

$$\Phi_c = \Phi_o + \Phi_o = \Phi_o \left(1 + \frac{\Phi_o}{\Phi_o}\right) = \sigma_t \Phi_o, \quad (13-1)$$

trong đó:

$\sigma_t$  là hệ số tản từ của cực từ chính. Thường  $\sigma_t = 1,15 \div 1,28$ .

### 13.1.2. Sức từ động cần thiết sinh ra từ thông

Để có từ thông chính  $\Phi_o$  cần phải có một s.t.đ. kích từ  $F_o$  nào đó. Sức từ động 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.đ. 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 hoàn toàn đồng nhất, 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  $F_o$  để sinh ra từ thông chính có thể tính như sau:

$$\begin{aligned} F_o &= \sum Iw = \sum Hl \\ &= 2H_\delta \delta + 2H_r h_r + H_u l_u + 2H_c l_c + H_g l_g \\ &= F_\delta + F_r + F_u + F_c + F_g, \end{aligned} \quad (13-2)$$

trong đó các chỉ số  $\delta, r, u, c, g$  chỉ khe hở, răng phần ứng, lưng phần ứng, cực từ và gông từ;  $h$  là chiều cao và  $l$  là chiều dài.

Cường độ từ trường theo nguyên tắc có thể tính theo công thức:

$$H = \frac{B}{\mu}, \quad (13-3)$$

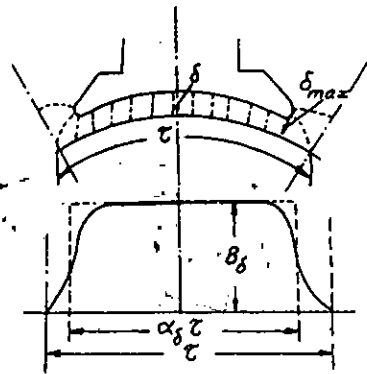
trong đó:

$B = \frac{\Phi}{S}$  là từ cảm trên các đoạn;

$\Phi$ ,  $S$  và  $\mu$  là từ thông, tiết diện và hệ số từ thẩm của các đoạn.

Trong không khí,  $\mu = \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  H/m nhưng trong sắt từ  $\mu$  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.d. trên các đoạn, có thể tìm được s.t.d. tổng dưới mỗi đôi cực từ theo công thức (13-2). Sau đây sẽ giới thiệu cách tính s.t.d. ở các đoạn ấy.



Hình 13-2. Sự phân bố của từ cảm, khe hở trong máy điện một chiều

### 13.2. TÍNH SỨC TỪ ĐỘNG KHE HỖ $F_\delta$

Khe hở giữa phần ứng và cực từ không đều nhau, ở giữa cực 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 phần ứng cũng khác nhau. Giả thiết bề mặt phần ứng phẳng thì sự phân bố từ cảm dưới một cực từ như ở 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  $F_\delta$ , 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 đây là  $b' = \alpha_\delta \tau$  sao cho diện tích hình chữ nhật tính đối bằng diện tích bao bởi đường cong thực. Đây  $b'$  gọi là cung tính toán của cực từ;  $\tau = \frac{\pi D}{2p}$  là bước 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),  $\alpha_\delta$  gọi là hệ số tính toán của cung cực từ. Trong máy điện một chiều có cực từ phụ,  $\alpha_\delta$  thường trong khoảng  $0,62 \div 0,72$ .

Thực tế là trên mặt cực còn có rãnh, rãnh nên từ trường khe hở phân bố càng không đều, trên rãnh đường từ sức dày, ở rãnh ít hơn (hình 13-3), đường đi của đường sức từ qua không khí dài lên, kết quả là từ trở của



Trị số  $\frac{\Phi_t}{S_{zx}}$  gọi là từ cảm tính toán của răng. Ý nghĩa của nó là coi như toàn bộ từ thông  $\Phi_t$  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 đi 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 (13-10) 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:

$S_{rx}$  là tiết diện của rãnh (đối với rãnh hình chữ nhật thì tiết diện này không phụ thuộc vào  $x$ );

$B_{rx}$ ,  $H_{rx}$  là từ cảm và cường độ từ trường trong tiết diện rãnh đã cho;

$k_{rx}$  là hệ số răng phụ thuộc vào kích thước của răng và rãnh.  $k_{rx}$  có thể tính theo công thức sau:

$$k_{rx} = \frac{S_{rx}}{S_{zx}} = \frac{S_{ix} - S_{zx}}{S_{zx}} = \frac{t_x l_1}{b_{zx} l_1 k_c} = 1 - \frac{S_{zx}}{S_{ix}} \quad (13-12)$$

trong đó:

$S_{ix}$  là tiết diện bước răng ở độ cao  $x$ ;

$t_x$  là bước răng ở độ cao  $x$ ;

$l_1$  là chiều dài lõi sắt;

$k_c$  là 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:

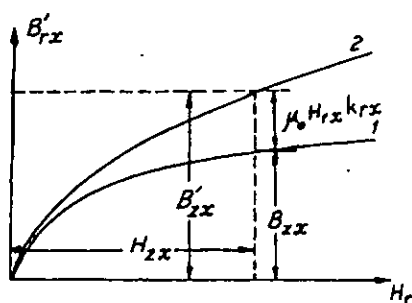
$$B'_{zx} = B_{zx} + \mu_0 H_{zx} k_{rx} \quad (13-13)$$

Trong công thức trên  $B'_{zx}$  có thể tính ra trực tiếp từ  $\Phi_t$ ,  $S_{zx}$ ,  $B_{zx}$  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 trên 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  $B_{zx}$ .

Từ đường cong  $B = f(H)$  tìm ra  $H_{zx}$  tương ứng rồi tính ra  $\mu_0 H_{zx} k_{rx}$  sau đó tính  $B'_{zx}$  theo công thức (13-13). Vẽ đường biểu diễn  $B'_{zx} = f(H_{zx})$  (đường 2 trên hình 13-7). Biết những đường cong đó ta có thể sử dụng chúng theo trình tự ngược lại. Với một trị số của  $B'_{zx}$  nào đó có thể từ đường cong 1 và 2 tìm ra  $B_{zx}$  và  $H_{zx}$ .



Hình 13-7. Đường cong  $B'_{zx} = f(H_{zx})$

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  $k_{rx}$  được thể hiện trên 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:

$$B'_{zx} = \frac{\Phi_1}{S_{zx}} = \frac{B_\delta l_\delta t_1}{b_{zx} l_1 k_c}, \quad (13-14)$$

trong đó:

$l_\delta$  và  $l_1$  là chiều dài tính toán và chiều dài thực của lõi sắt;

$b_{zx}$  là chiều rộng của răng ở độ cao  $x$ ;

$k_c$  là hệ số ép chặt;

$t_1$  là bước răng phân 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:

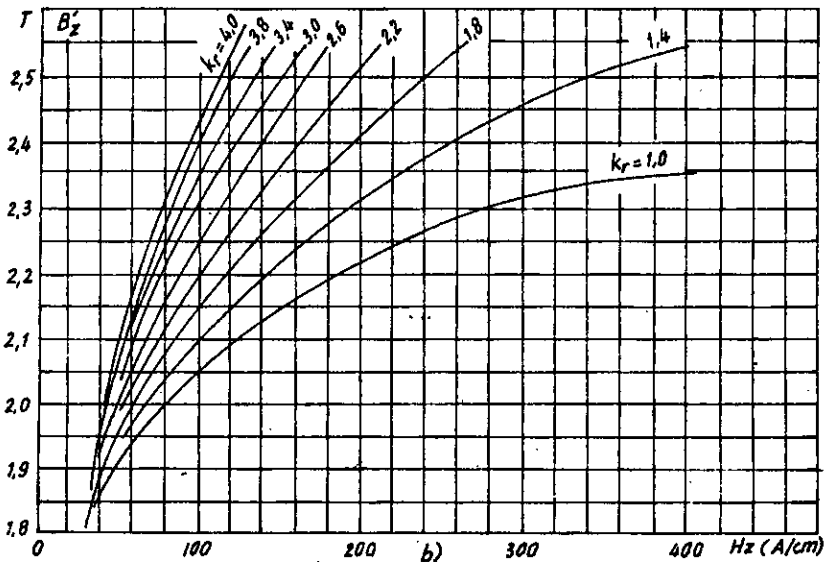
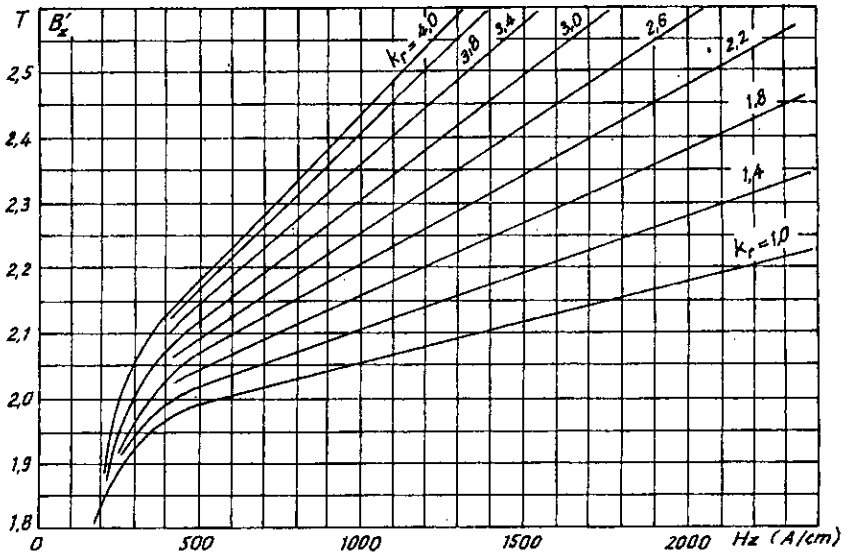
$$F_z = 2H_z h_z. \quad (13-16)$$

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 trở số trung bình để tính toán. Trong trường hợp này ta có:

$$F_z = 2H_{z/3}h_z. \quad (13-17)$$

Kết quả của tính toán này rất gần đúng với cách tính chính xác trên



Hình 13-8. Đường cong  $B'_z = f(I_z)$  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

Trên máy điện một chiều, từ cảm ở chỗ hẹp nhất của răng vào khoảng  $1,8 \div 2,3 T$ .

### 13.4. TÍNH SỨC TỪ ĐỘNG Ở LƯNG PHẦN ỨNG

Thực ra từ thông đi qua tiết diện lưng phần ứng phân bố không đều. Ở gần răng, đường từ ngắn hơn nên từ cảm lớn hơn, nhưng do sự khác biệt không lớn 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:

$$B_u = \frac{\Phi_u}{S_u} = \frac{\Phi_o}{2h_u l_1 k_c}, \quad (13-18)$$

trong đó:

$\Phi_u = \frac{\Phi_o}{2}$  là từ thông phần ứng;

$S_u = h_u l_1 k_c$  là tiết diện lưng phần ứng;

$h_u$  là chiều cao phần ứng.

Theo đường từ hóa của thép kỹ thuật điện ứng với  $B_u$  ta được  $H_u$ .

Sức từ động trên lưng phần ứng bằng:

$$F_u = H_u l_u \quad (13-19)$$

### 13.5. TÍNH SỨC TỪ ĐỘNG 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  $\Phi_o$ , và bằng  $\Phi_c = \sigma_t \Phi_o$ , trong đó  $\sigma_t = 1,15 \div 1,25$ .

Từ thông trong gông từ bằng  $\Phi_g = \frac{1}{2} \Phi_c = \frac{1}{2} \sigma_t \Phi_o$

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  $S_g$  là 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  $H_g$ .

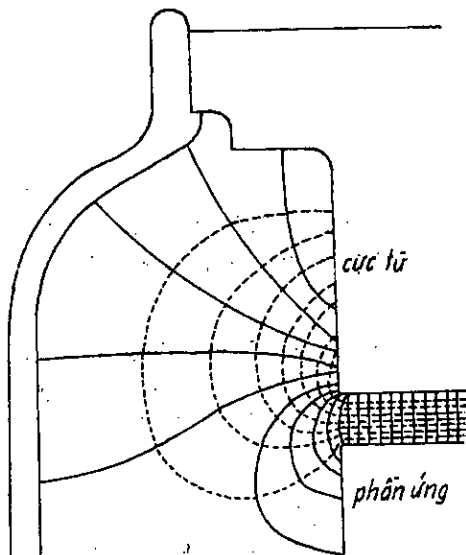
Sức từ động trên cực từ và gông từ bằng:

$$F_c = 2H_c h_c \text{ và } F_g = H_g l_g \quad (13-21)$$

trong đó :

$h_c$  là chiều cao cực từ;

$l_g$  là chiều dài trung bình của gông từ.



Hình 13-8. Đường sức từ tản và những mặt đẳng thế của phần mép cực của máy điện một chiều

### 13.6. ĐƯỜNG CONG TỪ HÓA

Muốn sinh ra một từ thông  $\Phi_0$  nào đó cần có một s.t.d. kích từ nhất định  $F_0$ . Khi  $\Phi_0$  thay đổi thì  $F_0$  cũng thay đổi theo. Đường biểu diễn quan hệ giữa  $\Phi_0$  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  $\Phi_0$  khác nhau rồi tính  $F_0$  tương ứng. Đối với máy điện có sẵn thì dùng thí nghiệm để vẽ đường từ hóa.

Do s.d.d. lúc không tải  $E_0$  tỷ lệ thuận với  $\Phi_0$  và dòng điện kích từ  $I_1$  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  $I_1$ :  $E_0 = f(I_1)$ .

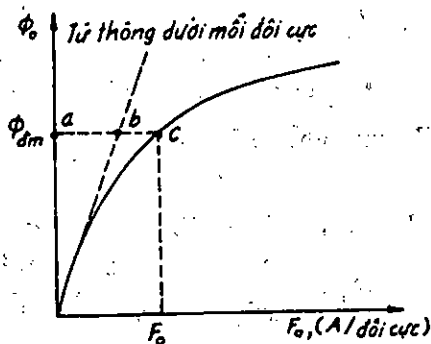
Khi từ thông trong máy điện nhỏ, thép của máy ít bão hòa nên s.t.d. của mạch từ hầu như toàn bộ tiêu hao trên khe hở, do đó khi  $\Phi_0$  nhỏ đường từ hóa là đường thẳng. Khi từ thông tăng lên, lõi sắt bắt đầu bão hòa nên đường từ hóa nghiêng về bên phải (hình 13-10). Kéo dài phần đường thẳng của đường cong từ hóa ta được quan hệ  $F_\delta = f(\Phi_0)$ . Khi từ thông  $\Phi_0$  định mức (dùng để sinh ra điện áp định mức) thì s.t.d. khe hở bằng đoạn  $ab$  trên hình 13-10. Đoạn  $bc$  trên hình vẽ chỉ s.t.d. rơi trên

các phần sắt của mạch từ. Tỷ số  $k_\mu = \frac{F_\delta}{F_0} = \frac{ac}{ab}$  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.



Hình 13-10. Đường từ hóa của máy điện một chiều

### Thí dụ

Tính s.t.d.  $F_0$  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  $P_{dm} = 13,3$  kW, điện áp định mức  $U_{dm} = 230$  V, dòng điện định mức  $I_{dm} = 58$  A, tốc độ quay định mức  $n_{dm} = 1460$  vg/ph, số cực  $2p = 4$ . Đường kính ngoài phần ứng  $D_u = 245$  mm. Đường kính trong phần ứng  $d = 60$  mm, chiều dài phần ứng  $l_u = 80$  mm, các rãnh thông gió theo chiều trục, số rãnh phần ứng  $Z = 35$ . Các kích thước của rãnh:  $b_r = 8,5$  mm,  $h_r = 36,2$  mm, khe hở dưới các cực chính  $\delta = 1,5$  mm. Các kích thước của cực chính: chiều dài theo hướng trục  $l_c = 80$  mm, chiều rộng  $b_c = 80$  mm, chiều cao (gồm cả mặt cực)  $h_c = 70$  mm, hệ số tính toán của cung cực từ  $\alpha_s = 0,65$ , tiết diện của gông (gần đúng)  $S_g = 26 \times 160$  mm<sup>2</sup>. 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:

$$\text{Bước cực } \tau = \frac{\pi D_u}{2p} = \frac{\pi \cdot 0,245}{4} = 0,192 \text{ m.}$$

$$\text{Bước răng } t_1 = \frac{\pi D_u}{Z} = \frac{\pi \cdot 0,245}{35} = 0,022 \text{ m.}$$

$$t_2 = \frac{\pi(D_u - 2h_r)}{Z} = \frac{\pi(0,245 - 2 \cdot 0,0362)}{35} = 0,0155 \text{ m.}$$

$$t_{th} = \frac{1}{2} (t_1 + t_2) = \frac{1}{2} (0,022 + 0,0155) = 0,01875 \text{ m.}$$

Chiều rộng răng:

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  $k_g$ . Nếu khe hở như nhau mà miệng rãnh phần ứng rộng hay hẹp thì  $k_g$  có thay đổi không ?
3. Ý nghĩa vật lý của hệ số tính toán cung cực từ  $\alpha_g$  và chiều dài tính toán lõi sắt  $l_g$ .
4. Nếu coi  $B'_x = B_x$  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  $n_{dm} = 970 \text{ vg/ph}$
  - Đường kính ngoài phần ứng  $D_u = 36,8 \text{ cm}$
  - Chiều dài phần ứng  $l = 23 \text{ cm}$
  - Hệ số tản từ  $\sigma = 1,25$
  - Số rãnh thông gió hướng tâm  $n_g = 31$
  - 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  $\alpha_g = 1,065$
  - 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 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  $\Phi_0 = 0,029$  Wb làm cho máy có s.d.d. lúc không tải  $E_0 = U_{dm}$ .



hơn khoảng 15 + 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:

$v$  là tốc độ tương đối của gió so với bề mặt được làm lạnh tính theo m/s;

$C_g$  là hệ số kinh nghiệm phụ thuộc vào mức độ phẳng của bề mặt được thổi lạnh.

Thí dụ đối với không khí nếu  $v = 25$  m/s và  $C_g = 1,3$  thì theo (14-4):

$$\lambda_{dl} = 87,5 = 60 \text{ W/m}^{2\circ\text{C}}.$$

Từ i 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

Giá thử nhiệt độ ban đầu của máy, cũng là nhiệt độ của môi trường xung quanh là  $\theta_0$ . 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  $G$  là trọng lượng máy;  $C$  là tỷ nhiệt và  $d\theta$  là 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;  $S$  là diện tích mặt ngoài của máy;  $\lambda$  là 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:

$$\frac{dt}{\frac{GC}{S\lambda}} = \frac{d\theta}{\frac{Q}{S\lambda} + \theta_0 - \theta}. \quad (14-8)$$

Sau khi lấy tích phân:

$$\frac{t}{\frac{GC}{S\lambda}} = -\ln \left[ \frac{Q}{S\lambda} + \theta_0 - \theta \right] + C.$$

Với điều kiện ban đầu  $t = 0$ ,  $\theta = \theta_0$ , từ (14-6) ta xác định được hằng số tích phân  $C = \ln Q/S\lambda$  và kết quả cuối cùng sau khi đã chỉnh lý có dạng:

$$\theta = \frac{Q}{S\lambda} [1 - e^{-1/(GC/S\lambda)}] + \theta_0 \quad (14-9)$$

Từ (14-9) ta thấy khi  $t = \infty$ ,  $\theta_\infty = \theta_0 + Q/S\lambda$  và nhiệt độ tăng xác lập của máy là:

$$\Delta\theta_\infty = \theta_\infty - \theta_0 = \frac{Q}{S\lambda}. \quad (14-10)$$

Nhiệt độ tăng đó càng lớn nếu  $Q$  lớn và  $S, \lambda$  nhỏ.

Lượng  $GC/S\lambda = T$  trong (14-8) được gọi là *hằng số phát nóng*. Để thấy ý nghĩa của nó, nếu viết:

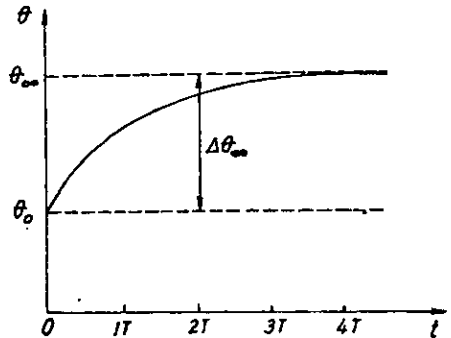
$$T = \frac{GC}{Q} \frac{Q}{S\lambda} = \frac{GC(\theta_\infty - \theta_0)}{Q} \quad (14-11)$$

thì tử số  $GC(\theta_\infty - \theta_0)$  chính là toàn bộ nhiệt lượng tích lũy trong máy khi nhiệt độ tăng bằng  $(\theta_\infty - \theta_0)$  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.



Hình 14-1. Đường phát nóng của máy

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  $\theta_1$  trong lúc nhiệt độ của môi trường xung quanh là  $\theta_0$ . 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:

$$\theta = \theta_0(1 - e^{-t/T}) + \theta_1 e^{-t/T} \quad (14-15)$$

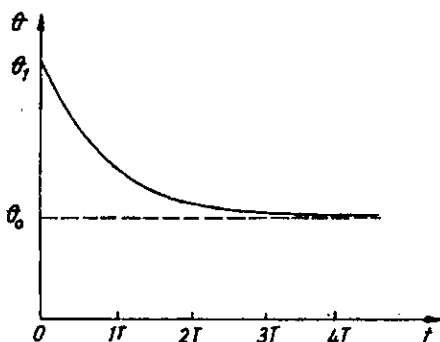
với đường biểu diễn tương ứng được trình bày trên hình 14-2.

#### 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 được 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. 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  $\Delta\theta_{cu}$  theo công thức (14-1); nhiệt độ giáng trên lõi thép giữa dây quấn và mặt ngoài  $\Delta\theta_1$  cũng theo (14-1); nhiệt độ giáng giữa bề mặt được làm lạnh và không khí



Hình 14-2. Đường nguội lạnh của máy

$\Delta\theta_{bm}$  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:

$$\Delta\theta_{dq} = \Delta\theta_{cd} + \Delta\theta_t + \Delta\theta_{bm} + \Delta\theta_{ll} < \Delta\theta_{cp}. \quad (14-16)$$

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 sử thời gian làm việc ngắn hạn là  $t_{nh}$  thì theo (14-13) nhiệt độ tăng của máy là:

$$\Delta\theta_{nh} = \Delta\theta_{\infty} (1 - e^{-t_{nh}/T}). \quad (14-17)$$

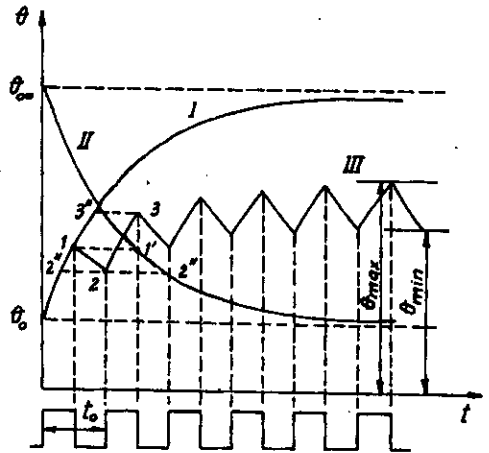
Vì nhiệt độ tăng cuối cùng khi làm việc ở hai chế độ có thể bằng nhau, nghĩa là  $\Delta\theta_{nh} = \Delta\theta_{\infty}$ , nên khi làm việc ngắn hạn cho phép  $\Delta\theta_{\infty}$  trong (14-17) có trị số lớn hơn khi làm việc dài hạn và ký hiệu bằng  $\Delta\theta_{\infty(nh)}$ , sao cho:

$$\Delta\theta_{\infty(nh)} = \Delta\theta_{\infty} \frac{1}{1 - e^{-t_{nh}/T}}. \quad (14-18)$$

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  $t_{lv}$  và  $t_o$  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



Hình 14-3. Đường cong phát nóng ở chế độ làm việc gián đoạn lặp lại

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  $\theta_{\max} < \theta_{\infty}$  ( $\theta_{\infty}$  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

$$\frac{\Delta\theta_{\infty}}{\Delta\theta_{\max}}, \text{ trong đó } \Delta\theta_{\infty} = \theta_{\infty} - \theta_0.$$

### 14.3. VẤN ĐỀ LÀM LẠNH CÁC MÁY ĐIỆN

#### 14.3.1. Các kiểu cấu tạo của 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.

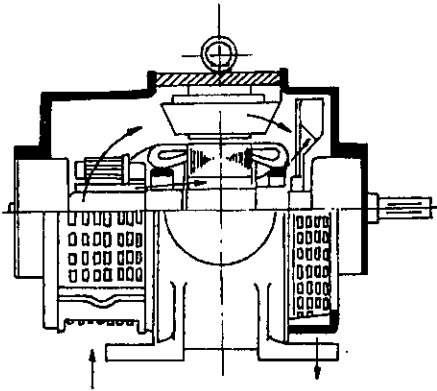
#### 14.3.2. Các phương pháp làm lạnh máy điện

Theo phương pháp làm lạnh, các máy điện được chia thành:

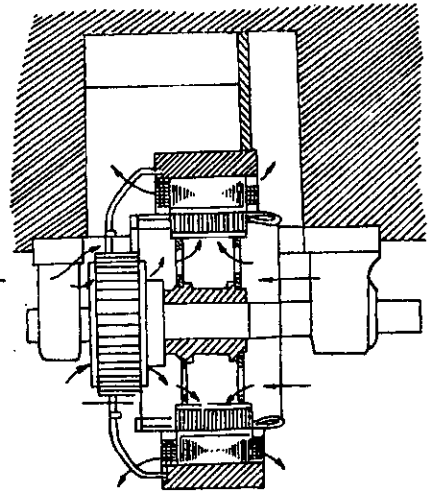
*Máy điện làm lạnh tự nhiên.* Máy điện thuộc loại này không có bộ phận thổi gió làm lạnh, do đó công suất chỉ hạn chế trong khoảng vài chục oát hoặc vài trăm oát nên có cánh tản nhiệt để tăng thêm bề mặt tản nhiệt.

*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 nhỏ hơn  $200 + 250$  mm, gió chỉ thổi dọc trục theo khe hở giữa stato và rôto và theo các rãnh thông gió dọc trục ở lõi thép stato và rôto (hình 14-4).

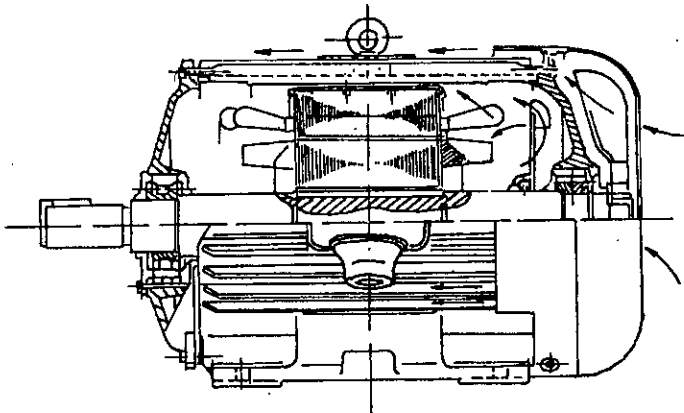
Khi công suất máy lớn, chiều dài của máy tăng thì nhiệt độ gió dọc chiều dài của máy sẽ không đều, vì vậy phải tạo thêm các rãnh thông gió ngang trục. Trong trường hợp này, lõi thép được chia thành từng đoạn dài khoảng 4 cm và khe hở giữa các đoạn khoảng 1 cm. Gió sẽ đi vào hai đầu rồi theo các rãnh ngang trục và thoát ra ở giữa thân máy để rồi lại



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

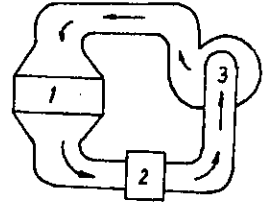


Hình 14-6. Máy điện tụ làm lạnh mặt ngoài

trở về hai đầu (hình 14-5).

*Máy điện tự 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).

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.



Hình 14-7. Hệ làm lạnh độc lập và kín  
1. máy điện; 2. bộ làm lạnh; 3. quạt

*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 riêng. Trong trường hợp đó, khí  $\text{CO}_2$  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.* Tại 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 đến 4 lần và giảm kích thước máy, tiết kiệm vật liệu chế tạo.

### 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  $\theta = \theta_\infty$  song song với trục hoành 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

# ĐẠI 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

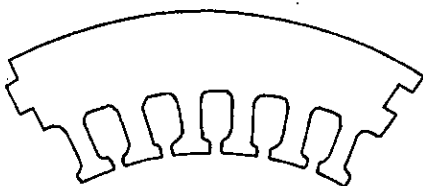
Lõi sắt là phần dẫn từ. Vì từ trường đi qua lõi sắt là từ trường quay nên để giảm tổn hao, lõi sắt được làm bằng những lá thép kỹ thuật điện dày 0,5 mm ép lại. Khi đường kính ngoài lõi sắt nhỏ hơn 990 mm thì dùng cả tấm tròn ép lại. Khi đường kính ngoài lớn hơn trị số trên thì phải dùng những tấm hình rẻ quạt (hình 15-1) ghép lại thành khối tròn.

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 Chương 9.



Hình 15-1. Lá thép kỹ thuật điện hình rìa quạt dùng để ghép lõi sắt stato của máy điện không đồng bộ cỡ vừa và lớn

## 2. Phần quay hay rôto

Phần này có hai bộ phận chính là lõi sắt và dây quấn.

### a. Lõi sắt

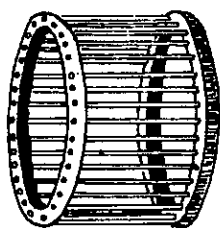
Nói chung thì người ta dùng các lá thép kỹ thuật điện như ở stato. Lõi sắt được ép trực tiếp lên trục máy hoặc lên một giá rôto của máy. Phía ngoài của lá thép có xẻ rãnh để đặt dây quấn.

### b. Rôto và dây quấn rôto

Rôto có hai loại chính: rôto kiểu dây quấn và 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.

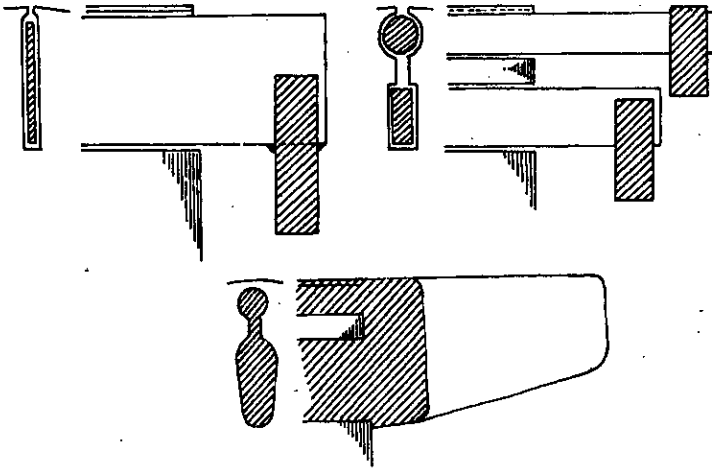
- *Loại rôto kiểu lồng sóc.* Kết cấu của loại dây quấn này rất khác với dây quấn stato. Trong mỗi rãnh của lõi sắt rôto đặt vào thanh dẫn bằng đồng hay nhôm dài ra khỏi lõi sắt, và



Hình 15-2. Dây quấn rôto kiểu lồng sóc làm bằng đồng

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).

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.

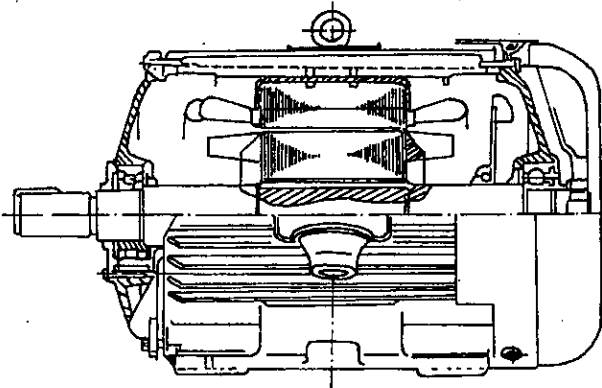


Hình 15-3. Những kiểu rãnh đặc biệt của rôto lồng sóc:

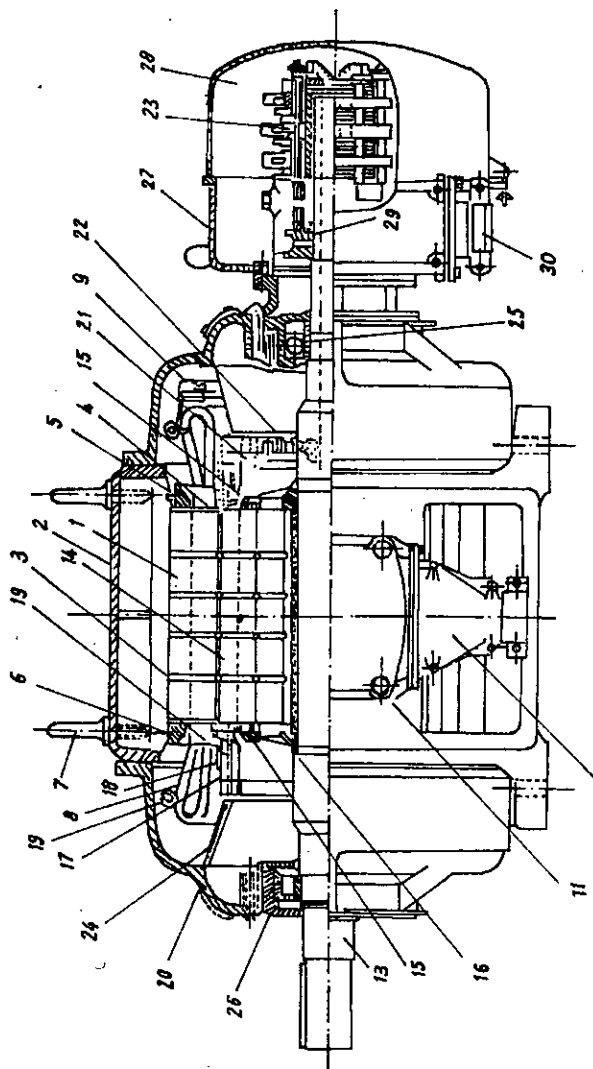
- 1) Rãnh sâu; 2) Rãnh hai lồng sóc thanh dẫn bằng đồng (a) và dúc nhôm (b)

### 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).



Hình 15-4. Động cơ điện rôto lồng sóc



12 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. đầu nối giữa các bối và giữa các nhóm bối dây quấn stato; 10. vành đai; 11. hộp đầu dây cuộn dây stato; 12. đầu cáp; 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 đầu 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.

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.

## 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 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  $\Delta$ ); tốc độ quay định mức  $n_{dm}$  (vg/ph); hiệu suất định mức  $\eta_{dm}$  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 hàng 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, tự động hóa và sinh hoạt hàng 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 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 với 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 hổ cảm. Vì vậy ta có thể coi máy điện không đồng bộ như một máy biến áp 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 máy biến áp là từ trường xoay chiều). Do đó có thể dùng cách phân tích kiểu máy biến áp 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 máy biến áp.

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 ĐỨNG 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  $f_1$ . Dòng điện  $I_1$  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):

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= \frac{m_1 \sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{w_1 k_{dq1}}{p} I_1 \\ F_2 &= \frac{m_2 \sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{w_2 k_{dq2}}{p} I_2 \end{aligned} \right\} \quad (16-1)$$

trong đó:

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

$p$  là số đôi cực;

$w_2, w_1, k_{dq1}, k_{dq2}$  là 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:

$$\hat{F}_1 + \hat{F}_2 = \hat{F}_0 \quad (16-2)$$

hay:  $\hat{F}_1 = \hat{F}_0 + (-\hat{F}_2)$ .

Giống như cách phân tích máy biến áp, ở đây có thể coi như dòng điện stato  $\hat{I}_1$  gồm hai thành phần: một thành phần là  $\hat{I}_0$  tạo nên s.t.d.

$\hat{F}_0 = \frac{m_1 \sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{w_1 k_{dq1}}{p} \hat{I}_0$  và một thành phần là  $(-\hat{I}'_2)$  tạo nên s.t.d.

$(-\hat{F}'_2) = -\frac{m_1 \sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{w_1 k_{dq1}}{p} \hat{I}'_2$  bù lại s.t.d.  $\hat{F}'_2$  của dòng điện thứ cấp  $\hat{I}_2$ .

Như vậy ta có:

$$\hat{I}_1 = \hat{I}_0 + (-\hat{I}'_2)$$

hay:  $\hat{I}_1 + \hat{I}'_2 = \hat{I}_0$  (16-3)

So sánh s.t.d.  $\hat{F}'_2$  do dòng điện  $\hat{I}_2$  của rôto và thành phần  $\hat{I}'_2$  của dòng điện stato sinh ra, ta có:

$$\frac{m_2 \sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{w_2 k_{dq2}}{p} \hat{I}_2 = \frac{m_1 \sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{w_1 k_{dq1}}{p} \hat{I}'_2$$

Từ đó tìm ra được tỷ số biến đổi dòng điện:

$$k_i = \frac{\hat{I}_2}{\hat{I}'_2} = \frac{m_1 w_1 k_{dq1}}{m_2 w_2 k_{dq2}} \quad (16-4)$$

Dòng điện quy đổi của rôto sang stato bằng:

$$I_2 = \frac{I_2}{k_i},$$

Từ thông chính  $\Phi$  do s.d.d.  $F_1$  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:

$$\left. \begin{aligned} E_1 &= 4,44f_1w_1k_{dq1}\Phi; \\ E_2 &= 4,44f_2w_2k_{dq2}\Phi. \end{aligned} \right\} \quad (16-5)$$

Khi rôto đứng yên,  $f_1 = f_2$  nên tỷ số biến đổi điện áp của máy điện không đồng bộ bằng:

$$k_c = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1k_{dq1}}{w_2k_{dq2}}. \quad (16-6)$$

Quy đổi  $E_2$  sang bên sơ cấp ta được:

$$E_2' = E_1 = k_c E_2$$

Do từ thông tản của stato  $\dot{\Phi}_{\sigma 1}$  nên trong dây quấn stato sẽ cảm ứng nên s.d.d. tản  $\dot{E}_{\sigma 1} = -j\dot{I}_1x_1$ , 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  $\dot{I}_1r_1$  thì phương trình cân bằng về s.d.d. trong mạch điện stato bằng:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= -(\dot{E}_1 + \dot{E}_{\sigma 1}) + \dot{I}_1r_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1(r_1 + jx_1) \\ &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_1Z_1, \end{aligned} \quad (16-7)$$

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:

$$0 = -\dot{E}_2 + \dot{I}_2(r_2 + jx_2) = -\dot{E}_2 + \dot{I}_2Z_2, \quad (16-8)$$

trong đó:

$r_2$  là điện trở rôto bao gồm cả điện trở phụ mắc vào nếu có;

$x_2$  là điện kháng tản trên dây quấn rôto;

$Z_2 = r_2 + jx_2$  là tổng trở của dây quấn rôto.

Cũng giống như ở m.b.a. ta có thể viết:

$$-\dot{E}_1 = \dot{I}_0Z_m = \dot{I}_0(r_m + jx_m). \quad (16-9)$$

trong đó:

$\dot{I}_0$  là dòng điện từ hóa sinh ra sức từ động  $\dot{F}_0$ ;

$r_m$  là điện trở từ hóa đặc trưng cho tổn hao sắt;

$x_m$  là điện kháng từ hóa biểu thị sự hổ 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  $E_2$  và  $I_2$  không đổi. Khi qui đổi  $r_2$  ta có:

$$m_2 I_2^2 r_2 = m_1 I_2^2 r_2'$$

Từ đó ta được:

$$r_2 = \frac{m_2}{m_1} \left( \frac{I_2}{I_2'} \right)^2 r_2' = \frac{m_2}{m_1} \left( \frac{m_1 \omega_1 k_{dq1}}{m_2 \omega_2 k_{dq2}} \right)^2 r_2'$$

$$= k_e k_i r_2' = k r_2', \quad (16-10)$$

trong đó  $k = k_e k_i$  là hệ số quy đổi của tổng trở.

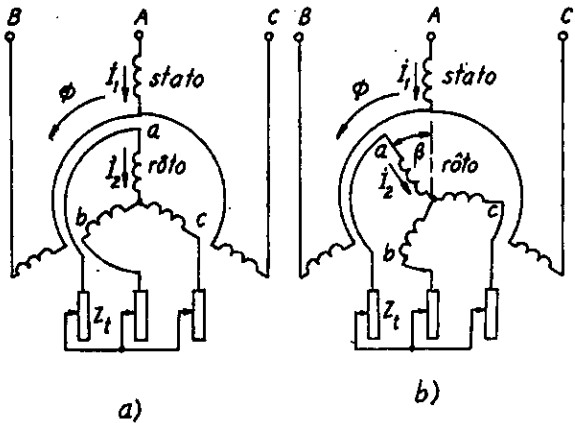
Khi quy đổi  $x_2$ , ta có:

$$\operatorname{tg} \psi_2 = \frac{x_2}{r_2} = \frac{x_2'}{r_2'}$$

và được:  $x_2 = \frac{r_2'}{r_2} x_2' = k x_2'$  (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 thử dây quấn rôto lệch với dây quấn stato một góc không gian  $\beta$  theo chiều của từ trường quay (hình 16-1b), thì khi từ trường quay quét qua các dây quấn ta có:



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  $\beta$  (b)

$$\dot{E}_2 = \frac{1}{k_e} \dot{E}_1 e^{j\beta}$$

và 
$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_2}{Z_2} = \frac{1}{k_e} \frac{\dot{E}_1}{Z_2} e^{j\beta}$$

Ta thấy khi dây quấn rôto dịch phía trước dây quấn stato một góc không gian  $\beta$  thì s.d.d. và dòng điện của nó chậm sau một góc pha  $\beta$  về thời gian so với khi hai 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 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  $\beta$ . Vì ở đây (hình 16-1b) trục pha  $a$  của rôto đã có vị trí vượt trước trục pha  $A$  của stato một góc  $\beta$ , nên s.t.d.  $F_2$  có vị trí tương đối so với s.t.d.  $F_1$  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. 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  $\beta$ .

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:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 Z_{1\sigma} \\ 0 &= -\dot{E}_2 + \dot{I}_2 Z_{2\sigma} \\ \dot{E}_2 &= \dot{E}_1 \\ \dot{I}_1 + \dot{I}_2 &= \dot{I}_0 \\ -\dot{E}_1 &= \dot{I}_0 Z_m \end{aligned} \right\} \quad (16-12)$$

Khi rôto đứng yên mà dây quấn rôto ngắn mạch, nếu muốn giới hạn các dòng điện  $\dot{I}_1$  và  $\dot{I}_2$  trong dây quấn stato và rôto đến các trị số định mức của chúng thì cũng như ở máy biến áp lúc ngắn mạch cần phải giảm thấp điện áp đặt vào. Điện áp ấy (gọi là điện áp ngắn mạch) vào khoảng  $15 + 25\% U_{dm}$ . Cũng do đó mà s.d.d.  $\dot{E}_1$  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  $\dot{F}_0$  rất nhỏ so với  $\dot{F}_1$  và  $\dot{F}_2$ , do đó trong phương trình (16-2) có thể bỏ qua  $\dot{F}_0$ . Lúc đó ta có:

$$\begin{aligned} \dot{F}_1 + \dot{F}_2 &= \dot{F}_0 \approx 0 \\ \text{hay: } \dot{I}_1 + \dot{I}_2 &\approx 0. \end{aligned} \quad (16-13)$$

Thay (16-13) vào phương trình thứ tư của (16-12) có thể dễ dàng

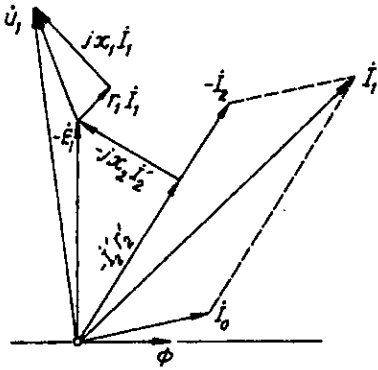
tính được dòng điện stato  $\dot{I}_1$ :

$$\dot{I}_1 \approx \frac{\dot{U}_1}{Z_1 + Z_2} = \frac{\dot{U}_1}{Z_n},$$

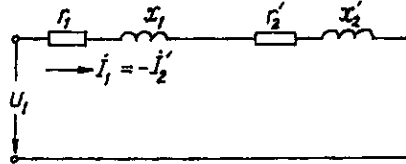
trong đó:  $Z_n = Z_1 + Z_2 = (r_1 + r_2) + j(x_1 + x_2) = r_n + jx_n$  là tổng trở ngắn mạch của máy điện không đồng bộ.

Khi  $\dot{U}_1 = \dot{U}_{dm}$  thì  $\dot{I}_1$  đó chính là dòng điện mở máy.

Đồ thị véctơ và mạch điện thay thế như ở hình 16-2 và 16-3.



Hình 16-2. Đồ thị véctơ 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 trị số tần số s.d.d. 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.d. trên dây quấn stato vẫn như cũ:

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1(r_1 + jx_1). \quad (16-13)$$

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

đổi giữa từ trường quay với dây quấn rôto là  $n_2 = n_1 - n$  và tần số s.d.d. và dòng điện trong dây quấn rôto sẽ là:

$$f_2 = \frac{n_2 p}{60} = \frac{n_1 - n}{n_1} \cdot \frac{n_1 p}{60} = s \cdot f_1, \quad (16-15)$$

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  $s = 0,02 + 0,05$ .

Trị số s.d.d. trên dây quấn rôto lúc đó bằng:

$$E_{2s} = 4,44 f_2 w_2 k_{dq2} \Phi = 4,44 s f_1 w_2 k_{dq2} \Phi = s E_2. \quad (16-16)$$

Vì điện kháng  $x = \omega L = 2\pi f L$  (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:

$$x_{2s} = 2\pi f_2 L_2 = 2\pi s f_1 L_2 = s x_2. \quad (16-17)$$

Do đó phương trình cân bằng về s.d.d. của mạch điện rôto là:

$$0 = -\dot{E}_{2s} + \dot{I}_2 (r_2 + j x_{2s}) \quad (16-18)$$

hay sau khi đã quy đổi:

$$0 = -\dot{E}'_{2s} + \dot{I}_2 (r_2 + j x'_{2s}). \quad (16-19)$$

Trong phương trình trên, s.d.d. và dòng điện đều có tần số là  $f_2$ , còn bên sơ cấp thì s.d.d. 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. Muốn cho tần số phía thứ cấp cũng là  $f_1$  thì từ trường quay phải quét dây quấn rôto với cùng tốc độ quét dây quấn stato, nghĩa là dây quấn rôto cũng phải đứng yên như dây quấn stato, ( $n = 0$ ). Khi rôto đứng yên so với khi rôto quay, tốc độ từ trường quét dây quấn rôto tăng theo tỷ lệ  $\frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{s}$  và s.d.d. của dây quấn rôto cũng tăng theo tỷ lệ đó và bằng  $E'_{2s} \frac{1}{s}$

$= \frac{s E'_2}{s} = E'_2$ . Vì từ trường và dòng điện stato  $I_1$  đều không đổi nên dòng

điện rôto  $I_2$  cũng không đổi. Từ phương trình (16-19) ta thấy, khi  $E'_{2s}$  tăng  $\frac{1}{s}$  lần, muốn giữ  $I_2$  không đổi thì  $r_2$  và  $x'_{2s}$  phải tăng  $\frac{1}{s}$  lần và có

giá trị  $r_2 \frac{1}{s}$  và  $E'_{2s} \frac{1}{s} = \frac{s x_2}{s} = x'_2$ . Kết quả là phương trình mạch điện của rôto lúc rôto quay sau khi quy đổi sang tần số  $f_1$  sẽ có dạng:

$$0 = \dot{E}'_2 - \dot{I}_2 \left( \frac{r_2}{s} + j x'_2 \right) = \dot{I}_2 \left( r_2 + j x_2 + \frac{1-s}{s} r_2 \right). \quad (16-20)$$

Đó là ý nghĩa vật lý của việc quy đổi phương trình (16-19) có tần số  $f_2$  sang phương trình (16-20) có tần số  $f_1$ .

Khi rôto quay máy sinh ra công suất cơ. So sánh các phương trình mạch điện rôto khi quay (16-20) và khi đứng yên (16-12) ta thấy chúng khác nhau ở điện trở giả tưởng  $\frac{1-s}{s}r_2$ . Vậy công suất cơ là công suất tiêu thụ trên điện trở giả tưởng đó và có giá trị bằng  $m_1 I_2^2 \frac{1-s}{s} r_2$ . Công suất cơ phụ thuộc vào hệ số trượt  $s$  hoặc tốc độ  $n$ . Khi tốc độ bằng không, ( $n = 0, s = 1$ ), điện trở giả tưởng  $\frac{1-s}{s} r_2 = 0$ : công suất cơ không còn và phương trình (16-20) trở về phương trình (16-12).

Do s.t.d. stato và rôto quay đồng bộ với nhau với tốc độ góc  $\omega_1$  nên phương trình cân bằng về s.t.d. vẫn được viết:

$$\dot{F}_1 + \dot{F}_2 = \dot{F}_0$$

hay: 
$$\dot{I}_1 + \dot{I}_2 = \dot{I}_0$$

Tóm lại toàn bộ các phương trình cơ bản lúc rôto quay như sau:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_1(r_1 + jx_1); \\ 0 &= \dot{E}_2 - \dot{I}_2\left(\frac{r_2}{s} + jx_2\right); \\ \dot{E}_2 &= \dot{E}_1; \\ \dot{I}_1 + \dot{I}_2 &= \dot{I}_0; \\ -\dot{E}_1 &= \dot{I}_0 Z_m \end{aligned} \right\} \quad (16-21)$$

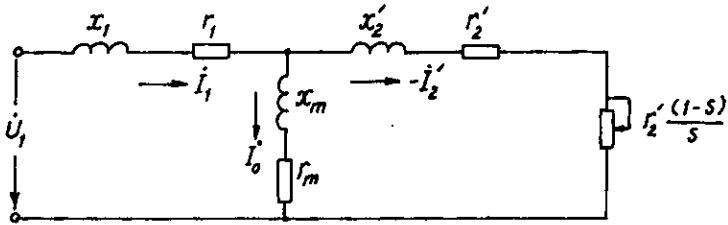
### 16.3.2. Mạch điện thay thế của máy điện không đồng bộ

Dựa vào các phương trình cơ bản (16-21), hoàn toàn tương tự như với máy biến áp 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 máy biến áp tổng trở  $Z_1$  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 cơ 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 \$\Gamma\$ đơn giản hơn. Các biến đổi như sau.

Từ hình 16-4, ta có:

$$\dot{I}_2' = -\frac{\dot{E}_1}{Z_{2s}},$$

trong đó:  $Z_{2s} = \frac{r_2'}{s} + jx_2'$

$$\dot{I}_0 = -\frac{\dot{E}_1}{Z_m};$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 - \dot{I}_2' = \frac{-\dot{E}_1}{Z_m} + \frac{\dot{E}_1}{Z_{2s}}.$$

Vi 
$$-\dot{E}_1 = \dot{I}_1 \frac{1}{\frac{1}{Z_m} + \frac{1}{Z_{2s}}}$$

và 
$$-\dot{E}_1 = \dot{U}_1 - \dot{I}_1 Z_1 = \dot{U}_1 + \dot{E}_1 \left( \frac{Z_1}{Z_m} + \frac{Z_1}{Z_{2s}} \right),$$

nên 
$$-\dot{E}_1 = \frac{\dot{U}_1}{1 + \frac{Z_1}{Z_m} + \frac{Z_1}{Z_{2s}}} = \frac{\dot{U}_1}{\dot{C}_1 + \frac{Z_1}{Z_{2s}}}$$

trong đó: 
$$\dot{C}_1 = 1 + \frac{Z_1}{Z_m}$$

Từ đó được: 
$$-\dot{I}_2 = \frac{-\dot{E}_1}{Z'_{2s}} = \frac{\dot{U}_1}{\dot{C}_1 Z'_{2s} + Z_1}$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 - \dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_1 - \dot{I}_1 Z_1}{Z_m} + \frac{\dot{U}_1}{\dot{C}_1 Z'_{2s} + Z_1}$$

Giải  $I_1$  ra được:

$$\dot{I}_1 \left(1 + \frac{Z_1}{Z_m}\right) = \dot{I}_1 C_1 = \frac{\dot{U}_1}{Z_m} + \frac{\dot{U}_1}{\dot{C}_1 Z'_{2s} + Z_1}$$

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_1}{\dot{C}_1 Z_m} + \frac{\dot{U}_1}{\dot{C}_1^2 Z'_{2s} + \dot{C}_1 Z_1} = \dot{I}_{00} - \dot{I}'_2 \quad (16-22)$$

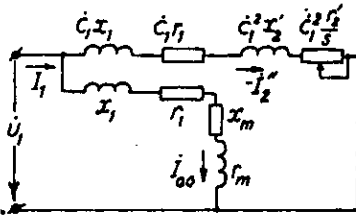
trong đó: 
$$\dot{I}_{00} = \frac{\dot{U}_1}{\dot{C}_1 Z_m} = \frac{\dot{U}_1}{\left(1 + \frac{Z_1}{Z_m}\right) Z_m} = \frac{\dot{U}_1}{Z_1 + Z_m}$$

gọi là dòng điện không tải lý tưởng, nghĩa là dòng điện không tải ứng với lúc  $s = 0$ , tức  $\frac{1-s}{s} r_2 = \infty$ .

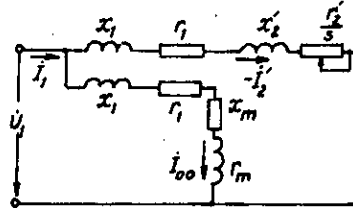
và 
$$-\dot{I}'_2 = \frac{\dot{U}_1}{\dot{C}_1^2 Z'_{2s} + \dot{C}_1 Z_1} = -\frac{\dot{I}'_2}{\dot{C}_1}$$

là dòng điện thứ cấp của mạch điện hình  $\Gamma$ .

Từ công thức (16-22) có thể vẽ mạch điện thay thế hình  $\Gamma$  như ở hình 16-5, trong đó nhánh giữa của mạch điện hình  $T$  đã được dịch ra phía trước.



Hình 16-5. Mạch điện thay thế hình  $\Gamma$  của máy điện không đồng bộ



Hình 16-6. Mạch điện thay thế hình  $\Gamma$  đơn giản hóa của máy điện không đồng bộ

Thực tế là  $\dot{C}_1$  chỉ hơi lớn hơn 1 một ít, góc phức lại rất nhỏ nên có

thể coi  $\dot{C}_1 \approx 1 + \frac{x_1}{x_m} \approx 1$ ,  $\dot{I}'_2 \approx \dot{I}'_2$  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 véctor, các tham số bên rôto đều được quy đổi sang bên stato. Các hệ số quy đổi đó là:

$$k_e = \frac{w_1 k_{dq1}}{w_2 k_{dq2}} \quad \text{và} \quad k_i = \frac{m_1 w_1 k_{dq1}}{m_2 w_2 k_{dq2}}$$

và  $k = k_i \cdot k_e$ .

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:

$$k_e = \frac{w_1 k_{dq1}}{w_2 k_{dq2}} = \frac{w_1 k_{dq1}}{1} = 2w_1 k_{dq1};$$

$$k_i = \frac{m_1 w_1 k_{dq1}}{m_2 w_2 k_{dq2}} = \frac{2m_1 w_1 k_{dq1}}{Z_2};$$

$$k = k_e \cdot k_i = \frac{4m_1}{Z_2} (w_1 k_{dq1})^2.$$

## 16.4. CÁC CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC, GIÁN ĐỒ NĂNG LƯỢNG VÀ ĐỒ THỊ VÉCTOR 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  $s$  mà 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  $p_{Fe} = m_1 I_0^2 r_m$ , còn lại phần lớn công suất đưa vào chuyển thành công suất điện từ  $P_{dt}$  truyền qua rôto. Như vậy:

$$P_{dt} = P_1 - p_{Cu1} - p_{Fe} = m_1 I_2^2 \frac{r_2'}{s}. \quad (16-23)$$

Vì trong rôto có dòng điện nên có tổn hao đồng trong rôto  $p_{Cu2} = m_2 I_2^2 r_2$ . Do đó công suất cơ của động cơ điện  $P_{cơ}$  bằng:

$$P_{cơ} = P_{dt} - p_{Cu2} = m_1 I_2^2 \left( \frac{1-s}{s} \right) r_2'. \quad (16-24)$$

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  $p_{cơ}$  và tổn hao phụ  $p_f$  (sẽ nói ở chương sau), nghĩa là:

$$P_2 = P_{cơ} - (p_{cơ} + p_f). \quad (16-25)$$

Như vậy tổng tổn hao trong động cơ điện bằng:

$$\sum p = p_{Cu1} + p_{Fe} + p_{Cu2} + p_{cơ} + p_f$$

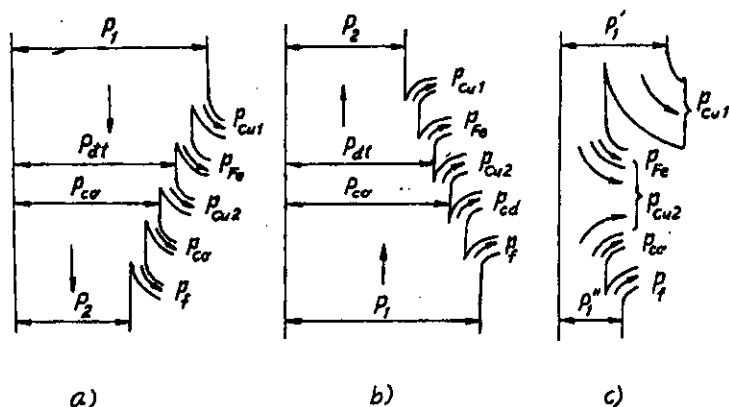
và công suất đưa ra đầu trục:

$$P_2 = P_1 - \sum p.$$

Hiệu suất của động cơ điện:

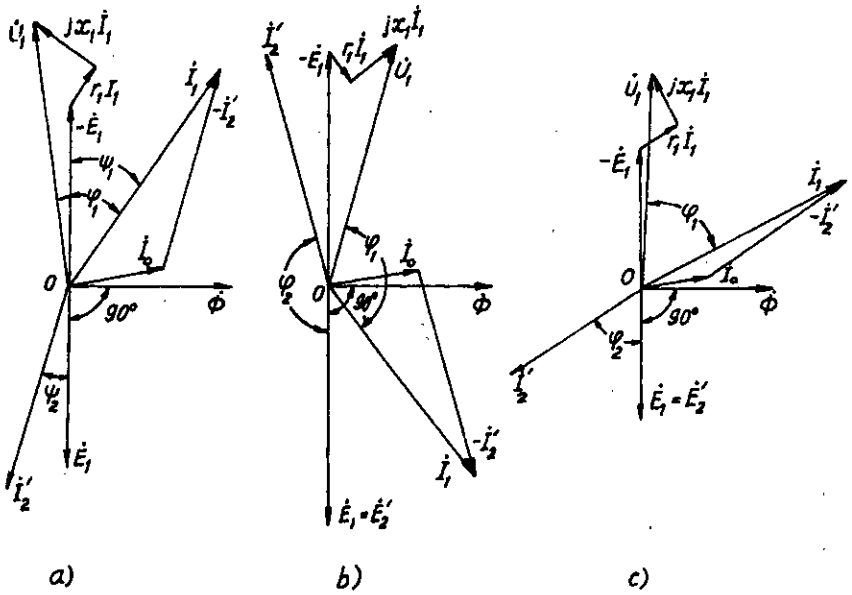
$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = 1 - \frac{\sum p}{P}. \quad (16-26)$$

Giản đồ năng lượng của động cơ điện không đồng bộ như ở hình 16-7a.



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 véctơ của máy điện không đồng bộ:  
 a) ở chế độ động cơ; b) ở chế độ máy phát; c) ở chế độ phanh

Cũng giống như ở m.b.a, đồ thị véctơ của máy điện không đồng bộ có thể vẽ theo các phương trình cơ bản (16-27) như ở hình 16-8a.

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 trường từ trong mạch điện sơ cấp  $q_1$  và thứ cấp  $q_2$ :

$$\left. \begin{aligned} q_1 &= m_1 I_1^2 x_1 \\ q_2 &= m_1 I_2'^2 x_2 \end{aligned} \right\} \quad (16-28)$$

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:

$$Q_1 = Q_m + q_1 + q_2 = m_1 U_1 I_1 \sin \varphi_1 \quad (16-30)$$

Giá trị công suất phản kháng của động cơ điện không đồng bộ đư

hiện trên hình 16-9.

Do trong máy điện không đồng bộ khe hở lớn hơn trong máy biến áp, nên dòng điện từ hóa  $I_0$  trong máy điện không đồng bộ lớn hơn dòng điện từ hóa trong máy biến áp. Do  $Q_m$  và  $I_0$  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  $\cos\varphi_0$  rất thấp, thường  $\cos\varphi_0 = 0,1 + 0,15$ .

### 16.4.2. Máy làm việc ở chế độ máy phát điện ( $-\infty < s < 0$ )

Khi hệ số trượt  $s$  có giá trị âm thì công

suất cơ  $P_{cơ} = m_1 I_2^2 \left( \frac{1-s}{s} \right) r_2$  có trị số âm,

nghĩa là máy lấy công suất cơ vào. Ngoài ra ta có:

$$\operatorname{tg}\psi_2 = \frac{x_2}{r_2/s} = \frac{s \cdot x_2}{r_2} < 0$$

nên góc pha  $\psi_2$  giữa s.d.d.  $\vec{E}_2$  và dòng điện  $\vec{I}_2$  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.

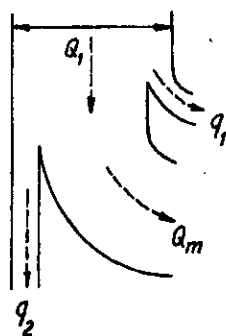
Tuy vậy công suất phản kháng  $Q_1 = m_1 U_1 I_1 \sin\varphi_1 > 0$ , do đó máy vẫn nhận công suất phản kháng từ lưới vào như ở trường hợp động cơ điện. Đó là đặc điểm của máy phát không đồng bộ.

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  $P_{cơ} = m_1 I_2^2 \left( \frac{1-s}{s} \right) r_2 < 0$ , nên máy lấy công suất cơ từ ngoài vào. Công suất điện từ  $P_{đt} = m_1 I_2^2 r_2 / s > 0$  nên máy cũng lấy công suất điện từ lưới vào. Tất cả công suất cơ và điện lấy ngoài vào đều biến thành tổn hao đồng trên mạch rôto:

$$\begin{aligned} P_{đt} + (-P_{cơ}) &= m_1 I_2^2 \frac{r_2^2}{s} + \left[ -m_1 I_2^2 \left( \frac{1-s}{s} \right) r_2 \right] \\ &= m_1 I_2^2 r_2 = P_{Cu2} \end{aligned}$$



Hình 16-9. Giản đồ công suất phản kháng của động cơ điện không đồng bộ

Vì tất cả năng lượng lấy vào đều tiêu thụ trên máy nên theo 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 véctơ giống như trường hợp làm việc ở chế độ động cơ. Giảm đồ năng lượng và đồ thị véctơ của máy hãm được trình bày ở hình 16-7c và 16-8c.

## 16.5. BIỂU THỨC MÔMEN ĐIỆN TỪ 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.

$$\text{Vì} \quad M_0 = \frac{P_{c0} + p_f}{\omega} \quad ; \quad M_2 = \frac{P_2}{\omega} ,$$

trong đó:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \text{ là tốc độ góc của rôto; } n \text{ là tốc độ quay của rôto, nên biểu}$$

thức (16-31) có thể viết dưới dạng:

$$M = \frac{P_{c0} + p_f + P_2}{\omega} = \frac{P_{c0}}{\omega} \quad (16-32)$$

Mặt khác mômen điện từ do từ trường quay  $\Phi$  và dòng điện rôto 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:

$$M = \frac{P_{dt}}{\omega_1} \quad (16-33)$$

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:

$$P_{\text{cđ}} = \frac{\omega}{\omega_1} P_{\text{đt}} = \frac{n}{n_1} P_{\text{đt}} = (1 - s)P_{\text{đt}} \quad (16-34)$$

và tổn hao đồng trên rôto bằng:

$$P_{\text{Cu2}} = P_{\text{đt}} - P_{\text{cđ}} = sP_{\text{đt}}. \quad (16-35)$$

$$\text{Vì } P_{\text{đt}} = m_2 E_2 I_2 \cos\psi_2$$

nên ta có:

$$P_{\text{cđ}} = m_2(1 - s)E_2 I_2 \cos\psi_2. \quad (16-36)$$

Do  $E_2 = \sqrt{2} \pi f_1 \omega_2 k_{\text{dq2}} \Phi$ , 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:

$$M = \frac{P_{\text{cđ}}}{\omega} = \frac{1}{\sqrt{2}} m_2 p \omega_2 k_{\text{dq2}} \Phi I_2 \cos\psi_2 \quad (16-37)$$

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.đ. 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  $\Gamma$  của máy điện không đồng bộ (hình 16-25), ta có:

$$I_2 = C_1 I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{(r_1 + C_1 r_2'/s)^2 + (x_1 + C_1 x_2')^2}}$$

$$\text{và } P_{\text{đt}} = m_1 I_2'^2 \frac{r_2'}{s} = \frac{m_1 U_1^2 r_2'/s}{(r_1 + C_1 r_2'/s)^2 + (x_1 + C_1 x_2')^2}$$

Từ đó ta được quan hệ giữa mômen điện từ với hệ số trượt  $s$ :

$$M = \frac{P_{\text{đt}}}{\omega_1} = \frac{m_1 U_1^2 p r_2'/s}{2\pi f_1 [(r_1 + C_1 r_2'/s)^2 + (x_1 + C_1 x_2')^2]}, \quad (16-38)$$

$$\text{trong đó: } \omega_1 = \frac{2\pi f_1}{p}$$



Công thức trên có đơn vị là N.m, muốn đổi thành kG.m thì phải chia cho 9,81.

Từ (16-38), ta rút ra được những nhận xét chung về mômen điện từ của máy điện không đồng bộ như sau:

- 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 ( $s > 1$ ).

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:

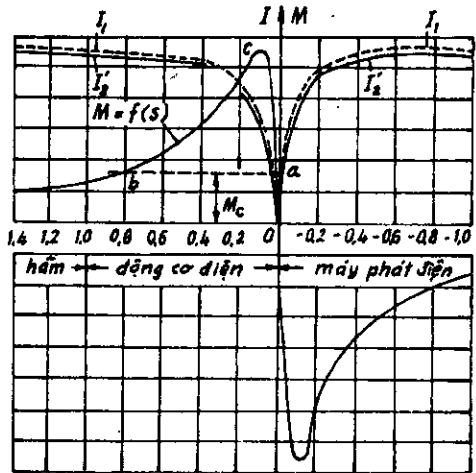
$$M_{max} = \pm 2C_1 \frac{1}{2\pi f_1} \cdot \frac{m_p U_1^2}{[\pm r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + C_1 x_2)^2}]} \quad (16-40)$$

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:

$$M_{max} = \pm \frac{1}{2C_1} \cdot \frac{m_p U_1^2}{2\pi f_1 [\pm r_1 + (x_1 + C_1 x_2)]} \quad (16-41)$$

Ta rút ra những nhận xét về mômen cực đại:

- Với tần số và tham số cho trước,  $M_{max}$  tỷ lệ với  $U_1^2$ ;



Hình 16-10. Đường biểu diễn mômen điện từ và dòng điện theo hệ số trượt

- $M_{\max}$  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 hay mômen khởi động 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,  $M_k$  tỷ lệ với  $U_1^2$ ;
- Muốn cho khi mở máy  $M_k =$

$M_{\max}$  thì phải tăng điện trở  $r_2$  lên.

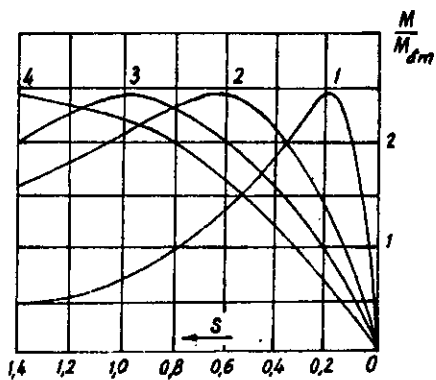
Theo công thức (16-42) điều đó được thực hiện khi:

$$s_m = \frac{C_1 r_2}{x_1 + C_1 x_2} = 1.$$

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  $(x_1 + C_1 x_2)$ .



Hình 16-11. Đặc tính  $M = f(s)$  với điện trở rôto khác nhau

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 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:

$$\sqrt{r_1^2 + (x_1 + C_1 x_2)^2} = \frac{C_1 r_2}{s_m}$$

Dem 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  $r_1 \approx r_2$  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, 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  $s_{dm}$

ứng với công suất định mức. 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 thử 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 thế 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,  $M_c$  càng lớn hơn  $M$  nên không thể ở thế 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:

$$\frac{dM}{ds} > \frac{dM_c}{ds} \quad (\text{hay là } \frac{dM_c}{dn} > \frac{dM}{dn}).$$

## 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.d. phân bố hình sin cũng không thể có được từ cảm khe hở phân bố hình sin mà s.t.d. 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.d. 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.d. 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 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  $\nu$  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.

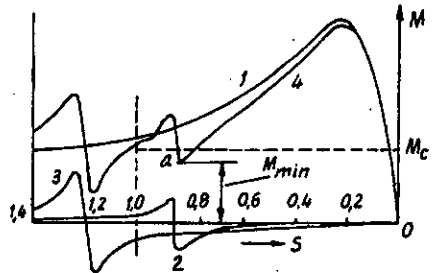
Trong hình 16-12 đường 2 là đường  $M = f(s)$  do từ trường sóng bậc 7 sinh ra.

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 rằng là có ảnh hưởng rõ ràng.

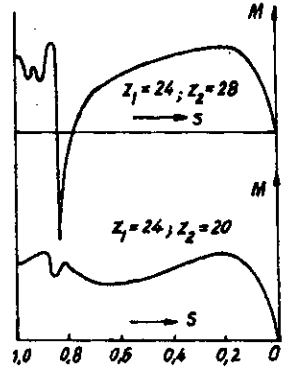


Hình 16-12. Đặc tính  $M = f(s)$  khi có cả sóng điều hòa bậc 5, 7 của từ trường

## 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.

Mômen phụ đồng bộ chủ yếu do s.t.d. sóng điều hòa răng của stato và rôto sinh ra, do đó sự phối hợp răng giữa stato và rôto có quan hệ nhiều đến việc sinh ra mômen này. 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 răng đó.



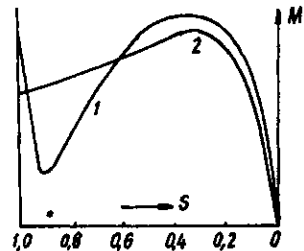
Hình 16-13. Đặc tính  $M = f(s)$  với  $2p = 4$ : a)  $Z_1 = 24$ ,  $Z_2 = 28$ ; b)  $Z_1 = 24$ ,  $Z_2 = 20$ .

## 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 răng stato và răng 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



Hình 16-14. Đặc tính mômen của động cơ điện không đồng bộ có rãnh chéo ở rôto

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 tài liệu 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.

Như đã phân tích ở Chương 9, 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 + 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 mật 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:

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \sum p} 100\%$$

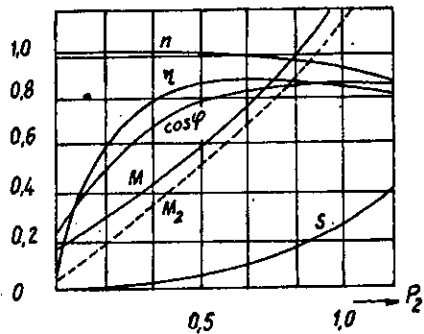
trong đó  $\sum p$  là tổng tổn hao của máy.

Đường biểu diễn  $\eta = f(P_2)$  như ở hình 16-15. Thường thiết kế  $\eta_{\max}$  vào khoảng  $0,5 \div 0,75P_{2dm}$ .

### 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.



Hình 16-15. Đặc tính làm việc của máy không đồng bộ



$$16.7.5. \text{ Năng lực quá tải } k_m = \frac{M_{\max}}{M_{dm}}$$

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.

Các đặc tính làm việc của máy điện không đồng bộ được biểu thị trên hình 16-15.

## 16.8. CÁC ĐƯỜNG ĐẶC TÍNH CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ TRONG ĐIỀU KIỆN KHÔNG ĐỊNH MỨC

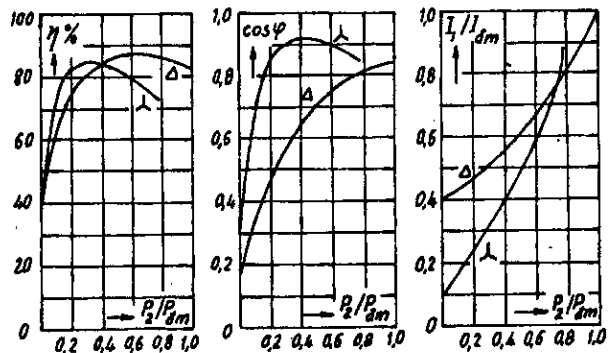
### 16.8.1. Điện áp không định mức

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  $\Phi$  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  $\Phi$  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



Hình 16-15. Các đặc tính làm việc của động cơ điện không đồng bộ khi đổi nối dây quấn từ  $\Delta$  sang  $Y$

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 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 ( $\approx 50\% P_{dm}$ ) thì nên giảm điện áp máy xuống (nếu thường dấu  $\Delta$  thì chuyển thành dấu  $Y$ ) để có tính năng về  $\cos\varphi$  và hiệu suất tốt hơn (hình 16.16) từ đó có T (c

### 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  $\pm 5\%$  được coi như định mức.

Nếu không kể đến điện áp rơi trên dây quấn stato có thể coi  $U = E = f\Phi$ . Khi  $U$  không đổi thì  $\Phi \propto \frac{1}{f}$ . Vì vậy  $f \neq f_{dm}$  thì  $\Phi < \Phi_{dm}$  thì  $\Phi$  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  $60f_1$  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  $\Phi$  tăng, nên  $I_2$  giảm và do  $P_{đ} = P_{cu2} = 2sI_2^2 R_2$  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  $\Delta$  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 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  $2 - s$  và mômen do từ trường nghịch sinh ra có tác dụng hãm. Vì vậy hệ thống thứ tự

ngược 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;
- Sức điện động 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:

$$f_2 = \frac{pn_2}{60} = \frac{2 \cdot 80}{60} = 2,66 \text{ Hz}$$

hay  $f_2 = sf_1 = 0,053 \cdot 50 = 2,66 \text{ Hz}$

trong đó:  $s = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{1500 - 1420}{1500} = \frac{80}{1500} = 0,053.$

d) S.đ.đ. của rôto khi quay ở tốc độ định mức:

$$E_{2s} = sE_2 = 0,053 \cdot 250 = 13,4 \text{ V.}$$

### 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  $U_p = 110$  V; dòng điện  $I_n = 61$  A và  $\cos\varphi_n = 0,336$ . Tính:

a) Điện trở và điện kháng ngắn mạch  $r_n, x_n$ ;

b) Điện trở và điện kháng dây quấn rôto  $r_2, x_2$ . Cho biết  $r = 0,159 \Omega; x_1 = 0,46 \Omega$ ;

c) 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, 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:

$$a) \quad z_n = \frac{U_n}{I_n} = \frac{110}{\sqrt{361}} = 1,044 \Omega;$$

$$r_n = z_n \cos \varphi_n = 1,044 \cdot 0,336 = 0,351 \Omega;$$

$$x_n = z_n \sin \varphi_n = 1,044 \cdot 0,94 = 0,98 \Omega.$$

$$b) \quad r_2 = r_n - r_1 = 0,351 - 0,159 = 0,152 \Omega;$$

$$x_2 = x_n - x_1 = 0,98 - 0,46 = 0,52 \Omega.$$

Để xác định  $r_2, x_2$  ta cần tìm các hệ số quy đổi  $k_e, k_1$ .

$$\text{Ta có: } w_1 = \frac{S_{r1} Z_1}{2m_1} = \frac{9 \cdot 72}{2 \cdot 3} = 108;$$

$$w_2 = \frac{S_{r2} Z_2}{2m_2} = \frac{2 \cdot 120}{2 \cdot 3} = 40.$$

Hệ số dây quấn stato:

$$k_{dq1} = k_{n1} k_{r1}$$

Vì bước đủ nên  $k_{n1} = 1$ , còn:

$$k_{r1} = \frac{\sin q_1 \frac{\alpha_1}{2}}{q_1 \sin \frac{\alpha_1}{2}} = \frac{\sin \frac{\pi}{2m_1}}{q_1 \sin \frac{\pi}{2q_1 m_1}} = \frac{\sin \frac{180}{2 \cdot 3}}{\sin \frac{180}{2 \cdot 3 \cdot 3}} = 0,963$$

$$\text{trong đó: } q_1 = \frac{Z_1}{2pm_1} = \frac{72}{2 \cdot 4 \cdot 3} = 3$$

$$\alpha_1 = \frac{p2\pi}{Z_1} = \frac{\pi}{q_1 m_1}$$

$$k_{dq1} = k_{n1} k_{r1} = k_{r1} = 0,963$$

Hệ số dây quấn rôto:  $k_{dq2} = k_{n2} k_{r2}$

Vì bước đủ nên  $k_{n2} = 1$ , còn:

$$k_{r2} = \frac{\sin \frac{\pi}{2m_2}}{q_2 \sin \frac{\pi}{2q_2 m_2}} = \frac{\sin \frac{180}{2 \cdot 3}}{5 \sin \frac{180}{2 \cdot 5 \cdot 3}} = 0,955$$

trong đó:  $Z_2 = 120$

$$q_2 = \frac{Z_2}{2p m_2} = \frac{120}{2 \cdot 4} = 3$$

$$k_{dq2} = k_{n2} k_{r2} = 0,955$$

Vì  $m_1 = m_2$  nên  $k_1 = k_c = \frac{w_1 k_{dq1}}{w_2 k_{dq2}} = \frac{108 \cdot 0,963}{40 \cdot 0,955} = 2,71$  (s)

$$r_2 = \frac{0,152}{k_c k_1} = \frac{0,152}{2,71 \cdot 2,71} = 0,0207$$

$$k_e k_1 = \frac{0,52}{2,71 \cdot 2,71} = 0,0708$$

c) Công suất động cơ tiêu thụ:

$$P_n = \sqrt{3} U_n I_n \cos \varphi_n = \sqrt{3} \cdot 110 \cdot 61 \cdot 0,336 = 3920 \text{ W}$$

Hay có thể tính theo công suất tổn hao trên r:

$$P_n = 3I_n^2 r_n = 3 \cdot 61^2 \cdot 0,351 = 3920 \text{ W}$$

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:  $P_{dm} = 11,9 \text{ kW}$ ;  $U_{fdm} = 220 \text{ V}$ ;  $I_{fdm} = 25 \text{ A}$ ;  $f = 50 \text{ Hz}$ ;  $2p = 6$ ;  $p_{Cu1} = 745 \text{ W} = p_{Cu2} = 480 \text{ W}$ ;  $p_{Fe} = 235 \text{ W}$ ;  $p_{cô} = 180 \text{ W}$ ;  $p_f = 60 \text{ W}$ . Tính công suất điện từ, mômen điện từ và tốc độ quay của động cơ.

### Giải

a) Công suất điện từ của động cơ:

$$P_{dt} = p_2 + p_{cô} + p_f + p_{Cu2} = 11900 + 180 + 60 + 480 = 12620 \text{ W}$$

b) Mômen điện từ:

$$\Delta T = \frac{P_{dt}}{\omega} = \frac{12620}{\omega}$$

$$M = \frac{P_{dt}}{\omega_1} = \frac{P_{dt}}{\frac{2\pi n_1}{60}} = \frac{12620}{\frac{2\pi \cdot 1000}{60}} = 120 \text{ N.m,}$$

Trong đó :

$$n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000 \text{ vg/ph.}$$

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**

$$\text{Điện trở } r_1 = \frac{p_{Cu1}}{mI_1^2} = \frac{745}{3 \cdot 25^2} = 0,398 \Omega;$$

$$r_2 = \frac{p_{Cu2}}{m_1 I_2^2} = \frac{480}{3 \cdot 20,25^2} = 0,39 \Omega.$$

$$\text{Tốc độ đồng bộ: } n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000 \text{ vg/ph.}$$

$$\text{Hệ số trượt: } s = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{1000 - 960}{1000} = 0,04.$$

Mômen điện từ:

$$M = \frac{m_1 p U_1^2 r_2 / s}{2\pi f_1 [(r_1 + C_1 r_2 / s)^2 + (x_1 + C_1 x_2)^2]} = \frac{3 \cdot 3 \cdot (220)^2 \cdot 0,39 / 0,04}{2\pi \cdot 50 \cdot [(0,398 + 0,39 / 0,04)^2 + (2,18)^2]} = 120 \text{ N.m,}$$

đây coi  $C_1 = 1$ .

Động cơ này không đồng bộ ba pha

Động cơ này không đồng bộ ba pha

## Câu hỏi

1. Phân tích những điểm giống và khác nhau trong nguyên lý làm việc của máy điện không đồng bộ và máy biến áp.

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 máy biến áp, 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  $n$ ,  $I_1$ ,  $\Phi$ ,  $\cos\varphi$  như thế nào?

7. Một động cơ điện không đồng bộ thiết kế với tần số  $f = 60$  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  $n = 980$  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)  $E_{2s} = 2,2$  V;

c)  $I_2 = 21,89$  A.

2. Một động cơ điện không đồng bộ ba pha đấu Y, 380 V, 50 Hz;  $n_{dm} = 1440$  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 của các dòng điện  $I_1$ ,  $I_0$  và  $I_2$ .

Đáp số:  $p = 2$ ;  $n_{đb} = 1500$  vg/ph;

$s_{dm} = 0,04$ ;  $f_2 = 2$  Hz;  $I_1 = 33$  A;

$I_0 = 5$  A;  $I_2 = 31,92$  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:  $s = 0,02$ ;  $p_{Cu2} = 594$  W;

$\eta = 87,8\%$ ;  $I_1 = 55$  A;  $f_2 = 1$  Hz.

4. Một động cơ điện không đồng bộ tiêu thụ năng lượng điện là 60 kW; 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:  $P_{cơ} = 57,23$  kW;  $p_{Cu2} = 1,77$  kW.

5. Cho một động cơ không đồng bộ rôto dây quấn có  $P_{dm} = 155$  kW;  $p = 2$ ;  $U = 380$  V; đấu Y;  $p_{Cu2} = 2210$  W;  $P_{cơ} = 2640$  W;  $P_f = 310$  W;  $r_2 = 0,012 \Omega$ .

a) Lúc tải định mức tính:  $P_{đi}$ ;  $s_{dm}\%$ ;  $n_{dm}$ ;  $M_{dm}$ .

b) Giả thử 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)  $M_{\max} = 3503 \text{ N.m}$ ;  $s_m = 0,1$ .

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)  $I_{dm}$ ,  $I_k$ ,  $s_{dm}$

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)  $M_{dm} = 197 \text{ N.m}$ ;  $M_k = 236,2 \text{ N.m}$ ;  
 $M_{\max} = 354,4 \text{ N.m}$ .

7. Cho động cơ không đồng bộ ba pha bốn cực  $P_{dm} = 10 \text{ kW}$ ,  $U_{dm} = 380/200 \text{ V}$ , Y/ $\Delta$ , có tham số  $r_1 = 0,355 \Omega$ ,  $r_2' = 0,38 \Omega$ ,  $r_m = 1,92 \Omega$ ,  $x_1 = 1,1 \Omega$ ,  $x_2' = 1,2 \Omega$ ,  $x_m = 30 \Omega$ . Hãy xác định:

a) Tốc độ động cơ khi tiêu thụ từ lưới điện  $8 \text{ kW}$  với  $\cos\varphi = 0,75$  (động cơ đấu Y).

b) Công suất và mômen trên trục động cơ (cho  $p_{co} + p_f = 233 \text{ W}$ )

c) Tốc độ mới của động cơ khi cho thêm một điện trở phụ  $r_f = 1,5 \Omega$  vào mạch của rôto.

Đáp số: a)  $n = 1455 \text{ vg/ph}$

b)  $P_2 = 7,03 \text{ kW}$ ;  $M = 4,66 \text{ kG.m}$

c)  $n = 1277 \text{ vg/ph}$ .

## **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 gian, nhất là đối với những máy lớn. Còn dựa vào mạch điện thay thế để tính toàn 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.

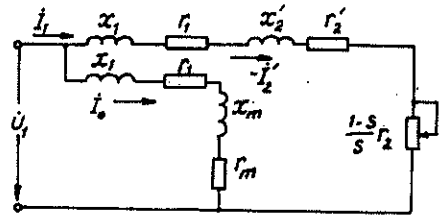
Qua đồ thị vòng tròn còn có thể thấy rõ qui luật biến thiên của các đại lượng điện từ và biết được tình hình làm việc của máy ở các chế độ động cơ điện, máy phát điện và chế độ hãm.

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 THỊ VÒNG TRÒN**

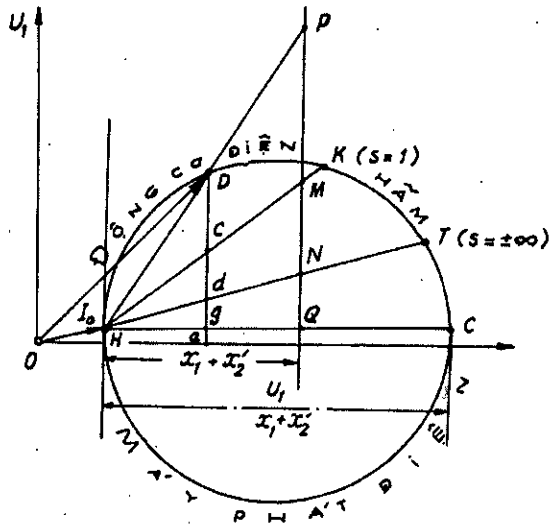
Trong một mạch điện đơn giản gồm điện trở và điện kháng đặt dưới một điện áp không đổi, khi thay đổi điện trở thì quỹ tích của dòng điện biến thiên là một đường tròn. Lợi dụng điều đó có thể vẽ đồ thị vòng tròn của máy điện không đồng bộ.

Trong mạch điện thay thế đơn giản hóa của máy điện không đồng bộ, nếu lấy  $C_1 = 1$  thì giản đồ như ở 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:  $\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}_2)$ .



Hình 17-1. Mạch điện thay thế của máy điện không đồng bộ khi lấy  $C_1 = 1$

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  $\dot{I}_0$  và biểu thị bằng vectơ  $\overrightarrow{OH}$  trên hình 17-2. Điểm H gọi là điểm làm việc 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  $m_1 I_0^2 r_m$ . Ta có công suất không tải lúc máy quay đồng bộ là:



Hình 17-2. Cách xây dựng đồ thị vòng tròn.

$$P_0 = m_1 I_0^2 r_1 + m_1 I_0^2 r_m \quad (17-1)$$

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{m_1 U_1 I_0} \quad (17-2)$$

Dòng điện  $\dot{I}_0$  đã lệch so với điện áp đưa vào  $\dot{U}_1$  một góc  $\varphi_0$ . Thường  $\cos \varphi_0 \leq 0,1$ , nên  $\varphi_0 \approx 90^\circ$ .

Dòng điện  $\dot{I}_2$  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:

(1) Thực ra là  $I_{00}$  nhưng để đơn giản ta viết là  $I_0$

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* hay *điểm khởi động* ( $s = 1$ ).

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  $KT$ . 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  $Of = 10$  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  $m_i = A/cm$ ) 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:

$$P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi = m_1 U_1 \overline{Da} m_i = \overline{Da} m_p \quad (17-4)$$

trong đó:

$m_p = m_1 U_1 m_i$  là thước tỷ lệ công suất (W/cm);

$I_1, U_1$  là dòng điện và điện áp pha.

Khi vectơ dòng điện  $\vec{I}_1$  trùng với trục hoành thì công suất đưa vào bằng 0, do đó trục hoành gọi là đường công suất đưa vào hay đường  $P_1 = 0$ .

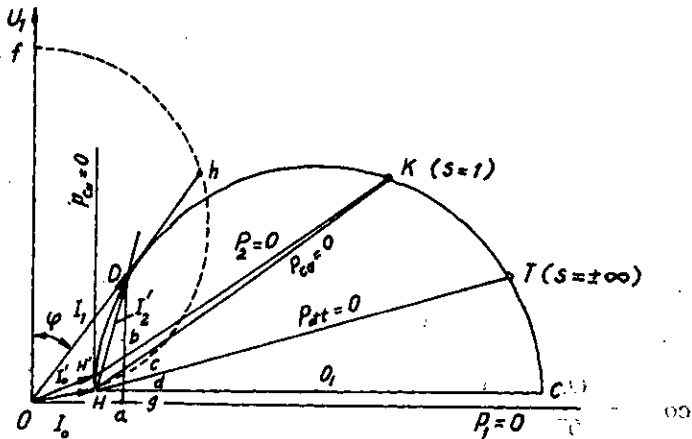
Đoạn  $\overline{Da}$  gặp  $HC$  ở điểm  $g$ . Đoạn  $\overline{ag}$  chỉ tổn hao không tải đồng bộ  $P_0$  vì:

$$\begin{aligned} P_0 &= m_1 U_1 I_0 \cos \varphi_0 = m_1 U_1 \overline{OH} m_i \cos \varphi_0 \\ &= m_1 U_1 m_i \overline{ag} = \overline{ag} \cdot m_p \end{aligned} \quad (17-5)$$

### 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 ( $P_1 - P_0$ ). Ta có:

$$P_1 - P_0 = \overline{Dg} \cdot m_p = (\overline{Dc} + \overline{cd} + \overline{dg}) m_p \quad (17-6)$$



Hình 17-3. Xác định  $\cos \varphi$ , công suất, mômen và tổn hao bằng đồ thị vòng tròn

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:

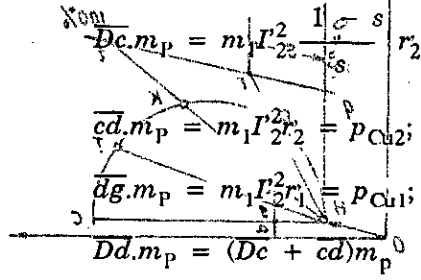
$$(\overline{Dc} + \overline{cd} + \overline{dg}) m_p = m_1 I_2^2 \left( \frac{1-s}{s} r_2 + r_2 + r_1 \right) \quad (17-8)$$

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

$$\overline{Dc} : \overline{cd} : \overline{dg} = \frac{1-s}{2} r_2 : r_2 : r_1 \quad (17-9)$$

Căn cứ vào hai đẳng thức (17-8) và (17-9) ta có:



$$\overline{Dc} \cdot m_p = m_1 I_2^2 \frac{1-s}{2} r_2 = p_{Cu2};$$

$$\overline{cd} \cdot m_p = m_1 I_2^2 r_2 = p_{Cu1};$$

$$\overline{dg} \cdot m_p = m_1 I_2^2 r_1 = p_{Cu1};$$

$$\overline{Dd} \cdot m_p = (\overline{Dc} + \overline{cd}) m_p = 0$$

đó ta được:

đoạn  $\overline{Dc}$  chỉ công suất cơ  $P_{cc}$  nên ta gọi đường  $\overline{HK}$  là đường công suất cơ hay đường  $P_{cc}$ ; đoạn  $\overline{Dd}$  chỉ công suất điện từ  $P_{dt}$  nên gọi đường  $\overline{HT}$  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  $p_{Cu}$ .

đường  $\overline{HT}$  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  $p_{Cu}$ .

đường  $\overline{HK}$  là đường công suất cơ hay đường  $P_{cc}$ . Đoạn  $\overline{Dd}$  chỉ công suất điện từ  $P_{dt}$  nên gọi đường  $\overline{HT}$  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  $p_{Cu}$ .



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:

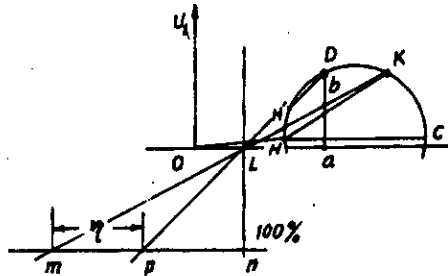
$$\frac{\overline{qr}}{\overline{qt}} = \frac{\overline{dc}}{\overline{dD}} = \frac{P_{Cu2}}{P_{dl}} = s \tag{17-13}$$

### 17.3.6. Xác định hiệu suất $\eta$

Căn cứ vào những phân tích trên ta biết:

$$\overline{ba}.m_p = \Sigma p = p_{Fe} + p_{Cu1} + p_{Cu2} + p_{cot} + p_f$$

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  $\overline{La}$  tỷ lệ với đoạn chi tổng tổn hao  $\overline{ba}$ . 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  $Lab$  và  $mnL$ ;  $LaD$  và  $pnL$ , 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:

$$\frac{\overline{ab}}{\overline{aD}} = \frac{\overline{pn}}{\overline{mn}}$$

hay

$$\frac{\overline{aD} - \overline{ab}}{\overline{aD}} = \frac{\overline{mn} - \overline{pn}}{\overline{mn}}$$



và được: 
$$\frac{\overline{mp}}{\overline{mn}} = \frac{\overline{Db}}{\overline{Da}} = \frac{P_2}{P_1} = \eta \quad (17-14)$$

**17.3.7. Xác định năng lực quá tải**

Theo định nghĩa, năng lực quá tải  $k_m$  là tỉ số giữa mômen định mức và mômen cực đại.

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:

Trên đây giới thiệu cách dùng đồ thị vòng tròn để xác định công suất, mômen, hệ số trượt, hiệu suất ở một trị số của dòng điện làm việc  $I$  cho biết trước. Nếu thay đổi dòng điện  $I$ , 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  $\cos\varphi$ ,  $P$ ,  $M$ ,  $s$ ,  $\eta$  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.

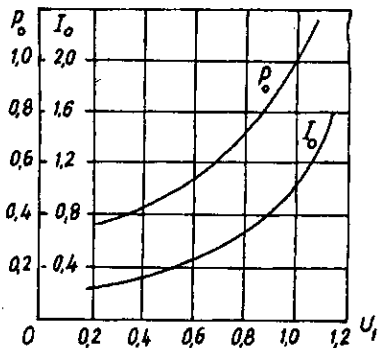
### 17.4.1. Thí nghiệm không tải

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  $0,5 \div 1,2 U_{dm}$ , do 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  $P_0 = P_0 - m_f I_0^2 r_1$  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  $(p_{cđ} + p_f)$  không đổi khi  $U_1$  thay đổi, còn tổn hao sắt  $p_{Fc}$  thay đổi theo  $U_1^2$  cho nên kéo dài đường biểu diễn  $P_0 = f(U_1)$  đến gặp trục tung thì giao điểm chỉ tổn hao cơ  $p_{cđ}$ .

Muốn cho cách vẽ được chính xác hơn, ta vẽ đường biểu diễn  $P_0 = f(U_1^2)$ , 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  $(p_{cđ} + p_f)$  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.



Hình 17-7. Đặc tính không tải của động cơ điện không đồng bộ.

### 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 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:

$$\cos\varphi_{nd} = \frac{P_n}{m_1 U_n I_n} = \frac{P_{nd}}{m_1 U_{dm} I_{nd}} \quad (17-19)$$

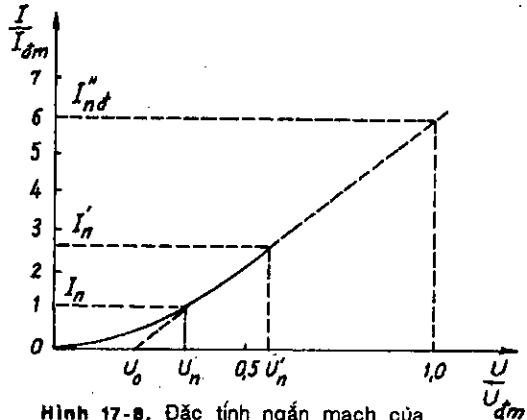
Vòng tròn vẽ theo những số liệu này gọi là *vòng tròn làm việc*, dùng để xác định các đặc tính làm việc của máy điện với công suất dưới công suất định mức.

#### b. Trường hợp mạch từ tản bão hòa

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 hay vòng tròn khởi động.

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 đoạn bão hòa



Hình 17-8. Đặc tính ngắn mạch của máy điện không đồng bộ

của 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:

$$I''_{nd} = I_n \frac{U_{dm} - U_0}{U_n - U_0};$$

$$P''_{nd} = P'_n \left( \frac{U_{dm} - U_0}{U_n - U_0} \right)^2; \quad (17-20)$$

$$\cos\varphi''_{nd} = \frac{P''_{nd}}{\sqrt{3} U_{dm} I''_{nd}}$$

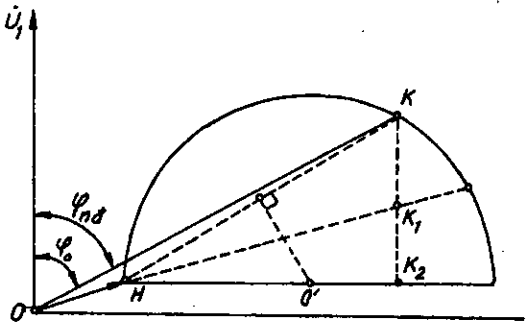
trong đó  $I_n$ ,  $P'_n$ ,  $U_n$  là các trị số đo được qua thí nghiệm ngắn mạch ở khu vực mạch từ đã bão hòa.

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  $I_0 = \overrightarrow{OH}$ , xác định được điểm H.



Hình 17-9. Vẽ đồ thị vòng tròn bằng số liệu thí nghiệm không tải và ngắn mạch

2. Từ thí nghiệm ngắn mạch tính ra dòng điện ngắn mạch định mức  $I_{nd}$  và  $\cos\varphi_{nd}$  rồi vẽ véctor  $\vec{I}_{nd} = \overline{OK}$  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  $T$ . 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:

$$\frac{\overline{K_1K_2}}{\overline{KK_2}} = \frac{m_1 I_{nd}^2 r_1}{m_1 I_{nd}^2 (r_1 + r_2)} = \frac{r_1}{r_n} \quad (17-21)$$

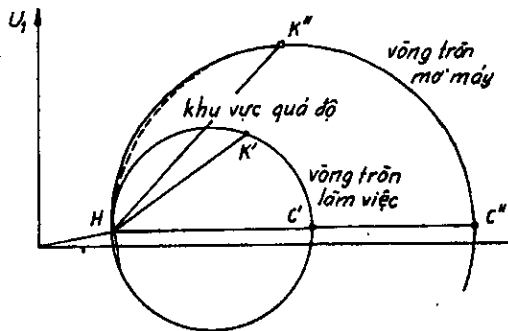
trong đó  $r_1$  là điện trở pha của dây quấn stato, có thể đo trực tiếp; còn  $r_n = r_1 + r_2$  là điện trở ngắn mạch, có thể tìm được từ thí nghiệm ngắn mạch:

$$r_n = \frac{P_n}{m_1 I_{dm}^2} \quad (17-22)$$

Cần chú ý là các trị số điện trở này đều phải quy về nhiệt độ  $75^\circ\text{C}$  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.

Vòng tròn làm việc và mở máy như ở hình 17-10.



Hình 17-10. Đồ thị vòng tròn làm việc và đồ thị vòng tròn mở máy

### 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  $\cos\psi$ . 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:

$$\dot{C}_1 = 1 + \frac{Z_1}{Z_m} \approx 1 + \frac{r_1 + jx_1}{jx_m} = \left(1 + \frac{x_1}{x_m}\right) - j \frac{r_1}{x_m} = C_1 e^{-\psi} \quad (17-23)$$

trong đó 
$$C_1 = \sqrt{\left(1 + \frac{x_1}{x_m}\right)^2 + \left(\frac{r_1}{x_m}\right)^2} \approx 1 + \frac{x_1}{x_m}$$

và 
$$\operatorname{tg}\psi = \frac{r_1}{x_1 + x_m} = \frac{I_0 r_1}{U_1}$$

Tổng trở mạch điện thay thế bằng:

$$\begin{aligned} \dot{C}_1 Z_1 + \dot{C}_{12} Z_{2s} &= (Z_1 C_1 e^{j\psi} + Z_{2s}' C_1^2) e^{j2\psi} = \\ &= e^{j2\psi} \left[ (r_1 + jx_1) C_1 (\cos\psi + j\sin\psi) + \left(\frac{r_2}{s} + jx_2\right) C_1^2 \right]. \end{aligned} \quad (17-24)$$

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 (17-24) và đơn giản hóa cuối cùng ta được:

$$\dot{C}_1 Z_1 + \dot{C}_{12} Z_{2s} = e^{j2\psi} \left[ \left(r_1 + \frac{r_2}{s} C_1^2\right) + j \left(C_1 x_1 + C_1^2 x_2 + \frac{r_1^2}{x_m}\right) \right].$$

Mạch điện thay thế như ở hình 17-11 và dòng điện tải bằng:

$$-\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_1 e^{j2\psi}}{r_1 + \frac{r_2}{s} C_1^2 + j(C_1 x_1 + C_1^2 x_2 + \frac{r_1^2}{x_m})} \quad (17-25)$$

Vì góc  $\psi$  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  $x_n = C_1 x_1 + C_2^2 x_2$ .

Phương pháp dùng thí nghiệm vẽ vòng tròn giống như trước, chỉ có lấy HC lệch với trục hoành một góc  $2\psi$ .

Đoạn  $\overline{Da}$  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:

$$\overline{ag}.m_p = P_o;$$

$$\overline{d'g'}.m_p = P_{Cu1};$$

$$\overline{c'd'}.m_p = P_{Cu2};$$

$$\overline{Dc'}.m_p = P_{cơ}$$

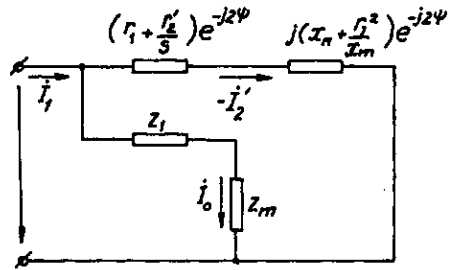
Cách hiệu chỉnh này có nghĩa lớn đối với máy điện không đồng bộ công suất nhỏ, vì  $I_o$  và  $r_1$  lớn nên góc  $2\psi$  tương đối lớn.

### Câu hỏi

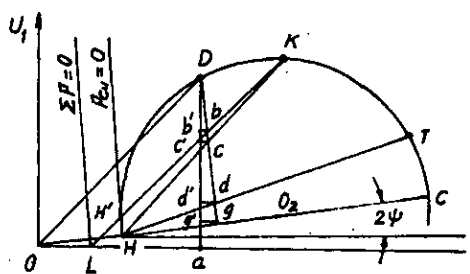
1. Dùng đồ thị vòng tròn để phân tích đặc tính làm việc của máy điện không đồng bộ trong trường hợp nào thì không thích hợp. Nếu phải hiệu chỉnh thì xét mặt nào?

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 mô 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?



Hình 17-11. Mạch điện thay thế chính xác của máy điện không đồng bộ



Hình 17-12. Đồ thị vòng tròn chính xác

## **Chương 18**

# **ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ ỨNG DỤNG HIỆU ỨNG MẶT NGOÀI Ở DÂY QUẢN 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 rôto lồng sóc kép.

### **18.2. ĐỘNG CƠ ĐIỆN RÔTÔ RÃNH SÂU**

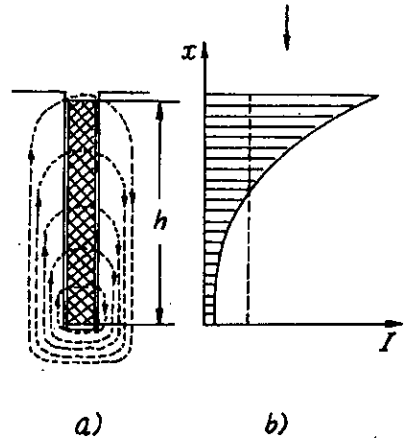
#### **18.2.1. Nguyên lý làm việc**

Động cơ điện rôto rãnh sâu lợi dụng hiện tượng từ thông tản trong rãnh rôto gây nên hiện tượng hiệu ứng mặt ngoài của dòng điện để cải thiện đặc tính mở máy. Để tăng hiệu ứng mặt ngoài, rãnh rôto có hình dáng vừa hẹp, vừa sâu, thường tỷ lệ giữa chiều cao và chiều rộng rãnh vào khoảng  $10 + 12$ . 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



quần 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 ở hình 18-1a.

Ở đáy rãnh, từ thông móc vòng tần nhiều nhất, càng lên phía miệng rãnh từ thông tản càng ít đi, do đó điện kháng tản ở đáy rãnh thì lớn, còn 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.



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

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  $2 \div 3$  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  $r_2$  và  $x_2$  của rôto 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:

$$\begin{aligned} r_2 &= k_r r_{2r} + r_{2v} ; \\ x_2 &= k_x x_{2r} + x_{2v} , \end{aligned} \tag{18-1}$$

trong đó:

$k_r$  là hệ số do hiệu ứng mặt ngoài làm cho điện trở trong thanh dẫn tăng lên;

$k_x$  là hệ số do hiệu ứng mặt ngoài làm cho điện kháng tản trong rãnh giảm xuống.

Các chỉ số "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  $\xi$ . Đối với thanh dẫn bằng nhôm có chiều rộng bằng chiều rộng rãnh thì ở tần số 50 Hz, hệ số  $\xi$  có thể coi bằng:

$$\xi = h_r \sqrt{s} \frac{\rho}{\rho_{Cu}} \approx 0,71 h_r \sqrt{s} , \tag{18-2}$$

trong đó:

$s$  là hệ số trượt;

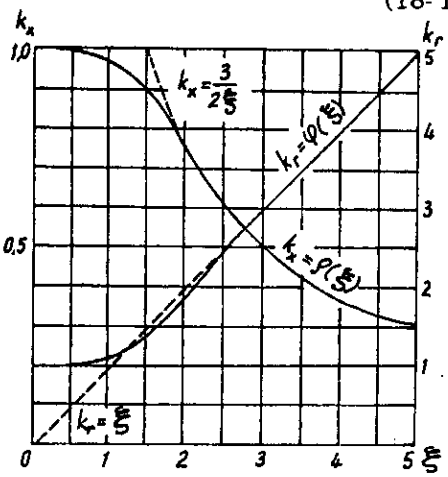
$h_r$  là chiều cao rãnh;

$\rho, \rho_{Cu}$  là 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.

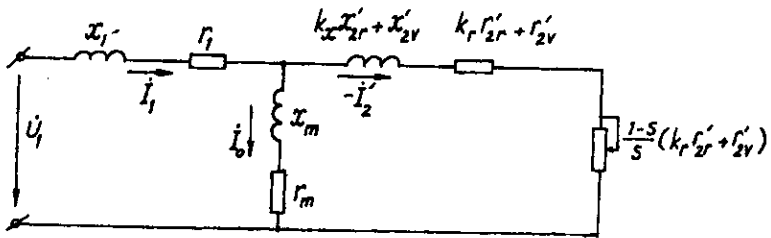
Khi  $\xi \geq 2$  thì có thể coi  $k_r = \xi$  và  $k_x = \frac{3}{2\xi}$ .

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



Hình 18-2. Hệ số  $k_r$  và  $k_x$

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 những hàm biến đổi nên quỹ tích dòng điện rôto của động cơ điện rãnh sâu không phải là một đường tròn nửa, 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 nửa mà là một đường cong khác.



Hình 18-3. Mạch điện thay thế của máy điện không đồng bộ rôto rãnh sâu

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:

$$\frac{I_k}{I_{dm}} = 4,5 \div 6 \quad \text{và} \quad \frac{M_k}{M_{dm}} = 1,0 \div 1,4.$$

Hiệu suất của động cơ điện rãnh sâu không khác động cơ điện thường là bao, chỉ có  $\cos\varphi$  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 ÷ 200 kW.

### 18.3. ĐỘNG CƠ ĐIỆN HAI LỒNG SÓC

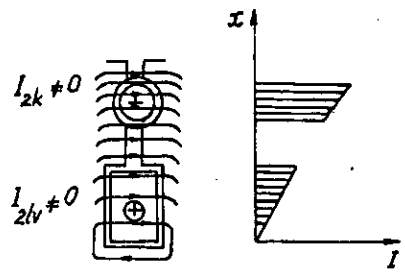
#### 18.3.1. Nguyên lý làm việc

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 ngăn 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 mở máy động cơ điện, 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  $I_{2k} \gg I_{2lv}$  (trong đó 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

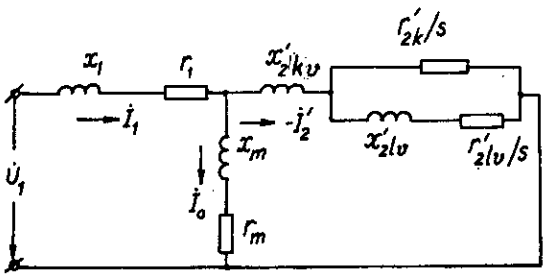
pha với  $E_2$ , còn  $I_{lv}$  chậm sau  $E_2$  nhiều. Vì vậy khi mở máy lồng sóc ngoài sinh ra mômen lớn, có tác dụng chủ yếu nên gọi là lồng sóc mở máy. Khi làm việc bình thường thì hiệu ứng mật ngoài của dòng điện yếu hẳn đi, điện kháng của lồng sóc trong nhỏ lại, dòng điện lớn lên. Do  $I_{2k}$  và  $I_{2lv}$  gần cùng pha với  $E_2$  mà dòng điện lại tỷ lệ nghịch với điện trở nên  $I_{lv} \gg I_k$  do vậy 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.



Hình 18-4. Sự phân bố từ trường tản và dòng điện trong động cơ điện hai lồng sóc khi mở máy

**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 mức 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  $I_{2lv}$ )



Hình 18-5. Mạch điện thay thế của máy điện không đồng bộ rôto hai lồng sóc

sinh ra từ thông móc vòng cho cả hai lồng sóc  $\Phi_{\sigma}$ . Gọi điện kháng tản 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.

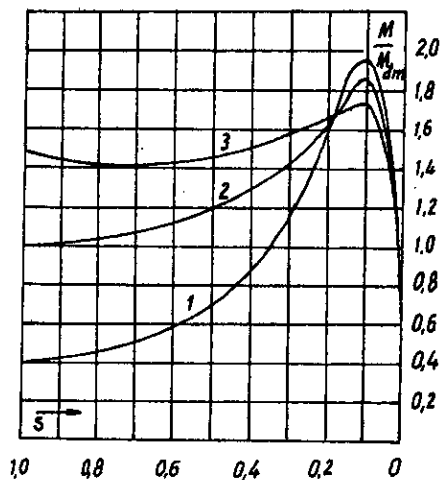
Trong mạch điện thay thế, phần mạch sơ cấp và phần mạch từ hóa giống như trong mạch điện thay thế của máy điện loại thường,  $x_{kv}$  tương ứng với từ thông  $\Phi_{\sigma}$ ;  $\frac{r'_{2lv}}{s} + jx_{2lv}$  là tổng trở đã quy đổi của lồng sóc trong khi có dòng điện  $I_{2lv}$  đi qua;  $\frac{r'_{2k}}{s}$  là điện trở đã quy đổi của lồng sóc trên khi có dòng điện  $I_{2k}$  chạy qua.

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.



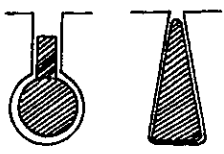
Hình 18-6. Đặc tính  $M = f(s)$  của động cơ điện không đồng bộ rôto lồng sóc thường (1), rôto lồng rãnh sâu (2) và rôto hai lồng sóc (3)

Đặc tính  $M = f(s)$  của các loại động cơ điện thường, động cơ điện rãnh sâu và động cơ lồng sóc kép được trình bày trên hình 18-6.

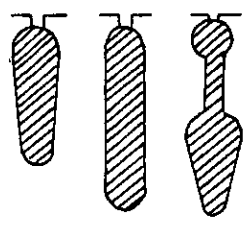
### 18.4. CÁC DẠNG RÃNH RÔTO KHÁC

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 thanh 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.

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.



Hình 18-7. Rãnh sâu dạng cổ lọ và hình thang



Hình 18-8. Rãnh sâu đúc nhôm

#### 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 ngăn 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 ngăn 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  $M_j$  là mômen điện từ của động cơ điện, mômen cản và mômen quán tính;

$J = \frac{GD^2}{4g}$  là hằng số quán tính;

$g = 9,81$ ,  $m/s^2$  là gia tốc trọng trường;

$G$  và  $D$  là trọng lượng và đường kính phần quay;

$\omega$  là 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**

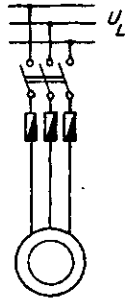
Mục đích của phương pháp này là giảm dòng điện mở máy nhưng đồng thời mômen mở máy cũng giảm xuống, do đó đối với những tải yêu cầu có mômen mở máy lớn thì phương pháp này không dùng được. Tuy vậy, đối với những thiết bị yêu cầu mômen mở máy nhỏ thì phương pháp này rất thích hợp. Có những cách hạ điện áp sau:

**1. Nối điện kháng nối tiếp vào mạch điện stator**

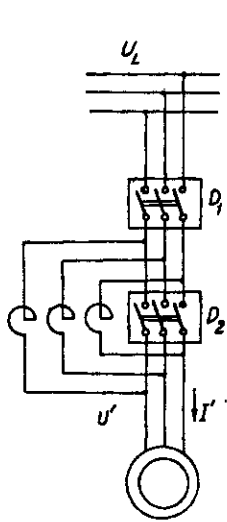
Khi mở máy trong mạch điện stator đặt nối tiếp một điện kháng. Sau khi mở máy xong bằng cách đóng cầu dao  $D_2$  (hình 13-2) thì điện kháng này bị nối ngắn mạch. Điều chỉnh trị số của điện kháng thì có thể có

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  $U_1$  (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

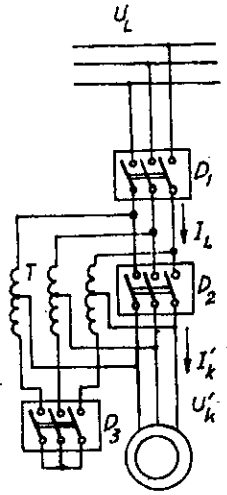
lại  $I'_k = kI_k$ , trong đó  $k < 1$ . Nếu cho rằng khi hạ điện áp mở máy, tham số của máy điện vẫn giữ không đổi thì khi dòng điện mở máy nhỏ đi, điện áp đầu cực động cơ điện sẽ bằng  $U'_k = kU_1$ . Vì mômen mở máy tỷ lệ với



**Hình 19-1.** Mở máy trực tiếp động cơ điện không đồng bộ



**Hình 19-2.** Hạ áp mở máy bằng điện kháng



**Hình 19-3.** Hạ áp mở máy bằng biến áp tự ngẫu

bình phương của điện áp nên lúc đó mômen mở máy bằng  $M'_k = k^2 M_k$ .

Ví 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  $U_{đm}$ . 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  $M'_k = 0,36M_k$  nhưng dòng điện mở máy lấy từ lưới vào nhỏ hơn nhiều:  $I_1 = k_T^2 I_k = 0,36I_k$ .

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.

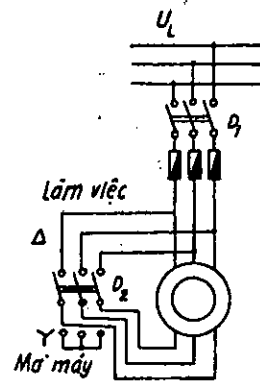
## 3. Mở máy bằng phương pháp Y - Δ

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:

$$U_{kf} = \frac{1}{\sqrt{3}} U_1. \text{ Ta có:}$$

$$I'_{kf} = \frac{1}{\sqrt{3}} I_k \quad \text{và} \quad M'_k = \frac{1}{3} M_k$$



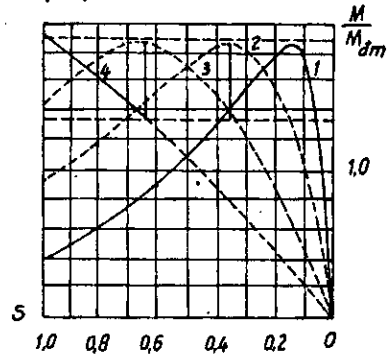
Hình 19-4. Mở máy Y-Δ.

Do khi đấu Y để mở máy thì dòng điện pha bằng dòng điện dây mà khi mở máy trực tiếp thì máy đấu  $\Delta$  (khi ấy  $U_{kf} = U_1$  và  $I_k = \sqrt{3} I_{kf}$ ) cho nên khi mở máy đấu Y thì dòng điện bằng  $I_1 = I_{kf} = \frac{1}{\sqrt{3}} I_{kf} = \frac{1}{3} I_k$ , 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 -  $\Delta$  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 (đường 4 ở hình 19-5). Sau khi máy đã quay, để duy trì 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.



Hình 19-5. Đặc tính mômen khi thêm điện trở vào rôto, để mở máy

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 khốc khản 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:

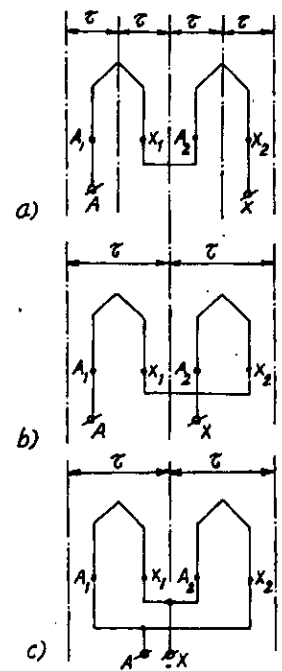
1. *Trên stato*: thay đổi điện áp đưa vào dây quấn stato, thay đổi số đôi cực của dây quấn stato hay thay đổi tần số nguồn điện;
2. *Trên rôto*: thay đổi điện trở rôto hoặc nối nối tiếp trên mạch điện rôto một hay nhiều máy điện phụ gọi là nối cấp.

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 được tốc độ.

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



Hình 19-8. Sơ đồ nguyên lý về thay đổi số đôi cực

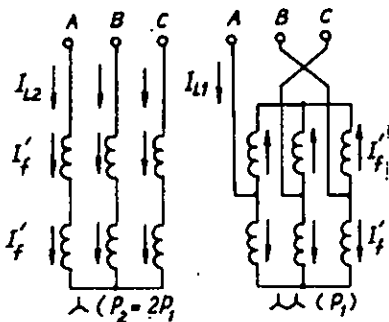
cấp tốc độ gọi là động cơ điện hai tốc độ. Cũng có loại ba, bốn tốc độ. Có nhiều cách thay đổi số đôi cực của dây quấn stato.

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.

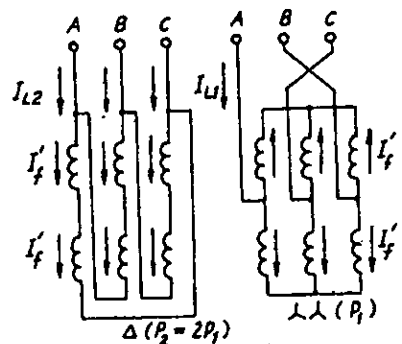
Dây quấn rôto trong động cơ không đồng bộ rôto dây quấn có số đôi cực bằng số đôi cực của dây quấn stato, do đó khi đấu lại dây quấn stato để có số đôi cực khác nhau thì dây quấn rôto cũng phải đấu lại, như vậy không tiện lợi, vì vậy người ta không dùng loại động cơ điện này để điều chỉnh tốc độ bằng 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.

Sơ đồ cách đổi số đôi cực như ở 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.



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

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 (hình 19-7 và 19-8).

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  $P_2$ , theo hình 19-7 với cách đấu Y/YY, ta có:

$$\begin{aligned} P_2 &= \sqrt{3}U_1 I_1 \eta \cos \varphi_1 ; \\ P_1 &= \sqrt{3}U_1 2I_1 \eta \cos \varphi_1 \end{aligned}$$

Giả thiết khi đổi tốc độ, hiệu suất  $\eta$  và  $\cos \varphi$  không đổi thì ta có:

$$\frac{P_1}{P_2} = 2 \quad (19-3)$$

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  $\omega$  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  $\Delta$ /YY, công suất của máy là:

$$P_2 = \sqrt{3} U_1 \sqrt{3} I_1 \eta \cos \varphi_1 ;$$

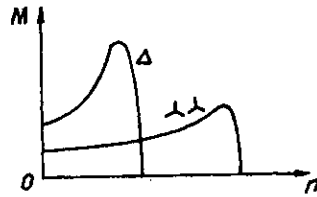
$$P_1 = \sqrt{3} U_1 2I_1 \eta \cos \varphi_1 ,$$

$$\text{ta có: } \frac{P_1}{P_2} = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1,15 \approx 1. \quad (19-4)$$

Động cơ điện hai tốc độ đấu theo kiểu này thuộc loại công suất không đổi.



Hình 19-9. Đặc tính cơ  $M = f(n)$  của động cơ điện hai tốc độ có sơ đồ đấu dây như ở hình 19-7



Hình 19-10. Đặc tính cơ  $M = f(n)$  của động cơ điện hai tốc độ có sơ đồ đấu dây như ở hình 19-8

Đặc tính cơ  $M = f(n)$  của động cơ điện hai tốc độ đầu theo Y/YY và  $\Delta/YY$  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 thực tế, vì có thể dùng một nguồn điện biến tần chung.

Với điều kiện năng lực 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  $f_1$ , căn cứ vào điều kiện năng lực quá tải không đổi, ta có:

$$\frac{M_{\max}}{M'} = \frac{M_{\max}}{M}$$

hay: 
$$\frac{M'}{M} = \frac{M'_{\max}}{M_{\max}} = \frac{U_1^2 f_1^2}{U_1'^2 f_1'^2}$$

Do đó ta được: 
$$\frac{U_1'}{U_1} = \frac{f_1'}{f_1} \sqrt{\frac{M'}{M}}. \quad (19-6)$$

Trong thực tế ứng dụng, thường yêu cầu mômen không đổi (như trong máy cắt gọt kim loại), nên ta có:

$$\frac{U_1'}{U_1} = \frac{f_1'}{f_1} \quad (19-7)$$

hay: 
$$\frac{U_1}{f_1} = \text{const.}$$

Khi yêu cầu điều chỉnh tốc độ đảm bảo công suất cơ  $P_{cr}$  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:

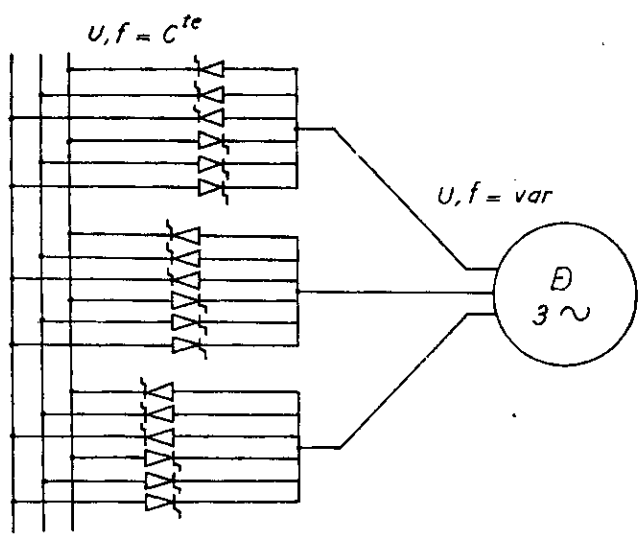
$$\frac{U_1'}{U_1} = \sqrt{\frac{f_1'}{f_1}} \tag{19-8}$$

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:

$$\frac{U_1'}{U_1} = \left(\frac{f_1'}{f_1}\right)^2 \tag{19-9}$$

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.

Để thay đổi tần số của nguồn xoay chiều đặt vào từng động cơ, ngày nay người ta dùng các bộ biến tần trực tiếp hoặc biến tần qua trung gian điện một chiều dùng nghịch lưu dòng hoặc nghịch lưu áp.

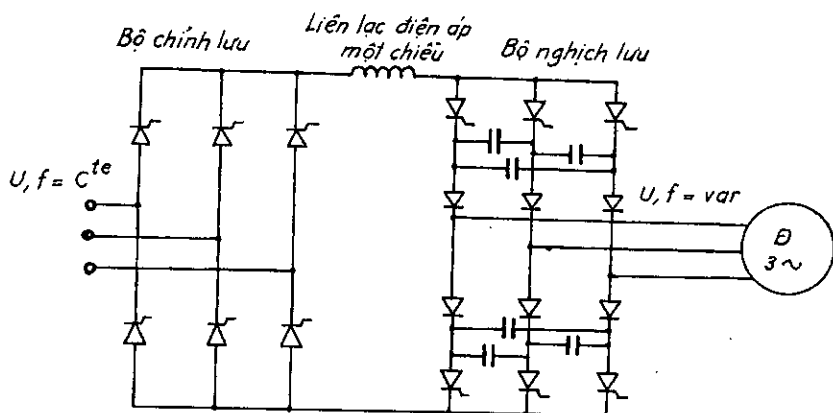


Hình 19-11. Điều chỉnh tốc độ bằng bộ biến tần trực tiếp

Sơ đồ nguyên lý của bộ biến tần trực tiếp

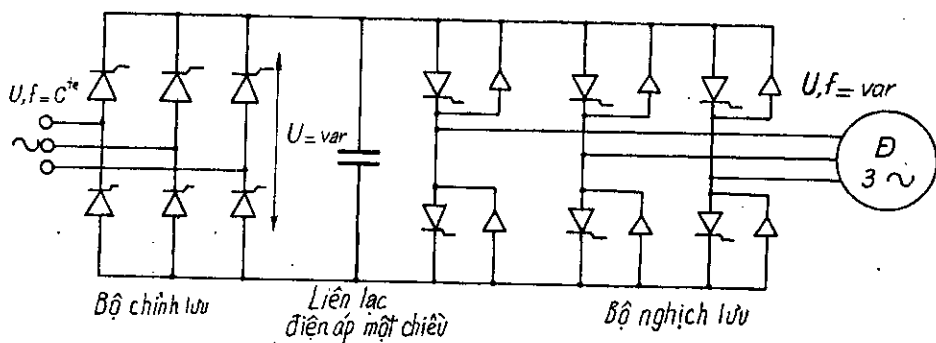
dùng cho động cơ không đồng bộ ba pha được trình bày trên hình 19-11. Ưu điểm của bộ biến tần trực tiếp là điện áp ra gần hình sin, hiệu suất cao và khả năng hãm tái sinh động cơ điện. Tuy nhiên do có nhược điểm sử dụng nhiều tiristo khiến mạch điều khiển phức tạp và đắt, hơn nữa tần số ra hạn chế trong khoảng từ 0 đến  $f/3$  nên nó chỉ thích hợp với các truyền động tốc độ thấp, công suất lớn và hiện còn ít được sử dụng.





Hình 19-12. Điều chỉnh tốc độ dùng bộ biến tần qua nghịch lưu dòng

Bộ biến tần qua trung gian điện một chiều được trình bày trên hình 19-12, sử dụng bộ nghịch lưu dòng cho phép điều chỉnh tần số từ 0 đến  $f$  dùng cho động cơ có công suất từ vài kilôoát đến hàng ngàn kilôoát. Bộ biến tần nghịch lưu áp được trình bày trên hình 19-13, nó cũng cho phép điều chỉnh tần số từ 0 đến  $f$ , cho động cơ có công suất dưới 100 kW.



Hình 19-13. Điều chỉnh tốc độ động cơ không đồng bộ dùng biến tần nghịch lưu áp

### 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 ( $U_1 = xU_{dm}$ ) thì mômen sẽ giảm xuống còn  $x^2$  lần:  $M = x^2 M_{dm}$ . 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 19-14.

Theo công thức về mômen  $M = C_m I_2^2 \Phi$ , trong đó  $C_m$  là hệ số, thì

khi điện áp lưới  $U_1 = xU_{dm}$ , s.d.d. E và từ thông  $\Phi$  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  $U_1 = xU_{dm}$  sẽ là:

$$n = n_1 \left(1 - \frac{s}{x^2}\right) \quad (19-10)$$

Theo hình 19-14 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  $U_1 = 0,707U_{dm}$ . Nếu mômen tải nhỏ hơn tải định mức thì điện áp còn có thể giảm hơn nữa.

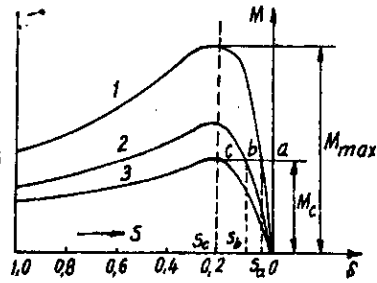
Có thể dùng phương pháp đổi nối Y- $\Delta$  hoặc dùng điện kháng nối nối tiếp với dây quấn stato để hạ điện áp.

Cũng có thể thay đổi điện áp bằng ba cặp tiristo đấu song song ngược theo sơ đồ trên hình 19-15. Ứng với các góc mở  $\alpha$  khác nhau của các tiristo, điện áp trung bình đặt vào động cơ giảm nhỏ khác nhau.

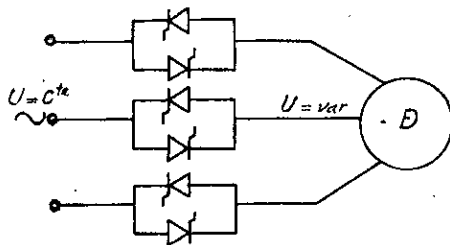
Phương pháp điều chỉnh tốc độ bằng bộ điều khiển điện áp xoay chiều này dùng thích hợp khi mômen tải giảm theo tốc độ, ví dụ tải là quạt gió. Nó cũng cho phép mở máy động cơ dễ dàng bằng cách điều khiển góc mở  $\alpha$  lớn để hạn chế dòng điện mở máy.

### 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.



Hình 19-14. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện áp của stato



Hình 19-15. Điều chỉnh tốc độ bằng bộ biến đổi điện áp xoay chiều ba pha

Thông qua vành trượt ta nối một biến trở ba pha có thể điều chỉnh được vào dây quấn rôto. Hình 19-16 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 mômen tỷ lệ với công suất điện từ  $P_{dt}$ , nên ta có;

$$\frac{r_2}{s} = \frac{r_2 + r_f}{s'} \quad (19-11)$$

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.

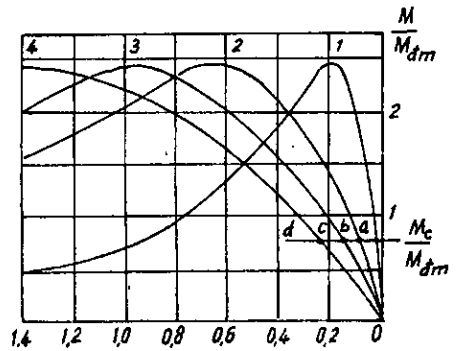
### 19.3.5. Điều chỉnh tốc độ bằng nối cấp

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.

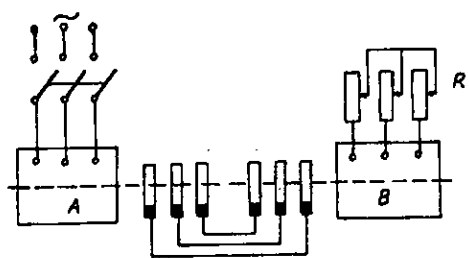
Nối nối cấp có nhiều kiểu, ở đây chỉ giới thiệu một trong những kiểu nối cấp với máy điện không đồng bộ.

Khi nối cấp thì rôto của hai động cơ điện không đồng bộ được nối với nhau cả về điện lẫn về cơ như trên hình 19-17.

Động cơ điện A làm việc bình



Hình 19-16. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thêm điện trở phụ vào rôto.



Hình 19-17. Động cơ điện không đồng bộ nối cấp

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 máy  $B$  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  $A$  làm việc 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  $B$  là  $s_B = 0$  nên  $n_{1B} = n_c$ . Lúc đó  $n_c$  là tốc độ đồng bộ của cả hệ thống nối cấp, gọi là  $n_{1c}$  và có quan hệ sau:

$$n_{1c} = n_{c(sB=0)} = n_{1B(sB=0)} = (n_{1A} - n_{1c}) \frac{p_A}{p_B},$$

do đó ta có:

$$n_{1c} = n_{1A} \frac{p_A}{p_A + p_B} = \frac{60f_1}{p_A + p_B} \quad (19-14)$$

Như vậy  $n_{1c}$  được xem như 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  $P_{cdA}$ , 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:

$$\frac{P_{cdA}}{P_{cdB}} = \frac{n_c}{n_{1A} - n_c} = \frac{P_A}{P_B} \quad (19-15)$$

trong đó công suất cơ của máy A là  $P_{cdA} = P_{dtA} \frac{n_c}{n_{1A}}$ ; công suất cơ của

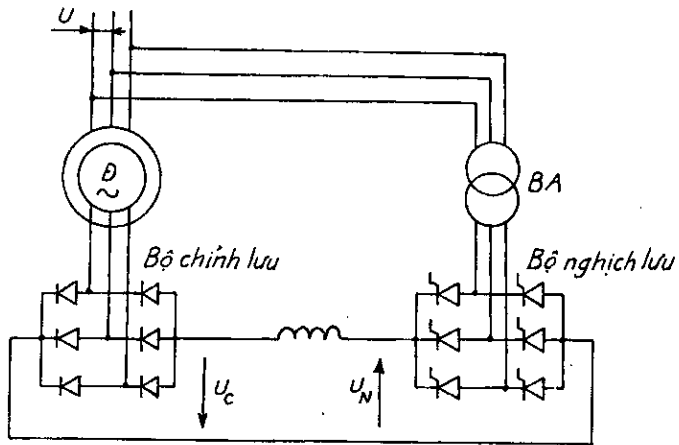
máy B là  $P_{cdB} = P_s = P_{dtA} \frac{n_{1A} - n_c}{n_{1A}}$

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.

### 19.3.6. Điều chỉnh tốc độ bằng nối cấp trả năng lượng trượt về nguồn

Dùng bộ biến tần qua khâu trung gian một chiều nối cấp với động cơ không đồng bộ rôto dây quấn như trên hình 19-18 thì năng lượng trượt ở tần số  $f_2 = sf$  sẽ bị tiêu hao trên điện trở phụ được chỉnh lưu thành năng lượng điện một chiều, sau đó qua bộ nghịch lưu được biến đổi thành



Hình 19-18. Điều chỉnh tốc độ bằng trả năng lượng về nguồn.

năng lượng điện xoay chiều tần số  $f$  trả về nguồn. Việc điều chỉnh tốc độ động cơ được thực hiện bằng cách thay đổi góc mở tiristo của bộ nghịch lưu. Quan hệ của tốc độ hoặc hệ số trượt  $s$  của động cơ với góc mở  $\alpha$  được xác định như sau:

Gọi  $k_D = \frac{\omega_2 k_{dq2}}{\omega_1 k_{dq1}}$  là tỷ lệ số vòng dây có kể đến hệ số dây quấn của

rôto và stato thì điện áp ở rôto động cơ là  $s k_D U$  và điện áp ở đầu ra của bộ chỉnh lưu cầu ba pha là:

$$U_c = 1,35 s k_D U \quad (19-16)$$

Gọi  $k_B$  là tỷ số biến áp của máy biến áp, BA thì điện áp trung bình ở bộ nghịch lưu cầu có biểu thức:

$$U_N = 1,35 k_B U \cos \alpha \quad (19-17)$$

Các điện áp theo (19-16), (19-17) phải bằng nhau và ngược dấu

$$1,35 s k_D U = -1,35 k_B U \cos \alpha$$

hay là:

$$s = -\frac{k_B}{k_D} \cos \alpha \quad (19-18)$$

Khi làm việc ở chế độ nghịch lưu,  $90^\circ < \alpha < 180^\circ$  do đó  $s$  là dương, tốc độ của động cơ nhỏ hơn tốc độ đồng bộ.

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 sáu 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 đầu liền trục cùng kéo một tải. Khi mở máy đầu hai dây quấn stato của hai máy nối tiếp với nhau; mở máy xong thì đầu song song như bình thường. Cách mở máy như 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,  $P_{dm} = 100$  kW; tốc độ quay  $n = 980$  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:  $p_{Cu2} = 23,7$  kW;  $P_2 = 76,3$  kW.

2. Cho một động cơ điện rôto dây quấn  $p = 2$ ;  $f = 50$  Hz ;  $r_2 = 0,02$   $\Omega$ ;  $n = 1485$  vg/ph.

Nếu mômen tải không đổi, muốn có  $n = 1050$  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:  $r_f = 0,58$   $\Omega$ ;  $U' = 0,182U_{dm}$ .

## 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 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

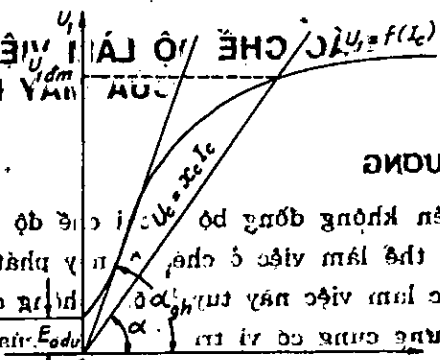
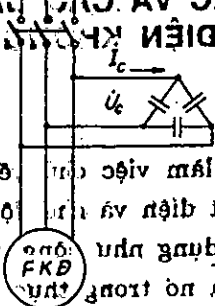
Như đã nói ở Chương 2, khi máy điện không đồng bộ làm việc với lưới điện mà ta dùng động cơ sơ cấp kéo nó quay nhanh hơn tốc độ đồng bộ thì máy phát ra công suất điện tác dụng vào lưới nhưng vẫn nhận công suất phản kháng từ lưới vào, một mặt để kích từ, mặt khác để cung cấp cho công suất phản kháng do 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  $20 + 25\%I_{Um}$  (trong máy điện không đồng bộ nhỏ,  $I_0$  có thể còn lớn hơn); như vậy công suất phản kháng kích từ đã chiếm tới  $20 + 25\%$  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 phát điện không đồng bộ (hình 20-1).

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,



**Chương 20**

**VIỆC LÀM VÀ CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ**



50.1. ĐẠI CƯƠNG

Máy điện không đồng bộ có thể làm việc ở chế độ phát điện và ở chế độ hấp thụ công suất điện không phương thức làm việc này tùy thuộc vào góc công suất  $\alpha$  giữa điện áp và dòng điện. Khi  $\alpha < 90^\circ$  thì máy phát điện như trong hình 20-1a.

Máy điện không đồng bộ có thể làm việc ở chế độ phát điện và ở chế độ hấp thụ công suất điện không phương thức làm việc này tùy thuộc vào góc công suất  $\alpha$  giữa điện áp và dòng điện. Khi  $\alpha < 90^\circ$  thì máy phát điện như trong hình 20-1a. Khi  $\alpha > 90^\circ$  thì máy hấp thụ công suất điện như trong hình 20-1b. Ngày nay người ta càng dùng nhiều máy điện không đồng bộ trong các ngành công nghiệp và công nghệ vì 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  $90^\circ$ , 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  $E_{\text{dư}}$  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 sẽ bằng  $\tan \alpha_{\text{gh}}$  là như thế. Đồ thị này chính của máy phát không đồng bộ (hình 20-1).

$$\tan \alpha_{\text{gh}} = \frac{U_1}{I_0} = 1 \quad (20-1)$$

Trong trường hợp này, máy phát không đồng bộ có thể làm việc độc lập với lưới. Để có thể khi không tải muốn xác lập điện áp thì phải có:

$$\alpha < \alpha_{gh}$$

hay:  $C > C_{gh}$ , (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  $\alpha$  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:

$$C_0 = \frac{\sqrt{3}I_\mu}{2\pi f_1 U_1} 10^6; \mu F \quad (20-3)$$

trong đó:

$I_\mu$  là dòng điện từ hóa, có thể coi gần bằng dòng điện không tải  $I_0$ ;

$U_1$  là điện áp dây của máy;

$f_1$  là tần số của dòng điện phát ra:

$$f_1 = \frac{pn_1}{60} \approx \frac{pn}{60}$$

Để tiết kiệm điện dung người ta thường dấu chúng thành  $\Delta$  (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  $\tan \alpha$  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:

$$C_1 = \frac{Q}{2\pi f_1 U_1^2} 10^6; \mu F \quad (20-4)$$

trong đó  $Q$  là công suất phản kháng của tải.

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 ảnh hưởng trên càng xấu hơn.

Do điện dung tương đối đắt 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 đổi thứ tự pha

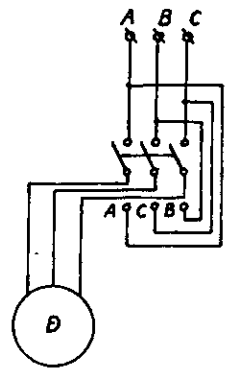
Như đã nói ở Chương 2; khi  $s > 1$ , nghĩa là rôto quay ngược với chiều từ trường quay thì động cơ điện làm việc ở chế độ hãm. Ta ứng dụng nguyên lý đó như sau.

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  $\Delta$  (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 đổi thành máy phát điện

Muốn thực hiện phương pháp hãm này, cần đổi động cơ điện sang ch



Hình 20-2. Hãm đổi thứ tự pha động cơ điện không đồng bộ

độ máy phát điện, tức là 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 ( $s = 3 \div 8\%$ ) 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 ( $2890 > 1500$  vg/ph) nên động cơ đã trở thành máy phát điện.

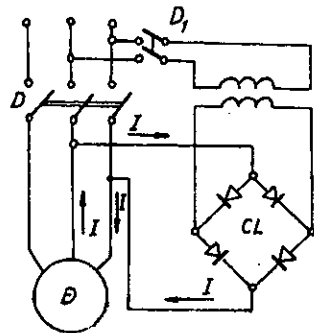
Như vậy hãm theo phương pháp này động cơ phải có dây quấn đổi được số đôi cực và làm việc bình thường với số đôi cực bé nhất.

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  $\Delta$ .

### 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 chỉnh 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 nối trên tạo thành mômen điện từ chống lại chiều quay của máy.



Hình 20-3. Hãm động năng động cơ điện không đồng bộ

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.d.  $E_2$  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.

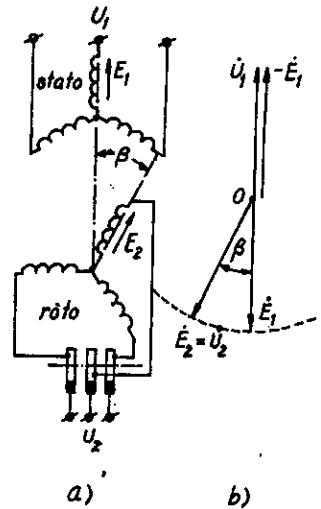
Từ trường này sinh ra trong dây quấn stato và rôto s.d.d.  $\dot{E}_1$  và  $\dot{E}_2$  mà trị số tỷ lệ với số vòng dây tác dụng của các dây quấn, còn góc pha phụ thuộc vào vị trí tương đối của chúng. Vì ba pha đối xứng nên có thể lấy một pha ra nghiên cứu. Giả sử góc giữa pha A của dây quấn stato và pha a của dây quấn rôto bằng 0. Sau đó quay pha a đi một góc  $\beta$  theo chiều của từ trường quay  $\Phi$  thì  $\dot{E}_2$  sẽ chậm sau  $\dot{E}_1$  một góc  $\beta$ . 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



Hình 20-4. Sơ đồ nguyên lý và đồ thị véctơ của máy dịch pha

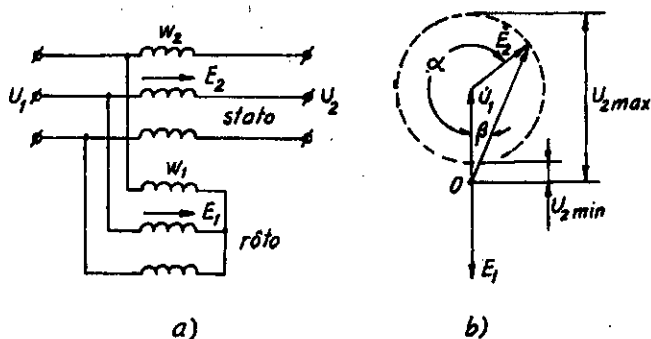
pha về trị số không đổi, chỉ thay đổi về góc pha.

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 điều chỉnh cảm ứng có hai loại: loại đơn và loại kép.



Hình 20-5. Sơ đồ nguyên lý và đồ thị véctơ của máy điều chỉnh cảm ứng đơn

#### Máy điều chỉnh cảm ứng đơn

Sơ đồ nguyên lý của máy điều chỉnh cảm ứng đơn như ở hình 20-5a.

Theo cách đấu của dây quấn, lấy một pha ra nghiên cứu ta có:

$$\begin{aligned} \dot{U}_2 &= \dot{U}_1 + \dot{E}_2 \approx \dot{U}_1 - \frac{\dot{U}_1}{k_{12}} e^{-j\alpha} \\ &= \dot{U}_1 \left( 1 - \frac{1}{k_{12}} e^{-j\alpha} \right). \end{aligned} \quad (20-6)$$

Đồ thị véctơ tương ứng được trình bày trên hình 20-5b. Như vậy với góc  $\alpha$  bất kỳ, nếu chỉ xét về trị số, ta có:

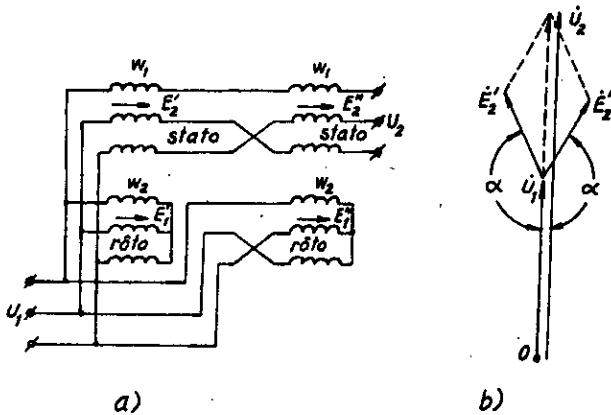
$$U_2 = U_1 \sqrt{1 + \frac{1}{k_{12}^2} - \frac{2}{k_{12}} \cos\alpha}$$

$$\left. \begin{aligned} \text{Khi } \alpha = 0 \text{ thì } U_{2\min} &= U_1 \left( 1 - \frac{1}{k_{12}} \right) \\ \text{và khi } \alpha = 180^\circ \text{ có } U_{2\max} &= U_1 \left( 1 + \frac{1}{k_{12}} \right) \end{aligned} \right\} \quad (20-7)$$

Cần chú ý là khi điều chỉnh trị số của  $U_2$ , góc pha  $\beta$  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  $U_1$  và  $U_2$  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.

Để khắc phục hai nhược điểm của loại máy này ta dùng máy điều chỉnh cảm ứng kép.



Hình 20-8. Sơ đồ nguyên lý và đồ thị vectơ của 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:

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_1 + \dot{E}_2 + \dot{E}_2'' = \dot{U}_1 \left[ 1 - \frac{1}{k_{12}} (e^{j\alpha} + e^{-j\alpha}) \right] \quad (20-8)$$

Khi  $\alpha = 0$ , ta có:

$$U_{2\min} = U_1 \left[ 1 - \frac{2}{k_{12}} \right] \quad (20-9a)$$

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  $D$  kéo và quay với tốc độ ngược chiều với từ trường quay, do đó tần số của s.d.d. cảm ứng ở dây quấn rôto bằng:

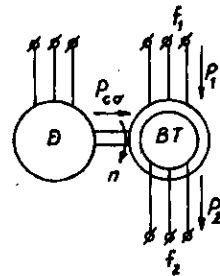
$$f_2 = sf_1$$

trong đó:

$$s = \frac{n_1 + n}{n_1} > 1;$$

$$n_1 = \frac{60f_1}{p} \text{ là tốc độ đồng bộ;}$$

$p$  là số đôi cực của máy.



Hình 20-7. Sơ đồ máy biến đổi tần số

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  $D$  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.d 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  $D$  vào và công suất cơ đó bằng:



$$P_{\text{cst}} = P_2 - P_{\text{dt}} = m_2(s - 1)E_2I_2. \quad (20-12)$$

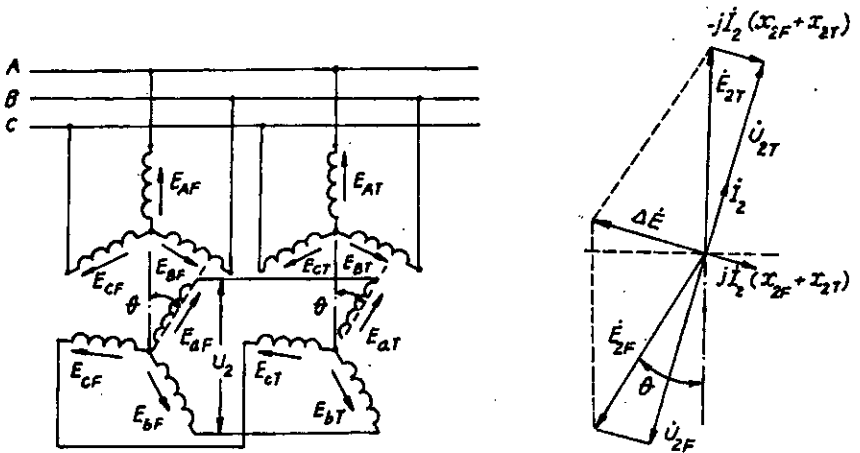
Máy biến đổi tần số thường dùng để cung cấp dòng điện tần số  $f_2$  từ 100 đến 200 Hz dùng trong công nghiệp.

### 20.3.4. Máy điện không đồng bộ làm việc trong hệ tự đồng bộ (xenxin)

Máy điện không đồng bộ làm việc trong hệ tự đồng bộ gồm nhiều máy đặt cách nhau (có thể xa) và chỉ nối với nhau bằng điện. Khi một trong những máy đó (gọi là máy phát) quay bất kỳ một góc nào thì những máy khác (máy thu) cũng quay một góc như vậy. Hệ thống này thường dùng trong kỹ thuật khống chế và đo lường. Những máy điện này thường thuộc loại ba pha và một pha.

#### 1. Hệ tự đồng bộ ba pha (xenxin ba pha)

Hệ tự đồng bộ ba pha đơn giản nhất gồm hai máy không đồng bộ rôto dây quấn. Dây quấn stato của chúng được nối với lưới điện còn dây quấn rôto được nối với nhau theo đúng thứ tự pha (hình 20-8). Như vậy, nếu ở hai máy, vị trí của rôto đối với stato giống nhau thì trong mạch rôto s.d.d.  $E_2$  của chúng ngược nhau và dòng điện  $I_2$  trong mạch sẽ bằng không.



Hình 20-8. Sơ đồ nguyên lý của xenxin ba pha

Hình 20-8. Đồ thị vectơ của xenxin ba pha khi quay rôto máy phát đi một góc

Gọi  $F$  là máy phát tín hiệu và  $T$  là máy thu tín hiệu thì khi có tín hiệu tác động vào máy phát  $F$  làm quay rôto của nó đi một góc  $\theta$  (hình

20-8) thì các s.d.d.  $\dot{E}_{2F}$  và  $\dot{E}_{2T}$  sẽ có góc lệch  $\theta$  và do đó trong mạch rôto sẽ xuất hiện dòng điện  $\dot{I}_2$ :

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_{2F} + \dot{E}_{2T}}{Z_{2F} + Z_{2T}}, \quad (20-13)$$

trong đó  $Z_{2F}$  và  $Z_{2T}$  là tổng trở rôto của máy phát và máy thu.

Qua đồ thị vectơ ở hình 20-9 ta thấy, thành phần tác dụng của  $I_2$  cùng chiều với  $E_{2T}$  do đó lực  $f_T'$  và mômen  $M_T$  sinh ra sẽ làm quay rôto của máy  $T$  đi một góc  $\theta$ . Trái lại thành phần tác dụng của dòng điện  $I_2$  ngược với chiều  $E_{2F}$  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  $\theta$  ở hai máy phát và thu bằng nhau. Vì vậy khi giữ rôto của máy  $F$  ở góc  $\theta$  thì rôto của máy thu  $T$  cũng sẽ quay một góc đúng bằng  $\theta$ .

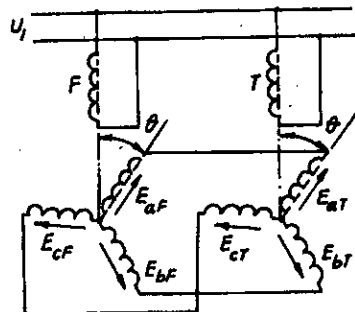
Sự liên lạc như thế nhiều khi người ta còn gọi là sự liên lạc kiểu trực điện.

## 2. Hệ tự đồng bộ một pha (xenxin một pha)

Ở hệ tự đồng bộ một pha, stator 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 stator 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  $\Phi_A$  và  $\Phi_B$  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  $\Phi_{AF}$  một góc  $\theta$  như ở hình 20-10. Đối với phân lượng từ trường quay  $\Phi_{AF}$  và  $\Phi_{AT}$  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  $\Phi_{BF}$  và  $\Phi_{BT}$  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



Hình 20-10. Sơ đồ nguyên lý của xenxin một pha

của hai mômen của từng phân lượng và làm trục quay. Như vậy nếu quay rôto máy phát một góc  $\theta$  thì rôto máy thu cũng quay đi một góc  $\theta$ .

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 chấp hành không đồng bộ

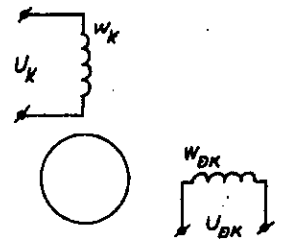
Động cơ chấp hành không đồng bộ được dùng rộng rãi trong các hệ thống tự động khống chế. Đây là một loại động cơ điện không đồng bộ hai pha công suất  $0,1 + 300$  W. Kết cấu của máy về đại thể như sau: Stato ghép bằng thép lá kỹ thuật điện có hai cuộn dây đặt lệch nhau  $90^\circ$ , trong đó một cuộn  $w_K$  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).

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 chấp hành không đồng bộ cũng như các loại động cơ chấp 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.



Hình 20-11. Sơ đồ nguyên lý động cơ chấp hành không đồng bộ

- 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 chấp 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 chấp hành có mômen quán tính phần quay nhỏ, như loại động cơ chấp hành không đồng bộ rôto rỗng.

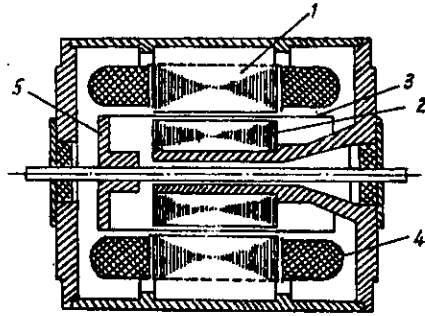
Kết cấu và sơ đồ nguyên lý của động cơ điện loại này như ở hình 20-12.

Rôto của loại động cơ rỗng hình cốc này thường làm bằng nhôm hoặc dural. Dòng điện trong rôto là dòng điện xoay chiều cảm ứng trên mặt ngoài của cốc nhôm hoặc dural đó. Động cơ chấp hành này có mômen quán tính nhỏ, nhưng do khe hở không khí lớn ( $\delta = 0,3 + 1,4 \text{ mm}$ ) nên dòng điện từ hóa lớn,  $\cos\varphi$  thấp, hiệu suất thấp, trọng lượng lớn.

### 20.3.6. Máy phát tốc độ

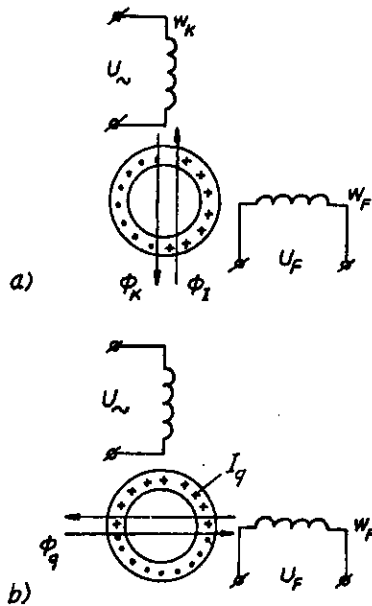
Máy phát tốc độ không đồng bộ cũng như các loại máy phát tốc độ khác làm nhiệm vụ biến đổi các tín hiệu cơ (thường là tốc độ quay của trục) sang các tín hiệu điện (thường là điện áp), để đo tốc độ quay của một động cơ hoặc biến đổi các tín hiệu (gia tốc, ổn định) trong các cơ cấu tự động.

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.



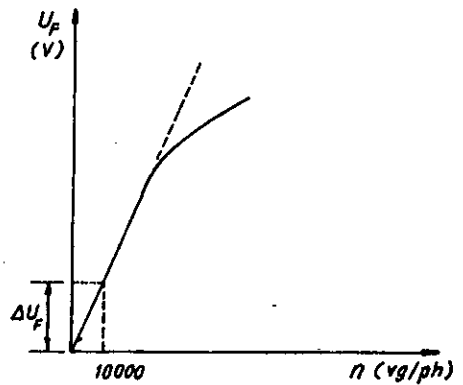
Hình 20-12. Động cơ điện không đồng bộ rôto rỗng:

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

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  $\Phi_K$  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.d. và dòng điện xoay chiều với tần số  $f_1$  giống như máy biến áp. Chiều của từ trường đập mạch  $\Phi_1$  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  $\Phi_K$  và  $\Phi_1$  nên trong cuộn  $w_F$  không xuất hiện s.d.d., khi rôto quay trong rôto sẽ cảm ứng thêm một s.d.d. quay  $e_q$  do từ trường  $\Phi_K$  quét qua rôto. Sức điện động  $e_q$  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  $\Phi_K$  và  $\Phi_1$  đập mạch với tần số  $f_1$  nên s.d.d.  $e_q$  và dòng điện  $I_q$  cũng biến đổi với tần số  $f_1$ . Dòng điện  $I_q$  tạo ra từ trường  $\Phi_q$  đập mạch qua cuộn dây  $w_F$  và cảm ứng trong đó một s.d.d. 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.



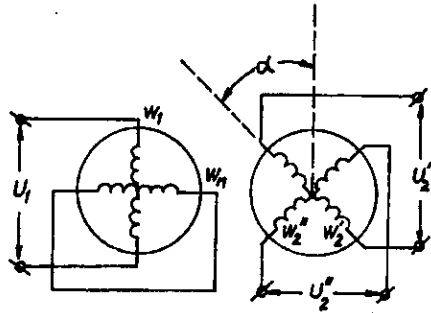
Hình 20-14. Quan hệ  $U_F = f(n)$

Trên thực tế, khi máy phát tốc độ có 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  $8000 + 10000$  vg/ph với  $\Delta U_F = 5 + 10$  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  $\alpha$  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  $90^\circ$  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  $\alpha$  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



Hình 20-15. Máy biến áp xoay sin-cosin

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  $\alpha$  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:

$$\left. \begin{aligned} u_2 &= \sqrt{2} k_1 U_1 \sin\alpha \sin\omega t = \sqrt{2} U_2 \sin\omega t \\ u_2' &= \sqrt{2} k_1 U_1 \cos\alpha \sin\omega t = \sqrt{2} U_2' \sin\omega t \end{aligned} \right\} \quad (20-13)$$

trong đó:

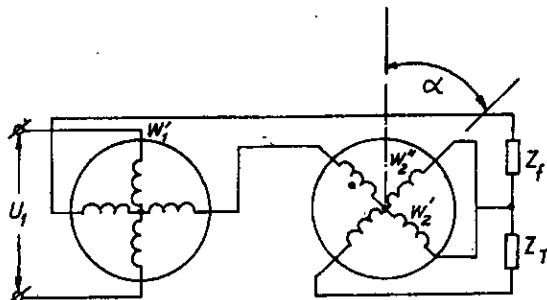
$$k_1 = \frac{k_{dq2} w_2}{k_{dq1} w_1}$$

$$U_2 = k_1 U_1 \sin\alpha$$

$$U_2' = k_1 U_1 \cos\alpha$$

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  $\Phi_2'$ , và  $\Phi_2''$ , có thể chia các từ thông đó thành hai phần dọc và ngang trục từ trường dây quấn sơ cấp  $\Phi_1$ . 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.



Hình 20-16. Máy biến áp xoay tuyến tính

với góc  $\alpha$  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 ngắn mạch này sẽ sinh ra từ trường bù thành phần từ trường ngang trực, 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  $\alpha$  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  $\alpha$ , còn dây quấn  $w_2$  ở rôto nối kín mạch với tổng trở  $Z_f$  dùng để bù từ trường ngang trực.

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  $0,05 \div 0,07\%$ . Công suất của máy biến áp xoay thông thường trong khoảng vài VA với  $U = 115$  V và  $f = 50$  Hz đến  $400 \div 2500$  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 hàm 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  $\theta$  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 chung 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 loại 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.

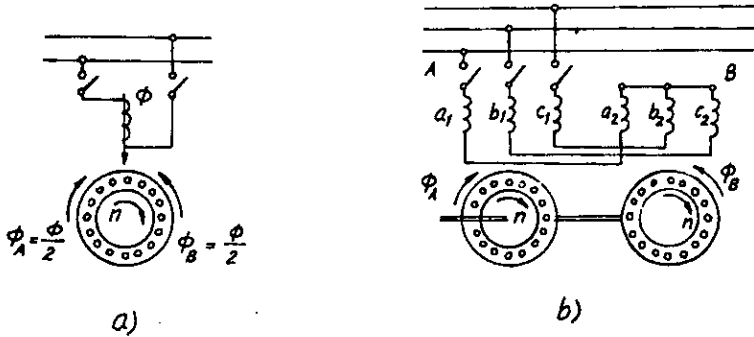
So với động cơ điện không đồng bộ ba pha cùng kích thước, công suất của động cơ điện một pha chỉ bằng 70% công suất của động cơ điện ba pha, nhưng do các động cơ điện một pha có khả năng quá tải thấp nên trên thực tế, trừ động cơ điện kiểu điện dung ra, công suất của động cơ điện một pha bằng 40 ÷ 50% 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  $\Phi$ . Từ trường này có thể phân thành hai từ trường quay ngược chiều nhau  $\Phi_A$  và  $\Phi_B$  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  $\Phi_A$  sinh ra sẽ là:

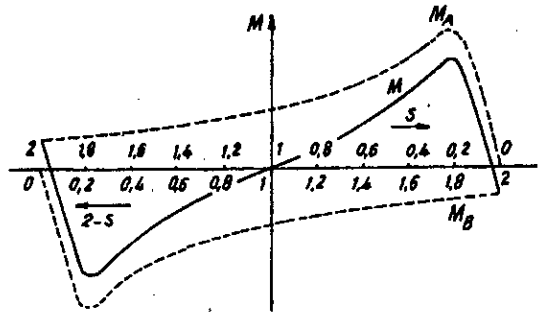
$$f_{2A} = \frac{p(n_1 - n)}{60} = \frac{pn_1(n_1 - n)}{60n_1} = sf_1 \quad (21-1)$$

Còn đối với từ trường quay ngược  $\Phi_B$  thì tần số ấy sẽ là:

$$f_{2B} = \frac{p(n_1 + n)}{60} = \frac{pn_1}{60} \left[ \frac{2n_1 - (n_1 - n)}{n_1} \right] = (2 - s)f_1 \quad (21-2)$$

ở đây  $(2 - s)$  chính là hệ số trượt của rôto đối với từ trường  $\Phi_B$ .

Như vậy, khi  $0 < s < 1$  đối với từ trường  $\Phi_A$  máy làm việc ở chế độ động cơ điện, còn đối với từ trường  $\Phi_B$ , 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



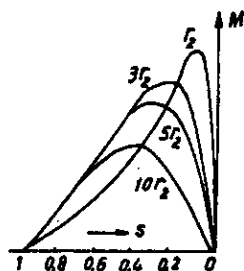
Hình 21-2. Đặc tính  $M = f(s)$  của động cơ điện không đồng bộ một pha

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  $\Phi_B$ , máy làm việc ở chế độ động cơ, còn đối với từ trường  $\Phi_A$  thì ở chế độ hãm.

Cho rằng các mômen có trị số dương khi chúng tác dụng theo chiều quay của từ trường  $\Phi_A$ , 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 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 trên 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.d. 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:

$\dot{E}_{1A}$  là s.d.d. sinh ra bởi tổng hợp từ trường thuận phần tĩnh với từ trường phần quay;

$\dot{E}_{1B}$  là s.d.d. sinh ra bởi tổng hợp từ trường ngược phần tĩnh với từ trường phần quay;

$r_1, x_1$  là điện trở và điện kháng tản của dây quấn phần tĩnh.

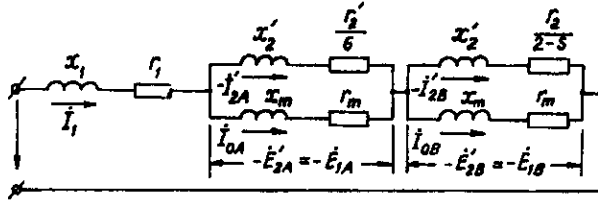
Giống như ở máy không đồng bộ ba pha ta có:

$$\left. \begin{aligned} \dot{E}_{1A} &= -\dot{I}_{OA}Z_m \\ \dot{E}_{1B} &= -\dot{I}_{OB}Z_m' \end{aligned} \right\} \quad (21-4)$$

trong đó:

$Z_m = r_m + jx_m$  là tổng trở mạch kích từ;

$I_{OA}$  và  $I_{OB}$  là dòng điện từ hóa sinh ra từ trường thuận  $\Phi_A$  và nghịch  $\Phi_B$ .



Hình 21-4. Mạch điện thay thế động cơ điện không đồng bộ một pha

Ở mạch rôto ta có phương trình cân bằng vớ 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:

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_1 &= \dot{I}_{OA} + (-\dot{I}'_{2A}); \\ \dot{I}_1 &= \dot{I}_{OB} + (-\dot{I}'_{2B}). \end{aligned} \right\} \quad (21-6)$$

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:

$$\begin{aligned} \dot{E}'_{2A} = \dot{E}'_{1A} &= \dot{I}_1 \frac{1}{1/Z_m + 1/Z'_{2A}} \\ \dot{E}'_{2B} = \dot{E}'_{1B} &= \dot{I}_1 \frac{1}{1/Z_m + 1/Z'_{2B}} \end{aligned} \quad (21-7)$$

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  $\dot{E}_{1A} = \dot{E}_{1B}$  nên từ thông sinh ra các s.đ.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  $M = \frac{1}{\omega} \left[ I_{2A}'^2 \frac{r_2'}{s} - I_{2B}'^2 \frac{r_2'}{2 - s} \right].$

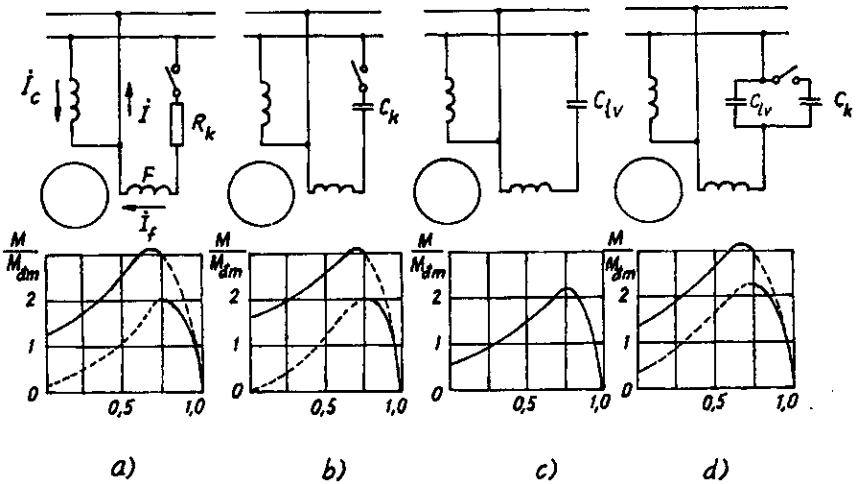
Trên cơ sở của mạch điện thay thế có thể thành lập đồ thị vòng tròn cho động cơ điện một pha.

### 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  $90^\circ$  trong không gian và dòng điện trong hai dây quấn đó phải lệch pha nhau một góc  $90^\circ$  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

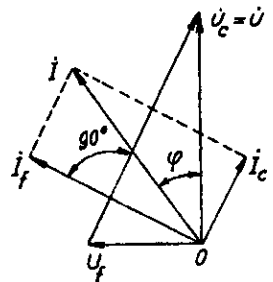
bằng  $90^\circ$  (hình 21-6). Nhờ vậy trong khe hở của máy sinh ra một từ trường quay bảo đảm có một mômen mở máy tương đối lớn. Khi máy đã quay, ta dùng bộ ngắt điện kiểu ly tâm cắt dây quấn phụ ra khỏi nguồn điện. Động cơ điện mở máy theo kiểu này gọi là động cơ điện mở máy bằng điện dung.



Hình 21-5. Các phương pháp mở máy và các loại động cơ điện không đồng bộ một pha

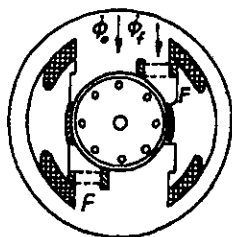
Trên dây quấn phụ có thể đấu điện trở để tạo mômen mở máy (hình 21-5a). Lúc đó dòng điện  $I_f$  và  $I_c$  cùng có một góc lệch pha nhất định, nhưng mômen mở máy của loại động cơ này tương đối nhỏ. Dùng phương pháp này thực tế là chỉ cần tính toán sao cho bản thân dây quấn phụ có điện trở tương đối 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 đấu 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).

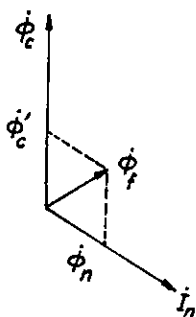


Hình 21-6. Đồ thị vectơ máy điện không đồng bộ khi mở máy bằng điện dung

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 (hình 21-5d). Động cơ điện lúc mở máy và làm việc đều cần điện dung gọi là động cơ điện kiểu điện dung.



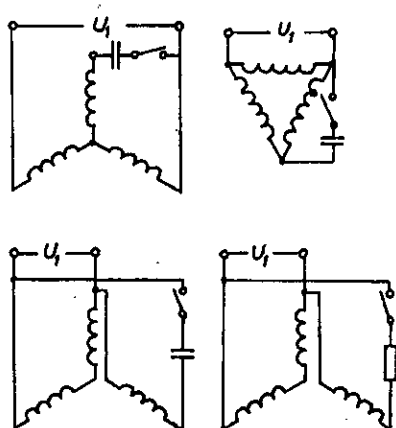
Hình 21-7. Sơ đồ động cơ điện không đồng bộ một pha có vòng ngắn mạch



Hình 21-8. Đồ thị vectơ về từ thông của động cơ điện không đồng bộ một pha có vòng ngắn mạch

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  $\Phi_c$ . Một phần của từ trường này  $\Phi'_c$  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  $\Phi_n$ . Từ thông  $\Phi_n$  tác dụng với  $\Phi'_c$  để sinh ra từ thông phụ  $\Phi_f$  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  $\Phi_f$  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



Hình 21-9. Một vài phương pháp mở máy động cơ điện ba pha trên lưới điện một pha

động cơ quay.

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 21-9) 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.

### 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  $H = j(B)$  của thép kỹ thuật điện  
cán nóng 1211, 1212 và 1311; 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	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	236	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	2.30	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, 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	0,89	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	3,18	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  
răng động cơ điện không đồng bộ, 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	1,4	1,43	1,46	1,49	1,52	1,55	1,58	1,61	1,64	1,71
0,5	0,74	1,77	1,8	1,84	1,86	1,9	1,92	1,96	1,98	2,02
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

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. ПЕТРОВ П.Н Электрические машины. Энергия, Москва. 1978
2. ВОЛЬДЕК А.И Электрические машины. Энергия, Москва. 1978
3. КОВАЧ К.П и РАЦ И Переходные процессы в машинах переменного тока. Госэнергоиздат. 1963
4. VU GIA HANH Динамика пуска асинхронного двигателя с влиянием вытесненного тока в роторе. Электромеханика, Москва 6/1966
5. VU GIA HANH Исследование влияния насыщения на динамику пуска асинхронного двигателя. Электромеханика, Москва 8/1967
6. CHATELAIN Machines électriques. Edition Georgie 1979
7. FRANCIS MILSANT Machines électriques. Edition Ellipses 1992
8. PHILIPPE BARRET Machines synchrones. Excitation Régimes transitoires des machines électriques tournantes D.554-9 Electrotechnique
9. ALSTHOM Transformateurs de grande puissance. 1995
10. IVANOV SMOLENSKI (Vũ Gia Hanh, Phan Tử Thu biên dịch) Máy điện 1, 2, 3. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật. Hà Nội 1992
11. VŨ GIA HANH Nghiên cứu từ trường dây quấn  $m$  pha dòng chu kỳ và không chu kỳ ở tải đối xứng và không đối xứng. Hội nghị khoa học Đại học Bách khoa Hà Nội 1975-1976.

## MỤC LỤC

Lời nói đầu	3
<b>MỞ ĐẦU</b>	
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
<b>Phần thứ nhất. MÁY BIẾN ÁP</b>	
<b>Chương 1. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ MÁY BIẾN ÁP</b>	
1.1 Đại cương	12
1.2 Nguyên lý làm việc cơ bản của máy biến áp	13
1.3 Định nghĩa	14
1.4 Các lượng định mức	15
1.5 Các loại máy biến áp chính	16
1.6 Cấu tạo máy biến áp	16
<b>Chương 2. TỔ NỐI DÂY VÀ MẠCH TỪ MÁY BIẾN ÁP</b>	
2.1 Tổ nối dây của máy biến áp	26
2.2 Mạch từ của máy biến áp	31
<b>Chương 3. QUAN HỆ ĐIỆN TỬ TRONG MÁY BIẾN ÁP</b>	
3.1 Các phương trình cơ bản của máy biến áp	42
3.2 Mạch điện thay thế của máy biến áp	46
3.3 Đồ thị vectơ của máy biến áp	51
3.4 Cách xác định các tham số của máy biến áp	52
<b>Chương 4. CÁC ĐẶC TÍNH LÀM VIỆC Ở TẢI ĐỐI XỨNG CỦA MÁY BIẾN ÁP</b>	
4.1 Giảm đồ năng lượng của máy biến áp	64
4.2 Độ thay đổi điện áp của máy biến áp và cách điều chỉnh điện áp	65
4.3 Hiệu suất của máy biến áp	69
4.4 Máy biến áp làm việc song song	72
<b>Chương 5. MÁY BIẾN ÁP LÀM VIỆC VỚI TẢI KHÔNG ĐỐI XỨNG</b>	
5.1 Đại cương	80
5.2 Mạch điện thay thế và tổng trở của máy biến áp đối với các thành phần đối xứng	81
5.3 Tải không đối xứng của máy biến áp	83
5.4 Ngắn mạch không đối xứng của máy biến áp	86

## **Chương 6. QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ TRONG MÁY BIẾN ÁP**

- 6.1. Đại cương 88
- 6.2. Quá dòng điện trong máy biến áp 88
- 6.3. Quá điện áp trong máy biến áp 93

## **Chương 7. CÁC LOẠI MÁY BIẾN ÁP ĐẶC BIỆT**

- 7.1. Máy biến áp ba dây quấn 99
- 7.2. Máy biến áp tự ngẫu 102
- 7.3. Các máy biến áp đặc biệt 105

## **Phần thứ hai. NHỮNG VẤN ĐỀ LÝ LUẬN CHUNG CỦA MÁY ĐIỆN QUAY**

## **Chương 8. ĐẠI CƯƠNG VỀ CÁC MÁY ĐIỆN QUAY**

- 8.1. Kết cấu chung của các máy điện quay 112
- 8.2. Nguyên lý làm việc của các máy điện quay 112
- 8.3. Mô tả toán học của các quá trình biến đổi năng lượng cơ điện trong các máy điện quay 117

## **Chương 9. DÂY QUẤN CỦA MÁY ĐIỆN QUAY**

- 9.1. Đại cương 120
- 9.2. Dây quấn phần cảm của máy điện quay 121
- 9.3. Dây quấn phần ứng của máy điện quay 122
  - 9.3.1. Máy có cực tính xen kẽ 122
    - 9.3.1.1. Nguyên tắc thực hiện dây quấn phần ứng 123
    - 9.3.1.2. Các loại dây quấn phần ứng máy điện xoay chiều 126
    - 9.3.1.3. Dây quấn phần ứng máy điện một chiều 135
  - 9.3.2. Máy có cực tính không đổi 149
  - 9.3.3. Cách thực hiện dây quấn phần ứng 150

## **Chương 10. SỨC ĐIỆN ĐỘNG CỦA DÂY QUẤN PHẦN ỨNG MÁY ĐIỆN QUAY**

- 10.1. Khái niệm 154
- 10.2. Sức điện động cảm ứng khi dây quấn phần ứng chuyển động tương đối với từ trường phần cảm 154
- 10.3. Sức điện động cảm ứng khi từ thông phần cảm xuyên qua dây quấn phần ứng biến thiên 164

## **Chương 11. SỨC TỪ ĐỘNG CỦA DÂY QUẤN MÁY ĐIỆN QUAY**

- 11.1. Đại cương 167
- 11.2. Sức từ động của dây quấn phần cảm máy điện quay 172

11.3. Sức từ động của dây quấn phần ứng máy điện quay	175
<b>Chương 12. ĐIỆN KHÁNG CỦA DÂY QUẤN MÁY ĐIỆN XOAY CHIỀU</b>	
12.1. Đại cương	191
12.2. Điện kháng chính của dây quấn máy điện xoay chiều	193
12.3. Điện kháng tản của dây quấn máy điện xoay chiều	193
<b>Chương 13. MẠCH TỬ CỦA MÁY ĐIỆN QUAY</b>	
13.1. Đại cương	199
13.2. Tính sức từ động khe hở	201
13.3. Tính sức từ động răng	203
13.4. Tính sức từ động ở lưng phần ứng	207
13.5. Tính sức từ động trên cực từ và gông từ	207
13.6. Đường cong từ hóa	208
<b>Chương 14. PHÁT NÓNG VÀ LÀM LẠNH CỦA CÁC MÁY ĐIỆN</b>	
14.1. Đại cương	214
14.2. Sự phát nóng và nguội lạnh của máy điện	217
14.3. Vấn đề làm lạnh các máy điện	221
<b>Phần thứ ba. MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ</b>	
<b>Chương 15. ĐẠI CƯƠNG VỀ MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ</b>	
15.1. Phân loại và kết cấu	226
15.2. Các lượng định mức	230
15.3. Công dụng của máy điện không đồng bộ	230
<b>Chương 16. QUAN HỆ ĐIỆN TỬ TRONG MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ</b>	
16.1. Đại cương	232
16.2. Máy điện không đồng bộ làm việc khi rôto đứng yên	232
16.3. Máy điện không đồng bộ làm việc khi rôto quay	237
16.4. Các chế độ làm việc, giản đồ năng lượng và đồ thị vectơ của máy điện không đồng bộ	242
16.5. Biểu thức mômen điện từ của máy điện không đồng bộ	246
16.6. Mômen phụ của máy điện không đồng bộ	251
16.7. Các đường đặc tính của máy điện không đồng bộ	254
16.8. Các đường đặc tính của máy điện không đồng bộ trong điều kiện không định mức	256



**Chương 17. ĐỒ THỊ VÒNG TRÒN CỦA MÁY ĐIỆN  
KHÔNG ĐỒNG BỘ**

17.1. Đại cương	265
17.2. Cách xây dựng đồ thị vòng tròn	265
17.3. Xác định đặc tính làm việc của máy điện không đồng bộ bằng đồ thị vòng tròn	267
17.4. Xây dựng đồ thị vòng tròn bằng số liệu thí nghiệm không tải và ngắn mạch. Cách vẽ thực tế	272
17.5. Đồ thị vòng tròn chính xác	276

**Chương 18. ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ  
ỨNG DỤNG HIỆU ỨNG MẶT NGOÀI  
Ở DÂY QUẢN RÔTÔ LỒNG SÓC**

18.1. Đại cương	279
18.2. Động cơ điện rôto rãnh sâu	279
18.3. Động cơ điện hai lồng sóc	282
18.4. Các dạng rãnh rôto khác	285

**Chương 19. MỞ MÁY VÀ ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ**

19.1. Quá trình mở máy động cơ điện không đồng bộ	286
19.2. Các phương pháp mở máy	287
19.3. Điều chỉnh tốc độ động cơ điện không đồng bộ	291

**Chương 20. CÁC CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC VÀ CÁC DẠNG KHÁC  
CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ**

20.1. Đại cương	303
20.2. Các chế độ làm việc đặc biệt của máy điện không đồng bộ	303
20.3. Các dạng khác của máy điện không đồng bộ	308

**Chương 21. MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ MỘT PHA**

21. Đại cương	319
21.2. Nguyên lý làm việc	319
21.3. Phương pháp mở máy và các loại động cơ điện một pha	323

<b>PHỤ LỤC</b>	<b>327</b>
----------------	------------