

PGS. TS. ĐÀO HOA VIỆT (*Chủ biên*)  
ThS. VŨ HỮU THÍCH – ThS. VŨ ĐỨC THOAN – KS. ĐỖ DUY HỢP

# GIÁO TRÌNH MÁY ĐIỆN

DÙNG CHO CÁC TRƯỜNG ĐÀO TẠO HỆ CAO ĐẲNG NGHỀ  
VÀ TRUNG CẤP NGHỀ



NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC VIỆT NAM

PGS. TS. ĐÀO HOA VIỆT (Chủ biên)  
ThS. VŨ HỮU THÍCH – ThS. VŨ ĐỨC THOAN – KS. ĐỖ DUY HỢP

# GIÁO TRÌNH MÁY ĐIỆN

(Biên soạn theo chương trình khung do Tổng cục Dạy nghề ban hành  
dùng cho đào tạo hệ Cao đẳng nghề và Trung cấp nghề)

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC VIỆT NAM

**Công ty Cổ phần sách Đại học - Dạy nghề – Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam  
giữ quyền công bố tác phẩm.**

---

375-2009/CXB/5-726/GD

Mã số: 7B750Y9 – DAI

# LỜI NÓI ĐẦU

Máy điện là phần tử biến đổi năng lượng điện quan trọng được dùng phổ biến trong công nghiệp và trong đời sống xã hội. Khi đóng vai trò máy phát, nó biến đổi cơ năng thành điện năng. Khi đóng vai trò động cơ nó biến đổi điện năng thành cơ năng để làm chuyển động các máy công tác. Quá trình làm việc của máy điện dựa trên nguyên lý cảm ứng điện từ với hai hiện tượng cơ bản là hiện tượng cảm ứng sức điện động và hiện tượng tương tác sản sinh lực điện từ. Các hiện tượng này được mô tả bằng các định luật điện từ. Đây là hiện tượng phức tạp không quan sát được bằng mắt, vì vậy khi nghiên cứu máy điện cần phải có sự hiểu biết sâu sắc về bản chất vật lý. Từ đó, có thể thay thế máy điện bằng các phần tử mô hình mạch ghép với các phần tử khác để giải bài toán chung về mạch điện và mạch từ.

Cuốn "Giáo trình Máy điện" được biên soạn phục vụ cho việc học tập và giảng dạy môn học Máy điện trong các trường Cao đẳng nghề và Trung cấp nghề, theo chương trình khung do Tổng cục Dạy nghề ban hành. Nó cũng có thể dùng làm sách tham khảo cho sinh viên, cán bộ giảng dạy các trường đại học và cao đẳng, các kỹ thuật viên chuyên ngành Điện.

*Cuốn "Giáo trình Máy điện" gồm các nội dung chính sau đây:*

**Chương 1. Khái niệm chung về máy điện.** Trình bày những cơ sở lý thuyết của máy điện, trong đó nhấn mạnh tính chất biến đổi năng lượng của máy điện dựa trên nguyên lý cảm ứng điện từ và các định luật về lực điện từ.

**Chương 2. Máy biến áp.** Trình bày cơ sở kết cấu, mô hình và các đặc tính sử dụng của máy biến áp các loại. Máy biến áp được coi là mô hình tính của máy điện. Hiểu rõ mô hình này giúp ích rất lớn cho việc xét các quá trình phức tạp hơn trong máy điện quay.

**Chương 3. Máy điện không đồng bộ.** Trình bày về máy điện không đồng bộ, chú trọng phân tích các quá trình điện từ và sự tạo thành mômen trong động cơ không đồng bộ. Do tính phức tạp của quá trình điện từ trong máy điện không đồng bộ nên phương pháp nghiên cứu cơ bản là phương pháp dựa trên định luật bảo toàn năng lượng (phương pháp năng lượng).

**Chương 4. Máy điện đồng bộ.** Trình bày về máy điện đồng bộ mà chủ yếu là các máy phát điện đồng bộ. Đây là thiết bị nguồn cơ bản biến đổi cơ năng thành điện năng. Phân tích kỹ sự tương tác của từ trường phản ứng và từ trường kích thích để làm rõ các chế độ và đặc tính làm việc của máy phát.

**Chương 5. Máy điện một chiều.** Trình bày về máy điện một chiều. Phân tích các đặc điểm riêng về kết cấu và đặc điểm làm việc và sử dụng. Máy điện một chiều là mô hình có sự độc lập tương đối tương minh giữa từ trường kích thích và từ trường phản ứng. Việc phân tích các hiện tượng xảy ra trong máy điện tương đối đơn giản hơn có thể sử dụng trực tiếp các định luật điện từ. Hiểu kỹ vấn đề này sẽ rất có ích khi nghiên cứu các vấn đề về các phương pháp điều khiển mới cho máy điện các loại (phương pháp véctơ).

**Chương 6. Một số máy điện đặc biệt.** Trình bày ngắn gọn về một số dạng máy điện đặc biệt như động cơ bước, động cơ một chiều không tiếp xúc.

Để tạo điều kiện cho việc áp dụng các kiến thức học được vào khai thác sửa chữa các loại máy điện, giáo trình này đã trình bày khá kỹ về các cuộn dây của các loại máy điện xoay chiều và một chiều.

Đi đôi với việc trình bày các kiến thức về lý thuyết, giáo trình đã đưa ra nhiều ví dụ cụ thể và có thêm các bài tập và câu hỏi ôn tập. Hy vọng rằng, với cách trình bày như vậy sẽ giúp ích tốt cho người đọc.

Dù được biên soạn cẩn thận, giáo trình khó tránh khỏi các khiếm khuyết. Rất mong nhận được sự đóng góp của bạn đọc để lần tái bản sau cuốn sách được hoàn thiện tốt hơn.

Mọi ý kiến đóng góp xin gửi về Công ty Cổ phần sách Đại học và Dạy nghề – Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam, tại 25 Hàn Thuyên, Hà Nội.

**CÁC TÁC GIẢ**

# Chương 1

## KHÁI NIỆM CHUNG VỀ MÁY ĐIỆN

---

### 1.1. CÁC ĐỊNH LUẬT ĐIỆN TỪ DÙNG TRONG MÁY ĐIỆN

Máy điện (bao gồm máy phát và động cơ điện) là các thiết bị biến đổi cơ năng thành điện năng và ngược lại. Quá trình biến đổi năng lượng ấy xảy ra trong máy điện dựa trên các quy luật của hiện tượng điện từ, hiện tượng tương tác giữa hai quá trình điện và từ mà chúng ta thường gặp. Để hiểu được bản chất các quá trình điện từ xảy ra trong máy điện cần phải nắm chắc các định luật cơ bản sau đây:

– Định luật về sự tương tác giữa từ trường và dòng điện đặt trong từ trường cho ta quan hệ định lượng giữa lực điện từ với dòng điện và cảm ứng từ. Đây là cơ sở để xác định độ lớn của mômen điện từ hình thành trong các động cơ điện.

– Định luật cảm ứng điện từ là cơ sở cho việc hình thành sức điện động trong máy điện, đó cũng là cơ sở để ta có thể giải thích được các hiện tượng tự cảm và hỗ cảm trong các cuộn dây của máy điện.

– Định luật mạch từ biểu hiện mối quan hệ giữa từ thông và các đại lượng đặc trưng cho mạch từ. Đó cũng là quan hệ giữa từ thông tổng hình thành trong mạch từ của các cuộn dây và dòng điện chạy qua các cuộn dây đó.

Các định luật trên đây đều đã được nghiên cứu trong các giáo trình Vật lý, phần này chỉ nêu lại những điểm chính áp dụng cho nghiên cứu máy điện.

#### 1.1.1. Định luật lực điện từ

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

$$F_{dt} = B \cdot i \cdot l \quad (1.1)$$

Trong đó: B – từ cảm đo bằng T (tesla);

i – dòng điện đo bằng A (ampe);

l – chiều dài hiệu dụng thanh dẫn m (mét);

$F_{dt}$  – lực điện từ đo bằng N (niutơn).

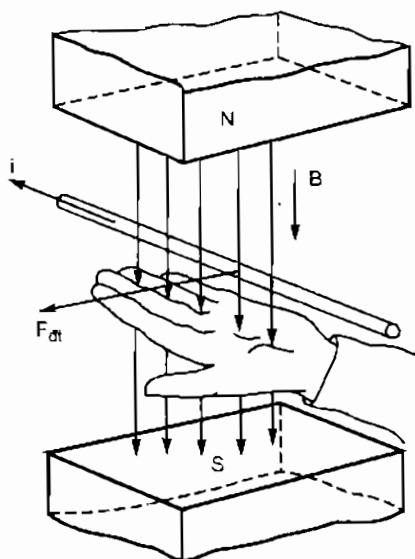
Chiều lực điện từ xác định theo quy tắc bàn tay trái (hình 1.1).

Biểu thức (1.1) đưa ra nguyên lý biến đổi năng lượng: Năng lượng điện từ đặc trưng bởi từ cảm (B) và dòng điện (i) được biến đổi thành năng lượng cơ (đặc trưng bởi lực điện từ). Dựa vào nguyên lý này người ta chế tạo ra các loại động cơ điện.

**Ví dụ 1.1.** Một thanh dẫn có chiều dài  $l = 0,7\text{m}$  nằm trong từ trường đều  $B = 1,6\text{T}$ , có dòng điện chạy qua  $i = 100\text{mA}$ . Tính trị số của lực điện từ?

**Lời giải :** Trị số của lực điện từ:

$$F_{dt} = B \cdot i \cdot l = 0,7 \cdot 1,6 \cdot 0,1 = 0,112 \text{ N}$$



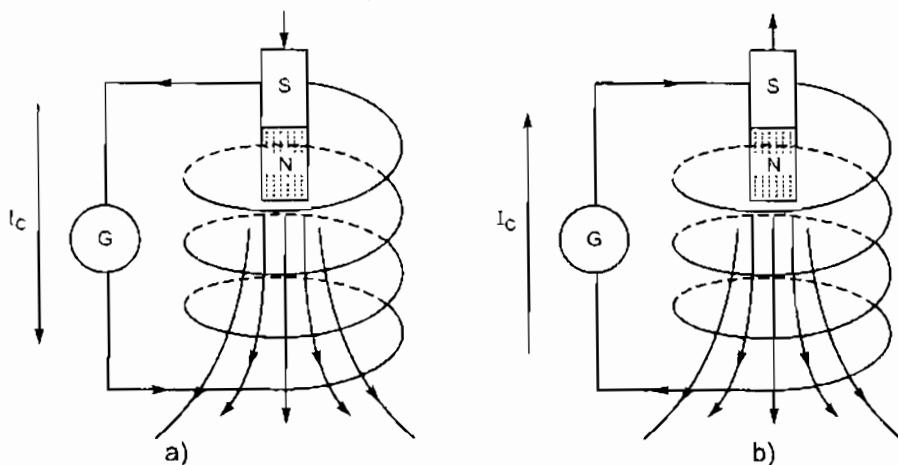
**Hình 1.1.** Xác định lực điện từ theo quy tắc bàn tay trái

### 1.1.2. Hiện tượng cảm ứng điện từ

Hiện tượng cảm ứng điện từ là hiện tượng hình thành sức điện động trong thanh dẫn khi nó tương tác với từ trường biến thiên. Để có được những kết luận cơ bản về hiện tượng này ta xét lại thí nghiệm quen thuộc sau:

#### a) Thí nghiệm

Lấy một ống dây điện (gồm nhiều vòng dây) mắc nối tiếp nó với một điện kế G thành một mạch kín (hình 1.2a). Phía trên ống dây ta đặt một thanh nam châm có hai cực Bắc (N) và Nam (S).



**Hình 1.2.** Hiện tượng cảm ứng điện từ

*Thí nghiệm:* Khi di chuyển thanh nam châm vào ống dây, kim của điện kế bị lệch đi, điều đó chứng tỏ trong ống dây xuất hiện một dòng điện. Dòng điện đó gọi là dòng điện cảm ứng, ký hiệu là  $I_C$ .

– Nếu rút thanh nam châm ra (hình 1.2b), dòng điện cảm ứng có chiều ngược lại.

– Di chuyển thanh nam châm càng nhanh, cường độ dòng điện cảm ứng  $I_C$  càng lớn.

– Giữ thanh nam châm đứng yên so với ống dây, dòng điện cảm ứng sẽ bằng không.

– Nếu thay nam châm bằng một ống dây có dòng điện chạy qua, rồi tiến hành các thí nghiệm như trên, ta cũng có những kết quả tương tự.

#### **b) Các kết luận**

Từ thí nghiệm trên, Faraday đã rút ra những kết luận sau đây:

– Từ thông đi qua mạch kín biến đổi theo thời gian là nguyên nhân sinh ra dòng điện cảm ứng trong mạch đó.

– Dòng điện cảm ứng chỉ tồn tại trong thời gian từ thông đi qua mạch kín biến đổi.

– Cường độ dòng điện cảm ứng tỷ lệ thuận với tốc độ biến đổi của từ thông.

– Chiều của dòng điện cảm ứng phụ thuộc vào sự tăng hay giảm của từ thông đi qua mạch.

#### **1.1.3. Sức điện động cảm ứng khi dây dẫn chuyển động trong từ trường**

Thí nghiệm trên đây mô tả sự hình thành dòng điện cảm ứng trong vòng dây kín. Hiện tượng cảm ứng điện từ cũng xảy ra khi một thanh dẫn hở chuyển động trong một từ trường. Do thanh dẫn hở nên trong thanh dẫn không tạo ra dòng điện nhưng giữa hai đầu của nó hình thành một chênh lệch điện thế, đó là sức điện động cảm ứng  $e$ , có trị số là :

$$e = B.l.v.\sin\alpha \quad (1.2)$$

Trong đó:  $B$  – từ cảm đo bằng T (tesla);

$l$  – chiều dài hiệu dụng thanh dẫn (phần thanh dẫn nằm trong từ trường) đo bằng m (mét);

$v$  – vận tốc của thanh dẫn đo bằng m/s (mét/giây);

$\alpha$  – góc nghiêng giữa chiều vận tốc với chiều từ trường tính bằng độ ( $^\circ$ ).

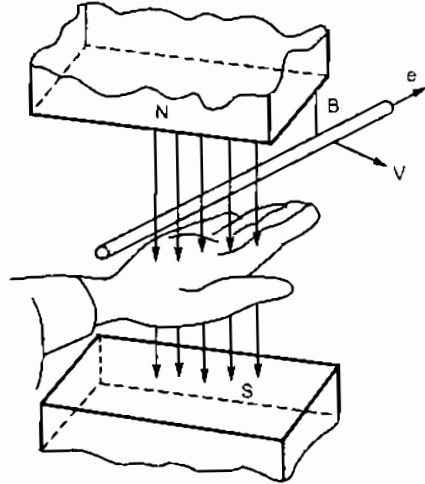


Khi chiều chuyển động thanh dẫn vuông góc với chiều từ trường (thường gặp trong máy phát điện,  $\alpha = 90^\circ$ ) thì sức điện động cảm ứng là:

$$e = B.l.v \quad (1.3)$$

Chiều của sức điện động cảm ứng được xác định theo quy tắc bàn tay phải: Cho đường sức từ trường đi vào lòng bàn tay phải, chiều chuyển động của thanh dẫn theo chiều ngón tay cái xòe ra, thì chiều bốn ngón tay còn lại là chiều sức điện động cảm ứng (hình 1.3).

Biểu thức (1.3) đưa ra nguyên lý biến đổi năng lượng: Năng lượng cơ học (đặc trưng bởi chuyển động với vận tốc  $v$ ), được biến thành năng lượng điện trường (đặc trưng bởi sức điện động). Đây là nguyên lý của các máy phát điện. Sức điện động được tạo ra theo phương pháp trên gọi là sức điện động theo nguyên lý máy phát.



Hình 1.3. Xác định sức điện động cảm ứng theo quy tắc bàn tay phải

#### 1.1.4. Tự cảm và hồ cảm

##### a) Hiện tượng tự cảm

###### - Hiện tượng

Trong thí nghiệm Faraday (mục 1.1.2), dòng điện cảm ứng xuất hiện là do sự biến đổi từ thông đi qua tiết diện của vòng dây gây ra. Từ thông đó do từ trường bên ngoài tạo nên.

Bây giờ, nếu ta làm thay đổi cường độ dòng điện sẵn có trong mạch để từ thông do chính dòng điện đó sinh ra và đi qua tiết diện của vòng dây thay đổi, thì trong mạch cũng xuất hiện một dòng điện cảm ứng, phụ thêm vào dòng điện chính sẵn có của mạch. Dòng điện cảm ứng này gọi là dòng điện tự cảm. Hiện tượng đó được gọi là hiện tượng tự cảm.

###### - Sức điện động tự cảm

Nếu dòng điện  $i$  qua cuộn dây biến thiên, thì từ thông móc vòng  $\Psi$  cũng biến thiên, và trong cuộn dây xuất hiện sức điện động cảm ứng. Đó là hiện tượng tự cảm, sức điện động sinh ra gọi là sức điện động tự cảm. Sức điện động tự cảm là sức điện động cảm ứng trong dây dẫn do chính dòng điện qua dây dẫn biến thiên sinh ra.

Sức điện động tự cảm ký hiệu là  $e_L$ . Từ công thức Mácxoen, ta có:

$$e_L = - \frac{\Delta \Psi}{\Delta t} \quad (1.4)$$

Ở đây,  $\Delta\Psi = L\Delta i$  là số gia biến thiên từ thông móc vòng, ứng với dòng điện biến thiên một lượng  $\Delta i$  ( $L$  là hệ số tự cảm). Thay  $\Delta\Psi$  vào trên:

$$e_L = -L \frac{\Delta i}{\Delta t} \quad (1.5)$$

Nghĩa là, sức điện động tự cảm trong cuộn dây tỷ lệ với hệ số tự cảm và với tốc độ biến thiên dòng điện, nhưng ngược dấu.

**Ví dụ 1.2.** Khi đóng mạch cấp dòng điện vào một cuộn dây, dòng điện tăng từ 0 đến giá trị  $i = 10A$  trong thời gian  $0,1s$ . Tìm sức điện động tự cảm sinh ra trong cuộn dây, biết hệ số tự cảm là  $0,025H$ .

**Lời giải:** Trong thời gian  $\Delta t = 0,1s$  dòng điện tăng một lượng là  $\Delta i = 10A$ , trị số sức điện động tự cảm là:

$$e_L = -L \frac{\Delta i}{\Delta t} = -0,025 \frac{10}{0,1} = -2,5 \text{ V}$$

Sức điện động tự cảm có giá trị âm, tức ngược chiều với dòng điện.

#### b) Hồ cảm

*- Từ thông hồ cảm và hệ số hồ cảm*

Giả sử có hai cuộn dây đặt gần nhau (hình 1.4). Khi cuộn dây thứ nhất có dòng điện  $i_1$  chạy qua, ngoài từ thông móc vòng qua chính nó (từ thông móc vòng tự cảm)  $\Psi_{11}$ , còn có một phần móc vòng qua cuộn thứ hai  $\Psi_{12}$ , gọi là từ thông móc vòng hồ cảm của cuộn thứ nhất sang cuộn thứ hai. Các từ thông móc vòng này tỷ lệ với số vòng dây và phụ thuộc vào vật liệu và cấu tạo mạch từ. Khi mạch từ chưa bão hòa nó tỷ lệ với dòng điện. Dòng điện  $i_1$  càng lớn thì từ thông móc vòng  $\Psi_{12}$  càng lớn, tức là  $\Psi_{12}$  tỷ lệ với dòng điện  $i_1$ :

$$\Psi_{12} = M i_1 \quad (1.6)$$

Ở đây, hệ số tỷ lệ  $M$  đặc trưng cho quan hệ từ giữa hai cuộn dây, gọi là hệ số hồ cảm giữa hai cuộn dây.

Ngược lại, nếu cuộn thứ hai có dòng điện  $i_2$ , thì ngoài thành phần từ thông móc vòng tự cảm  $\Psi_{22}$ , còn có một thành phần móc vòng qua cuộn thứ nhất  $\Psi_{21}$ , gọi là từ thông móc vòng hồ cảm của cuộn thứ hai sang cuộn thứ nhất :

$$\Psi_{21} = M i_2 \quad (1.7)$$

### -Hiện tượng hồ cảm

Nếu dòng điện  $i_1$  biến thiên thì từ thông hồ cảm  $\Psi_{21}$  biến thiên, làm xuất hiện sức điện động cảm ứng trong cuộn thứ hai  $e_{12}$ , gọi là sức điện động hồ cảm. Giả sử trong thời gian  $\Delta t$  nhỏ, dòng điện biến thiên lượng  $\Delta i_1$ , giả thiết  $M$  không đổi từ thông hồ cảm sẽ biến thiên một lượng là:

$$\Delta \Psi_{21} = M \Delta i_1$$

Do đó, sức điện động hồ cảm theo công thức Mắcxoen sẽ là:

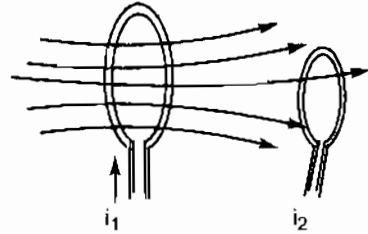
$$e_{12} = -\frac{\Delta \Psi_{12}}{\Delta t} = -M \frac{\Delta i_1}{\Delta t} \quad (1.8)$$

Ngược lại, nếu  $i_2$  biến thiên, sẽ gây ra sự biến thiên của từ thông hồ cảm  $\Psi_{21}$ , làm xuất hiện sức điện động hồ cảm  $e_{21}$ :

$$e_{21} = -\frac{\Delta \Psi_{21}}{\Delta t} = -M \frac{\Delta i_2}{\Delta t} \quad (1.9)$$

Hiện tượng đó được gọi là hiện tượng hồ cảm và các dòng điện và sức điện động cảm ứng xuất hiện trong hiện tượng này được gọi là các dòng điện và sức điện động hồ cảm.

Hiện tượng hồ cảm được ứng dụng để chế tạo máy biến áp. Đó là một thiết bị rất quan trọng trong kỹ thuật điện.



Hình 1.4. Hiện tượng hồ cảm

## 1.2. ĐỊNH NGHĨA VÀ PHÂN LOẠI MÁY ĐIỆN

Trong quá trình khai thác và sử dụng tài nguyên thiên nhiên không thể không nói đến sự biến đổi năng lượng từ dạng này sang dạng khác.

Các máy điện thực hiện sự biến đổi năng lượng từ cơ năng sang điện năng gọi là máy phát điện. Các máy điện biến đổi ngược lại, từ điện năng ra cơ năng gọi là động cơ. Điều đó cho thấy các máy điện có tính chất thuận nghịch, nghĩa là biến đổi năng lượng theo hai chiều.

Máy điện là thiết bị điện từ, nguyên lý làm việc dựa vào hiện tượng cảm ứng điện từ. Hiện tượng 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 thông số này (điện áp, dòng điện...) thành điện năng với những giá trị thông số khác.

Về cấu tạo, máy điện 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 các phần tử mạch là các cuộn dây đặt trên các phần tĩnh và động của máy điện, các dây quấn có thể chuyển động tương đối với nhau hoặc cùng với bộ phận mang chúng.

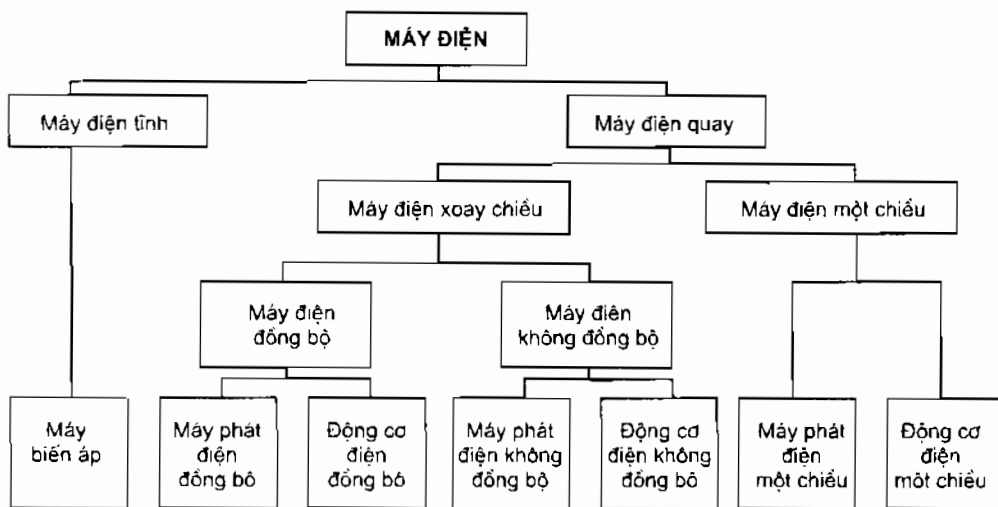
Máy điện gồm có nhiều loại được phân loại theo nhiều cách khác nhau. Ví dụ: phân loại theo công suất, theo cấu tạo, theo chức năng, theo loại dòng điện (một chiều, xoay chiều), theo nguyên lý làm việc ...

Dựa theo nguyên lý biến đổi năng lượng, máy điện được phân thành:

– Máy điện tĩnh: Máy biến áp.

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

Máy điện xoay chiều phân thành máy điện đồng bộ, máy điện không đồng bộ. Ta có sơ đồ phân loại máy điện như ở hình 1.5.



Hình 1.5. Sơ đồ phân loại máy điện

### 1.3. NGUYÊN LÝ MÁY PHÁT ĐIỆN VÀ ĐỘNG CƠ ĐIỆN. TÍNH THUẬN NGHỊCH CỦA MÁY ĐIỆN

Nguyên lý làm việc của các máy điện dựa trên cơ sở định luật cảm ứng điện từ. Sự biến đổi năng lượng trong máy điện được thực hiện thông qua từ trường. Để tạo được từ trường mạnh và tập trung người ta dùng vật liệu sắt từ để làm mạch từ.

Ở các máy biến áp mạch từ là một lõi thép đứng yên, còn trong các máy điện quay mạch từ gồm hai lõi thép đồng trục: một quay và một đứng yên và cách nhau một khe hở. Theo tính chất thuận nghịch của định luật cảm ứng điện từ máy điện có thể làm việc ở chế độ máy phát điện hoặc động cơ điện.

### 1.3.1. Chế độ máy phát điện

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

$$P_d = ui = ei \quad (1.10)$$

Dòng điện  $i$  nằm trong từ trường sẽ chịu tác dụng của lực điện từ  $F_{đt} = B.i.l$  có chiều như hình vẽ (1.6).

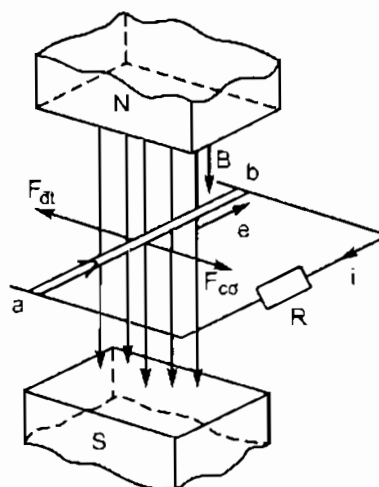
Khi máy quay với tốc độ không đổi, lực điện từ sẽ cân bằng với lực cơ của động cơ sơ cấp:

$$F_{cơ} = F_{đt} \quad (1.11)$$

Nhân hai vế với  $v$  ta có:

$$F_{cơ}.v = F_{đt}.v = B.i.l.v = ei \quad (1.12)$$

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



**Hình 1.6.** Nguyên lý làm việc của máy phát

### 1.3.2. Chế độ động cơ điện

Cung cấp điện cho máy điện, điện áp  $U$  của nguồn điện sẽ gây ra dòng điện  $i$  trong thanh dẫn của khung dây. Dưới tác dụng của từ trường sẽ có lực điện từ  $F_{đt} = B.i.l$  tác dụng lên thanh dẫn làm thanh dẫn chuyển động với tốc độ  $v$ . Lực điện từ tác dụng lên 2 thanh dẫn của khung tạo ra ngẫu lực và hình thành mômen làm quay khung dẫn.

Như vậy công suất điện  $P_d = ui$  đưa vào động cơ đã được biến thành công suất cơ  $P_{cơ} = F_{đt}.v$  trên trục động cơ. Điện năng đã được biến đổi thành cơ năng.

## 1.4. VẬT LIỆU VÀ SƠ LƯỢC KẾT CẤU MÁY ĐIỆN

### 1.4.1. Vai trò của vật liệu máy điện

Về cơ bản, chất lượng vật liệu cách điện của máy điện quyết định những thông số kỹ thuật của máy. Một trong những nguyên nhân chính làm cho máy điện bị hỏng là nhiệt độ tăng quá sức chịu đựng của máy. Vì công suất của máy tỷ lệ với tổn hao năng lượng tạo ra nguồn nhiệt nung nóng máy điện, nên khi nhiệt độ tăng, vật liệu thay đổi tính chất, tính cách điện giảm đi, độ bền cơ kém dần. Trong sản xuất và sử dụng máy điện, tỷ số giữa công suất của máy và thể tích P/V (hoặc giữa công suất và khối lượng P/m) là thông số được quan tâm. Xu hướng chung là người ta phấn đấu tăng tỷ số này. Nếu vật liệu cách điện mỏng, cách điện tốt, dẫn nhiệt và chịu nhiệt tốt, thì sẽ bảo đảm tăng tỷ số đó.

Vật liệu máy điện có thể chia thành ba loại:

– Vật liệu tác dụng: gồm vật liệu dẫn điện và dẫn từ, chủ yếu dùng để chế tạo dây quấn và lõi thép.

– Vật liệu cách điện: dùng để cách điện các bộ phận dẫn điện và không dẫn điện hoặc các bộ phận dẫn điện với nhau.

– Vật liệu kết cấu: dùng để chế tạo các chi tiết máy và bộ phận chịu lực tác dụng cơ giới.

### 1.4.2. Vật liệu tác dụng

Vật liệu tác dụng là vật liệu dẫn điện, dẫn từ và truyền chuyển động cơ. Vật liệu được dùng để dẫn điện thường là đồng, nhôm, hợp kim đồng, đôi khi là vàng, bạc và hiện nay đang có xu hướng sử dụng ngày càng nhiều các chất siêu dẫn khác nhau. Đặc trưng cơ bản của vật liệu dẫn điện là điện trở suất của vật liệu  $R = (\rho.l)/S$ . Khi chọn vật liệu, thông số cơ bản cần quan tâm là mật độ dòng điện ( $J = i/S$ ). Các thông số này quyết định tổn hao đồng của máy điện.

Vật liệu dẫn từ dùng để chế tạo các bộ phận của mạch từ, người ta dùng các vật liệu sắt từ để làm mạch từ như thép lá kỹ thuật điện, thép lá thường, thép đúc, thép rèn, nhưng chủ yếu là thép lá kỹ thuật điện. Thép kỹ thuật điện được sản xuất theo công nghệ đặc biệt nhằm tăng các chỉ tiêu kỹ thuật, thép chứa một hàm lượng silic nhất định (từ 1 ÷ 5%) để giảm độ dẫn điện. Thép được cán thành những lá mỏng theo nhiều cách khác nhau để chúng có những tính chất từ nhất định. Những

lá mỏng này có độ dày từ 0,1mm đến 0,5mm, được sơn cách điện và ghép lại với nhau. Tùy theo cách chế tạo, thép kỹ thuật điện được phân làm hai loại: cán nóng và cán nguội. Hiện nay công nghệ chế tạo máy điện thường sử dụng thép cán nguội vì có độ từ thẩm cao hơn và suất tổn hao nhỏ hơn cán nóng. Đặc trưng cơ bản của vật liệu từ là độ từ cảm B của vật liệu. Độ từ cảm này quan hệ với dòng điện thông qua đặc tính từ hoá  $B = B(i)$ . Đặc tính này của các vật liệu khác nhau thì khác nhau và đặc trưng bằng độ thẩm từ  $\mu$ . Đặc tính từ hoá có tính bão hoà. Đây là điều cần lưu ý khi lựa chọn vật liệu từ và phân tích quá trình làm việc của máy điện.

Thép kỹ thuật điện thường được sử dụng cho máy điện có tần số âm thanh. Với tần số cao hơn, để máy điện có thông số kỹ thuật tốt, mạch từ thường làm bằng hợp kim của sắt. Ví dụ: hợp kim sắt + ni ken – permaloi; hợp kim sắt + cô ban – petmendiur hay hợp kim sắt + niken + cô ban – perminvar v.v... Mạch từ máy biến áp ở tần số cao, công suất nhỏ thường làm bằng ferit là chất có tính từ tốt nhưng giòn.

### 1.4.3. Vật liệu cách điện

Vật liệu cách điện để cách ly các bộ phận mang điện với các bộ phận không mang điện, hoặc cách ly giữa các bộ phận dẫn điện với nhau. Những vật liệu này đòi hỏi phải có độ bền điện cao, độ dẫn nhiệt tốt, chịu ẩm, chịu được hoá chất và có độ bền cơ nhất định. Ví dụ : giấy, vải lụa, mica, sợi thủy tinh, sứ, gỗ, sơn,...

Các chất cách điện ở thể rắn có thể chia làm bốn nhóm:

- Các chất hữu cơ thiên nhiên như giấy, vải, lụa...
- Các chất vô cơ như mica, amiăng, sợi, thủy tinh...
- Các chất tổng hợp như cao su, polietilen...
- Các loại men và sơn cách điện, các chất tẩm từ các vật liệu tự nhiên hay tổng hợp.

Trong các đặc tính của vật liệu cách điện, tính chịu nhiệt có tác dụng quyết định đối với tuổi thọ và khả năng làm việc của máy điện. Dựa theo sức chịu nhiệt, vật liệu được phân thành các cấp như bảng 1.1.

**Bảng 1.1**

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

– *Cấp Y* : Nhiệt độ cho phép là  $90^{\circ}\text{C}$ , bao gồm bông, giấy, vải, tơ lụa, sợi tổng hợp, không được tẩm sấy bằng sơn cách điện.

– *Cấp A* : Nhiệt độ cho phép là  $105^{\circ}\text{C}$ , bao gồm vải sợi xenlulô, sợi tự nhiên hoặc nhân tạo được qua tẩm sấy bằng sơn cách điện.

– *Cấp E* : Nhiệt độ cho phép là  $120^{\circ}\text{C}$ , bao gồm màng vải, sợi tổng hợp gốc hữu cơ có thể chịu được nhiệt độ tương ứng.

– *Cấp B* : Nhiệt độ cho phép là  $130^{\circ}\text{C}$ , bao gồm các vật liệu gốc mica, sợi thủy tinh hoặc amiăng được liên kết bằng sơn hoặc nhựa gốc hữu cơ có thể chịu được nhiệt độ tương ứng.

– *Cấp F* : Nhiệt độ cho phép là  $155^{\circ}\text{C}$ , giống như loại B nhưng được tẩm sấy và kết dính bằng sơn hoặc nhựa tổng hợp có thể chịu được nhiệt độ tương ứng.

– *Cấp H* : Nhiệt độ cho phép là  $180^{\circ}\text{C}$ , giống như cấp B nhưng dùng sơn tẩm sấy hoặc chất kết dính gốc silic hữu cơ hoặc các chất tổng hợp có khả năng chịu được nhiệt độ tương ứng.

– *Cấp C* : Nhiệt độ cho phép là  $> 180^{\circ}\text{C}$ , bao gồm các vật liệu gốc mica, thủy tinh và các hợp chất của chúng dùng trực tiếp không có chất liên kết. Các chất vô cơ có phụ gia liên kết bằng hữu cơ và các chất tổng hợp có khả năng chịu được nhiệt độ tương ứng.

#### **1.4.4. Vật liệu kết cấu**

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

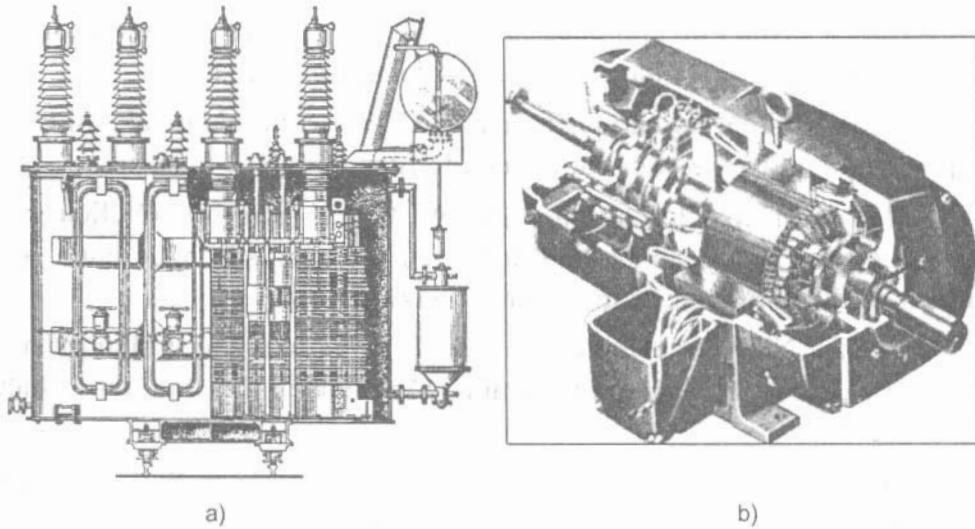
#### **1.4.5. Sơ lược kết cấu**

Máy điện bao gồm những bộ phận chính là mạch từ, mạch điện, hệ thống tản nhiệt và vỏ máy. Những máy điện quay có thêm bộ phận truyền năng lượng cơ là những ổ trục, trục quay và các khớp nối.

Mạch điện trong máy điện có nhiệm vụ trao đổi năng lượng điện với nguồn hoặc tải. Máy điện có hai mạch điện là mạch kích thích và mạch phản ứng. Mạch điện kích thích là nguồn sức từ động tạo nên từ trường chính trong máy. Mạch điện phản ứng là mạch điện nối với tải hoặc nguồn để trao đổi năng lượng điện. Trong máy điện quay, mạch điện kích thích được tạo bởi những cuộn dây quấn quanh lõi cực (hình 1.7b).

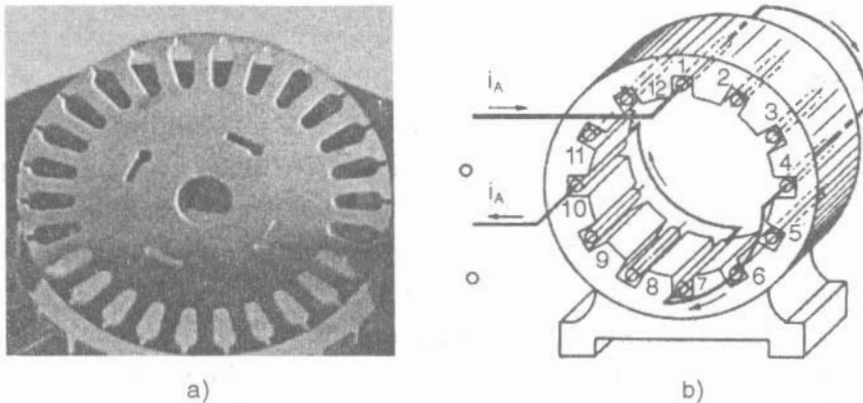


Trường hợp từ trường của máy tạo bởi nam châm vĩnh cửu thì máy không có mạch điện kích thích.



Hình 1.7. Sơ lược kết cấu máy điện  
 a) Máy biến áp; b) Máy điện quay.

Mạch điện phân ứng máy điện được tạo bởi các thanh dẫn. Các thanh dẫn này được ghép nối với nhau theo những cách nhất định. Khi máy điện làm việc, theo nguyên lý cảm ứng điện từ dòng điện mạch phân ứng tương tác với từ trường chính. Trong máy điện quay, khe hở không khí là phần có từ trở lớn nhất, khe hở không khí càng nhỏ thì từ trở của mạch từ càng nhỏ nên cuộn dây thường đặt ở chu vi phần ứng phía khe hở (hình 1.8). Để tránh biến dạng trong khi máy làm việc, các thanh dẫn được đặt dưới rãnh của mạch từ và gắn chặt bằng cơ khí.



Hình 1.8. Rãnh và dây dẫn trong rãnh

Những mạch điện ở phần quay nối với mạch điện phần không quay nhờ hệ thống vành trượt – thanh quét ở máy điện xoay chiều và hệ thống chổi than – cổ góp ở máy điện một chiều.

Nguồn sức từ động của mạch từ là dòng trong các cuộn dây sơ cấp và thứ cấp. Mạch từ trong máy điện quay gồm ba đoạn : đoạn mạch không khí (khe hở giữa phần quay và phần không quay) đoạn mạch phần quay và đoạn mạch phần không quay (hình 1.7b). Nguồn sức từ động của mạch từ tạo bởi dòng điện của cuộn kích thích và của cuộn dây phản ứng. Từ trường do cuộn dây phản ứng sinh ra chính là nguyên nhân gây ra phản ứng phần ứng của máy điện.

Máy biến áp có ít nhất hai cuộn dây. Cuộn nối với nguồn được gọi là sơ cấp, cuộn nối với tải được gọi là thứ cấp. Các cuộn dây này quấn quanh mạch từ. Các cuộn dây được ghép chặt theo nghĩa điện từ, để tăng hồ cảm và được ghép chặt theo nghĩa cơ khí để chịu rung. Rung động gây ra do các lực Ampe giữa các vòng dây.

Mạch từ của máy biến áp được tạo bởi vật liệu dẫn từ. Nó có tác dụng tập trung từ trường đồng thời làm khung để đỡ cuộn dây mạch điện. Mạch từ của máy biến áp có thể phân nhánh hoặc không phân nhánh.

Khi nói về cấu trúc máy điện cần thiết phải kể tới cách điện. Trong máy điện có cách điện giữa mạch điện và mạch từ, giữa các cuộn dây mạch điện, giữa các lớp dây của một cuộn dây và giữa các vòng dây.

## 1.5. PHÁT NÓNG VÀ LÀM MÁT MÁY ĐIỆN

### 1.5.1. Đại cương

Các tổn thất trong quá trình biến đổi năng lượng của máy điện biến thành nhiệt năng làm nóng các bộ phận cấu tạo máy điện. Tổn hao nhiều khi tải tăng và máy càng nóng. Nhiệt độ máy điện còn phụ thuộc vào chế độ làm việc như : liên tục, ngắn hạn hoặc ngắn hạn lặp lại. Nếu máy tản nhiệt ra ngoài tốt, thì công suất tăng, khả năng mang tải nhiều hơn.

Các máy điện thường làm việc ở nhiều chế độ khác nhau và rất đa dạng. Sự đốt nóng của máy điện có tính chất bão hoà do sự cân bằng giữa nhiệt lượng máy điện hấp thụ và nhiệt lượng tỏa ra môi trường.

Do chế độ làm việc khác nhau nên sự phát nóng của máy điện cũng khác nhau. Vì vậy máy điện phải thiết kế theo từng chế độ cụ thể sao cho các bộ phận của máy phát nóng phù hợp với vật liệu.

Một số dạng sau đây:

*α. Chế độ làm việc định mức liên tục:* Ở chế độ này, nhiệt độ tăng của máy phát đạt tới giá trị xác lập (với điều kiện tăng nhiệt độ của môi trường không đổi).

*β. Chế độ làm việc định mức ngắn hạn:* Thời gian làm việc của máy không đủ dài để các bộ phận của máy đạt tới giá trị xác lập và sau đó thời gian máy nghỉ đủ dài để nhiệt độ hạ xuống bằng nhiệt độ môi trường xung quanh.

*γ. Chế độ làm việc ngắn hạn lặp lại:* Thời gian máy làm việc và nghỉ trong một chu kỳ không đủ dài để nhiệt độ các bộ phận của máy đạt đến giá trị xác lập. Chế độ này đặc trưng bằng tỷ số giữa thời gian làm việc và thời gian của một chu kỳ làm việc và nghỉ. Các tỷ số được chế tạo với 15%, 25%, 40%, 60%.

### **1.5.2. Phát nóng và làm nguội máy điện**

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

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

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

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

## **1.6. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU MÁY ĐIỆN**

*– Những hiện tượng vật lý cơ bản:*

Dòng năng lượng trong hệ thống nguồn – máy điện – tải gắn liền với hai hiện tượng năng lượng chính là biến đổi và tích phóng. Người ta phân dòng năng lượng này làm ba thành phần:

+ Thành phần truyền từ nguồn qua máy điện tới tải là thành phần cơ bản, được gọi là phần năng lượng có ích.

+ Thành phần năng lượng tích trữ trong máy điện trong thời gian máy làm việc và được trả lại nguồn khi máy ngừng hoạt động.

+ Thành phần thứ ba là phần năng lượng tiêu tán trong quá trình biến đổi và truyền năng lượng trong máy điện. Phần năng lượng này được cung cấp từ nguồn không được truyền tới tải nên được gọi là tổn hao năng lượng. Đây chính là nguồn nhiệt đốt nóng máy. Quá trình nhiệt trong máy gắn liền với một loạt các quá trình hóa lý khác, làm cho vật liệu cấu tạo nên máy điện có thể thay đổi tính chất, trạng thái... Do vậy, việc nghiên cứu máy điện không thể dừng ở nguyên lý biến đổi năng lượng mà phải tìm hiểu cả quá trình vật lý xảy ra trong máy. Trên cơ sở đó hiểu được những đặc tính của máy để sử dụng hoặc chế tạo máy điện như ý muốn.

– *Phương pháp nghiên cứu máy điện:*

Để nghiên cứu máy điện phải mô tả những quá trình vật lý trong đó. Hiện nay có hai phương pháp nghiên cứu máy điện bằng mô hình trường và phương pháp mô hình mạch. Phương pháp đầu nghiên cứu sự phân bố các đại lượng vật lý trong không gian máy điện. Phương pháp này được sử dụng nhiều trong lĩnh vực chế tạo máy điện. Phương pháp thứ hai nghiên cứu máy điện như là một phần tử của hệ thống, không chú ý nhiều tới sự phân bố của các đại lượng trong không gian. Phương pháp này được sử dụng nhiều trong lĩnh vực truyền động điện.

– *Những cơ sở lý thuyết:*

Để nghiên cứu máy điện với những hiện tượng vật lý kể trên thì cần có những kiến thức của những môn khoa học tương ứng, cụ thể là: cơ học, nhiệt học, cơ sở kỹ thuật điện...

## **CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 1**

1.1. Các bộ phận cơ bản của máy điện là gì? Nêu chức năng của các bộ phận đó.

1.2. Giải thích những ứng dụng của các định luật cảm ứng điện từ và lực điện từ trong máy điện.

1.3. Các vật liệu chính chế tạo máy điện là gì?

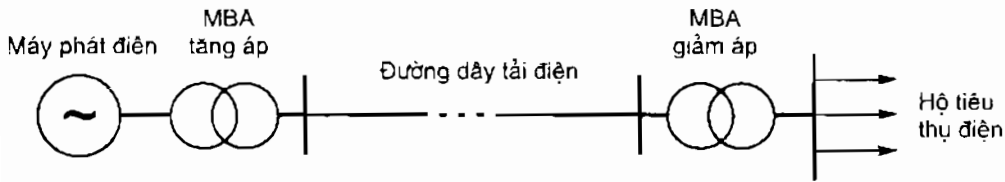
1.4. Giải thích nguyên lý thuận nghịch của máy điện.

## Chương 2

# MÁY BIẾN ÁP

### 2.1. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ MÁY BIẾN ÁP

Để dẫn điện từ các trạm phát điện đến hộ tiêu thụ cần phải có đường dây tải điện (hình 2.1). Nếu khoảng cách giữa nơi sản xuất điện và hộ tiêu thụ lớn, một vấn đề quan trọng đặt ra và cần được giải quyết là: việc truyền tải điện năng đi xa phải làm sao cho kinh tế nhất.



Hình 2.1. Sơ đồ cung cấp điện đơn giản

Như ta đã biết, cùng một công suất truyền tải trên đường dây, nếu điện áp được tăng lên thì dòng điện chạy trên đường dây sẽ giảm xuống (như vậy có thể làm tiết diện dây nhỏ đi, trọng lượng và chi phí xây dựng đường dây sẽ giảm xuống), đồng thời tổn hao năng lượng trên đường dây cũng giảm. 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 (thường chỉ từ 3kV đến 21kV), phải có thiết bị làm 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), cuối đường dây phải có thiết bị giảm điện áp xuống. Thiết bị dùng để tăng điện áp ở đầu đường dây và giảm điện áp ở cuối đường dây gọi là máy biến áp (MBA). 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 giảm điện áp. Do vậy tổng công suất của các máy biến áp trong hệ thống điện lực thường gấp ba, bốn lần công suất các 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. Máy biến áp chỉ làm nhiệm vụ truyền tải hoặc phân phối điện năng chứ không chuyển hoá năng lượng.

## 2.2. CẤU TẠO CỦA MÁY BIẾN ÁP MỘT PHA

Máy biến áp gồm các bộ phận chính : lõi thép, dây quấn, vỏ máy.

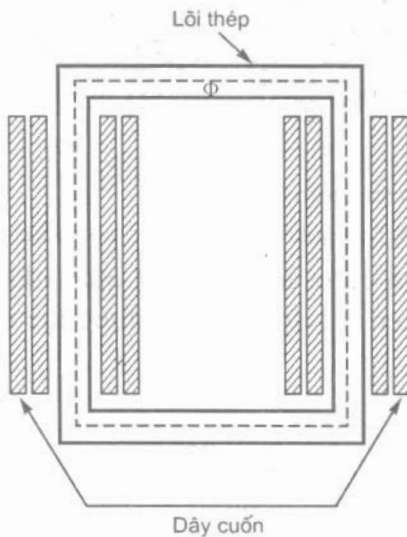
### 2.2.1. Lõi thép máy biến áp

Lõi thép máy biến áp dùng để dẫn từ thông chính của máy, được chế tạo từ những vật liệu dẫn từ tốt, thường là các tấm thép kỹ thuật điện (tấm thép kỹ thuật điện dày  $0,35\text{mm} \div 0,5\text{mm}$ , hai mặt có sơn cách điện) ghép lại với nhau. Lõi thép dùng làm mạch dẫn từ, đồng thời làm khung để quấn dây.

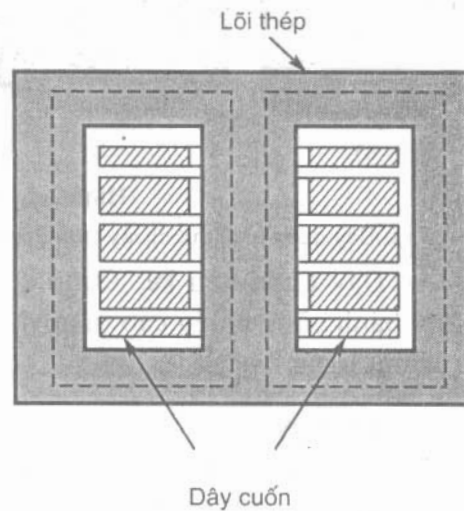
Lõi thép gồm có hai phần: trụ (T) và gông (G). Trụ là phần lõi thép có dây quấn; gông là phần lõi thép nối các trụ lại với nhau thành mạch từ kín và không có dây quấn. Theo sự sắp xếp tương đối giữa trụ, gông và dây quấn, lõi thép được chia làm hai loại: kiểu “trụ” và kiểu “bọc”.

– Lõi thép kiểu trụ (hình 2.2): Dây quấn ôm lấy trụ sắt, gông từ chỉ giáp phía trên và phía dưới dây quấn mà không bao lấy mặt ngoài của dây quấn, trụ sắt thường để đứng.

– Lõi thép kiểu bọc (hình 2.3): Mạch từ được phân nhánh ra làm hai bên và “bọc” lấy một phần dây quấn, loại này chỉ dùng trong một vài ngành chuyên môn đặc biệt như máy biến áp trong lò điện luyện kim hay máy biến áp một pha công suất nhỏ dùng trong kỹ thuật vô tuyến điện, truyền thanh... Ưu điểm của loại này là cuộn sơ cấp và thứ cấp đều đặt trên một trụ, mạch từ đối xứng, hệ số từ cảm lớn. Song có nhược điểm là chế tạo phức tạp cả phần lõi sắt và dây quấn; các lá tôn silic nhiều loại, kích thước khác nhau chủ yếu ứng dụng chế tạo cho các máy biến áp lò điện có điều chỉnh điện áp bằng bán dẫn.



Hình 2.2. Lõi thép kiểu trụ



Hình 2.3. Lõi thép kiểu bọc

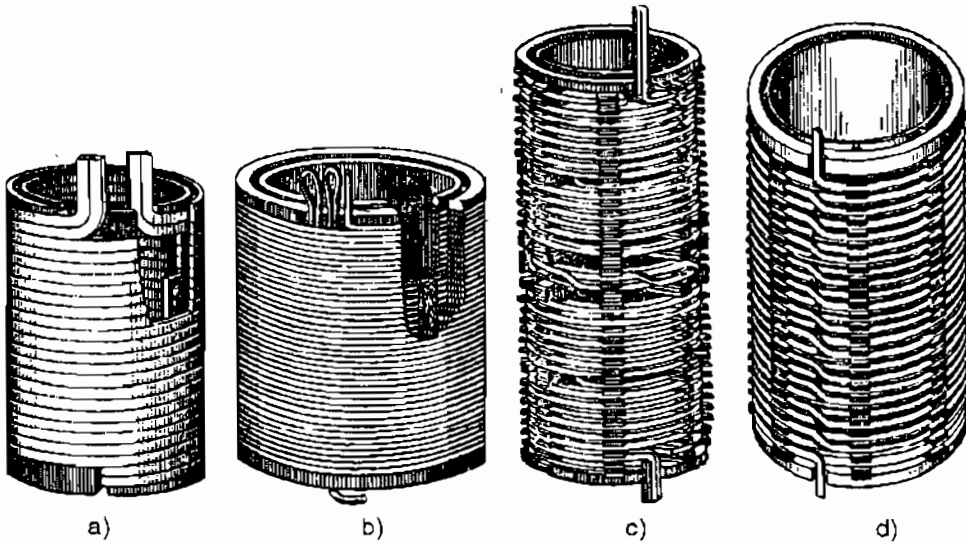
Ngoài ra còn có thể có loại trung gian giữa kiểu trụ và kiểu bọc gọi là kiểu trụ – bọc.

### 2.2.2. Dây quấn máy biến áp

Dây quấn máy biến áp là bộ phận dùng để thu nhận năng lượng vào và truyền tải năng lượng đi. Dây quấn máy biến áp thường làm bằng dây dẫn đồng hoặc nhôm, tiết diện tròn hay chữ nhật, bên ngoài dây dẫn có bọc cách điện. Dây quấn gồm nhiều vòng dây và lồng vào trụ thép. Giữa các vòng dây, giữa các dây quấn và giữa dây quấn với lõi thép đều có cách điện.

Theo phương pháp bố trí dây quấn trên lõi thép có thể chia dây quấn máy biến áp thành hai kiểu chính:

– Dây quấn đồng tâm: Tiết diện ngang là những hình tròn đồng tâm và có các kiểu dây quấn hình trụ, dây quấn hình xoắn, dây quấn xoắn ốc liên tục.



Hình 2.4. Dây quấn máy biến áp

a,b) Dây quấn hình trụ; c) Dây quấn hình xoắn; d) Dây quấn đồng tâm xoắn ốc kiểu trụ.

– Dây quấn xen kẽ: Cuộn cao áp và cuộn hạ áp được quấn thành từng bánh cùng chiều cao thấp và quấn xen kẽ, do đó giảm được lực dọc trục khi ngắn mạch.

### 2.2.3. Vỏ máy

Vỏ máy để bảo vệ lõi thép, dây quấn và dùng để bắt các sứ vào ra. Với máy có công suất lớn thì vỏ máy còn có tác dụng chứa dầu làm mát máy, tăng cường cách điện cho máy.

## 2.3. CÁC ĐẠI LƯỢNG ĐỊNH MỨC CỦA MÁY BIẾN ÁP

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

– *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).

– *Điện áp dây sơ cấp định mức*  $U_{1dm}$  là điện áp định mức 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.

– *Điện áp dây thứ cấp định mức*  $U_{2dm}$  là điện áp dây của dây cuốn 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.

– *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 kilôampe (kA) hay ampe (A).

– *Tần số định mức*  $f_{dm}$  tính bằng Hz. Thường các máy biến áp điện lực có tần số công nghiệp là 50 Hz.

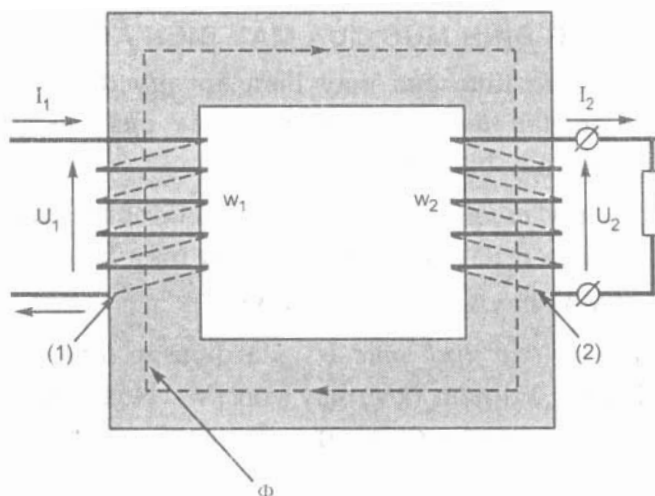
Ngoài ra trên nhãn của máy biến áp còn ghi những số liệu khác như: số pha  $m$ , sơ đồ và tổ nối dây quấn, điện áp ngắn mạch  $u_n\%$ , chế độ làm việc (dài hạn hay ngắn hạn), phương pháp làm lạnh...

## 2.4. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA MÁY BIẾN ÁP

Nguyên lý làm việc của máy biến áp dựa trên hiện tượng cảm ứng điện từ. Máy biến áp biến đổi điện áp của lưới điện xoay chiều  $U_1$  thành điện áp  $U_2$  cho tải. Thông thường máy biến áp có hai cuộn dây. Cuộn dây nối với lưới điện được gọi là cuộn dây sơ cấp, cuộn nối với tải gọi là cuộn dây thứ cấp. Thông số của các cuộn dây cũng được gọi với những tính từ tương ứng "sơ cấp", "thứ cấp" và được ký hiệu với các chỉ số tương ứng "1", "2".

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





Hình 2.5. Sơ đồ nguyên lý máy biến áp một pha hai dây quấn

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

$$e_1 = -w_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad (2.1)$$

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

$$e_2 = -w_2 \frac{d\Phi}{dt} \quad (2.2)$$

Từ (2.1) và (2.2) cho tỷ số:

$$k = \frac{e_1}{e_2} = \frac{w_1}{w_2} \quad (2.3)$$

Trong máy biến áp thường có (khi bỏ qua điện trở dây quấn và từ thông tản ra ngoài không khí) :  $e_1 \approx U_1$ ,  $e_2 \approx U_2$

nên có thể viết: 
$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2} \quad (2.4)$$

Như vậy, về nguyên tắc có thể biến đổi điện áp  $U_1$  thành điện áp  $U_2$  (chỉ cần thay đổi số vòng dây sơ cấp và thứ cấp), tỷ số  $k$  được gọi là hệ số biến áp.

Trong máy biến áp, năng lượng dự trữ dưới dạng từ trường. Năng lượng đó có thể được tính qua mật độ năng lượng  $\rho_w$  trong mạch từ:

$$\rho_w = \frac{B^2}{2\mu} \quad (2.5)$$

Do có sự tỷ lệ  $B \sim \Phi \sim U$ , nên năng lượng này phụ thuộc vào điện áp nguồn. Công suất  $P_2$  đầu ra của máy biến áp được tính bằng biểu thức sau:

$$P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2 \quad (2.6)$$

Nếu  $U_2$  và đặc tính tải  $\cos \varphi_2$  không đổi thì sự thay đổi dòng  $I_2$  sẽ dẫn tới sự thay đổi công suất vào  $P_1$  và dòng sơ cấp  $I_1$ .

Từ thông biến đổi theo quy luật:

$$\Phi = \Phi_m \sin \omega t$$

Từ (2.2) ta tính được :

$$E_2 = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 2\pi \cdot w_2 \cdot f \cdot \Phi_m = 4,44 \cdot w_2 \cdot f \cdot \Phi_m \quad (2.7)$$

Trong đó:  $E_2$  – trị hiệu dụng của sức điện động  $e_2$ ;

$E_m$  – trị số cực đại của suất điện động;

$w_2$  – số vòng dây cuộn thứ cấp;

$f$  – tần số biến thiên của từ thông;

$\Phi_m$  – trị số cực đại của từ thông.

Công thức (2.7) biểu thị sự phụ thuộc của điện áp thứ cấp vào từ thông. Khi số vòng dây  $w_2$  và giá trị cảm ứng B cố định thì  $U_2 \approx E_2$  phụ thuộc vào kích thước mạch từ. Dòng  $I_2$  trong điều kiện máy có tổn hao phụ thuộc vào kích thước dây quấn mạch điện. Vậy, theo (2.6) công suất  $P_2$  phụ thuộc vào kích thước chung của máy.

**Ví dụ 2.1.** Một máy biến áp có tỷ số biến áp  $k = 4$ . Phía sơ cấp điện áp 220V, 50Hz. Xác định điện áp thứ cấp.

Lời giải: Ta có  $k = \frac{U_1}{U_2} \Rightarrow U_2 = \frac{U_1}{k} = \frac{220}{4} = 55V$

**Ví dụ 2.2.** Tỷ số vòng trên vôn của máy biến áp là 3 vòng/vôn. Điện áp thứ cấp là 360 V và số vòng dây cuộn sơ cấp là 720 vòng. Xác định điện áp sơ cấp và số vòng dây cuộn thứ cấp.

Lời giải: Vì số vòng trên vôn ở các dây quấn bằng nhau. Từ công thức (2.4) , ta có:

$$U_1 = \frac{w_1}{k} = \frac{720}{3} = 240 V$$

$$w_2 = 3 \cdot 360 = 1080 \text{ vòng}$$

**Ví dụ 2.3.** Một MBA lý tưởng có công suất 15kVA, điện áp 2400/240V, tần số 60Hz. Tiết diện ngang lõi thép MBA là 50cm<sup>2</sup> và chiều dài trung bình của lõi là 66,67 cm. Khi nối vào dây quấn sơ cấp điện áp 2400V thì từ cảm cực đại trong lõi thép là 1,5 T. Xác định :

- Tỷ số biến áp.
- Số vòng dây của mỗi dây quấn.

**Lời giải :** a) Tỷ số biến áp

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{2400}{240} = 10$$

- Số vòng dây của mỗi dây quấn

Từ thông cực đại trong lõi thép :

$$\Phi_m = B_m S = 1,5 \cdot 50 \cdot 10^{-4} = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}$$

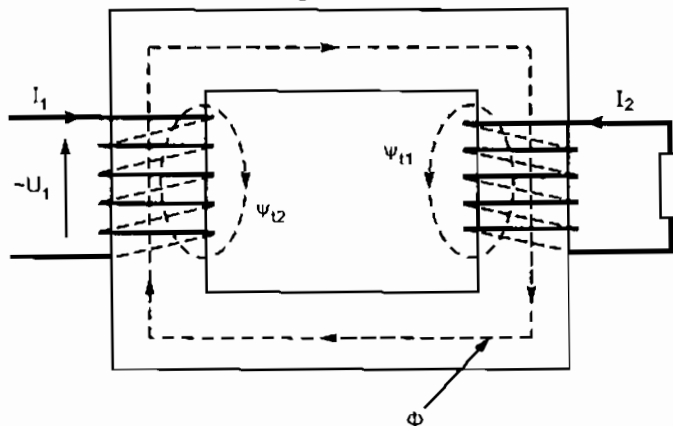
Số vòng của dây quấn sơ cấp và dây quấn thứ cấp :

$$E_1 = 4,44 w_1 \Phi_m f \Rightarrow w_1 = \frac{E_1}{4,44 f \Phi_m} = 1201 \quad (\text{vòng})$$

$$w_2 = w_1 / 10 = 120 \quad (\text{vòng})$$

## 2.5. MÔ HÌNH TOÁN CỦA MÁY BIẾN ÁP

Trong các mạch điện có chứa máy biến áp như một phần tử của mạch điện. Để tiến hành phân tích mạch cần phải có mô hình của máy biến áp. Mô hình được xây dựng dựa trên các định luật về mạch điện và các hiện tượng điện từ. Có hai loại mô hình là mô hình toán tổng quát mô tả quá trình điện từ ở mọi chế độ dưới dạng các phương trình vi phân và mô hình mạch ở chế độ xác lập.



**Hình 2.6.** Từ trường máy biến áp

Hình 2.6 mô tả sơ lược hình ảnh từ trường của máy biến áp. Từ thông trong máy biến áp bao gồm nhiều thành phần. Do độ dẫn từ của mạch từ hữu hạn nên một số đường sức khép mạch một phần qua không khí. Có đường sức khép qua cả hai cuộn dây, và có đường sức chỉ khép mạch qua một, hai vòng dây, kết quả là từ thông qua mỗi vòng dây là khác nhau. Tuy nhiên, khi chỉ quan tâm tới sức điện động hay điện áp trên hai đầu của một cuộn dây người ta phân từ thông trong máy biến áp ra làm hai thành phần. Từ thông chính hay từ thông hổ cảm và từ thông tản, hay từ thông tự cảm.

Từ thông chính tạo bởi các đường sức khép kín trong mạch từ, móc vòng qua tất cả các vòng dây của hai cuộn, sơ cấp và thứ cấp. Từ thông tự cảm tạo bởi các đường sức móc vòng qua tất cả các vòng dây của một trong hai cuộn và khép mạch một phần qua không khí, thành phần này càng nhỏ nếu độ dẫn từ càng cao. Theo lý thuyết mạch, sức từ động tạo nên từ thông hổ cảm là:

$$F = w_1 I_1 - w_2 I_2 = \Phi \cdot R_M \quad (2.8)$$

Trong đó  $R_M$  là từ trở của mạch từ.

Từ thông tự cảm sơ cấp do dòng sơ cấp tạo nên và bằng:

$$\psi_{11} = \frac{w_1 i_1}{R_{L1}} \quad (2.9)$$

Và từ thông tự cảm thứ cấp do dòng thứ cấp tạo nên và bằng:

$$\psi_{12} = \frac{w_2 i_2}{R_{L2}} \quad (2.10)$$

Trong đó  $R_{L1}$  và  $R_{L2}$  – từ trở của mạch từ tự cảm, mạch từ này có đoạn mạch không khí nên được coi là mạch tuyến tính.

Mạch từ có từ thông hổ cảm là mạch phi tuyến. Do hai loại mạch từ trên có độ dẫn từ rất khác nhau nên thường giá trị của  $\Phi$  rất lớn so với  $\psi_{11}$  và  $\psi_{12}$ .

Với mạch tuyến tính có thể viết công thức:

$$w_1 \psi_{11} = L_1 i_1 \quad (2.11)$$

$$w_2 \psi_{12} = L_2 i_2 \quad (2.12)$$

Những từ thông trên biến thiên theo thời gian nên cảm ứng những sức điện động trong cuộn sơ cấp và thứ cấp:

$$e_1 = -w_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad ; \quad e_{11} = -L_1 \frac{di_1}{dt} \quad (2.13)$$

$$e_2 = -w_2 \frac{d\Phi}{dt} ; \quad e_{12} = -L_2 \frac{di_2}{dt} \quad (2.14)$$

Trong đó:  $e_1 + e_{11}$  – sức điện động trong cuộn sơ cấp;

$e_2 + e_{12}$  – sức điện động trong cuộn thứ cấp.

Phương trình điện áp trong mạch sơ cấp và thứ cấp viết theo định luật Kiết hốp có dạng:

$$U_1 = r_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} - e_1 \quad (2.15)$$

$$e_2 = i_2 r_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} + U_2 \quad (2.16)$$

Những phương trình (2.15) và (2.16) bao hàm ý sau: đối với nguồn thì máy biến áp là máy thu năng lượng, đối với tải máy biến áp lại là nguồn phát năng lượng. Suất điện động  $e_1$ ,  $e_2$  đặc trưng cho công suất điện từ được biến đổi và truyền từ phía nguồn sang phía tải. Hai đại lượng đó liên hệ với từ thông hồ cảm theo công thức (2.7). Để thuận tiện cho việc mô tả bằng mô hình mạch người ta thường thay đại lượng  $\Phi \cdot R_M$  trong công thức 2.8 bằng một lượng  $w_1 i_m$  ( $i_m$  là đại lượng dùng trong tính toán, được gọi là dòng từ hoá), nó không có ý nghĩa vật lý. Do đó phương trình (2.8) có dạng

$$w_1 i_1 - w_2 i_2 = w_1 i_m \quad (2.17)$$

Hệ ba phương trình (2.15), (2.16), (2.17) mô tả đầy đủ các quá trình năng lượng cơ bản của máy biến áp. Hệ phương trình này được gọi là mô hình toán của máy biến áp. Dựa vào mô hình này ta có thể phân tích máy biến áp bằng giải tích. Trong thực tế người ta chỉ dùng mô hình này khi phân tích máy biến áp ở chế độ quá độ. Khi các đại lượng dòng áp biến thiên theo thời gian không ổn định, cần sử dụng các phương trình vi phân để xét. Ở chế độ cân bằng xác lập, các đại lượng dòng áp là đại lượng hình sin. Để nghiên cứu máy biến áp ở chế độ xác lập người ta thường dùng mô hình toán ở dạng phức hoặc dùng đồ thị vectơ.

Quan hệ phi tuyến chỉ xuất hiện khi mạch từ bão hòa. Mô hình toán của máy biến áp khi đó được viết dựa trên định luật Kiết hốp cho các đại lượng phức có dạng:

$$\dot{U}_1 = R_1 \dot{I}_1 + j\dot{I}_1 X_1 - \dot{E}_1 \quad (2.18)$$

$$\dot{E}_2 = \dot{U}_2 + R_2 \dot{I}_2 + j\dot{I}_2 X_2 \quad (2.19)$$

$$\dot{I}_1 w_1 - \dot{I}_2 w_2 = \dot{I}_m w_1 \quad (2.20)$$

Dấu (-) ở công thức 2.20 do  $\dot{I}_1$  và  $\dot{I}_2$  ngược pha.

Để gọn hơn ta thay:  $Z_1 = R_1 + j\omega L_1 = R_1 + jX_1$  là tổng trở phức dây quấn sơ cấp;  $Z_2 = R_2 + j\omega L_2 = R_2 + jX_2$  là tổng trở phức dây quấn thứ cấp.

Thay vào (2.18), (2.19) và (2.20) sẽ có dạng:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 Z_1 - \dot{E}_1 \quad (2.21)$$

$$\dot{E}_2 = \dot{U}_2 + Z_2 \dot{I}_2 \quad (2.22)$$

$$\dot{I}_1 w_1 - \dot{I}_2 w_2 = \dot{I}_m w_1 \quad (2.23)$$

Mô hình toán mô tả các quá trình dòng áp của mạch sơ cấp và thứ cấp máy biến áp. Quá trình năng lượng ở hai mạch do quan hệ với nhau thông qua mạch từ, đặc trưng bởi phương trình cân bằng sức từ động.

## 2.6. MÔ HÌNH MẠCH Ở CHẾ ĐỘ XÁC LẬP

Các phương trình trong mô hình toán phản ánh đầy đủ các quá trình năng lượng trong máy biến áp. Việc xây dựng mô hình mạch là tìm một mạch điện mô tả đúng các quá trình năng lượng đó, công việc đó có thể xuất phát từ các phương trình (2.21), (2.22) và (2.23). Xét phương trình (2.22), phương trình này ứng với một mạch điện hình 2.7, trong đó mỗi phần tử mạch phản ánh một quá trình năng lượng như đã xét ở cơ sở lý thuyết mạch.

Công suất toàn phần trong hình đó là:

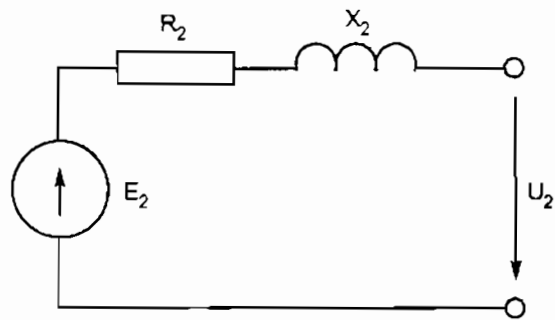
$$S_2 = E_2 I_2 \quad (2.24)$$

Quá trình năng lượng đó sẽ không thay đổi nếu thay  $E_2$  bằng:

$$E_2' = k.E_2 \quad (2.25)$$

Và dòng  $I_2$  bằng:

$$I_2' = \frac{I_2}{k} \quad (2.26)$$



Hình 2.7. Mô hình mạch

Với  $k$  là một số hữu hạn lớn hơn 0. Để xây dựng mô hình mạch cho máy biến áp người ta chọn  $k = \frac{w_1}{w_2}$ .

Thay những giá trị theo công thức (2.25), (2.26) vào phương trình (2.22) ta được:

$$\dot{E}'_2 = \dot{U}'_2 + Z'_2 \dot{I}'_2 \quad (2.27)$$

Để tìm  $Z'_2$  và  $U'_2$  có thể trở lại phương trình (2.22). Nhân hai vế phương trình với  $k$  ta được:

$$k \dot{E}_2 = k \cdot \dot{U}_2 + k Z_2 \dot{I}_2 \quad (2.28)$$

Tiếp theo, lấy số hạng thứ hai của vế phải nhân và chia cho  $k$  sẽ được:

$$k \dot{E}_2 = k \cdot \dot{U}_2 + k^2 Z_2 \frac{\dot{I}_2}{k} \quad (2.29)$$

So sánh (2.29) với (2.27) trong điều kiện có (2.25) và (2.26) ta tìm thấy:

$$Z'_2 = k^2 \cdot Z_2; \quad R'_2 = k^2 \cdot R_2; \quad X'_2 = k^2 \cdot X_2; \quad U'_2 = k \cdot U_2$$

Chia hai vế của (2.23) cho  $w_1$  ta sẽ được phương trình tương đương:

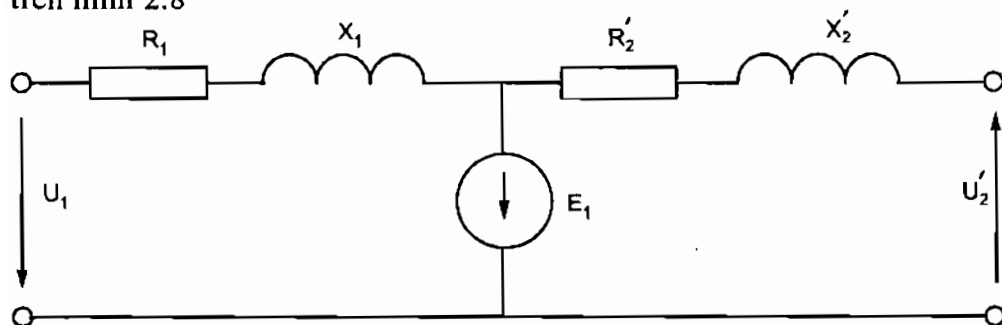
$$\dot{I}_1 - \frac{\dot{I}_2}{k} = \dot{I}_m \quad (\text{với } k = \frac{w_1}{w_2})$$

Đặt  $\frac{\dot{I}_2}{k} = \dot{I}'_2$ , ta có:  $\dot{I}_1 - \dot{I}'_2 = \dot{I}_m$  (2.30)

Ta được hệ mới tương đương với mô hình toán của máy biến áp:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = \dot{I}_1 Z_1 - \dot{E}_1 \\ \dot{E}_1 = \dot{E}'_2 = \dot{I}'_2 Z'_2 + \dot{U}'_2 \\ \dot{I}_m = \dot{I}_1 - \dot{I}'_2 \end{cases} \quad (I)$$

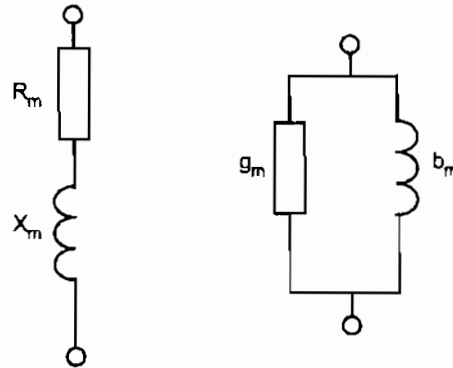
Hệ phương trình (I) ứng với một mạch điện, đó chính là mô hình mạch của máy biến áp. Mô hình mạch của máy biến áp được biểu diễn trên hình 2.8



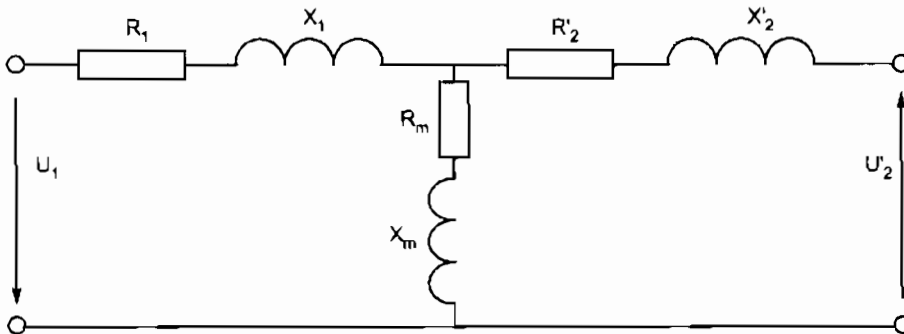
Hình 2.8. Mô hình mạch tương đương của máy biến áp

Quan hệ giữa  $E_1$  và  $i_m$  là quan hệ giữa sức điện động và dòng điện kích từ của một cuộn dây lõi thép. Theo lý thuyết mạch, cuộn dây lõi thép có mô hình mạch như hình vẽ 2.9.

Hình 2.9. Mô hình mạch của cuộn dây lõi thép



Như vậy ta có thể mô tả máy biến áp bằng mạch điện hình 2.10. Trong đó mỗi phần tử mạch mô tả một hiện tượng năng lượng của máy biến áp.



Hình 2.10. Mô hình mạch tương đương của máy biến áp khi thay nguồn  $E_1$

Dễ dàng nhận thấy rằng nhánh  $R_m - X_m$  là nhánh phi tuyến. Hai nhánh  $R_1 - X_1$  và  $R'_2 - X'_2$  trong những điều kiện bình thường có thể coi là tuyến tính.

Từ mô hình mạch có thể thấy rõ những mối quan hệ giữa các đại lượng trong máy. Khi mà  $E_1 \approx U_1$  thì có thể coi giá trị  $R_m$  và  $X_m$  không thay đổi trong quá trình làm việc của máy với điều kiện điện áp lưới không thay đổi. Với giả thiết đó mô hình mạch của máy biến áp được coi là tuyến tính.



## 2.7. CÁC TRẠNG THÁI LÀM VIỆC CỦA MÁY BIẾN ÁP

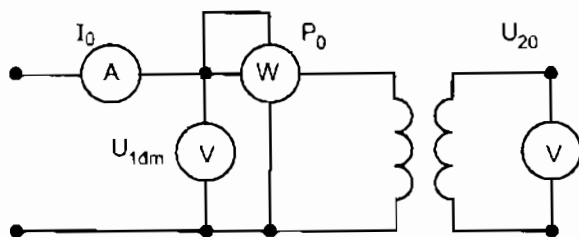
Máy biến áp thường làm việc ở trạng thái có tải, có trường hợp non tải hoặc không tải. Ngoài ra, chúng ta tìm hiểu thêm trạng thái ngắn mạch của máy biến áp.

### 2.7.1. Trạng thái làm việc không tải

Trạng thái làm việc không tải là trạng thái mà phía sơ cấp nối với nguồn, phía thứ cấp hở mạch.

Trong phần nguyên lý làm việc của máy biến áp ta đã xét khi phía thứ cấp hở mạch, dòng điện không tải  $I_0 = (3 \div 10)\%I_{dm}$ . Mặc dù ở phía thứ cấp không tiêu thụ công suất, nhưng máy vẫn tiêu hao công suất bằng tổn hao sắt từ. Tổn hao sắt từ được xác định như thí nghiệm hình 2.11.

Công suất do máy tiêu thụ lúc không tải  $P_0$  gồm tổn hao trong lõi thép  $p_{fe}$  và tổn hao đồng trên điện trở dây quấn sơ cấp  $p_{cu1}$ . Khi không tải tổn hao đồng là rất nhỏ so với tổn hao thép. Tổn hao đồng trên sơ cấp có thể bỏ qua vì dòng từ hoá rất nhỏ. Vì vậy, tổn hao không tải là tổn hao sắt từ.



Hình 2.11. Sơ đồ thí nghiệm không tải máy biến áp

### 2.7.2. Trạng thái làm việc ngắn mạch

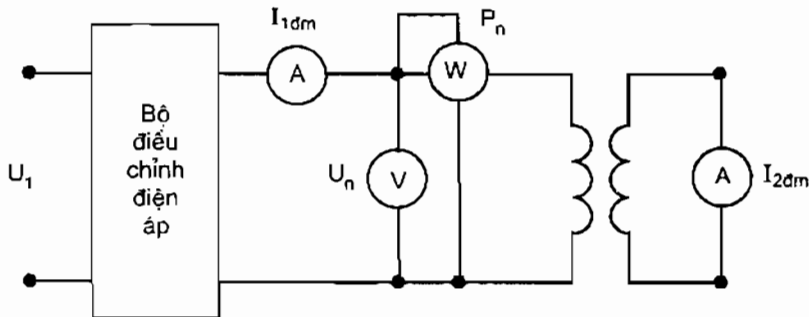
#### a) Trạng thái ngắn mạch lúc vận hành

Trong vận hành, do nhiều nguyên nhân có thể làm cho máy biến áp bị ngắn mạch. Ví dụ: Hai dây dẫn điện ở phía thứ cấp chạm vào nhau, rơi xuống đất hoặc nối với nhau bằng tổng trở rất nhỏ. Đặc điểm của chế độ ngắn mạch là dòng điện ngắn mạch qua máy biến áp rất lớn  $(10 \div 20)I_{dm}$  nên có thể làm cháy dây quấn. Ngắn mạch dạng này là ngắn mạch sự cố có thể làm hỏng MBA.

Để bảo vệ máy khi bị ngắn mạch, người ta sử dụng role có tác dụng cắt dòng điện ở cuộn sơ cấp khi thứ cấp bị ngắn mạch (thời gian cắt rất nhanh, khoảng 5% giây).

## b) Ngắn mạch thí nghiệm

Trong khai thác sử dụng để đo tổn hao đồng của máy biến áp ta tiến hành thí nghiệm ngắn mạch. Chủ động chập cuộn dây thứ cấp lại bằng 1 ampe kế. Đưa vào sơ cấp một điện áp vừa đủ để cho dòng điện qua hai cuộn dây sơ cấp và thứ cấp đều là dòng điện định mức, điện áp này là điện áp ngắn mạch của máy ( $U_{nm} = 3\% \div 8\% U_{1dm}$ ). Thí nghiệm ngắn mạch máy biến áp như hình 2.12.



Hình 2.12. Sơ đồ thí nghiệm ngắn mạch máy biến áp

Đo tổn hao đồng như thí nghiệm trên hình 2.12. Oát kế chỉ thị tổn hao đồng ở máy biến áp khi dòng định mức. Vì dây quấn thứ cấp ngắn mạch, điện áp sơ cấp lúc này rất nhỏ so với điện áp định mức. Do vậy, từ thông cần thiết để tạo nên sức điện động là nhỏ và dòng điện tạo nên từ thông này là rất nhỏ. Khi giá trị điện áp  $U_n = 10\% U_{dm}$  thì dòng điện xoáy giảm 10% dòng định mức, lúc này tổn hao do dòng điện xoáy bằng 1% so với bình thường. Vì lý do đó, công suất đo được là công suất của tổn hao đồng. Giá trị của điện áp ngắn mạch là đặc trưng đánh giá tổn hao đồng của MBA.

Tổn hao đồng cũng có thể được xác định bằng phương pháp đo điện trở dây quấn, tỷ số điện áp và tỷ số dòng điện. Tại tần số công nghiệp, sự ảnh hưởng này là không đáng kể. Do đó, việc đo điện trở và tỷ số dòng điện có thể được xác định để đo điện trở của dây quấn.

### 2.7.3. Trạng thái làm việc có tải

Là trạng thái làm việc bình thường của máy khi máy mang tải, điện áp thứ cấp  $U_2$  nhỏ hơn điện áp lúc không tải ( $U_2 < U_{20}$ ). Độ biến thiên điện áp  $\Delta U$  lớn hay nhỏ phụ thuộc vào phụ tải và điện áp ngắn mạch của máy:

$$\text{máy: } \Delta U\% = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} 100 \quad (2.31)$$

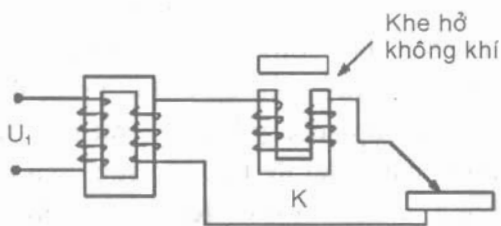
Độ lệch  $\Delta U$  còn phụ thuộc vào tính chất của tải (điện cảm hay điện dung).

Khi phụ tải càng lớn thì  $\Delta U$  càng tăng nghĩa là điện áp thứ cấp càng giảm.

Khi máy biến áp làm việc quá tải, không những máy bị nóng mà điện áp thứ cấp đặt lên phụ tải giảm nhiều, chất lượng điện kém đi, để điều chỉnh được điện áp khi phụ tải thay đổi người ta chế tạo máy biến áp có thể thay đổi số vòng dây.

## 2.8. MỘT SỐ LOẠI MÁY BIẾN ÁP ĐẶC BIỆT

### 2.8.1. Máy biến áp hàn hồ quang



Hình 2.13. Máy biến áp hàn hồ quang

Chế độ ngắn mạch là chế độ làm việc đặc trưng của biến áp hàn. Các máy biến 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 ngắn mạch và đảm bảo 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 không khí  $\delta$  của lõi thép của cuộn cảm (xem hình 2.13).

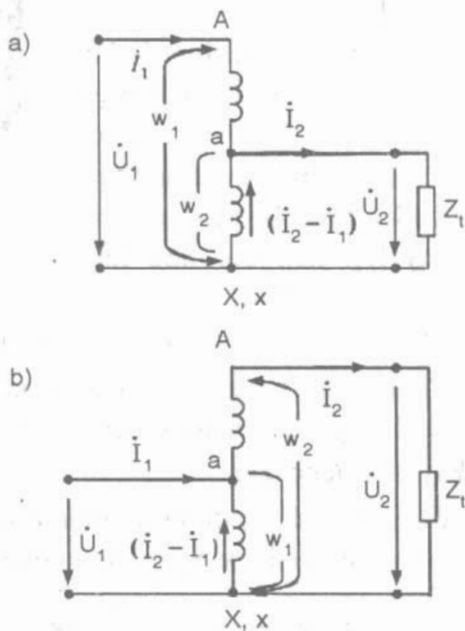
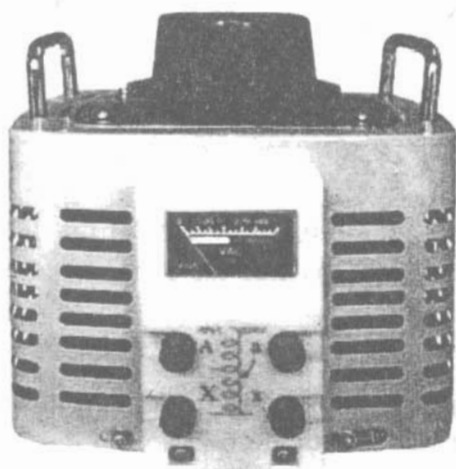
Máy biến áp hàn hồ quang thường có điện áp không tải bằng  $60 \div 70$  V và điện áp ở tải định mức bằng 30 V.

### 2.8.2. Máy biến áp tự ngẫu

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

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

Về cấu tạo và nguyên lý làm việc, máy biến áp tự ngẫu chỉ khác máy biến áp hai dây quấn ở cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp. Trong máy biến áp tự ngẫu giảm áp, dây quấn thứ cấp là bộ phận của dây quấn sơ cấp (hình 2.14a). Trong máy biến áp tự ngẫu tăng áp, dây quấn sơ cấp là bộ phận của dây quấn thứ cấp (hình 2.14b).



Hình 2.14. Máy biến áp tự ngẫu

Từ sơ đồ cho thấy, sự truyền tải năng lượng trong máy biến áp tự ngẫu gồm hai lượng công suất là công suất truyền tải trực tiếp và công suất hồ cảm. Vì thế máy biến áp tự ngẫu có ưu điểm hơn máy biến áp hai dây quấn, với cùng kích thước máy biến áp tự ngẫu truyền qua công suất nhiều hơn, hiệu suất cao hơn, sụt áp ít hơn. Tuy nhiên, khi  $U_1$  và  $U_2$  chênh nhau nhiều thì ưu điểm này không đáng kể, nên máy biến áp tự ngẫu chỉ dùng khi tỷ số biến áp nhỏ hơn 3 : 1.

Khuyết điểm của máy biến áp tự ngẫu là cuộn sơ cấp và thứ cấp không được cách ly về điện, nên độ an toàn thấp. Ngoài ra, do điện áp ngắn mạch  $U_n$  nhỏ nên dòng ngắn mạch  $I_n$  tương đối lớn. Khi vận hành với lưới điện trung tính, máy biến áp tự ngẫu phải nối đất để đảm bảo an toàn.

### 2.8.3. Máy biến áp đo lường

#### a) Máy biến điện áp

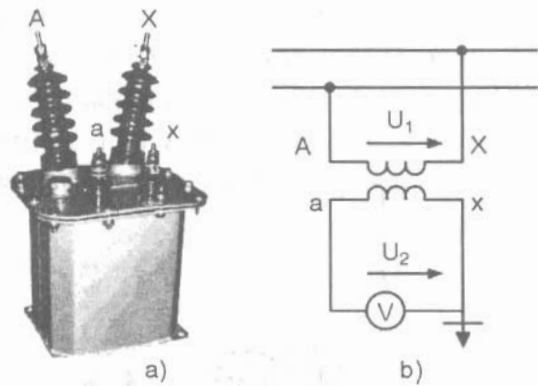
Máy biến điện áp (hình 2.15) dùng để biến điện áp cao thành điện áp thấp, sử dụng đo lường và điều khiển. Công suất máy biến điện áp từ  $25 \div 1000\text{VA}$ .

Máy biến điện áp có dây quấn sơ cấp nối với lưới điện và dây quấn thứ cấp nối với Vôn mét, cuộn dây của Watt kế,... Các thiết bị này có tổng trở rất lớn nên coi như làm việc ở chế độ không tải.

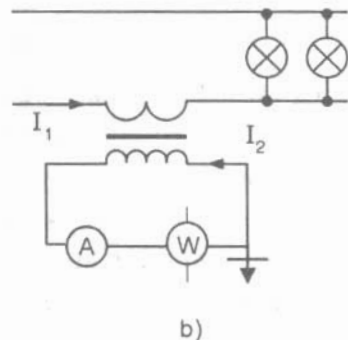
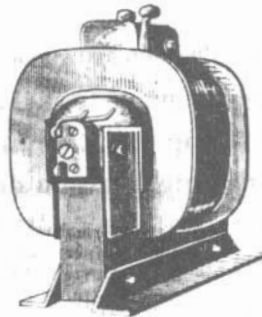
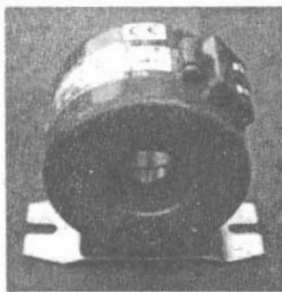
*Chú ý :* Khi sử dụng máy biến điện áp không được nối tắt mạch thứ cấp, khi nối tắt mạch thứ cấp tương đương mà nối tắt ở mạch sơ cấp nghĩa là gây sự cố ngắn mạch ở lưới điện.

#### b) Máy biến dòng điện

Máy biến dòng dùng để biến dòng điện lớn xuống dòng điện nhỏ để đo lường bằng các dụng cụ tiêu chuẩn và các mục đích khác.



Hình 2.15. Máy biến điện áp



Hình 2.16. Máy biến dòng

Máy biến dòng điện (hình 2.16) có dây quấn sơ cấp gồm ít vòng dây mắc nối tiếp với mạch cần đo dòng và dây quấn thứ cấp gồm nhiều vòng dây nối với Ampe mét, cuộn dây dòng của Oát mét, cuộn dây của các

role bảo vệ,... Các thiết bị này có tổng trở nhỏ nên máy biến dòng làm việc ở trạng thái ngắn mạch.

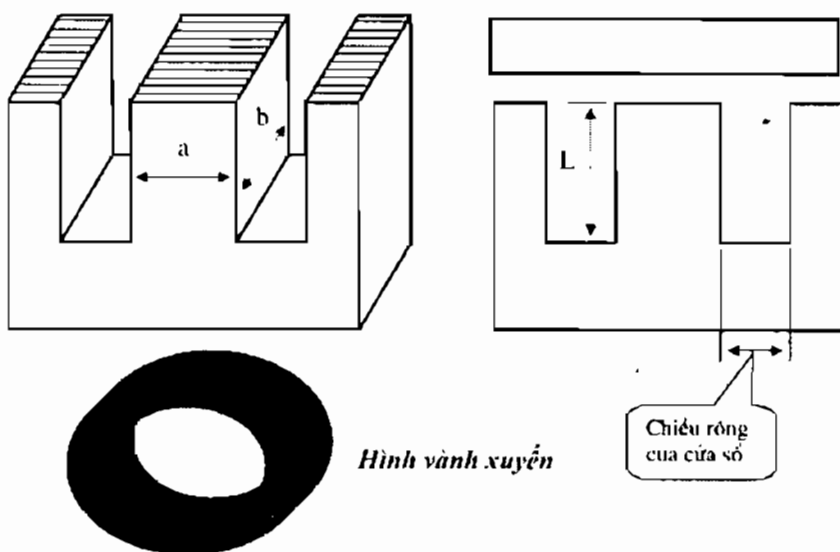
*Chú ý* : Khi sử dụng máy biến dòng không để dây quấn thứ cấp hở mạch vì như vậy dòng từ hoá rất lớn và lõi thép bão hoà nghiêm trọng sẽ nóng lên làm cháy dây quấn, hơn nữa khi bão hoà, từ thông ban đầu sẽ sinh sức điện động nhọn đầu, do đó ở đầu dây thứ cấp có thể xuất hiện điện áp cao hàng nghìn vôn.

#### 2.8.4. Máy biến áp cách ly

Máy biến áp cách ly có tỷ số vòng dây 1 : 1. Mục đích sử dụng máy biến áp cách điện là cách điện nguồn phía sơ cấp khỏi mạch được nối với dây quấn thứ cấp của máy biến áp cách điện, nhưng mục đích chính của chúng là biến mức điện áp hoặc tạo nên một tổng trở tương đương.

Máy biến áp cách điện được dùng để cách điện mạch thứ cấp với đất trong hệ thống điện sơ cấp. Loại cách điện này là cần thiết vì sự an toàn của người vận hành.

### 2.9 TÍNH TOÁN SỐ LIỆU DÂY QUẤN MÁY BIẾN ÁP MỘT PHA



Hình 2.17. Kích thước cơ bản lõi thép

Tính toán, thiết kế máy biến áp trong hai trường hợp:

- Chưa có lõi thép;
- Có lõi thép.

Để tính toán, thiết kế máy biến áp cần phải có các thông số cho trước như:

- Công suất máy biến áp: P (VA) hoặc tiết diện lõi thép;
- Điện áp vào  $U_1$  (V);
- Điện áp ra  $U_2$  (V);
- Mật độ dòng điện cho phép: J (A/mm<sup>2</sup>);
- Hệ số cosφ;
- Tần số : f(Hz);
- Độ từ thẩm của lõi thép B (T).

### 2.9.1 Tính toán máy biến áp khi chưa biết lõi thép máy biến áp

#### Bước 1: Xác định tiết diện của lõi sắt (S)

Khi tính toán máy biến áp thì chúng ta phải biết: P;  $U_1$ ;  $U_2$ ; cosφ...

$$S = 1,2 \cdot \sqrt{P} \quad (\text{cm}^2)$$

Mà:  $S = a \cdot b \quad (\text{cm}^2)$

Trong đó : a – chiều rộng của lõi thép.

b – chiều dài của lõi thép.

#### Bước 2: Tính số vòng dây sơ cấp ( $w_1$ ) và thứ cấp ( $w_2$ )

Từ công thức  $U = 4,44 \cdot f \cdot B \cdot S \cdot w \cdot \cos\phi \cdot 10^{-8}$  (V)

Ta có: Số vòng cuộn sơ cấp  $w_1 = \frac{U_1}{4,44 \cdot f \cdot B \cdot S \cdot \cos\phi \cdot 10^{-4}}$  (vòng/vôn)

Số vòng cuộn thứ cấp  $w_2 = \frac{U_2}{4,44 \cdot f \cdot B \cdot S \cdot \cos\phi \cdot 10^{-4}}$  (vòng/vôn)

#### Bước 3: Tính dòng điện sơ cấp ( $I_1$ ) và thứ cấp ( $I_2$ )

$$I_2 = \frac{P}{U_2 \cdot \cos\phi} \text{ nên } I_1 = \frac{U_2 \cdot I_2}{U_1}$$

#### Bước 4: Tính tiết diện dây dẫn sơ cấp ( $S_1$ ) và thứ cấp ( $S_2$ )

Tiết diện dây sơ cấp:  $S_1 = \frac{I_1}{J} \quad (\text{mm}^2)$

Tiết diện dây thứ cấp:  $S_2 = \frac{I_2}{J} \quad (\text{mm}^2)$

Đường kính dây sơ cấp và thứ cấp :  $d_1 = 1,13\sqrt{S_1}$  (mm)  
 $d_2 = 1,13\sqrt{S_2}$

Khi tính tiết diện dây, nên căn cứ vào điều kiện làm việc của máy biến áp mà chọn mật độ dòng điện  $J$  cho phù hợp để khi máy biến áp vận hành định mức, dây dẫn không phát nhiệt lớn hơn  $80^{\circ}\text{C}$ .

Bảng 2.1 cho phép chọn mật độ dòng  $J$  khi thời gian làm việc của máy biến áp liên tục 24/24 giờ.

**Bảng 2.1.**

P(VA)	0 ÷ 50	50 ÷ 100	100 ÷ 200	200 ÷ 500	500 ÷ 1000
J(A/mm <sup>2</sup> )	4	3,5	3	2,5	2

Chọn  $J$  theo bảng 2.2 nếu máy biến áp làm việc ngắn hạn 3 ÷ 5 giờ, thông gió tốt, vật liệu cách điện cấp A.

**Bảng 2.2.**

P(VA)	0 ÷ 50	50 ÷ 100	100 ÷ 200	200 ÷ 500	500 ÷ 1000
J(A/mm <sup>2</sup> )	5 ÷ 6	4,5 ÷ 5,5	4 ÷ 5	3,5 ÷ 4,5	3 ÷ 4

### **Bước 5: Kiểm tra lại khoảng trống chứa dây**

Trước hết, xác định cách bố trí cuộn dây sơ cấp, thứ cấp quấn chồng lên nhau hoặc quấn hai cuộn rời ra và sau khi tính được tiết diện lõi thép ta tạm chọn chiều rộng  $a$ , chiều dày  $b$  (chiều cao  $L$  thường bằng  $1,5a$ , chiều rộng cửa sổ bằng  $0,5.a$ )

– Số vòng dây của 1 lớp dây của cuộn sơ cấp:

$$w_{1\text{lớp}} = \frac{L}{d_{1\text{cd}}} - 1$$

Trong đó :  $L$  chiều cao của lõi thép.

$d_{1\text{cd}}$ : đường kính dây sơ cấp kể cả lớp men cách điện:  $d_{1\text{cd}} = d_1 + e_{\text{cd}}$

Với dây tráng ê - may:  $e_{\text{cd}} = 0,03 \div 0,08 \text{ mm}$

Với dây bọc cotton:  $e_{\text{cd}} = 0,15 \div 0,4 \text{ mm}$

+ Số lớp dây ở cuộn sơ cấp:  $N_{1\text{lớp}} = \frac{w_1}{w_{1\text{lớp}}}$

+ Bề dày của cuộn sơ cấp  $w_1$ :  $\varepsilon_1 = (d_{1\text{cd}} \cdot N_{1\text{lớp}}) + e_{\text{cd}}(N_{1\text{lớp}} - 1)$

– Bề dày của cuộn thứ cấp  $w_2$ :

Cũng tính tương tự như trên, ta có:  $\varepsilon_2 = (d_{2\text{cd}} \cdot N_{2\text{lớp}}) + e_{\text{cd}}(N_{2\text{lớp}} - 1)$

– Bề dày của cả bộ dây:

Mỗi 1 lớp dây đều phải lót 1 lớp cách điện và quấn hết lớp sơ cấp ta phải lót một lớp cách điện dày, sau đó mới quấn phần dây thứ cấp. Quấn



xong phần thứ cấp, ta phải lót một lớp cách điện ngoài cùng dày hơn để bảo vệ bộ dây. Vậy bề dày của cả bộ dây là:  $\epsilon_1 = \epsilon_1 + \epsilon_2$

So sánh bề dày của bộ dây  $\epsilon_1$  với chiều rộng cửa sổ. Nếu nhỏ hơn thì thỏa mãn điều kiện cho phép tiến hành quấn dây. Nếu lớn hơn ta phải chọn lại các thông số a, b, L và tính toán lại bề dày như trên.

**Chú ý:** Để thuận tiện cho quá trình tính toán người ta dùng công thức kinh nghiệm sau:

$$\text{Số vòng dây của 1 vôn là: } w = \frac{K}{S} \quad (\text{vòng /vôn})$$

Trong đó: S là tiết diện của lõi thép ( $\text{cm}^2$ );

K là hệ số thép phụ thuộc vào độ từ cảm B ( $\text{Wb/m}^2$ ).

**Bảng 2.3. Chọn hệ số K theo mật độ từ B**

Mật độ từ B ( $\text{Wb/mm}^2$ )	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
Hệ số K	64	56	50	45	41	37,5	34,5	32,4	30

Hoặc chọn:

– Nếu tôn tốt:  $K = 45 \div 50$

– Nếu tôn trung bình:  $K = 50 \div 55$

– Nếu tôn xấu:  $K = 55 \div 60$

Sau đó tính số vòng dây cuộn sơ cấp:  $w_1 = w.U$

Số vòng dây cuộn thứ cấp:  $w_2 = w.(U_2 + \Delta U_2\%)$

**Bảng 2.4. Độ dự trữ điện áp  $\Delta U_2$  theo công suất**

P(V.A)	100	200	300	500	750	1000	1200	1500	>1500
$\Delta U_2$ (%)	4,5	4	3,9	3	2,5	2,5	2,5	2,5	2,0

## 2.9.2 Tính toán máy biến áp khi đã biết lõi thép

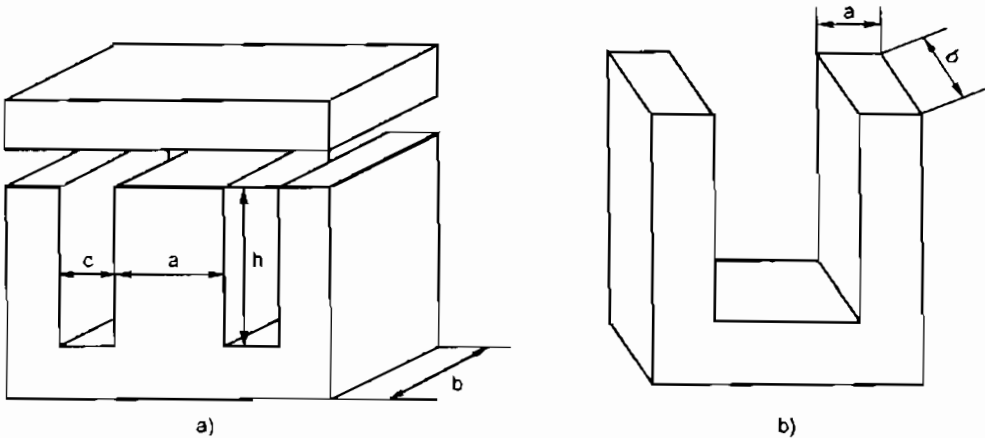
### Bước 1: Xác định tiết diện thực của lõi sắt

Căn cứ vào kích thước lõi sắt a, b (hình 2.18) xác định tiết diện lõi sắt nơi quấn dây. Sau đó trừ đi phần lớp cách điện, oxit trên bề mặt lá sắt để còn lại tiết diện thực của lõi sắt bằng công thức:

$$S_0 = (0,9 \div 0,93)S \quad (\text{cm}^2)$$

Chọn  $K = 0,9$  nếu bề dày lá sắt  $e_{fc} = 0,35$  mm;  
 $K = 0,93$  nếu bề dày lá sắt  $e_{fc} = 0,50$  mm;  
 $K = 0,8 \div 0,85$  nếu lá sắt bị gỉ, sét, lõi lõm.

Với  $S = a \cdot b$  (cm<sup>2</sup>)



Hình 2.18. Xác định kích thước lõi thép

Kiểm tra công suất dự tính  $P_{dt}$  đối với kích thước mạch từ  $S_0$ . Ta có:

$$P_{dt} = U_2 \cdot I_2 \quad (\text{V.A}) \quad (2.32)$$

$$P_{cp} = \left( \frac{S_0}{1,2} \right)^2 \quad (\text{V.A}) \quad (2.33)$$

So sánh (2.32) và (2.33), nếu  $P_{dt}$  lớn hơn  $P_{dm}$  không quá 10%, thì mạch từ coi như tương ứng với công suất dự tính  $P_{dt}$ .

**Bước 2: Tính số vòng dây mỗi vôn**

Từ công thức  $E = 4,44 \cdot f \cdot B \cdot S_0 \cdot w$ , với  $E = 1$  vôn,  $f = 50$  Hz

$$\text{Ta có: } w = \frac{E \cdot 10^4}{4,44 \cdot f \cdot B \cdot S_0} = \frac{10^4}{4,44 \cdot 50 \cdot B \cdot S_0} \quad (\text{vòng /vôn})$$

$$\text{Rút gọn lại ta có: } w = \frac{K}{S_0} \quad (\text{vòng /vôn})$$

Trong đó:  $K$  – hằng số phụ thuộc theo  $B$  (Wb/m<sup>2</sup>);

$S_0$  – tiết diện thực lõi sắt (cm<sup>2</sup>).

**Bước 3: Tính số vòng dây của cuộn sơ cấp  $w_1$**

$$w_1 = w \cdot U_1$$

**Bước 4: Tính số vòng dây của cuộn thứ cấp  $w_2$**

Khi tính số vòng dây của cuộn thứ cấp, cần phải dự trừ tăng thêm 1 số vòng dây, để bù trừ sự sụt áp do trở kháng cuộn thứ cấp:

$$w_2 = w_1(U_2 + \Delta U_2)$$

**Bước 5: Ước lượng hiệu suất  $\eta$  của máy biến áp, xác định dòng điện phía sơ cấp**

Hiệu suất được chọn theo bảng sau:

**Bảng 2.5.** Theo Robert Kuhn

$P_2(\text{VA})$	3	10	25	50	100	1000
$\eta \%$	60	70	80	85	90	>90

**Bảng 2.6.** Theo Walter Kehse

$P_2(\text{VA})$	10	20	30	50	100	150	300	500
$\eta \%$	80	80	85	90	91	92	92	92,5

**Bảng 2.7.** Theo Newnes

$P_2(\text{VA})$	100	150	200	250	500	750	1000	1500	2000	2500	3500	5000
$\eta \%$	83,5	89,3	90,5	91,2	92,5	93,5	94,1	95	95,4	95,7	95,9	98,2

Căn cứ theo các bảng số trên chọn  $\eta \%$  cho máy biến áp, từ đó xác định dòng điện qua phía sơ cấp.

$$I_1 = \frac{S_2}{\eta \cdot U_1} \quad (2.34)$$

**Bước 6: Tính tiết diện dây sơ cấp và thứ cấp**

Khi tính tiết diện dây nên căn cứ vào điều kiện làm việc của máy biến áp, công suất, ... mà chọn mật độ dòng điện  $J$  cho phù hợp để khi máy biến áp vận hành định mức, dây dẫn không phát nhiệt quá  $80^\circ\text{C}$ . Chọn mật độ dòng điện  $J$  để xác định đường kính dây quấn phụ thuộc:

- Cấp cách điện vật liệu;
- Điều kiện toả nhiệt dây quấn;
- Chế độ vận hành liên tục hay ngắn hạn.

Tiết diện sơ cấp được xác định theo mật độ dòng  $J$

$$S_1 = \frac{P_2}{\eta \cdot U_1 \cdot J} \quad (\text{mm}^2) \quad (2.35)$$

Với :  $\eta$  – hiệu suất của máy biến áp;

$U_1$  – điện áp nguồn;

Tiết diện dây thứ cấp:  $S_2 = \frac{I_2}{J} \text{ mm}^2$

Căn cứ theo các số liệu tham khảo trên, chọn  $J$  và suy ra đường kính dây quấn sơ cấp và thứ cấp. Gọi  $d_1$  và  $d_2$  là đường kính dây dẫn tròn (không tính lớp cách điện bọc quanh dây), ta có :

$$\begin{aligned} d_1 &= 1,13\sqrt{S_1} \\ d_2 &= 1,13\sqrt{S_2} \end{aligned} \quad (2.36)$$

### Bước 7 : Kiểm tra lại khoảng trống chứa dây

Trước hết xác định cách bố trí cuộn dây sơ cấp và thứ cấp quấn chồng lên nhau hoặc hai cuộn rời ra. Trên cơ sở đó chọn chiều dài  $L$  của cuộn sơ cấp, thứ cấp quấn trên khuôn cách điện.

#### Bề dày cuộn sơ cấp

– Số vòng dây sơ cấp cho 1 lớp dây với  $d_{1cd} = d_1 + e_{cd}$

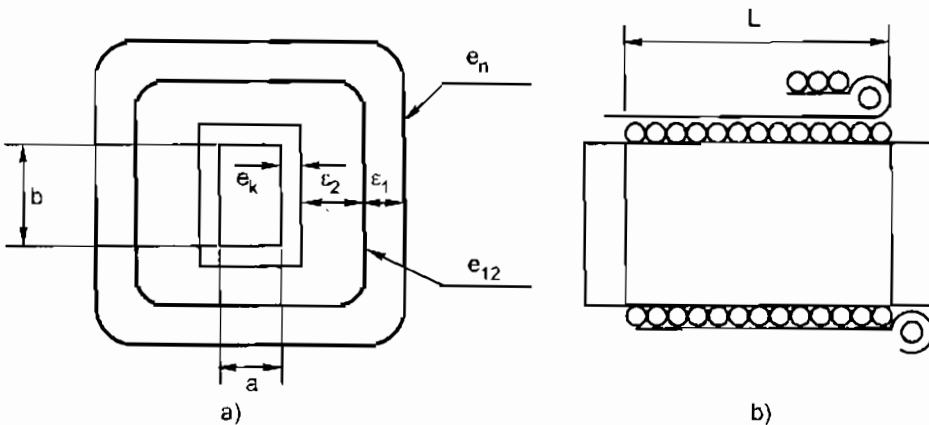
$$w_{1lớp} = \frac{L}{d_{1cd}} - 1$$

Với: – Dây tráng ê - may:  $e_{cd} = 0,03 \div 0,08 \text{ mm}$

– Dây bọc cotton:  $e_{cd} = 0,15 \div 0,4 \text{ mm}$

– Số lớp dây ở cuộn sơ cấp:  $N_{1lớp} = \frac{w_1}{w_{1lớp}}$

– Bề dày của cuộn sơ cấp  $w_1$ :  $\varepsilon_1 = (d_{1cd} \cdot N_{1lớp}) + e_{cd}(N_{1lớp} - 1)$



Hình 2.19. Xác định kích thước khoảng chứa dây

#### Bề dày cuộn thứ cấp $w_2$ :

Tương tự như ở trên, ta có:  $\varepsilon_2 = (d_{2cd} \cdot N_{2lớp}) + e_{cd}(N_{2lớp} - 1)$

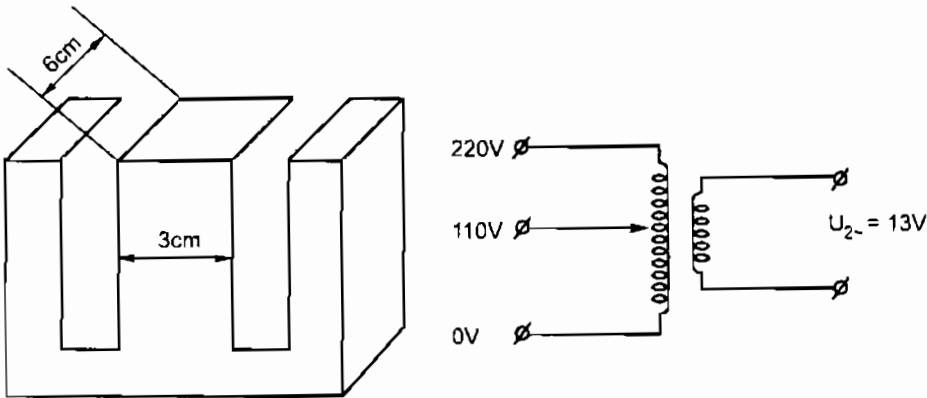
### Bề dày toàn bộ của cả cuộn dây quấn:

Tùy theo bố trí cuộn dây sơ cấp và thứ cấp mà tính bề dày cuộn dây. Theo hình 2.19 ta có bề dày toàn bộ cuộn dây là:

$$\varepsilon_t = (1,1 \div 1,25)(e_k + \varepsilon_1 + e_{12} + \varepsilon_2 + e_n)$$

So sánh bề dày cuộn dây  $\varepsilon_t$  với bề rộng cửa số nếu  $\varepsilon_t < C$  thì thỏa mãn điều kiện.

**Ví dụ 2.4.** Tính toán dây quấn máy biến áp sử dụng với nguồn điện 110/220V – 50Hz, phần thứ cấp có  $U_2 = 13V$ ,  $I_2 = 10A$ . Kích thước mạch từ như hình vẽ 2.20, có bề dày lá sắt  $e_{fc} = 0,35mm$ ,  $B = 1,2Wb/m^2$ , hiệu suất  $\eta = 0,85$ , chọn dây đồng tráng ê-may. Bề rộng khoảng chứa dây  $C = 15mm$ .



Hình 2.20. Kích thước mạch từ

### Lời giải:

#### 1. Xác định tiết diện thực $S_0$ của lõi mạch từ

Với lá sắt mỏng  $e_{fc} = 0,35mm$ , chọn  $K = 0,9$ , ta có:

$$S_0 = 0,9(3.6) = 16,2 \text{ cm}^2$$

Kiểm tra mạch từ có phù hợp với công suất dự tính hay không, ta có:

$$P_{dt} = U_2 \cdot I_2 = 13 \cdot 10 = 130 \text{ VA} \quad (1)$$

$$\text{Mà } P_{cp} = (S_0/1,2)^2 = (16,2/1,2)^2 = 182 \text{ VA} \quad (2)$$

So sánh (1) và (2) ta thấy:  $P_{dt} < P_{cp} = 182$  thỏa mãn điều kiện

#### 2. Tính số vòng dây mỗi vôn

Với  $B = 1,2 \text{ Wb/m}^2$ , theo bảng 2.3 chọn  $K = 37,5$ , ta có:

$$w = \frac{37,5}{S_0} = \frac{37,5}{16,2} = 2,3 \text{ (vòng/vôn)}$$

3. Số vòng dây cuộn sơ cấp:

$$w_{ab} = 2,3 \cdot 110 = 253 \text{ vòng}$$

$$w_{bc} = 2,3 \cdot (220 - 110) = 253 \text{ vòng}$$

4. Số vòng dây cuộn thứ cấp:

Theo bảng 2.4 chọn  $\Delta U_2 = 4,5\%$  nên có:

$$\Delta U_2 = (13 \cdot 4,5 / 100) = 0,58 \text{ V}$$

$$w_2 = 2,3 \cdot (13 + 0,58) \approx 31 \text{ vòng}$$

5. Tiết diện dây sơ cấp và thứ cấp

Với hiệu suất  $\eta = 0,85$  và chọn  $J = 3,5 \text{ A/mm}^2$ , ta có:

$$S_{ab} = \frac{P_2}{\eta \cdot U_1 \cdot J} = \frac{120}{0,85 \cdot 110 \cdot 3,5} = 0,366 \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$d_{ab} = 1,13 \sqrt{S_{ab}} = 1,13 \cdot \sqrt{0,366} = \varnothing 0,68 \text{ (mm)}$$

$$S_{bc} = \frac{P_2}{\eta \cdot U_1 \cdot J} = \frac{120}{0,85 \cdot 220 \cdot 3,5} = 0,183 \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$d_{bc} = 1,13 \cdot \sqrt{S_{bc}} = 1,13 \cdot \sqrt{0,183} = \varnothing 0,48 \text{ (mm)}$$

$$S_2 = \frac{I_2}{J} = \frac{10}{3,5} = 2,8 \text{ (mm}^2\text{)} = 1,13 \cdot \sqrt{S_2} = 1,13 \cdot \sqrt{2,8} = \varnothing 1,89 \text{ mm}$$

6. Kiểm tra bề dày cuộn dây:

– Bề dày cuộn dây  $w_{ab}$ , với  $L = 45 \text{ mm}$  (thường chọn  $L = 1,5 \cdot a$ ),

$d'_{ab} = d_{ab} + e_{cd} = 0,68 + 0,06 = \varnothing 0,74 \text{ mm}$  (với dây tráng ê - may thì khoảng  $e_{cd} = 0,03 \div 0,08$ , chọn  $e_{cd} = 0,06$ ).

$$w_{ablớp} = \frac{L}{d'_{ab}} - 1 = \frac{50}{0,74} - 1 = 66 \text{ (vòng)}$$

$$N_{ablớp} = 253 / 66 = 3,83 \text{ chọn 4 lớp}$$

$$e_{ab} = 0,74 \cdot 4 + 0,1 \cdot (4 - 1) = 3,26 \text{ mm}$$

– Bề dày cuộn dây  $w_{bc}$ , với  $L = 45 \text{ mm}$  (thường chọn  $L = 1,5 \cdot a$ ),

$d'_{bc} = d_{bc} + e_{cd} = 0,48 + 0,06 = \varnothing 0,54 \text{ mm}$

$$w_{bclớp} = \frac{L}{d'_{bc}} - 1 = \frac{50}{0,54} - 1 = 91 \text{ (vòng)}$$

$$N_{bclớp} = 253 / 91 = 2,78 \text{ chọn 3 lớp}$$

$$e_{bc} = 0,54 \cdot 3 + 0,1 \cdot (3 - 1) = 1,82 \text{ (mm)}$$

– Bề dày cuộn dây thứ cấp  $w_2$ , với  $L = 45 \text{ mm}$ ,  $d'_2 = \varnothing 1,93 \text{ (mm)}$

$$w_{2\text{lớp}} = \frac{L}{d'_2} - 1 = \frac{50}{1,93} - 1 = 25 \text{ (vòng)}$$

$$N_{2\text{lớp}} = 31/25 = 1,24 \text{ lớp chọn 2 lớp}$$

$$\varepsilon_2 = 1,93 \cdot 2 + 0,1 \cdot (2 - 1) = 3,96 \text{ (mm)}$$

– Bề dày toàn bộ cuộn dây, chọn  $\varepsilon_k = 1$ ,  $\varepsilon_{12} = 0,3$ ,  $\varepsilon_n = 0,3$

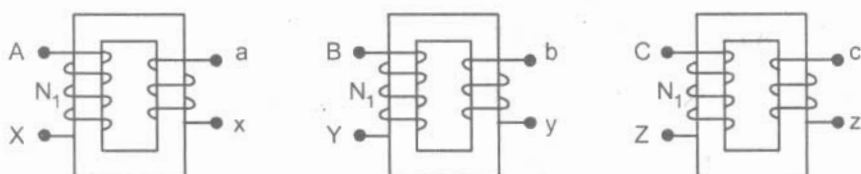
$$\varepsilon_1 = 1,2(\varepsilon_k + \varepsilon_{ab} + \varepsilon_{bc} + \varepsilon_{12} + \varepsilon_2 + \varepsilon_n)$$

$$= 1,2(1 + 3,3 + 1,9 + 0,3 + 4 + 0,3) = 13 \text{ (mm)}$$

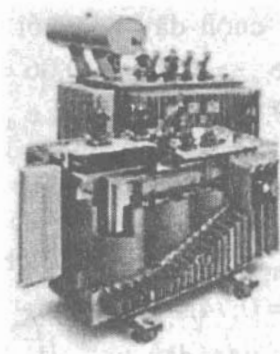
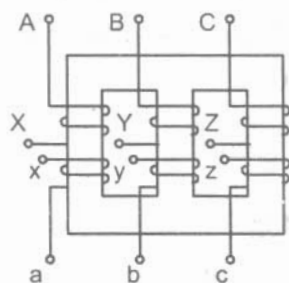
So sánh  $\varepsilon_1 = 13 \text{ mm}$  với bề rộng khoảng chứa dây  $C = 15 \text{ mm}$  (thường chiều rộng cửa sổ bằng  $0,5 \cdot a$ ) thì thỏa mãn điều kiện.

## 2.10. MÁY BIẾN ÁP BA PHA

### 2.10.1. Cấu tạo



Hình 2.21a. Sơ đồ nguyên lý ba máy biến áp 1 pha



Hình 2.21b. Máy biến áp ba pha

Để biến đổi điện áp của hệ thống dòng điện ba pha, ta có thể dùng 3 máy biến áp một pha (hình 2.21a) hoặc dùng một máy biến áp ba pha (hình 2.21b). Về cấu tạo, lõi thép của máy biến áp ba pha gồm ba trụ. Dây quấn sơ cấp ký hiệu bằng các chữ in hoa: Pha A ký hiệu là AX, pha

B ký hiệu là BY, pha C là CZ. Dây quấn thứ cấp ký hiệu bằng các chữ thường: pha a là ax, pha b là by, pha c là cz. Dây quấn sơ cấp và thứ cấp có thể nối hình sao hoặc hình tam giác. Nếu nối hình sao thì số vòng dây và cách điện mỗi pha được tính theo điện áp pha, tiết diện dây dẫn được tính theo dòng điện dây. Nếu nối hình  $\Delta$  thì ngược lại, dây quấn được tính toán theo điện áp dây và dòng điện pha. Vì vậy khi điện áp càng cao thì nối hình sao lợi hơn hình tam giác. Nếu ở các máy biến áp ba pha công suất lớn, dây quấn ba pha đều nối hình Y/ $\Delta$ , dây quấn thấp áp trong trường hợp này không yêu cầu dây trung tính, hoặc nối  $\Delta$ /Y. Ở các máy biến áp công suất nhỏ và trung bình (dưới 1800 kVA) thì dây quấn ba pha phía sơ cấp và thứ cấp đều nối hình Y, phía thứ cấp thường có dây trung tính (Y/Y<sub>0</sub>).

### 2.10.2. Nguyên lý làm việc và hệ số biến áp của máy biến áp ba pha

Nguyên lý làm việc của máy biến áp ba pha giống như máy biến áp một pha. Khi nghiên cứu sự làm việc của máy biến áp ba pha có phụ tải đối xứng, chúng ta chỉ cần nghiên cứu cho một pha. Tuy nhiên khi sử dụng máy biến áp ba pha ta cần chú ý một số điểm sau: Hệ số biến áp (tỷ số giữa điện áp dây sơ cấp và thứ cấp) và phụ thuộc vào cách nối dây quấn.

Ví dụ: Nếu dây quấn máy biến áp ba pha nối Y/Y, thì hệ số biến áp:

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

Nhưng nếu dây quấn nối Y/ $\Delta$  thì:

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

### 2.10.3. Tổ đấu dây của máy biến áp ba pha

Tổ nối dây MBA được hình thành do sự phối hợp kiểu dây quấn sơ cấp so với kiểu dây quấn thứ cấp. Nó biểu thị góc lệch pha giữa sức điện động (sđđ) dây của dây quấn sơ cấp và sđđ dây của dây quấn thứ cấp và góc lệch pha này phụ thuộc vào các yếu tố sau :

- + Chiều quấn dây;
- + Cách ký hiệu các đầu dây ra;
- + Kiểu đấu dây quấn sơ cấp và thứ cấp.



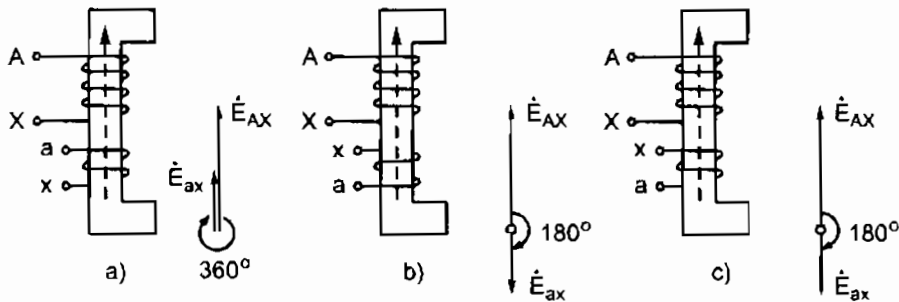
Xét MBA một pha có hai dây quấn (hình 2.22) : sơ cấp – AX ; thứ cấp – ax.

Các trường hợp xảy ra như sau :

- a) Hai dây quấn cùng chiều và ký hiệu tương ứng (hình 2.22a).
- b) Hai dây quấn ngược chiều (hình 2.22b)
- c) Đổi chiều ký hiệu một trong hai dây quấn (hình 2.22c)

Tổ nối dây của MBA một pha : tính từ vectơ sđđ sơ cấp đến vectơ sđđ thứ cấp theo chiều kim đồng hồ :

- + Trường hợp a : trùng pha  $360^\circ$ .
- + Trường hợp b, c : lệch pha  $180^\circ$ .



Hình 2.22. Sự lệch pha của máy biến áp một pha

Tổ nối dây MBA ba pha : Ở MBA ba pha, do nối Y &  $\Delta$  với những thứ tự khác nhau mà góc lệch pha giữa sđđ dây sơ cấp và sđđ dây thứ cấp là  $30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, \dots, 360^\circ$ .

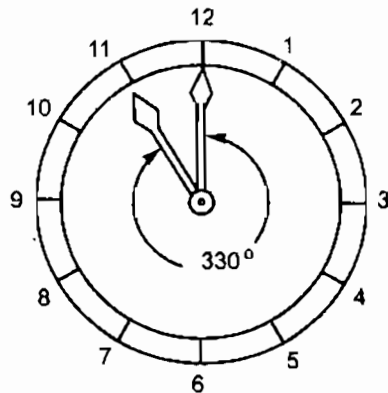
Thực tế không dùng độ để chỉ góc lệch pha mà dùng kim đồng hồ (hình 2.23) để biểu thị và gọi tên tổ nối dây MBA, cách biểu thị như sau: + Kim dài cố định ở con số 12, chỉ sđđ sơ cấp.

+ Kim ngắn chỉ 1, 2, ... , 12 ứng với  $30^\circ, 60^\circ, \dots, 360^\circ$  chỉ sđđ thứ cấp.

Trường hợp MBA một pha :

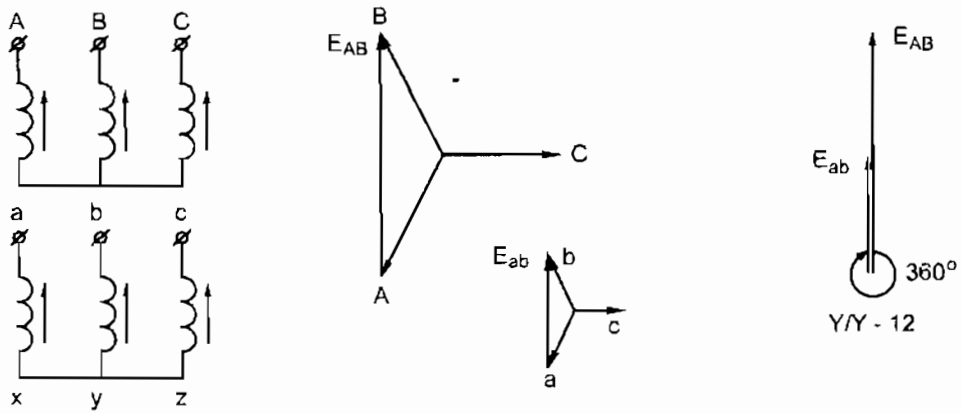
- + Trường hợp a : Y/Y -12;
- + Trường hợp b, c : Y/Y - 6.

Trường hợp MBA ba pha :



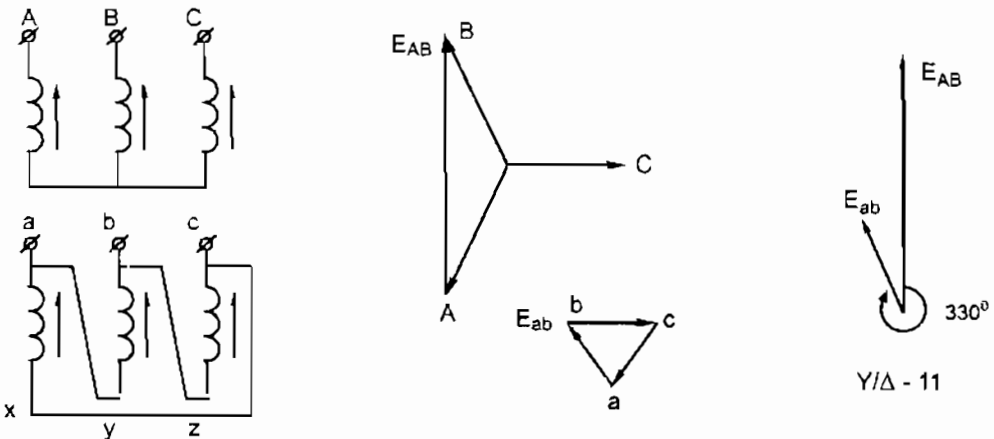
Hình 2.23. Biểu thị góc lệch pha

+ MBA ba pha nối Y/Y: Ví dụ một MBA ba pha có dây quấn sơ cấp và dây quấn thứ cấp nối hình sao, cùng chiều quấn dây và cùng ký hiệu các đầu dây (hình 2.24) thì véc tơ sđd pha giữa hai dây quấn hoàn toàn trùng nhau và góc lệch pha giữa hai điện áp dây sẽ bằng  $360^\circ$  hay  $0^\circ$ . Ta nói MBA thuộc tổ nối dây 12 và ký hiệu là Y/Y-12 hay Y/Y-0. Để nguyên dây quấn sơ cấp, dịch ký hiệu dây quấn thứ cấp  $a \rightarrow b$ ,  $b \rightarrow c$ ,  $c \rightarrow a$  ta có tổ đấu dây Y/Y-4, dịch tiếp một lần nữa ta có tổ đấu dây Y/Y-8. Nếu đổi chiều dây quấn thứ cấp ta có tổ đấu dây Y/Y-6, 10, 2. Như vậy, MBA khi nối Y/Y, ta có tổ nối dây là số chẵn.



Hình 2.24. Tìm tổ nối dây Y/Y

+ MBA ba pha nối Y/ $\Delta$  :



Hình 2.25. Tìm tổ nối dây Y/ $\Delta$

Ví dụ cũng MBA ba pha có dây quấn sơ cấp nối hình sao và dây quấn thứ cấp nối hình tam giác, cùng chiều quấn dây và cùng ký hiệu các đầu dây (hình 2.25) thì véc tơ sđd pha giữa hai dây quấn hoàn toàn

trùng nhau và góc lệch pha giữa hai điện áp dây sẽ bằng  $330^\circ$ . Ta nói MBA thuộc tổ nối dây 11 và ký hiệu là  $Y/\Delta - 11$ . Để nguyên dây quấn sơ cấp, dịch ký hiệu dây quấn thứ cấp  $a \rightarrow b, b \rightarrow c, c \rightarrow a$  thì ta có tổ đấu dây  $Y/\Delta - 3$ , dịch tiếp một lần nữa ta có tổ đấu dây  $Y/\Delta - 7$ . Nếu đổi chiều dây quấn thứ cấp ta có tổ đấu dây  $Y/\Delta - 5, 9, 1$ . Như vậy MBA khi nối  $Y/\Delta$ , ta có tổ nối dây là số lẻ.

#### 2.10.4. 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.

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 tỷ lệ công suất máy giống 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.

##### a) Điều kiện cùng tổ nối dây

Ví dụ không cho phép hai máy có tổ nối dây  $Y/\Delta - 11$  và  $Y/Y - 12$  làm việc song song với nhau vì điện áp thứ cấp của 2 máy này không trùng pha nhau và lệch nhau một góc  $30^\circ$ . Trong mạch nối liền các dây quấn thứ cấp của hai máy biến áp sẽ xuất hiện một sức điện động:

$$\Delta E = 2E_2 \sin 15^\circ = 0.518E_2$$

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:  $I_{cb} = \frac{\Delta E}{Z_{nI} + Z_{nII}}$

$$\text{Giả sử } Z_{nI} = Z_{nII} = 0,05 \text{ thì } I_{cb} = \frac{0,518}{0,05 + 0,05} = 5,18$$

Trị số dòng điện gấp hơn năm lần dòng điện định mức sẽ làm nóng máy biến áp.

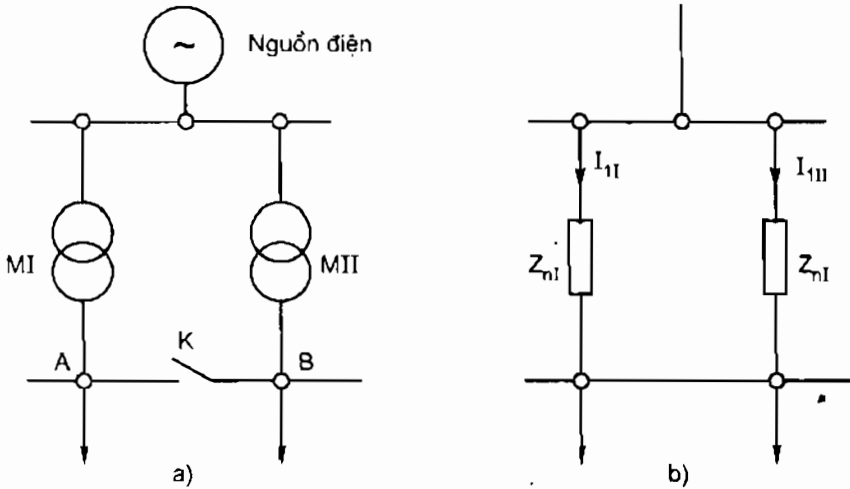
##### b) Điều kiện tỷ số biến đổi bằng nhau

Điện áp thứ cấp định mức của các máy phải bằng nhau. Điều kiện này bảo đảm cho trong các máy biến áp làm việc song song không có dòng điện chạy quán.

Giả sử tỷ số biến đổi  $K$  khác nhau thì  $E_{2I} \neq E_{2II}$ , ngay khi không tải

trong dây quấn thứ cấp của các máy biến áp đã có dòng 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. Khi có tải, dòng điện cân bằng sẽ cộng với dòng điện tải làm cho hệ số tải đáng lẽ phải bằng nhau lại trở thành khác nhau, ảnh hưởng xấu tới việc lợi dụng công suất các máy.



Hình 2.26. Hai máy biến áp làm việc song song

**c) Điều kiện trị số điện áp ngắn mạch bằng nhau**

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

Trong đó điện áp ngắn mạch phần trăm của các máy cần đảm bảo điều kiện này, để tải phân bổ trên các máy tỷ lệ với công suất định mức của chúng.

Giả sử  $U_{nI}\% < U_{nII}\%$  thì khi máy I nhận tải định mức, máy II còn non tải. Thật vậy, ở trường hợp này, dòng điện máy I đạt định mức  $I_{1dm}$ , điện áp rơi trong máy I là  $I_{1dm}Z_{nI}$ , dòng điện máy II là  $I_{1I}$ , điện áp rơi trong máy hai là  $I_{1I}Z_{nII}$ . Vì hai máy làm việc song song, điện áp rơi trong hai máy phải bằng nhau, ta có:

$$I_{1dm}Z_{nI} = I_{1I}Z_{nII} \tag{2.37}$$

Ở đây  $Z_{nI}$ ,  $Z_{nII}$  là tổng trở ngắn mạch máy I và II. Vì ta giả sử  $U_{nI}\% < U_{nII}\%$  do đó:

$$I_{1dm}Z_{nI} < I_{1dm}Z_{nII} \tag{2.38}$$

So sánh (2.37) và (2.38) ta có:  $I_{1I}Z_{nII} < I_{1dm}Z_{nII}$  hoặc  $I_{1I} < I_{1dm}$

Dòng điện máy II nhỏ hơn định mức, vậy máy II đang non tải, trong khi máy I đã định mức. Nếu máy II tải định mức thì máy I sẽ quá tải.

## 2.11. CÁC SỰ CỐ THÔNG THƯỜNG XẢY RA TRONG MÁY BIẾN ÁP

TT	Hiện tượng	Nguyên nhân	Phương pháp sửa chữa
1	Chạm vỏ.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Do cách điện của lõi khuôn giữa cuộn dây với lõi thép bị hỏng.</li> <li>- Do chạm đầu dây với vỏ.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tháo lõi thép ra, kiểm tra cách điện của lõi khuôn, nếu hỏng cách điện thì quấn lại.</li> <li>- Dùng đồng hồ kiểm tra xác định và sửa lại vị trí chạm vỏ.</li> </ul>
2	Máy biến áp vẫn vận hành bình thường mà gây sự giật nhẹ.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Do máy biến áp bị ẩm, điện trở cách điện bị suy giảm.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bỏ ra sơn sấy lại sau đó kiểm tra cách điện bằng Mê - gôm kế, nếu Mê - gôm kế chỉ trị số cách điện <math>&gt; 0,5 \text{ M}\Omega</math> thì đạt. Nếu Mê - gôm kế chỉ trị số cách điện <math>&lt; 0,5 \text{ M}\Omega</math> thì lớp cách điện bị lão hoá cần phải quấn lại toàn bộ.</li> </ul>
3	Máy biến áp bị nóng quá nhiệt độ cho phép. Máy biến áp làm việc bị rung phát ra tiếng kêu ngay cả khi làm việc không tải.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Do cách điện giữa các vòng dây giảm.</li> <li>- Do bị chập nội tại một đến hai vòng dây dẫn đến có dòng điện quấn chạy trong máy.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dùng đồng hồ ôm mét kiểm tra</li> <li>- Nếu bị chập nội tại thì bỏ ra quấn lại.</li> </ul>
4	Cấp điện vào máy biến áp thấy lõi thép bị rung nhẹ nhưng đo điện áp thứ cấp bằng không.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Do cuộn dây thứ cấp máy biến áp bị đứt dẫn đến hở mạch bên trong cuộn dây.</li> <li>- Do tiếp xúc ở cọc nối dây ra hoặc ở công tắc chuyển mạch.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dùng đồng hồ ôm mét kiểm tra, nếu bị đứt ở bên trong cuộn dây thì phải bỏ ra quấn lại.</li> <li>- Nếu do tiếp xúc ở cọc nối dây ra hoặc ở công tắc chuyển mạch thì tiến hành sửa chữa, trường hợp không khắc phục được thì thay thế cọc đấu hoặc công tắc chuyển mạch khác.</li> </ul>
5	Máy biến áp vận hành lúc được, lúc không.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Do tiếp xúc xấu.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kiểm tra lại từ nguồn điện cung cấp đến máy biến áp và từ máy biến áp đến mạch tiêu thụ.</li> </ul>

6	Không tăng được điện áp ra đến điện áp định mức.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Do điện áp nguồn xuống quá thấp ngoài khoảng cho phép của máy biến áp.</li> <li>- Do máy biến áp bị quá tải.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kiểm tra lại điện áp nguồn, nếu điện áp nguồn giảm quá điện áp cho phép thì dừng không cho máy biến áp làm việc nữa.</li> <li>- Trường hợp máy biến áp bị quá tải thì cắt bớt tải cho phù hợp với công suất của máy biến áp.</li> </ul>
---	--	--	--

## CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP CHƯƠNG 2

2.1. Nêu cấu tạo và nguyên lý làm việc của máy biến áp.

2.2. Ý nghĩa chế độ không tải và thí nghiệm ngắn mạch.

2.3. Tổn hao và hiệu suất của máy biến áp như thế nào?

2.4. Nêu ý nghĩa của việc xác định tổ nối dây.

2.5. Xác định số vòng dây bên phía thứ cấp với điện áp 40V, nếu bên sơ cấp có 600 vòng ở 240 V.

*ĐS: 100 vòng*

2.6. Xét máy biến áp một pha lý tưởng (không bị sụt áp, không tổn hao, dòng điện không tải bằng không). Cuộn dây sơ cấp có 400 vòng, cuộn dây thứ cấp có 800 vòng. Tiết diện lõi thép  $40\text{cm}^2$ . Nếu cuộn dây sơ cấp được đấu vào nguồn 600V, 60Hz, hãy tính:

a) Từ cảm cực đại trong lõi?

b) Điện áp thứ cấp?

*Đáp số: a)  $B = 1,4\text{ T}$ .*

*b)  $U_2 = 1200\text{V}$ .*

2.7. Cho máy biến áp một pha lý tưởng (không bị sụt áp, không tổn hao, dòng điện không tải bằng không) 20kVA, 1200V/120V.

a) Tính dòng định mức sơ cấp và thứ cấp?

b) Nếu máy này cấp cho tải 12 kV có hệ số công suất  $\cos\varphi = 0,8$ , tính dòng sơ và thứ cấp?

*Đáp số: a)  $I_1 = 16,7\text{A}$ ;  $I_2 = 167\text{A}$ .*

*b)  $I_1 = 12,5\text{A}$ ;  $I_2 = 125\text{ A}$ .*

2.8. Cho máy biến áp một pha lý tưởng (không bị sụt áp, không tổn hao, dòng điện không tải bằng không) có tỷ số vòng dây 4 : 1. Điện áp thứ cấp là  $120 \angle 0^\circ \text{ V}$ . Người ta đấu một tải  $Z_1 = 10 \angle 30^\circ \Omega$  vào thứ cấp. Hãy tính:

- a) Điện áp sơ cấp, dòng điện sơ cấp và thứ cấp?
- b) Tổng trở tải quy về sơ cấp?

**Đáp số:** a)  $U = 480 \angle 0^\circ \text{ V}$ ,  $I_1 = 3 \angle 30^\circ \text{ A}$ ,  $I_2 = 12 \angle 30^\circ$  ;  
 b)  $Z_1' = 160 \angle 30^\circ \Omega$ .

2.9. Cho máy biến áp một pha lý tưởng (không bị sụt áp, không tổn hao, dòng điện không tải bằng không) 50kVA, 400/200V cung cấp cho tải 40kVA có hệ số công suất = 0,8 (tải R – L), tính:

- a) Tổng trở tải?
- b) Tổng trở tải quy về sơ cấp.

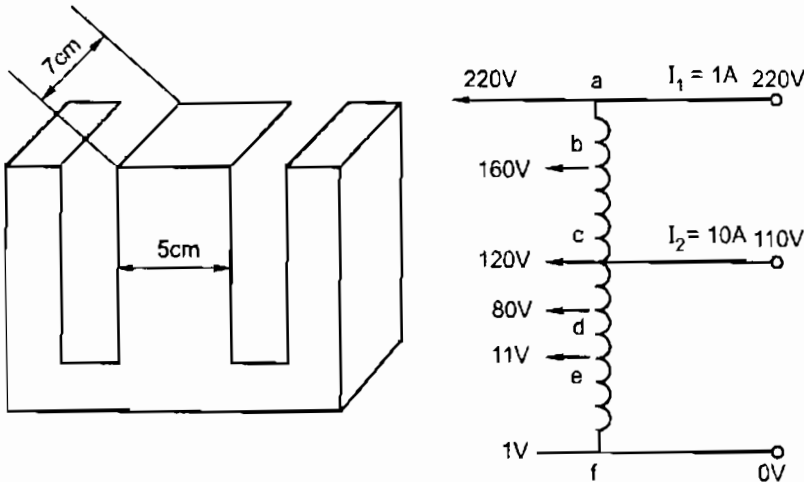
**Đáp số:** a)  $Z_1 = 100 \angle 36,87^\circ \Omega$ ; b)  $Z_1' = 4 \angle 36,87^\circ \Omega$ .

2.10. Tính số liệu dây quấn của máy biến áp gia dụng theo yêu cầu kỹ thuật sau:

$U_1 = 80\text{V}, 120\text{V}, 160\text{V}, 220\text{V};$   
 $U_2 = 110\text{V} - 220\text{V} ; I_2 = 10\text{A} - 5\text{A}.$

Điều kiện tăng giảm: 11bậc – 5V/ bậc.

Kích thước mạch từ (xem hình 2.27), bề dày lá sắt  $e_{fe} = 0,35\text{mm}$ , chọn  $B = 0,9\text{Wb}/\text{m}^2$  và mật độ dòng điện  $J = 5\text{A}/\text{mm}^2$ .



Hình 2.27. Kích thước lõi thép và sơ đồ điện

## Chương 3

# MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

---

### 3.1. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

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

Máy điện không đồng bộ có hai dây quấn, dây quấn stato nối với lưới điện có tần số không đổi, dây quấn rôto được nối tắt lại hoặc khép kín qua điện trở. Dòng điện trong dây quấn rôto được sinh ra nhờ sức điện động cảm ứng có tần số  $f_2$  phụ thuộc vào tốc độ rôto nghĩa là phụ thuộc vào tải ở trên trục của máy.

Máy điện không đồng bộ có tính chất thuận nghịch (có thể làm việc ở chế độ động cơ hoặc chế độ máy phát).

Ở chế độ máy phát, máy điện không đồng bộ có đặc tính làm việc không được tốt so với các loại máy phát điện khác nên ít được sử dụng.

Động cơ điện không đồng bộ được sử dụng nhiều hơn so với các loại động cơ khác, do có cấu tạo và vận hành đơn giản, giá thành rẻ, làm việc tin cậy. Động cơ điện không đồng bộ có các loại 1 pha, 2 pha, 3 pha.

*Các số liệu định mức động cơ điện không đồng bộ:*

Công suất có ích trên trục:  $P_{dm}$

Điện áp dây stato:  $U_{1dm}$

Dòng điện dây stato:  $I_{1dm}$

Tần số dòng điện stato:  $f$

Tốc độ quay rôto:  $n_{dm}$

Hệ số công suất:  $\cos\varphi_{dm}$

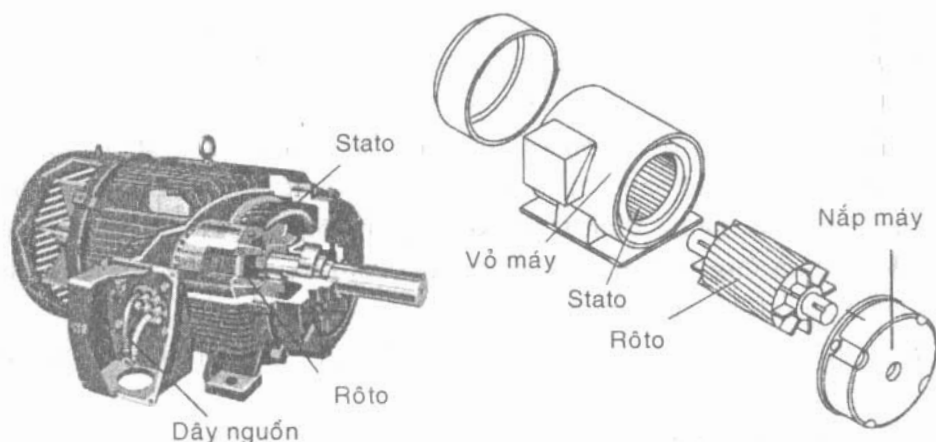
Hiệu suất:  $\eta_{dm}$

### 3.2. CẤU TẠO MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ BA PHA

Máy điện không đồng bộ có hai bộ phận chính là phần quay (rôto) và phần không quay (stato). Dây quấn stato được nối với lưới điện còn rôto được nối với tải có khớp nối trục cơ. Nếu không kể tới trục quay và



vỏ máy thì stato và rôto của máy điện giống như hai khối trụ rỗng đồng tâm. Mỗi khối trụ này ghép bởi các lá thép hình xuyên. Stato và rôto cách nhau một khoảng không gian gọi là khe hở không khí có rãnh để đặt dây quấn. Cấu tạo của máy điện không đồng bộ được trình bày trên hình 3.1.

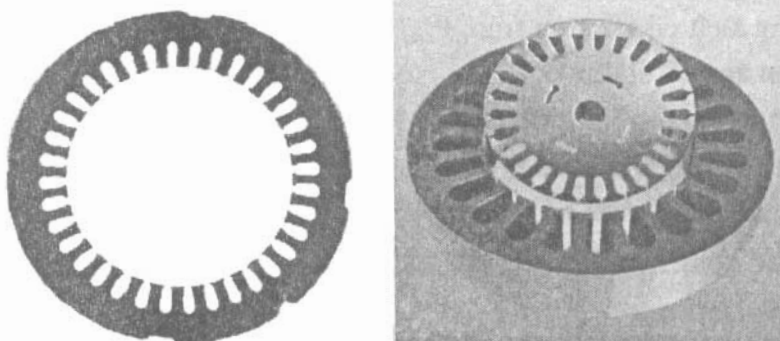


Hình 3.1. Cấu tạo động cơ điện không đồng bộ

### 3.2.1. Stato

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

#### a) Lõi thép



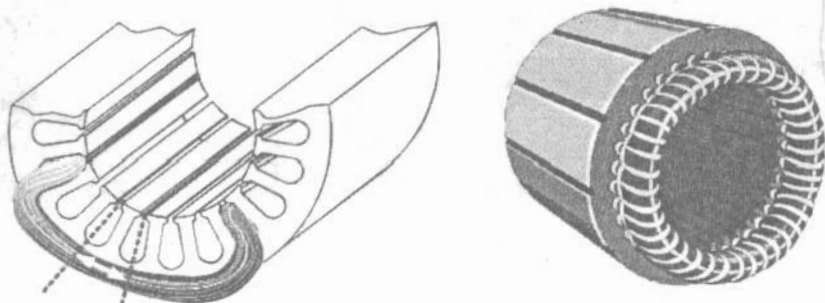
Hình 3.2. Lõi thép stato

Lõi thép stato hình trụ do các lá thép kỹ thuật điện dày 0,35 mm hoặc 0,5mm được dập rãnh bên trong (hình 3.2) ghép lại với nhau tạo thành các rãnh hướng trục. Khi đường kính ngoài > 990 mm thì phải dùng những tấm hình để quặt ép lại thành một khối tròn.

Nếu lõi thép ngắn thì các lá thép ghép thành một khối, nếu lõi thép dài quá các lá thép sẽ được ghép thành từng thép mỏng  $6 \div 8$  cm đặt cách nhau 1 cm để thông gió làm lạnh.

### b) Dây quấn

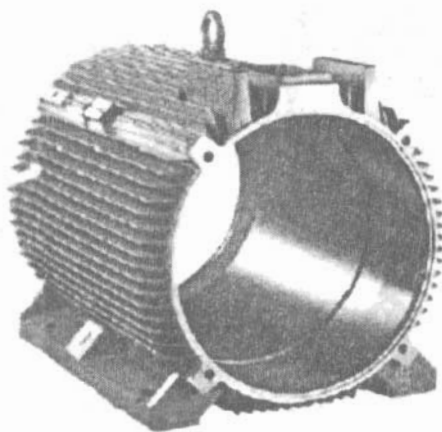
Dây quấn stato được đặt vào các rãnh của lõi sắt và được cách điện với lõi sắt (hình 3.3). Kiểu dây quấn, hình dạng và cách bố trí được trình bày ở phần sau.



Hình 3.3. Dây quấn stato

### c) Vỏ máy

Vỏ máy có tác dụng cố định lõi thép và dây quấn, không dùng làm mạch dẫn từ (hình 3.4). Vỏ máy thường làm bằng gang, với các máy có công suất tương đối lớn thường dùng thép tấm hàn lại. Tùy theo cách làm nguội mà vỏ máy có cấu tạo khác nhau.



Hình 3.4. Vỏ máy

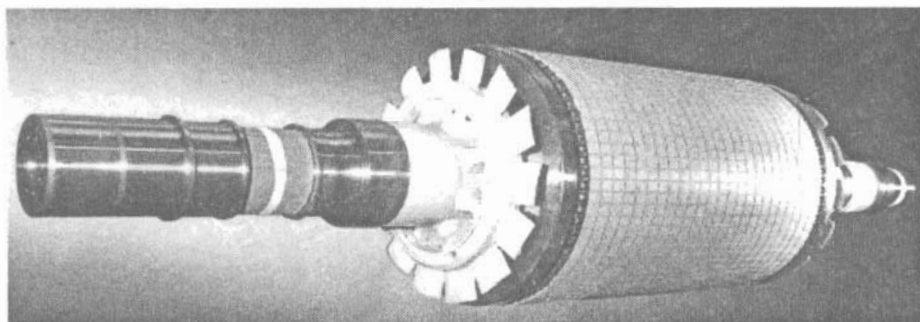
## 3.2.2. Rôto

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

### a) Lõi thép

Vật liệu như ở stato, lõi thép được ép trực tiếp lên trục máy hoặc lên một giá rôto của máy. Phía ngoài của lá thép có xẻ rãnh để đặt dây quấn.

### b) Dây quấn

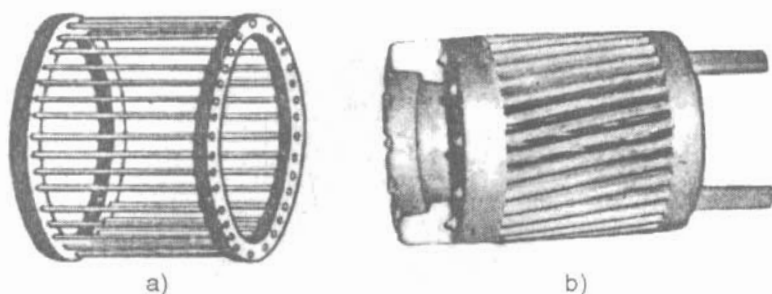


Hình 3.5. Dây quấn rôto

Dây quấn rôto máy điện không đồng bộ có hai kiểu : rôto ngắn mạch còn gọi là rôto lồng sóc và rôto dây quấn.

Loại rôto lồng sóc có công suất từ vài trăm W đến trên 100 kW. Trong các rãnh lõi thép rôto, đặt các thanh đồng hai đầu nối ngắn mạch bằng 2 vòng đồng tạo thành lồng sóc (hình 3.6a).

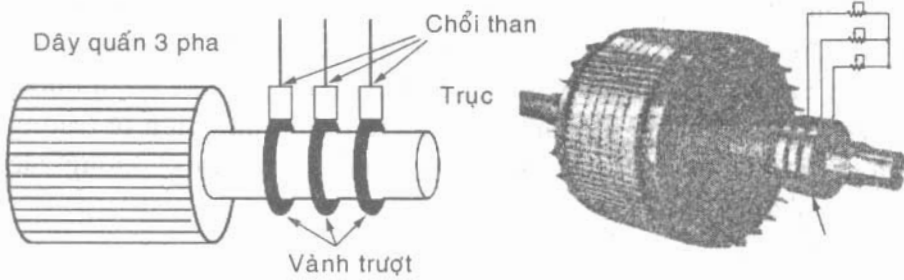
Với các máy điện nhỏ thì rôto lồng sóc được chế tạo bằng cách đúc nhôm (hình 3.6b).



Hình 3.6. Rôto

Loại rôto dây quấn giống như ở stato nhưng số vòng trên một cuộn ít hơn. Điều này làm giảm sức điện động cảm ứng khi dừng máy và cho phép làm giảm cách điện cuộn dây.

Đầu cuối của các dây quấn rôto được gắn trên ba vành trượt, 3 vành trượt này được cách điện với trục rôto. Thông qua chổi than, các vành trượt được nối với các điện trở 3 pha đối xứng có thể thay đổi ở bên ngoài (hình 3.7).



Hình 3.7. Động cơ không đồng bộ rôto dây quấn

### 3.3. TỪ TRƯỜNG CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

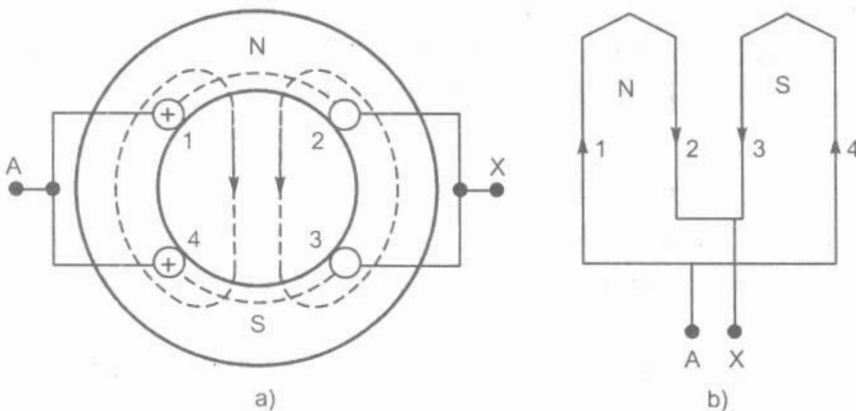
#### 3.3.1. Đại cương

Dòng điện chạy trong dây quấn của máy điện xoay chiều sẽ sinh ra từ trường dọc chu vi khe hở giữa stato và rôto. Tùy theo tính chất của dòng điện và loại dây mà máy có từ trường đập mạch hoặc từ trường quay.

#### 3.3.2. Từ trường đập mạch của dây quấn một pha

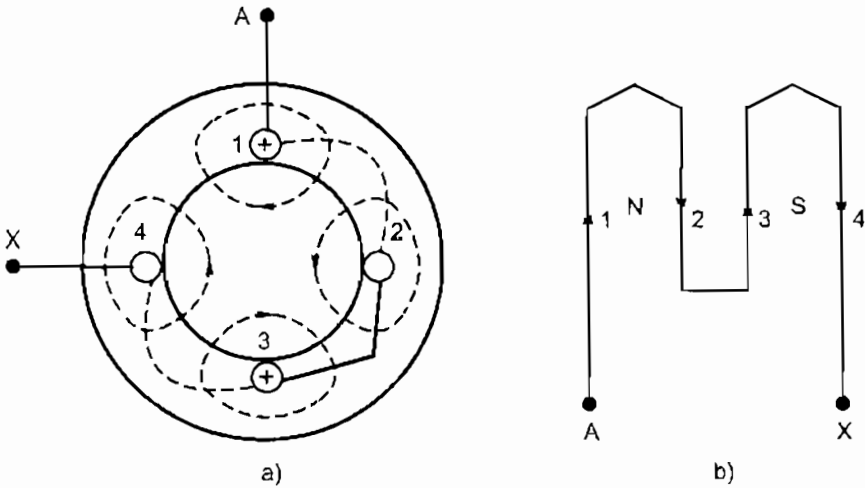
Từ trường của dây quấn một pha là từ trường có phương không đổi, song trị số và chiều biến đổi theo thời gian, được gọi là từ trường đập mạch.

Xét dây quấn một pha AX đặt trong 4 rãnh của stato (hình 3.8 a,b). Cho dòng điện một pha  $i_A = I_m \sin \omega t$  chạy qua dây quấn. Giả thiết chiều dòng điện trong các dây dẫn được vẽ trên hình 3.8b. Căn cứ vào chiều dòng điện, vẽ chiều từ trường theo quy tắc vụn nút chai. Dây quấn hình 3.8a tạo thành từ trường một đôi cực.



Hình 3.8. Từ trường đập mạch một đôi cực ( $p = 1$ ) của dây quấn một pha

Trường hợp đấu dây quấn như trên hình 3.9, ta sẽ được một từ trường đập mạch hai đôi cực. Chú ý rằng trên hình 3.8 dây quấn được chia làm hai nhóm nối song song, còn trên hình 3.9 dây quấn được mắc nối tiếp. Như vậy cuộn dây một pha tạo ra trong máy điện từ trường đập mạch. Với cách đấu nối các cuộn dây ta có thể tạo ra số lượng các cặp cực khác nhau.



Hình 3.9. Từ trường đập mạch 2 đôi cực ( $p=2$ ) của dây quấn một pha

### 3.3.3. Từ trường quay của dây quấn ba pha

#### a) Sự hình thành từ trường quay

Để dễ hiểu sự hình thành từ trường quay ta hãy xét trường hợp đơn giản nhất, stato gồm 6 rãnh, trong đó đặt ba dây quấn của ba pha AX, BY, CZ. Trục của cuộn dây đặt cách nhau trong không gian  $120^\circ$ , mỗi dây quấn chỉ có một phần tử đầu và cuối mỗi pha ghi như trên (hình 3.8).

Xét từ trường trong máy khi cho hệ thống điện ba pha đối xứng chạy qua các cuộn dây. Dòng điện trong các pha là:

$$i_A = I_{\max} \sin \omega t \quad (3.1a)$$

$$i_B = I_{\max} \sin(\omega t - 120^\circ) \quad (3.1b)$$

$$i_C = I_{\max} \sin(\omega t - 240^\circ) \quad (3.1c)$$

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

– Dòng điện pha nào dương có chiều đi từ đầu đến cuối pha, đầu đầu được ký hiệu bằng vòng tròn có dấu nhân ở giữa  $\otimes$ , còn đầu cuối ký hiệu bằng vòng tròn có dấu chấm ở giữa  $\odot$ . Dòng điện pha nào âm có chiều ngược lại.



B đầu ký hiệu  $\otimes$  còn cuối Y ký hiệu là  $\odot$ , dòng điện pha A và pha C được ký hiệu là đầu  $\odot$  cuối X, Z ký hiệu  $\otimes$ . Dùng quy tắc vặn nút chai xác định chiều đường sức từ trường do các dòng điện sinh ra. Trục của từ trường tổng trùng với trục của dây quấn pha B là pha có dòng điện cực đại.

– Thời điểm  $\omega t = 90^\circ + 240^\circ$ , là thời điểm sau thời điểm đầu 2/3 chu kỳ (hình 3.10c). Ở thời điểm này dòng điện pha C dương và cực đại, dòng điện pha A và pha B âm. Theo quy định như trên ta có pha C đầu ký hiệu  $\otimes$  còn cuối Z ký hiệu là  $\odot$ , dòng điện pha A và pha B được ký hiệu là đầu  $\odot$  cuối X, Y ký hiệu  $\otimes$  (xem hình 3.10c). Dùng quy tắc vặn nút chai xác định chiều đường sức từ trường do các dòng điện sinh ra. Trục của từ trường tổng trùng với trục của dây quấn pha C là pha có dòng điện cực đại.

Như vậy, với cách bố trí các cuộn dây stato như trên, từ trường trong máy điện là từ trường tổng do các cuộn dây sinh ra. Khi biểu diễn từ trường tổng bằng 1 vectơ thì vectơ này có độ dài không đổi và quay trong không gian với tốc độ xác định bởi tần số của dòng điện đặt vào các cuộn dây và sự bố trí các cuộn dây trên stato. Từ trường này là từ trường quay.

Với cách cấu tạo dây quấn stato như hình 3.10 thì từ trường quay trong máy là từ trường quay một đôi cực. Để có từ trường quay p đôi cực từ thì trục ba cuộn dây quấn stato phải cách nhau trong không gian một góc  $120^\circ/p$ .

Tốc độ từ trường quay phụ thuộc vào tần số của dòng điện stato và số đôi cực. Trong hình 3.10 khi dòng điện biến thiên một chu kỳ, từ trường quay được một vòng. Vậy khi từ trường có một đôi cực, tốc độ của từ trường quay là  $n_1 = f$  (vòng/giây). Khi từ trường có hai đôi cực tốc độ từ trường quay là  $n_1 = f/2$  (vòng/giây). Một cách tổng quát, khi từ trường quay có p đôi cực thì tốc độ từ trường quay là  $n_1 = f/p$  (vòng/giây).

#### **b) Tính chất của từ trường quay do hệ thống điện ba pha đối xứng gây nên**

– Từ trường quay có độ lớn không đổi và bằng 3/2 từ trường cực đại một pha.

– Nếu thay đổi thứ tự hai trong ba pha cho nhau, thì chiều quay từ trường sẽ thay đổi.

### 3.4. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ BA PHA

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

Khi nối dây quấn stato với lưới điện xoay chiều ba pha, hệ thống dòng điện xoay chiều ba pha chạy vào dây quấn sẽ sinh ra từ trường quay, quay với tốc độ  $n_1 = 60f/p$ . Từ trường quay này cắt các thanh dẫn của dây quấn rôto và cảm ứng trong đó các sức điện động  $E_2$ . Vì dây quấn rôto nối ngắn mạch, nên sức điện động cảm ứng sẽ sinh ra dòng điện  $I_2$  trong các thanh dẫn rôto. Thanh dẫn rôto có dòng điện  $I_2$  nằm trong từ trường quay sẽ chịu lực tác dụng tương hỗ, tạo thành mômen tác dụng lên rôto, làm rôto quay với tốc độ  $n$ .

Để minh họa, ta xét từ trường quay  $\vec{B}$  của stato đang quay theo chiều kim đồng hồ với tốc độ  $n_1$  (hình 3.11). Lúc đó, thanh dẫn a của rôto đang chuyển động trong từ trường  $\vec{B}$  với tốc độ  $\vec{v}$  nên trong thanh dẫn a của rôto cảm ứng sức điện động  $e_2$  có chiều cho bởi  $\vec{e}_2 = I \times \vec{B} \times \vec{v}$ , tức là  $e_2$  hướng từ trước ra sau. Vì rôto nối ngắn mạch nên  $E_2$  tạo ra dòng  $I_2$  cùng chiều  $E_2$ .

Tốc độ  $n$  của máy luôn nhỏ hơn tốc độ từ trường quay  $n_1$  vì nếu như bằng nhau thì không có sự chuyển động tương đối.

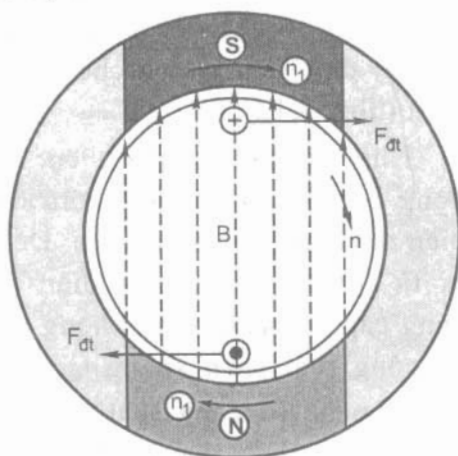
Độ chênh lệch giữa tốc độ từ trường quay và tốc độ máy gọi là tốc độ trượt  $n_2$ :

$$n_2 = n_1 - n \quad (3.2)$$

$$\text{Hệ số trượt của tốc độ là: } s\% = \frac{n_1 - n}{n_1} \cdot 100 \quad (3.3)$$

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

$$n = n_1(1 - s) = \frac{60f}{p}(1 - s) \quad (\text{vg/ph}) \quad (3.4)$$



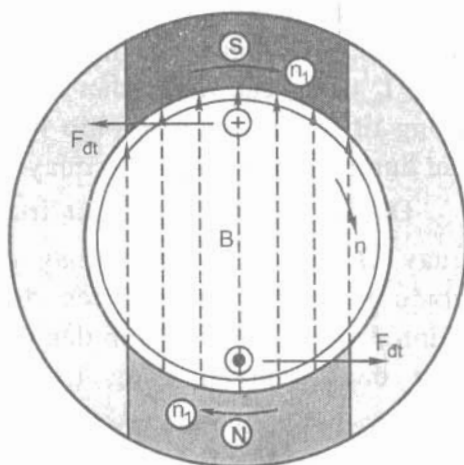
Hình 3.11. Tốc độ động cơ



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

Nếu stato vẫn nối với lưới điện, nhưng trục rôto không nối với tải mà nối với một động cơ sơ cấp thì dùng động cơ sơ cấp kéo rôto quay cùng chiều với  $n_1$  và với tốc độ  $n$  lớn hơn tốc độ từ trường quay. Lúc đó chiều của từ trường quay quét qua dây dẫn sẽ ngược lại. Sức điện động và dòng điện trong dây dẫn rôto cùng đổi chiều nên chiều của mômen điện từ cũng ngược với chiều quay  $n_1$ , nghĩa là ngược với chiều của rôto, nên đó là mômen hãm. Máy đã biến cơ năng tác dụng lên động cơ 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 (hình 3.12).

Nhờ từ trường quay, cơ năng động cơ sơ cấp đưa vào rôto được biến thành điện năng ở stato. Để tạo ra từ trường quay, lưới điện phải cung cấp cho máy phát không đồng bộ công suất phản kháng  $Q$ , vì thế làm cho hệ số công suất  $\cos\varphi$  của lưới điện thấp đi. Đó là nhược điểm máy phát điện không đồng bộ, vì thế ít khi dùng máy phát không đồng bộ.



Hình 3.12. Chế độ máy phát

### 3.5. MÔ HÌNH TOÁN VÀ SƠ ĐỒ THAY THẾ ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ BA PHA

Căn cứ vào cấu tạo, nguyên lý làm việc của máy điện ta có nhận xét: Nếu ghìm không cho rôto quay thì động cơ điện ba pha tương tự như máy biến áp ba pha. Dây quấn stato tương tự như dây quấn sơ cấp của máy biến áp. Khi có dòng điện ba pha chạy vào, dây quấn stato này sẽ tạo ra một từ trường quay với tốc độ  $n_1$  và có độ lớn không đổi, từ thông qua các cuộn dây sẽ biến thiên hình sin theo thời gian với tần

$$\text{số } f = \frac{pn_1}{60}.$$

### 3.5.1. Phương trình điện áp dây quấn stato

Tương tự như ở máy biến áp ta cũng có phương trình dây quấn stato

$$U_1' = I_1 Z_1 - E_1' \quad (3.5)$$

Trong đó:  $Z_1 = R_1 + jX_1$

$R_1$  là điện trở của dây quấn stato,  $X_1 = 2\pi f L_1$  là điện kháng tản dây quấn stato, đặc trưng cho từ thông tản stato.

$f$ : là tần số dòng điện;

$L_1$ : là điện cảm tản stato.

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

$$E_1 = 4,44 f_1 w_1 k_{dq1} \Phi_{\max} \quad (3.6)$$

Hệ số dây quấn  $k_{dq1} < 1$ , nói lên sự giảm sức điện động của dây quấn do quấn rải trên các rãnh và bước rút ngắn.

### 3.5.2. Phương trình dây quấn rôto

#### a) Sức điện động trong dây quấn động cơ không đồng bộ ba pha

Căn cứ vào cấu tạo, nguyên lý làm việc của máy điện ta có nhận xét: Nếu ghìm không cho rôto quay thì động cơ điện ba pha tương tự như máy biến áp ba pha. Dây quấn stato tương tự như dây quấn sơ cấp của máy biến áp. Khi có dòng điện ba pha chạy vào dây quấn stato này sẽ tạo ra một từ trường quay với tốc độ  $n_1$  và có độ lớn không đổi và từ thông qua các cuộn dây biến thiên hình sin theo thời gian với tần số

$$f_1 = \frac{pn_1}{60} \text{ và làm cảm ứng trong mỗi pha của dây quấn stato một sức điện}$$

động hình sin có trị số hiệu dụng:

$$E_1 = 4,44 \cdot f_1 \cdot w_1 \cdot k_{dq1} \cdot \Phi_m \quad (3.7)$$

Còn dây quấn rôto tương tự như dây quấn thứ cấp của máy biến áp, từ trường quay sẽ cảm ứng trong nó sức điện động cảm ứng trong dây quấn rôto và có trị số hiệu dụng:

$$E_2 = 4,44 \cdot f_1 \cdot w_2 \cdot k_{dq2} \cdot \Phi_m \quad (3.8)$$

Trong đó  $w_1, w_2, k_{dq1}, k_{dq2}$  tương ứng là số vòng dây, hệ số dây quấn của stato và rôto.

Nhưng thực tế rôto quay với tốc độ  $n$  (vg/ph), nên sức điện động cảm ứng trong dây quấn rôto khi quay có tần số:

$$f_2 = \frac{pn_2}{60} = \frac{p(n_1 - n)}{60} \cdot \frac{n_1}{n_1} = sf_1 \quad (3.9)$$

Trị số hiệu dụng của sức điện động cảm ứng trong dây quấn rôto khi quay là:

$$E_{2s} = 4,44f_2w_2k_{dq2}\Phi_{max} = 4,44sf_1w_2k_{dq2}\Phi_{max} = sE_2 \quad (3.10)$$

Nhận xét:

- Khi mở máy  $n = 0 \rightarrow s = 1$ ,  $E_{2s} = E_2$  sức điện động cảm ứng của rôto có trị số lớn nhất.

- Khi máy chạy không tải  $n \approx n_1 \rightarrow s \approx 0 \rightarrow E_{2s} \approx 0$  sức điện động cảm ứng rôto có trị số nhỏ nhất.

### b) Dòng điện trong dây quấn động cơ không đồng bộ ba pha

Dòng điện chạy trong dây quấn rôto, do sức điện động cảm ứng trong dây quấn sinh ra phụ thuộc vào điện trở và cảm kháng của rôto. Nếu mạch rôto có điện trở là  $R_2$ , cảm kháng có hệ số tự cảm là  $L_2$ , ta có:

- Cảm kháng lúc rôto đứng yên:

$$X_2 = \omega_2 L_2 = 2\pi f_1 L_2$$

- Cảm kháng của rôto lúc rôto quay:

$$X_2 = \omega_2 L_2 = 2\pi f_2 L_2 = 2\pi f_1 s L_2 = sX_2 \quad (3.11)$$

- Tổng trở của rôto là:

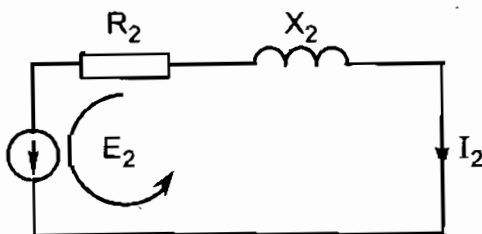
$$Z_{2s} = \sqrt{R_2^2 + (sX_2)^2} \quad (3.12)$$

Chọn chiều  $E_{2s}$  và  $I_2$  như hình vẽ 3.13.

- Theo định luật Ôm ta có dòng điện trong dây quấn rôto :

$$-sE_2 = I_2(R_2 + jsX_2) \rightarrow$$

$$I_2 = \frac{sE_2}{\sqrt{R_2^2 + (sX_2)^2}} \quad (3.13)$$



Hình 3.13. Sơ đồ mạch rôto động cơ KĐB ba pha

Ta thấy dòng điện rôto còn phụ thuộc vào hệ số trượt  $s$ . Nếu rôto bị ghì lại không quay được, thì dòng điện chạy trong rôto có trị số lớn nhất, trường hợp này có thể coi như động cơ bị ngắn mạch.

### 3.5.3. Phương trình sức từ động của động cơ không đồng bộ

Khi động cơ làm việc, từ trường quay trong máy do dòng điện của cả hai dây quấn sinh ra. Dòng điện trong dây quấn stato sinh ra từ

trường quay stato với tốc độ  $n_1$  so với stato. Dòng điện trong dây quấn rôto sinh ra từ trường quay rôto quay với tốc độ  $n_2$  so với rôto bằng:

$$n_2 = \frac{60f_2}{p} = \frac{60f_1s}{p} = n_1s$$

Vì rôto quay đối với stato có tốc độ  $n$ , nên từ trường rôto quay đối với stato có tốc độ là:  $n_2 + n = sn_1 + n = sn_1 + n_1(1 - s) = n_1$

Vậy từ trường quay stato và từ trường quay rôto quay cùng với tốc độ  $n_1$ , nên từ trường tổng hợp là từ trường quay với tốc độ  $n_1$ .

Cũng lý luận tương tự như ở máy biến áp, từ thông  $\Phi_m$  có trị số hầu như không đổi ứng với chế độ không tải và có tải. Do đó ta có thể viết phương trình sức từ động của động cơ:

$$m_1w_1k_{dq1}I_1 - m_2w_2k_{dq2}I_2 = m_1w_1k_{dq1}I_0$$

Trong đó:  $- I_0$  là dòng điện stato lúc không tải.

$- I_1, I_2$  là dòng điện stato và rôto khi có tải.

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

$- k_{dq1}, k_{dq2}$  là hệ số dây quấn stato và rôto.

Chia cả hai vế cho  $m_1w_1k_{dq1}$  và đặt:

$$\frac{I_2}{\frac{m_1w_1k_{dq1}}{m_2w_2k_{dq2}}} = \frac{I_2}{k_i} = I_2'$$

$$\text{Ta có: } I_1 = I_0 + I_2' \quad (3.14)$$

### 3.5.4. Sơ đồ thay thế

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

Ta viết lại phương trình điện áp stato là:

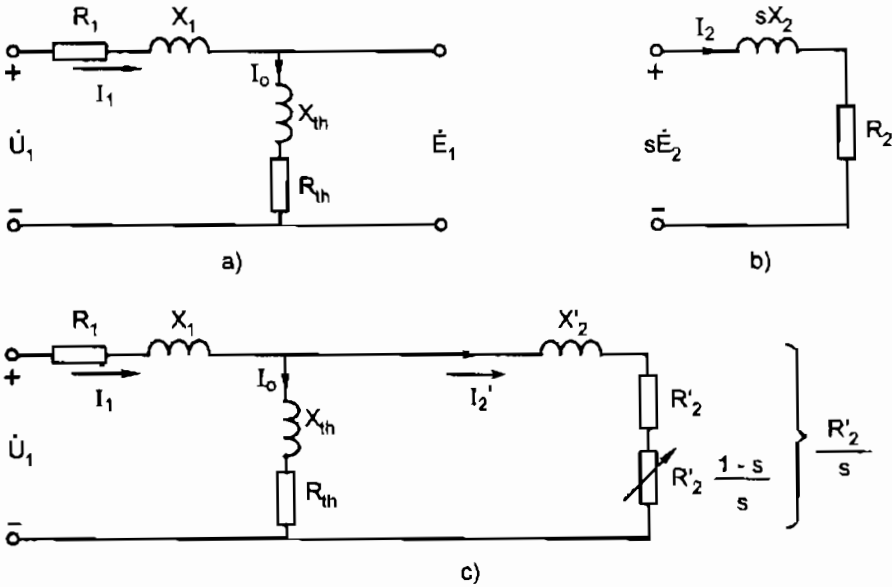
$$U_1 = I_1Z_1 - E_1 \quad (3.15)$$

Mạch điện tương đương phương trình cân bằng điện áp phía stato (3.15) được trình bày trên hình 3.14a, giống dây quấn sơ cấp của máy biến áp.

Từ phương trình 3.13 là phương trình mạch điện rôto lúc quay, trong đó dòng điện  $I_2$  và sức điện động  $E_2$ , có tần số  $f_2 = sf_1$

$$0 = sE_2 + \dot{I}_2(R_2 + jsX_2) \quad (3.16)$$

Mạch điện tương đương phương trình cân bằng điện áp ở dây quấn rôto theo phương trình 3.16, trình bày trên hình 3.14b.



Hình 3.14. Sơ đồ thay thế động cơ điện không đồng bộ ba pha

Chia (3.16) cho  $s$  ta có:

$$0 = \dot{E}_2 + \dot{I}_2 \left( \frac{R_2}{s} + jX_2 \right) \quad (3.17)$$

Nhân phương trình 3.17 với  $k_c$ , chia và nhân với  $k_i$  ta có:

$$0 = k_c \dot{E}_2 + \frac{\dot{I}_2}{k_i} \left( \frac{R_2}{s} k_c k_i + jX_2 k_c k_i \right) \quad (3.18a)$$

$$0 = \dot{E}'_2 + \dot{I}'_2 \left( \frac{R'_2}{s} + jX'_2 \right) \quad (3.18b)$$

$$0 = \dot{E}'_2 + \dot{I}'_2 \left( R'_2 \frac{1-s}{s} + R'_2 + jX'_2 \right) \quad (3.18c)$$

Trong đó:  $E'_2 = k_c E_2 = E_1$  là sức điện động pha rôto quy đổi về stato.

$I'_2 = I_2/k_i$  là dòng điện rôto quy đổi về stato.

$R'_2 = k_c k_i R_2$  là điện trở rôto quy đổi về stato.

$X'_2 = k_c k_i X_2$  là điện kháng rôto quy đổi về stato.

$R'_2/s = R'_2 + R_{cv}$  và  $R_{cv} = R'_2(1-s)/s$  đặc trưng cho công suất cơ trên trục động cơ.

Cuối cùng ta có phương trình cơ bản lúc rôto quay là:

$$\begin{cases} U_1 = \dot{I}_1 Z_1 - \dot{E}_1 \\ 0 = \dot{E}'_2 + \dot{I}'_2 \left( R'_2 \frac{1-s}{s} + R'_2 + jX'_2 \right) \\ I_1 = I_0 + I'_2 \end{cases} \quad (3.19)$$

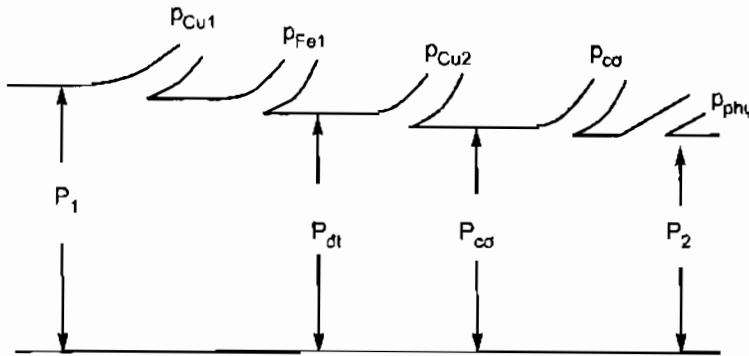
### 3.6. BIỂU ĐỒ NĂNG LƯỢNG VÀ HIỆU SUẤT ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

Động cơ điện lấy điện năng từ lưới vào với  $P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1$ . Một phần nhỏ 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  $p_{Fe} = m_1 I_0^2 r_{th}$ , còn lại phần lớn công suất điện từ  $P_{dt}$  truyền qua rôto.

Như vậy: 
$$P_{dt} = P_1 - p_{Cu1} - p_{Fe1} = m_1 I_2'^2 \frac{R_2'}{s} \quad (3.20)$$

Vì trong rôto có dòng điện nên có tổn hao đồng trong rôto:

$$p_{Cu2} = m_1 I_2'^2 R_2' \quad (3.21)$$



Hình 3.15. Biểu đồ năng lượng động cơ điện không đồng bộ

Do đó công suất cơ của động cơ:

$$P_{cc} = P_{dt} - p_{Cu2} = m_1 I_2'^2 \left( \frac{1-s}{s} \right) R_2' \quad (3.22)$$

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  $p_{cc}$  và tổn hao phụ, nghĩa là:

$$P_2 = P_{cc} - (p_{cc} + p_f) \quad (3.23)$$

Như vậy tổng tổn hao trong động cơ điện:

$$\Sigma p = p_{Cu1} + p_{Fe1} + p_{Cu2} + p_{cc} + p_f \quad (3.24)$$

và công suất đưa ra đầu trục:

$$P_2 = P_1 - \Sigma p \quad (3.25)$$

Biểu đồ năng lượng như hình 3.14.

Hiệu suất của động cơ điện:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = 1 - \frac{\Sigma p}{P_1} \quad (3.26)$$

**Ví dụ 3.1.** Động cơ không đồng bộ ba pha nối Y có công suất  $P_{dm} = 10 \text{ kW}$ ;  $U_{dm} = 380 \text{ V}$ ;  $f = 50\text{Hz}$ ;  $2p = 4$ ;  $n_{dm} = 1450 \text{ vg/ph}$ . Tổn hao cơ và phụ là  $900 \text{ W}$ . Xác định:

- Công suất cơ.
- Công suất điện từ.
- Tổn hao đồng trong dây quấn rôto.

**Lời giải:** a) Công suất cơ của động cơ

$$P_{cơ} = P_2 + p_{cơ} + p_r = 10000 + 900 = 10900 \text{ W}$$

b) Công suất điện từ

$$P_{dt} = P_{cơ} / (1 - s) = 10900 / (1 - 0,033) \approx 11271 \text{ W}$$

Trong đó:

$$n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ (vg/ph)}$$

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{1500 - 1450}{1500} = 0,033$$

c) Tổn hao đồng trong dây quấn rôto

$$p_{Cu2} = s \cdot P_{dt} = 0,033 \cdot 11271 = 372 \text{ W}$$

### 3.7. ĐẶC TÍNH CƠ CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Theo quan điểm năng lượng thì động cơ điện là thiết bị biến đổi điện cơ, biến đổi năng lượng điện của lưới điện đặc trưng bằng công suất điện  $P_{dt} = UI \cos \varphi$  thành năng lượng cơ trên trục của động cơ  $P_{cơ} = M \cdot \omega$ . Một đặc tính quan trọng cần xét đối với động cơ là đặc tính cơ của động cơ. Đó là quan hệ giữa mômen do động cơ sinh ra ( $M_{dc} = M_{dt} - M_{cơ}$ ) và tốc độ động cơ  $\omega$  (hoặc hệ số trượt  $s = \omega_1 - \omega$ ). Quan hệ này phụ thuộc vào các thông số động cơ và thông số của nguồn cung cấp. Trong mục này, trên cơ sở định luật bảo toàn năng lượng sẽ

đưa ra biểu thức của đặc tính cơ ở dạng cơ sự phụ thuộc vào các thông số động cơ và nguồn.

Cũng giống như các máy điện khác, động cơ điện KĐB lúc làm việc phải khắc phục mômen tải bao gồm mômen không tải  $M_0$  và mômen cản của tải  $M_2$ . Vì vậy phương trình cân bằng mômen của động cơ điện KĐB lúc làm việc ổn định là:

$$M = M_0 + M_2 \quad (3.27)$$

Trong đó:

$M$  – mômen điện từ của động cơ điện;

$$\text{Với } M_0 = \frac{P_{c0} + P_f}{\omega}, \quad M_2 = \frac{P_2}{\omega}$$

trong đó:  $\omega = \frac{2\pi n}{60}$  là tốc độ góc của rôto,  $n$  là tốc độ quay rôto.

Biểu thức (3.27) có thể viết dưới dạng:

$$M = \frac{P_{c0} + P_f + P_2}{\omega} = \frac{P_{c0}}{\omega} \quad (3.28)$$

Mặt khác mômen điện từ do từ trường quay  $n_1$  và dòng điện rôto  $I_2$  tác dụng với nhau sinh ra và từ trường đó quay với tốc độ đồng bộ  $n$ , do đó quan hệ giữa mômen điện từ và công suất điện từ như sau:

$$M = \frac{P_{dt}}{\omega_1} \quad (3.29)$$

$\omega_1$  là tốc độ góc của từ trường quay:  $\omega_1 = \frac{\omega}{p}$  ( $p$ : số đôi cực)

Từ (3.28) và (3.29) ta rút ra được:

$$P_{c0} = \frac{\omega}{\omega_1} = \frac{n}{n_1} P_{dt} = (1-s)P_{dt} \quad (3.30)$$

Và tổn hao đồng trên rôto bằng:  $P_{Cu2} = P_{dt} - P_{c0} = sP_{dt}$  (3.31)

Thường chúng ta dùng sơ đồ thay thế của máy điện KĐB để tính ra mômen điện từ theo hệ số trượt  $s$  (hình 3.14), khi bỏ qua dòng từ hoá  $I_{th}$  dòng  $I_2'$  được tính là:

$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_1 + X_2')^2}} \quad (3.32)$$

$$P_{dt} = 3I_2'^2 \frac{R_2'}{s} = M\omega_1 = \frac{M\omega}{p} \quad (3.33)$$



Từ đó ta có quan hệ giữa mômen điện từ với hệ số trượt  $s$ :

$$M = \frac{3pU_1^2 R'_2}{s\omega[(R_1 + \frac{R'_2}{s})^2 + (X_1 + X'_2)^2]} \quad (3.34)$$

Từ (3.33) ta rút ra những nhận xét 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 khi tần số cho trước.

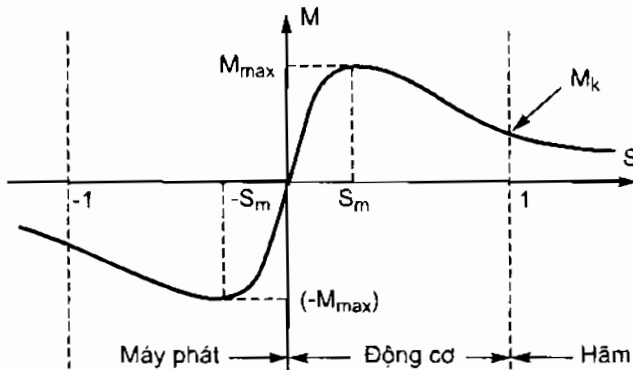
Muốn tìm mômen cực đại ta lấy đạo hàm  $\frac{dM}{ds} = 0$  và được hệ số trượt  $s_{th}$  ứng với mômen cực đại  $M_{max}$ .

$$s_{th} = \frac{R'_2}{R_1 + X_1 + X'_2} \quad (3.35)$$

$$M_{max} = \frac{3pU_1^2}{2\omega[R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X'_2)^2}]} = \frac{3pU_1^2}{2\omega(R_1 + X_1 + X'_2)} \quad (3.36)$$

Nhận xét về mômen cực đại:

- Với tần số và tham số cho trước  $M_{max}$  tỷ lệ với  $U_1^2$ .
- $M_{max}$  không phụ thuộc vào điện trở rôto.
- Điện trở rôto  $R'_2$  càng lớn thì  $s_{th}$  càng lớn.



Hình 3.16. Quan hệ  $M = f(s)$

Mô men mở máy có thể tìm được khi thay  $s = 1$  vào biểu thức (3.34), ta có:

$$M_k = \frac{3pU_1^2 R'_2}{2\pi f_1 [(R_1 + R'_2)^2 + (X_1 + X'_2)^2]} \quad (3.37)$$

Muốn cho khi mở máy  $M_k = M_{max}$  thì phải tăng điện trở rôto  $R_2'$  lên, điều đó được thực hiện khi:

$$s_{th} = \frac{R_2'}{X_1 + X_2'} = 1 \quad (3.38)$$

Trong thực tế thường không biết các tham số của máy điện KĐB nên có thể dùng công thức Klox:

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

Trong đó :  $s_{th}$  – hệ số trượt tới hạn ;

$s$  – hệ số trượt định mức của động cơ.

### 3.8. MỞ MÁY ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ BA PHA

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 phải lớn hơn mômen tải tĩnh và mômen ma sát tĩnh, đồng thời mômen động cơ phải đủ lớn để thời gian mở máy nằm trong phạm vi cho phép.

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:

$$I_{mm} = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R_2')^2 + (X_2 + X_2')^2}} = (3 \div 7)I_{dm} \quad (3.39)$$

Yêu cầu khi khởi động động cơ:

- Mômen mở máy phải lớn để thích ứng với đặc tính tải.
- Dòng điện mở máy càng nhỏ càng tốt để không ảnh hưởng tới các phụ tải khác.
- Thời gian mở máy nhanh.
- Thiết bị khởi động đơn giản, rẻ tiền, tin cậy và ít tổn năng lượng.

#### 3.8.1. Khởi động trực tiếp

Trên hình 3.17 là sơ đồ nối dây khởi động trực tiếp động cơ không đồng bộ. Đóng cầu dao CD nối trực tiếp dây quấn stato vào lưới điện. Khuyết điểm của phương pháp này là dòng điện mở máy lớn, làm sụt điện áp mạng nhiều, nếu quán tính của máy lớn, thời gian mở máy sẽ rất

lâu, có thể làm cháy nổ các thiết bị bảo vệ. Vì vậy phương pháp này chỉ dùng được khi động cơ công suất nhỏ hay khi công suất nguồn điện lớn hơn công suất động cơ nhiều, việc mở máy sẽ rất nhanh và đơn giản.

Khi chọn mở máy trực tiếp ta dựa vào công thức kinh nghiệm sau:

$$\frac{I_{m\acute{o}}}{I_{dm}} \leq \frac{3}{4} + \frac{P_{nguồn}}{P_{dm}} \quad (3.40)$$

### 3.8.2. Giảm điện áp khi mở máy

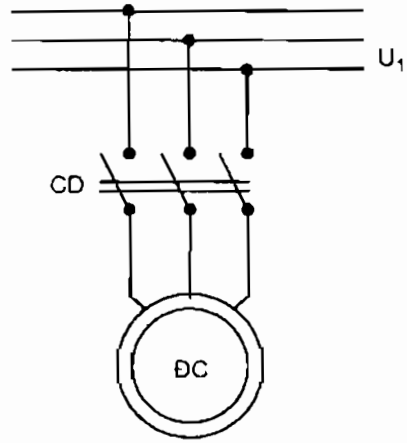
Khi mở máy ta giảm điện áp đặt vào động cơ để giảm dòng điện mở máy. Nhược điểm của phương pháp này là mômen mở máy giảm xuống rất nhiều, vì thế nó chỉ sử dụng được đối với trường hợp không yêu cầu mômen mở máy lớn. Ta có các phương pháp mở máy sau:

a) Dùng điện kháng nối tiếp vào mạch stato (hình 3.18)

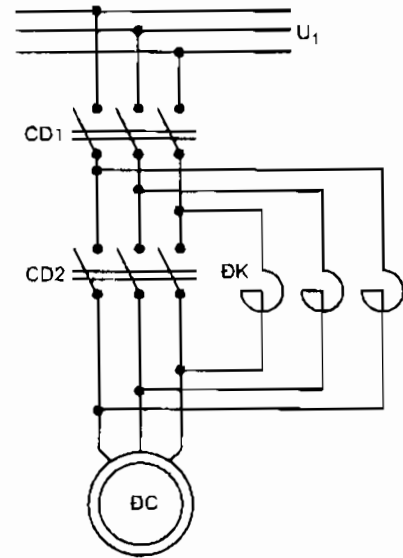
Điện áp mạng điện đặt vào động cơ qua điện kháng. Lúc mở máy, cầu dao CD2 mở, cầu dao CD1 đóng. Khi động cơ đã quay ổn định thì đóng cầu dao CD2 để ngắn mạch điện kháng. Điều chỉnh trị số của điện kháng thì có thể có được dòng điện mở máy cần thiết. Do có điện áp rơi trên điện kháng nên điện áp mở máy trên đầu cực động cơ là điện áp  $U_k$  sẽ nhỏ hơn điện áp lưới. Nếu điện áp giảm đi  $k$  lần thì dòng điện sẽ giảm đi  $k$  lần, nhưng mômen giảm đi  $k^2$  lần. Vì mômen tỷ lệ với bình phương của điện áp.

b) Dùng máy biến áp tự ngẫu (hình 3.19)

Điện áp mạng điện đặt vào sơ cấp máy biến áp tự ngẫu. Điện áp thứ cấp máy biến áp tự ngẫu đưa vào động cơ. Thay đổi vị trí con chạy để cho lúc mở máy điện áp đặt vào động cơ nhỏ, sau đó dần dần tăng lên



Hình 3.17. Mở máy trực tiếp

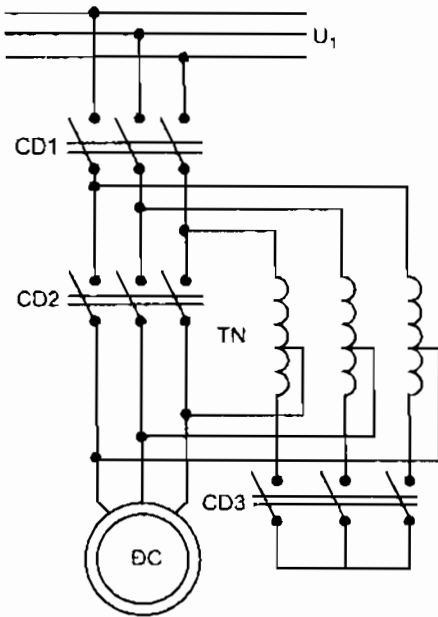


Hình 3.18. Mở máy bằng cuộn kháng

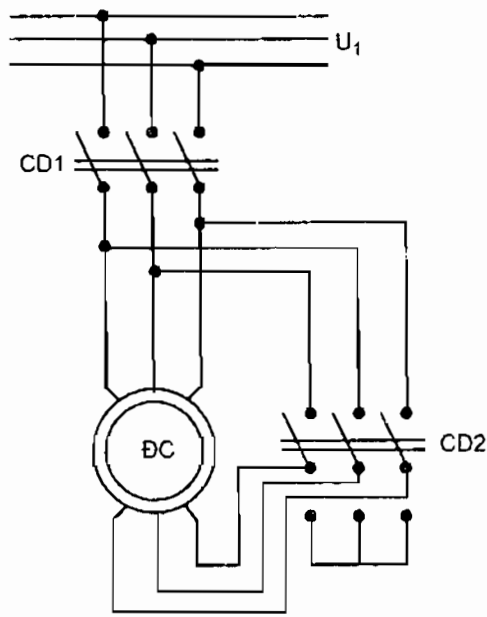
bằng định mức. Gọi  $k$  là hệ số biến áp của máy biến áp,  $U_1$  là điện áp pha lưới điện,  $Z_n$  là tổng trở động cơ lúc mở máy. Điện áp pha đặt vào động cơ lúc mở máy là: 
$$U_{dc} = \frac{U_1}{k} \quad (3.41)$$

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

$$I_{dc} = \frac{U_{dc}}{Z_n} = \frac{U_1}{kZ_n} \quad (3.42)$$



Hình 3.19. Mở máy bằng biến áp tự ngẫu



Hình 3.20. Mở máy bằng phương pháp đổi nối Y/Δ

Dòng điện cung cấp cho động cơ lúc có máy tự ngẫu là dòng sơ cấp tự ngẫu:

$$I_{dc} = \frac{U_{dc}}{Z_n} = \frac{U_1}{k^2 Z_n} \quad (3.43)$$

Dòng điện khi máy mở trực tiếp là: 
$$I_1 = \frac{U_1}{Z_{n1}} \quad (3.44)$$

So sánh (3.43) và (3.44) ta thấy, lúc có máy biến áp tự ngẫu, dòng điện của lưới giảm đi  $k^2$  lần và mômen giảm xuống  $k^2$  lần. Đây là một ưu điểm so với phương pháp dùng điện kháng. Vì thế phương pháp dùng máy tự biến áp được dùng nhiều với động cơ công suất lớn.

### c) Phương pháp đổi nối Y/Δ (hình 3.20)

Phương pháp này chỉ dùng được với những động cơ khi làm việc bình thường dây quấn stator đấu hình Δ. Khi mở máy ta đổi thành Y, như vậy điện áp đưa vào hai đầu mỗi pha chỉ còn  $\frac{U_1}{\sqrt{3}}$ . Sau khi máy chạy rồi đổi thành hình Δ.

Theo phương pháp đấu Y – Δ thì khi dây quấn đấu Y, điện áp pha trên dây quấn là:  $U_f = \frac{1}{\sqrt{3}} U_1$ ;  $I_f = \frac{I_{kf}}{\sqrt{3}}$ ;  $M' = \frac{1}{3} M$

Khi mở máy trực tiếp, dây quấn stator đấu hình Δ thì:

$$I = \sqrt{3} I_f \quad U_f = U_1$$

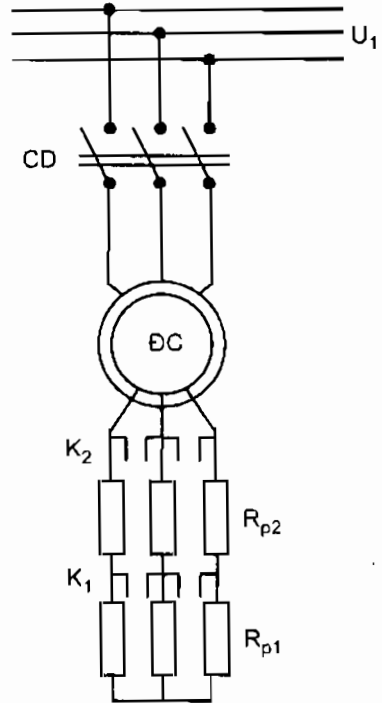
Nghĩa là mômen mở máy giảm 1/3 lần mômen khi mở máy trực tiếp.

### 3.8.3. Mở máy động cơ rôto dây quấn (hình 3.21)

Phương pháp này chỉ thích hợp với những động cơ điện rôto dây quấn vì đặc điểm của loại động cơ này là có thể thêm điện trở phụ vào cuộn dây rôto. Sau khi máy đã quay, để giữ một mômen điện từ nhất định trong quá trình mở máy, ta cắt dần điện trở thêm vào rôto làm cho quá trình tăng tốc của động cơ thay đổi từ đường  $M = f(s)$  này sang đường  $M = f(s)$  khác.

Dùng động cơ điện rôto dây quấn có thể đạt được mômen mở máy lớn, đồng thời có dòng điện mở máy nhỏ nên những nơi nào mở máy khó khăn dùng động cơ loại này.

Nhược điểm của động cơ điện rôto dây quấn là rôto dây quấn chế tạo phức tạp hơn loại rôto lồng sóc nên đắt hơn, bảo quản cũng khó khăn hơn.



Hình 3.21. Mở máy bằng điện trở phụ

### 3.9. 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 nhược điểm của nó và chưa giải quyết được toàn bộ các vấn đề như phạm vi điều chỉnh, năng lượng tiêu thụ, độ bằng phẳng khi điều chỉnh và thiết bị sử dụng.

Các phương pháp điều chỉnh chủ yếu có thể thực hiện:

– 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.

– 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.

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

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. Có nhiều cách để thay đổi số đôi cực của dây quấn stato.

– Đổi cách nối để có số đôi cực khác nhau. Dùng trong động cơ điện hai tốc độ theo tỷ lệ 2:1.

– Trên rãnh stato đặt 2 dây quấn độc lập có số đôi cực khác nhau, thường để đạt 2 tốc độ theo tỷ lệ 4:3 hay 6:5.

– Trên rãnh stato có đặt 2 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.

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.

Ngược lại, dây quấn rôto lồng sóc 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.

Mặc dù điều chỉnh tốc độ nhảy cấp, nhưng có ưu điểm giữ nguyên độ cứng của đặc tính cơ.

#### 3.9.2. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi tần số

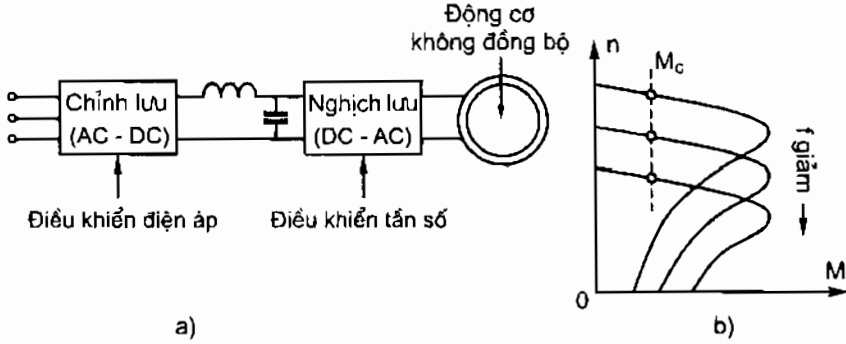
$$\text{Tốc độ của động cơ KĐB } n = n_1(1-s) = \frac{60f}{p}(1-s)$$

Khi hệ số trượt thay đổi ít thì tốc độ tỷ lệ thuận với tần số.

Mặt khác từ biểu thức  $E_1 = 4.44f_1 w_1 k_{dq} \Phi_{max}$  ta nhận thấy  $\Phi_{max}$  tỷ lệ thuận với  $E_1/f_1$ .

Người ta mong muốn giữ cho  $\Phi_{max} = const$ .

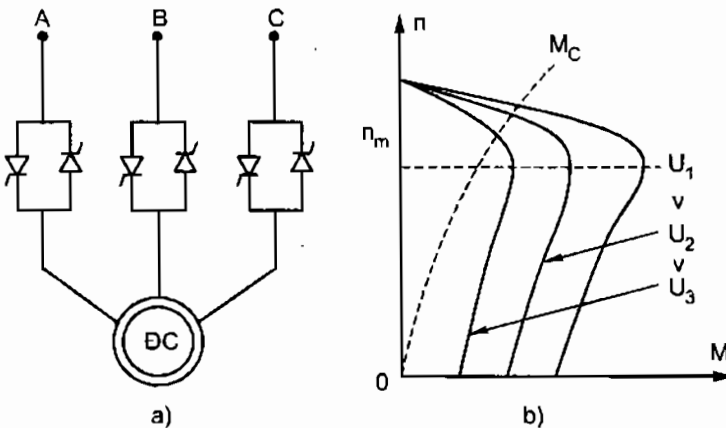
Muốn vậy phải điều chỉnh đồng thời cả  $\frac{E}{f}$ , có nghĩa là phải sử dụng một nguồn điện đặc biệt, đó là các bộ biến tần công nghiệp.



Hình 3.22. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi tần số

Do sự phát triển mạnh mẽ của kỹ thuật vi điện tử và điện tử công suất, các bộ biến tần ra đời đã mở ra một triển vọng to lớn trong lĩnh vực điều khiển động cơ xoay chiều bằng phương pháp tần số. Sử dụng biến tần để điều khiển động cơ theo các quy luật khác nhau (quy luật  $U/f$ , điều khiển véctơ ...) đã tạo ra những hệ điều khiển tốc độ động cơ có các tính năng vượt trội.

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



Hình 3.23. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện áp

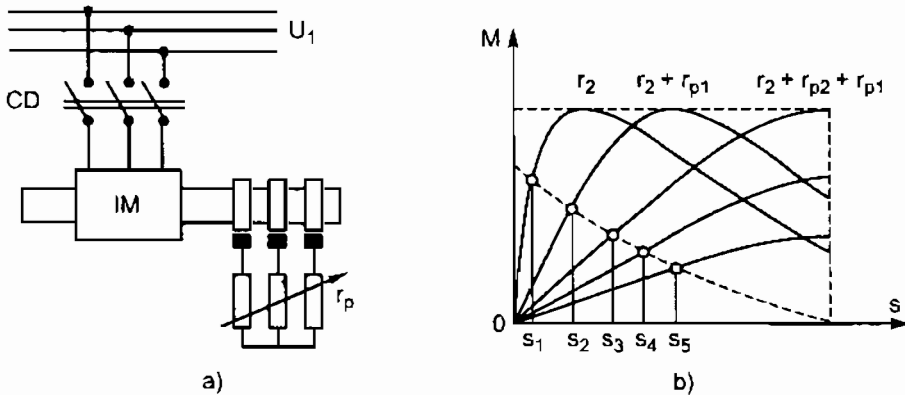
Ta đã biết, hệ số trượt tới hạn  $s_{th}$  không phụ thuộc vào điện áp, nếu  $R'_2$  không đổi thì khi giảm điện áp nguồn  $U$ , hệ số trượt tới hạn  $s_{th}$  sẽ không đổi còn  $M_{max}$  giảm tỷ lệ với  $U^2$ . Vậy họ đặc tính thay đổi như hình 3.22 làm cho tốc độ thay đổi theo. Phương pháp này chỉ thực hiện khi máy mang tải, còn khi máy không tải mà giảm điện nguồn, tốc độ gần như không đổi.

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

Thông qua vành trượt ta nối một biến trở 3 pha có thể điều chỉnh được vào dây quấn rôto.

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 trở  $P_{dt}$ , nên ta có: 
$$\frac{r_2}{s_2} = \frac{r_2 + r_f}{s}$$

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  $I_2^2 r_f$ . Vì lúc đó công suất đưa vào không đổi nên hiệu suất giảm, đây là nhược điểm của phương pháp này. Mặt khác, tốc độ điều chỉnh được nhiều hay ít còn phụ thuộc vào tải lớn hay nhỏ.



Hình 3.24. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện trở rôto

## 3.10. TRẠNG THÁI Hãm CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

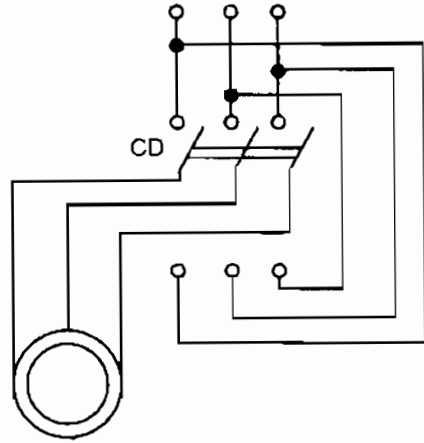
Trong thực tế, có trường hợp người ta muốn động cơ điện ngừng quay một cách nhanh chóng và bằng phẳng khi cắt điện cấp vào động cơ hoặc giảm bớt tốc độ như ở cầu trục lúc đưa hàng xuống hay trong các máy ở tàu điện. Để giải quyết các vấn đề trên người ta dùng các phương pháp hãm cơ hay điện.



### 3.10.1. Phương pháp hãm đổi thứ tự pha

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 stator như hình 3.25. Do quán tính của phần quay rôto vẫn quay theo chiều cũ trong lúc từ trường quay đó đổi thứ tự pha đã quay theo chiều 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 stator từ  $\Delta$  (lúc làm việc) sang Y, hay ở động cơ điện rôto dây quấn có thể thêm điện trở phụ, như vậy giảm dòng điện mở máy và tăng mômen hãm. Khi rôto ngừng quay phải cắt ngay điện áp không có động cơ quay theo chiều ngược lại.



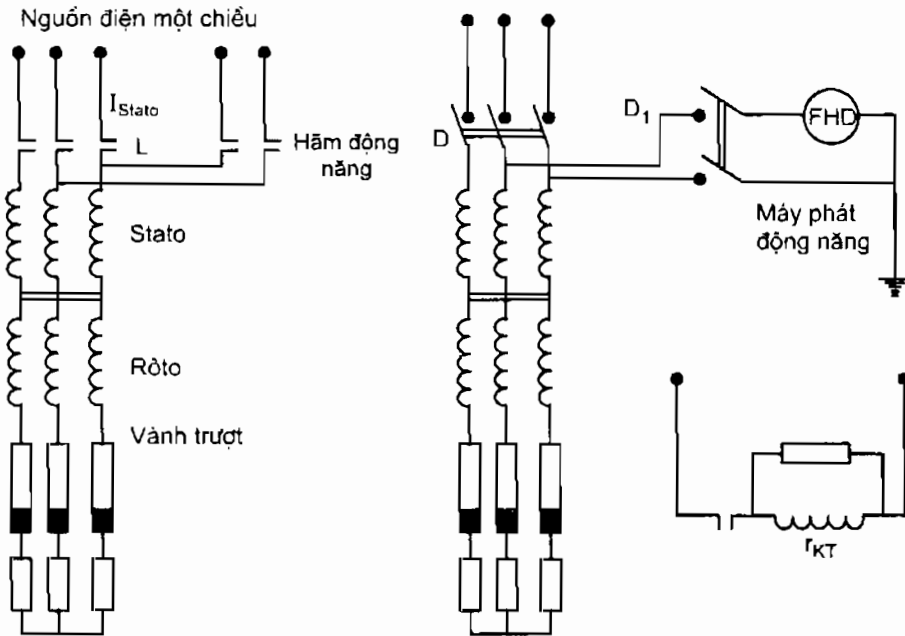
Hình 3.25. Hãm đổi thứ tự pha động cơ KĐB

### 3.10.2. Phương pháp hãm đổi thành máy phát điện

Muốn thực hiện phương pháp hãm này, cần đổi động cơ điện sang chế độ máy phát điện, tức là tốc độ từ trường quay bé hơn tốc độ rôto nhưng vẫn cùng chiều. Khi làm việc ở chế độ động cơ điện, tốc độ rôto gần bằng tốc độ đồng bộ, do đó khi hãm cần đổi nối làm tăng số đôi cực của dây quấn phần ứng, lúc đó tốc độ của rôto sẽ cao hơn tốc độ của từ trường quay sau khi đổi nối, động cơ sẽ trở thành máy phát điện trả năng lượng về lưới, đồng thời có mômen hãm động cơ lại.

### 3.10.3. Phương pháp hãm động năng

Ở phương pháp hãm này, sau khi cắt nguồn điện vào động cơ điện bằng cầu dao D thì lập tức đóng cầu dao  $D_1$  đưa điện một chiều vào dây quấn stator. Dòng điện một chiều lấy từ bộ chỉnh lưu đi qua dây quấn stator sẽ tạo thành từ trường một chiều trong máy. Rôto do còn quán tính, quay trong từ trường đó và trong dây quấn rôto cảm ứng nên sức điện động và dòng điện cảm ứng tác dụng với từ trường nói trên tạo thành mômen điện từ chống lại chiều quay của máy.



Hình 3.26. Hãm động năng

Ở động cơ điện rôto dây quấn, người ta thường cho thêm điện trở vào phía rôto để tăng mômen hãm.

### 3.11. CÁC TÌNH TRẠNG ĐẶC BIỆT CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ BA PHA

Tình trạng động cơ làm việc có phụ tải là tình trạng bình thường của động cơ, sau đây ta xét các trường hợp đặc biệt.

#### 3.11.1. Tình trạng động cơ làm việc không tải

Động cơ làm việc không tải (quay nhưng không kéo phụ tải) hoặc non tải, dòng điện trong dây quấn động cơ nhỏ không có hại gì cho động cơ, nhưng lãng phí vốn đầu tư, đồng thời hệ số công suất và hiệu suất rất thấp, gây nên lãng phí điện năng. Vì thế, không nên cho động cơ làm việc non tải hoặc không tải.

#### 3.11.2. Tình trạng động cơ bị ngắn mạch

Hiện tượng ngắn mạch của động cơ có thể gây nên do các nguyên nhân: điện trở cách điện của động cơ bị giảm xuống (do động cơ bị ẩm) hoặc do va chạm cơ khí làm hỏng cách điện sẽ gây nên hiện tượng ngắn mạch giữa các pha với nhau, hoặc giữa các vòng dây của một pha với nhau, hoặc giữa hai pha với nhau. Ngoài ra cần chú ý hiện tượng sau:

Khi đóng điện vào động cơ, rôto bị ghìm lại không quay được, dòng điện chạy trong dây quấn sẽ rất lớn, để lâu có thể cháy động cơ. Vì thế hiện tượng này cũng gọi là ngắn mạch.

Trước khi cho động cơ làm việc, ta phải đo điện trở cách điện. Đối với động cơ có công suất trung bình và nhỏ, nếu điện trở cách điện nhỏ hơn  $0.5M\Omega$  thì phải sấy động rồi mới được phép vận hành. Trong khi vận hành nếu rôto bị kẹt hoặc phụ tải quá nặng không quay được phải kịp thời cắt điện, nếu để lâu động cơ sẽ cháy.

### **3.11.3. Tình trạng làm việc có điện áp làm việc không đối xứng**

Nếu điện áp ba pha đặt vào động cơ không cân bằng, trong động cơ ngoài từ trường thuận (cùng chiều với chiều quay rôto), còn có từ trường ngược (ngược với chiều quay rôto). Từ trường gây nên mômen ngược với chiều quay làm giảm mômen của động cơ, làm tăng tổn hao trong động cơ, dòng điện trong động cơ tăng và động cơ phát nóng tăng lên. Tình trạng làm việc điện áp không đối xứng thường xảy ra trong sản xuất là tình trạng bị mất một pha điện. Tình trạng này nếu không khắc phục để một thời gian động cơ phát nóng quá quy định, sẽ làm cháy động cơ.

## **3.12. ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ MỘT PHA**

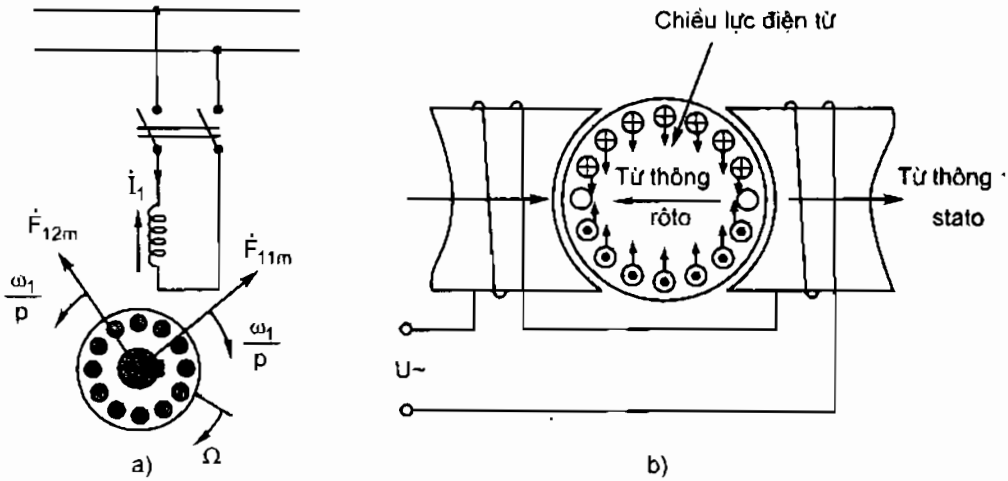
### **3.12.1. ĐẠI CƯƠNG**

Động cơ điện không đồng bộ một pha thường được dùng trong các dụng cụ, thiết bị sinh hoạt và công nghiệp, công suất vài oát đến vài trăm oát và nối vào lưới điện xoay chiều một pha.

Về cấu tạo, động cơ không đồng bộ một pha chỉ có dây quấn một pha, rôto thường là lồng sóc. Dây quấn stato được nối với lưới điện xoay chiều một pha, trên stato có hai dây quấn: dây quấn chính (hay dây quấn làm việc) và dây quấn phụ (hay dây quấn mở máy).

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 với lưới điện, đó là động cơ điện một pha kiểu điện dung.

### 3.12.2. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC



Hình 3.27. Động cơ không đồng bộ một pha

Khi dây quấn làm việc nối với lưới điện 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, có tốc độ bằng nhau và biên độ bằng một nửa từ trường đập mạch. Như vậy động cơ đồng bộ một pha tương đương như 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. 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. Khi động cơ đứng yên thì hai mômen đó bằng nhau và ngược nhau, do đó mômen quay tổng bằng không.

Nếu ta quay rôto theo chiều nào đó (ví dụ theo chiều quay của từ trường dây quấn A như hình 3.27 với tốc độ  $n$  thì tần số của sđđ, dòng điện cảm ứng ở rôto do từ trường quay thuận  $\Phi_A$  sinh ra sẽ là:

$$f_{2B} = \frac{p(n_1 - n)}{60} = \frac{pn_1(n_1 - n)}{60n_1} = sf_1$$

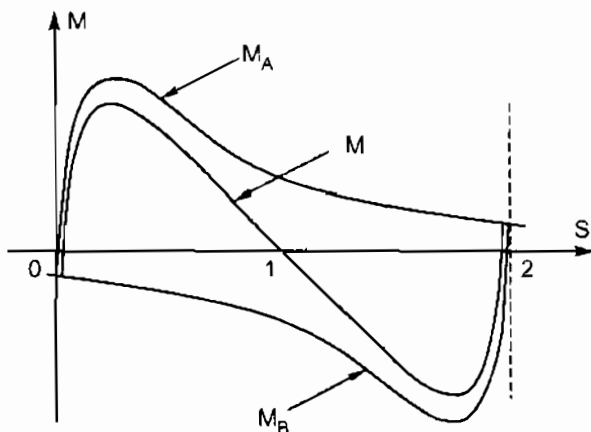
Còn đối với từ trường quay ngược  $\Phi_B$  thì tần số ấy sẽ là:

$$f_{2A} = \frac{p(n_1 + n)}{60} = \frac{pn_1}{60} \left[ \frac{2n_1 - (n_1 - n)}{n_1} \right] = (2 - s)f_1$$

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 làm việc ở chế độ hãm. Ngược lại, khi  $1 < s < 2$  tức là khi rôto quay theo chiều của từ trường dây quấn B thì hệ số trượt đối với từ trường này 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  $\Phi_A$  máy làm việc ở chế độ hãm.



**Hình 3.28.** Mômen động cơ không đồng bộ một pha

Trên hình 3.28 vẽ mômen quay  $M_A$  do từ trường thuận sinh ra có trị số dương và  $M_B$  do từ trường ngược gây ra có trị số âm. Mômen quay của động cơ là tổng đại số  $M_A$  và  $M_B$ :  $M = M_A + (-M_B)$

Từ đường đặc tính mômen, chúng ta thấy rằng lúc mở máy,  $s = s_A = s_B = 1$ ,  $M_A = M_B$  và mômen mở máy bằng 0, động cơ điện không tự mở máy được, muốn máy quay được ta phải tác động làm cho động cơ quay, hệ số trượt  $s < 1$ , lúc đó động cơ có mômen  $M$ , sẽ tiếp tục quay. Vì thế phải có các biện pháp mở máy; phương pháp thường dùng là dây quấn phụ, vòng ngắn mạch ở cực từ.

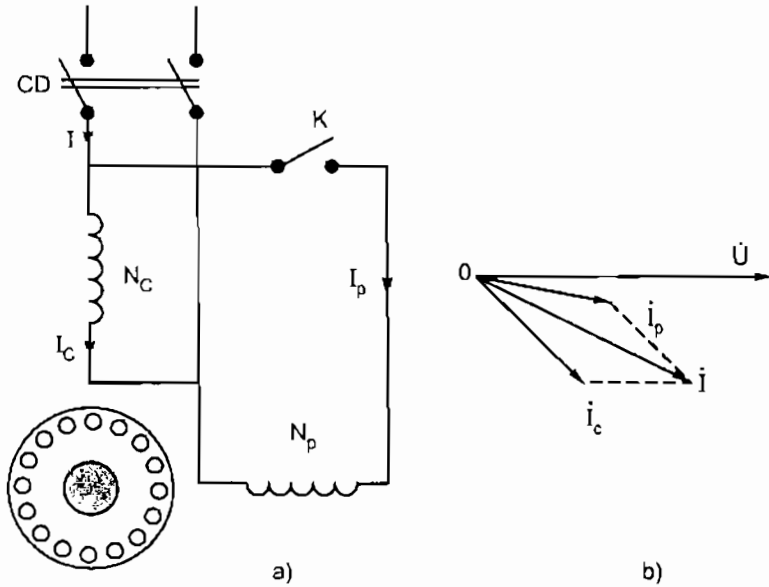
### 3.12.3. Mở máy động cơ điện một pha

#### a) Dùng dây quấn phụ mở máy (hình 3.29)

Loại động cơ này dùng khá phổ biến như máy điều hoà, máy giặt, dụng cụ cầm tay, bơm ly tâm,...

Muốn động cơ tự mở máy cần phải thêm một dây quấn mở máy. Từ trường của dây quấn này cùng với từ trường của dây quấn chính hợp thành một từ trường quay tạo nên mômen ban đầu. Muốn như vậy, tốt nhất dây quấn phụ 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  $90^\circ$

về thời gian. Có thể tạo nên sự lệch pha đó bằng cách nối mạch điện dây quấn phụ một điện dung hoặc điện cảm. Lúc đó dòng điện trong dây quấn phụ vượt trước điện áp lưới, làm cho góc pha giữa dòng điện chính và phụ lệch pha nhau gần  $90^{\circ}$ . Nhờ vậy là trong khe hở của máy sinh ra một từ trường quay đảm bảo có mômen mở máy tương đối lớn.



**Hình 3.29.** Động cơ một pha dùng dây quấn phụ  
a) Sơ đồ kết cấu; b) Đồ thị vectơ lúc mở máy

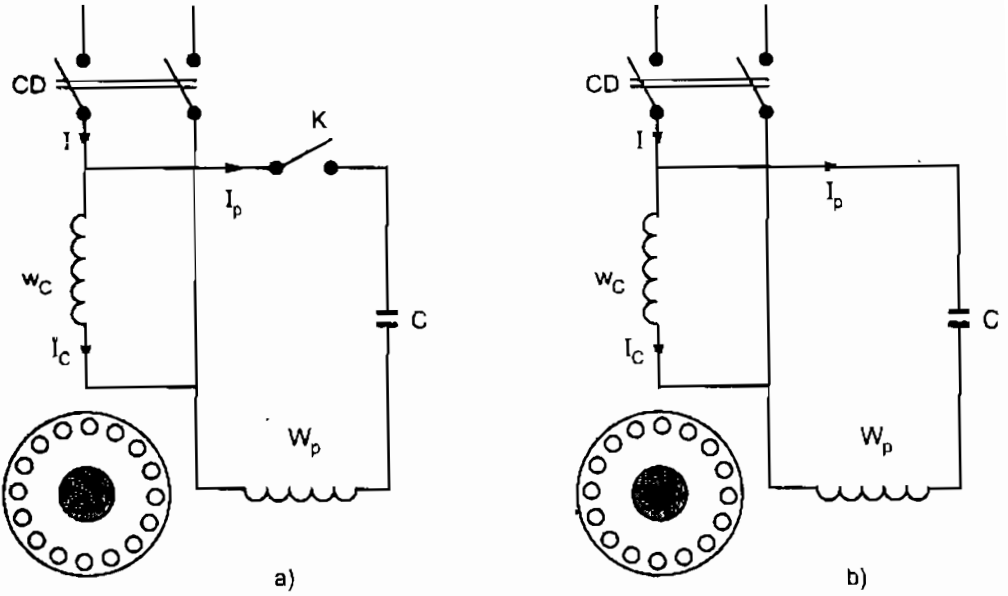
Khi tốc độ đạt được  $70 \div 75\%$  tốc độ đồng bộ, cuộn dây phụ được cắt ra nhờ công tắc ly tâm K và động cơ tiếp tục làm việc với cuộn dây chính.

**b) Động cơ dùng tụ điện mở máy (hình 3.30)**

Các động cơ không đồng bộ một pha có cuộn dây phụ được mắc nối tiếp với một tụ điện được gọi là động cơ tụ điện. Loại động cơ này có cuộn dây phụ bố trí lệch so với cuộn dây chính một góc  $90^{\circ}$  điện trong không gian, để tạo góc lệch về thời gian ta mắc nối tiếp với cuộn dây phụ một tụ điện. Nếu tụ điện mắc nối tiếp với cuộn phụ chọn giá trị thích hợp thì góc lệch pha giữa  $I_c$  và  $I_p$  là gần  $90^{\circ}$  (hình 3.30b). Tùy theo yêu cầu về mômen mở máy và mômen lúc làm việc, ta có các loại động cơ tụ điện sau:

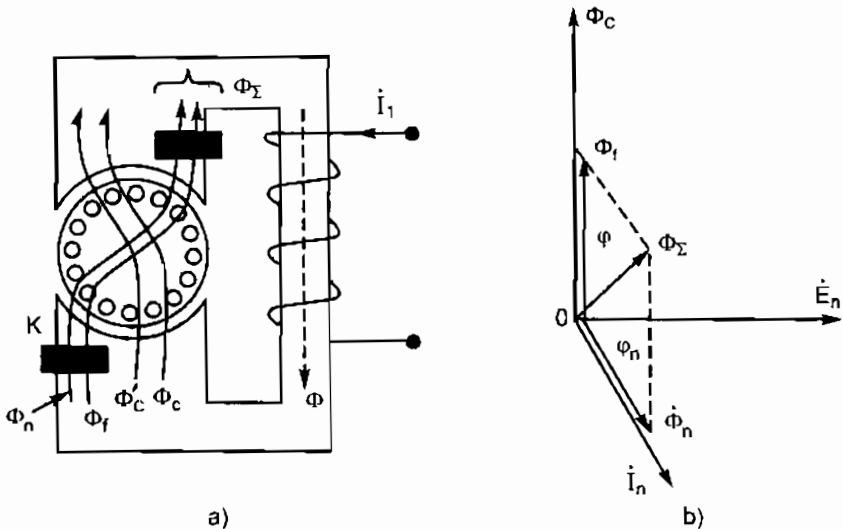
+ *Động cơ dùng tụ điện mở máy (hình 3.30a).* Khi mở máy tốc độ động cơ đạt đến  $75 \div 85\%$  tốc độ đồng bộ, công tắc K mở ra và động cơ sẽ đạt đến tốc độ ổn định.

+ Động cơ dùng tụ điện thường trực (hình 3.30b). Cuộn dây phụ và tụ điện mở máy được mắc luôn khi động cơ làm việc bình thường. Loại này có công suất thường nhỏ hơn 500 W và có đặc tính cơ tốt.



Hình 3.30. Động cơ một pha dùng tụ điện

c) Động cơ điện một pha có vòng ngắn mạch ở cực từ (hình 3.31).



Hình 3.31. Động cơ KĐB một pha có vòng ngắn mạch ở cực từ

Người ta chế cực từ ra, cho vào đó một vòng ngắn mạch. Vòng ngắn mạch được coi như dây quấn phụ, trong đó có dòng điện cảm ứng. Vòng

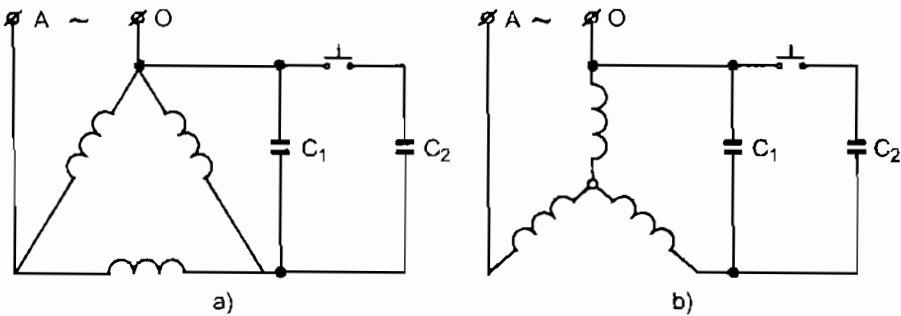
ngắn mạch ôm lấy  $1/3$  cực từ. Khi đặt điện áp vào cuộn dây chính để mở máy, dây quấn này sẽ sinh ra một từ trường đập mạch chính  $\Phi_c$ . Một phần của từ trường này  $\Phi_c'$  sẽ đi qua vòng ngắn mạch. Trong vòng ngắn mạch sẽ sinh ra dòng điện ngắn mạch và dòng điện này sẽ sinh ra từ thông ngắn  $\Phi_n$ . Từ thông  $\Phi_n$  tác dụng với  $\Phi_c'$  để sinh ra từ thông phụ đi qua vòng ngắn mạch. 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 mômen quay.

### 3.12.4. Sử dụng động cơ ba pha vào lưới điện một pha

Khi sử dụng động cơ điện 3 pha vào lưới điện một pha thì một số tính năng sẽ kém đi như: công suất có thể giảm từ  $30\% \div 50\%$ , so với lúc chạy ba pha vì lúc này góc lệch  $120^\circ$  về không gian không phù hợp với góc lệch  $90^\circ$  về thời gian trong dây quấn.

Nếu có thêm cả tụ điện làm việc, thường xuyên ngâm điện thì công suất động cơ chỉ giảm từ  $15\% \div 30\%$ . Sự suy giảm này phụ thuộc nhiều vào  $\cos\varphi$  của động cơ, cho nên khi lắp tụ cần tính toán tránh động cơ bị quá tải.

Tốc độ quay của động cơ khi chạy điện một pha thì vẫn giữ nguyên như cũ vì tốc độ chỉ phụ thuộc tần số lưới điện và số cặp cực.



**Hình 3.32.** Sơ đồ đấu động cơ  
a) Đấu hình  $\Delta$ ; b) Đấu hình Y.

Giả sử một động cơ trên nhãn ghi: Điện áp 220/380V nay muốn sử dụng ở nguồn điện một pha thì điện áp giữa 2 dây phải là 220V và đấu dây theo hình  $\Delta$  (hình 3.32a).



Nếu động cơ trên nhãn ghi: điện áp 127/220V thì khi chạy điện một pha 220V phải đấu hình Y (hình 3.32b).

Trường hợp gặp phải động cơ trên nhãn ghi 380/660 V hoặc  $\Delta 380$ , muốn chạy điện 1 pha 220V thì chỉ có cách tháo ra đấu lại bên trong các cuộn dây mới sử dụng được.

Tụ điện dùng cho động cơ là loại tụ điện giấy dầu (không được dùng tụ hóa).

Điện dung tụ điện  $C_1$  được tính theo công thức:

$$C_1 = \frac{2000.I}{U.\cos\varphi}$$

Trong đó:  $C_1$  tính bằng  $\mu\text{F}$  (micrô - fara)

$U$  điện áp (V)

$I$  dòng điện của động cơ (A)

**Ví dụ 3.2.** Tính điện dung của tụ điện  $C_1$  (tụ ngâm) cho động cơ không đồng bộ ba pha:  $P_{\text{dm}} = 0,6\text{kW}$ ;  $U = 127/220\text{V}$ ;  $\cos\varphi = 0,7$ ;  $I = 4,9/2,8\text{A}$ .

Để động cơ chạy điện một pha 220 V.

**Lời giải:** Cuộn dây stato được nối theo hình Y (hình 3.32b) với điện dung của tụ là:

$$C_1 = \frac{2000.2,8}{220.0,7} = 36\mu\text{F} \quad (\text{lấy tròn})$$

### 3.13. BỘ DÂY ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ 3 PHA

Bộ dây quấn động cơ điện không đồng bộ ba pha gồm ba dây quấn đặt lệch nhau  $120^\circ$  trong các rãnh của stato. Mỗi dây quấn gọi là một pha. Mỗi pha của dây quấn gồm một hay nhiều nhóm dây nối với nhau. Một nhóm dây gồm một hay nhiều cuộn dây đấu nối tiếp nhau. Một cuộn dây gồm nhiều vòng dây.

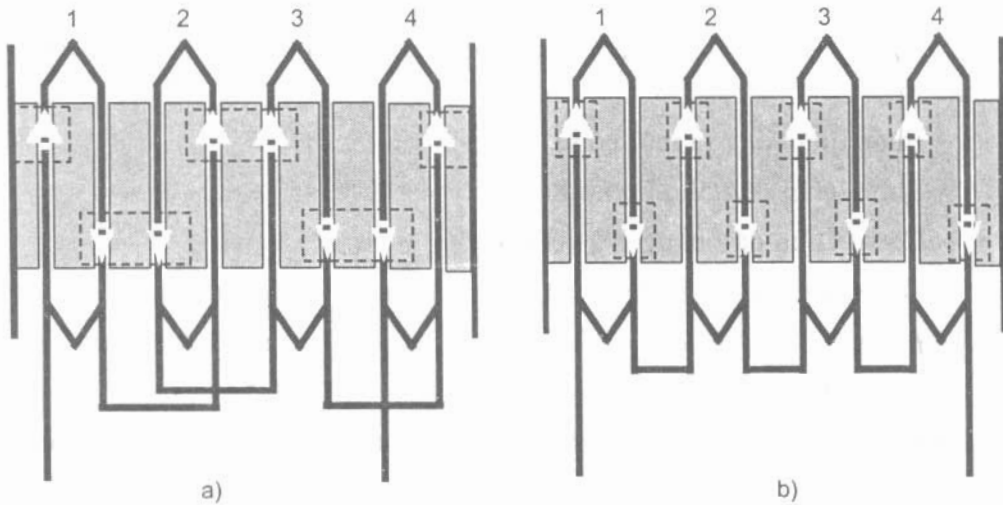
Khi cấu tạo bộ dây quấn stato người ta căn cứ vào công suất, tốc độ quay và một số đặc tính kỹ thuật của máy để xác định số rãnh  $Z$ , số đôi cực từ  $p$  ...

#### 3.13.1. Nguyên tắc đấu cực

– Trong một rãnh có hai cạnh của hai cuộn dây thì dòng điện trong rãnh phải cùng chiều.

– Nếu số nhóm cuộn dây trong pha bằng số cực thì ta thực hiện đấu đầu đầu – cuối cuối, cuối cuối – đầu đầu (hình 3.33a).

– Nếu số nhóm cuộn dây trong pha bằng  $1/2$  số cực thì ta thực hiện đấu cuối – đầu (hình 3.33b).



Hình 3.33. Nguyên tắc đấu cực

### 3.13.2. Một số định nghĩa cơ bản về thông số

- $Z$  : tổng số rãnh stato, đơn vị là rãnh;
- $2p$  : số cực;
- $p$  : số đôi cực;
- $a$  : là số mạch nhánh mắc song song, đơn vị là nhánh;
- $q$  : là số rãnh trên một cực của một pha, đơn vị là rãnh;
- $m$  : là số pha, đơn vị là pha;
- $y$  (bước quấn) : là khoảng cách giữa cạnh đầu đến cạnh cuối của cuộn dây có khoảng cách nhỏ nhất;

–  $\tau$  (bước cực): là khoảng cách giữa cạnh cuối của nhóm cuộn dây thứ nhất đến cạnh đầu của nhóm cuộn dây thứ hai trong cùng một pha nếu số nhóm cuộn dây trong pha bằng  $1/2$  số cực.

Hoặc  $\tau$  là khoảng cách giữa cạnh đầu của nhóm cuộn dây thứ nhất đến cạnh đầu của nhóm cuộn dây thứ hai trong cùng một pha nếu số nhóm cuộn dây trong pha bằng số cực.

– KC2P (khoảng cách 2 pha): là khoảng cách giữa cạnh đầu của pha thứ nhất đến cạnh đầu của pha thứ hai.

### 3.13.3. Bộ dây động cơ không đồng bộ 3 pha

Bộ dây động cơ không đồng bộ 3 pha có 3 kiểu quấn: kiểu đồng tâm, xích và kiểu hai lớp.

#### A. Bộ dây động cơ quấn kiểu đồng tâm

##### a) Đặc điểm bộ dây quấn kiểu đồng tâm

– Các cuộn dây trong cùng một nhóm đều chung nhau một tâm nhất định.

– Bước quấn dây là một số lẻ.

– Bước quấn dây nhỏ hơn bước cực.

– Có số cuộn dây bằng  $1/2$  số rãnh.

– Đối với động cơ 2 cực có số cuộn dây trong nhóm bằng  $q/2$ .

– Đối với động cơ từ 4 cực trở lên số cuộn dây trong nhóm bằng  $q$ .

– Có thể thực hiện theo hai cách :

+ Đối với động cơ hai cực thì số nhóm cuộn dây trong một pha bằng số cực.

+ Đối với động cơ từ bốn cực trở lên thì số nhóm cuộn dây trong pha bằng  $1/2$  số cực.

##### b) Thông số tính toán

– Thông số cơ bản :  $Z$  ;  $2p$  ;  $a$  ;  $m$

– Thông số tính toán :

$$\tau = \frac{Z}{2p}; \quad q = \frac{Z}{2p.m}; \quad y = 2q + 1; \quad KC2P = 2q$$

##### c) Cách vẽ sơ đồ hình trái

Ví dụ 3.3. Vẽ sơ đồ hình trái với các thông số sau:  $Z = 24$ ,  $2p = 4$ ,  $a = 1$ ,  $m = 3$ , quấn kiểu đồng tâm.

Lời giải : Từ các số liệu đã cho, ta tính được các thông số :

$$\tau = \frac{z}{2p} = \frac{24}{4} = 6 \quad ; \quad q = \frac{Z}{2p.m} = \frac{24}{4.3} = 2 \quad ;$$

$$y = 2q + 1 = 2.2 + 1 = 5 \quad ; \quad KC2P = 2q = 2.2 = 4$$

– Căn cứ vào đặc điểm của bộ dây quấn kiểu đồng tâm ta xác định được cạnh đầu của cuộn thứ nhất trong nhóm thứ nhất thuộc pha A.

– Vẽ cạnh đầu tiên của cuộn thứ nhất trong nhóm thứ nhất thuộc pha A.

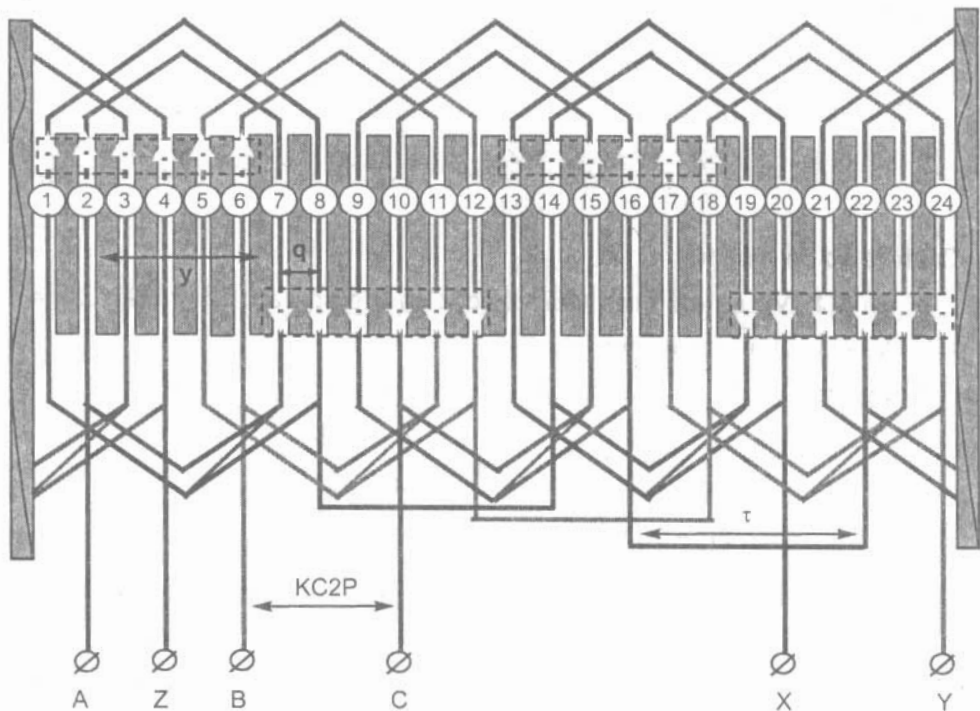
– Căn cứ vào bước quấn  $y$  ta vẽ được cạnh cuối của cuộn thứ nhất trong nhóm thứ nhất. Tiến về phía trước và lùi về phía sau một rãnh ta vẽ được cuộn thứ hai trong nhóm thứ nhất. Thực hiện tương tự cho đến khi đủ số lượng cuộn dây trong nhóm thứ nhất.

– Căn cứ vào  $\tau$  ta xác định được cạnh đầu của cuộn thứ nhất trong nhóm thứ hai, tiến hành tương tự ta vẽ được pha A .

– Căn cứ vào KC2P ta vẽ được cạnh đầu của cuộn thứ nhất trong nhóm thứ nhất thuộc pha B, tiến hành tương tự cho đến hết.

– Căn cứ vào đặc điểm của bộ dây quấn kiểu đồng tâm ta tiến hành đấu đầu đầu đầu – cuối cuối đối với động cơ hai cực. Đấu đầu – cuối đối với động cơ từ bốn cực trở lên, tiến hành tương tự cho hết số nhóm cuộn dây trong pha.

– Ký hiệu các đầu đầu là A , B , C , còn ký hiệu các đầu cuối là X, Y, Z.



Hình 3.34. Sơ đồ hình trái dây quấn 3 pha kiểu đồng tâm

$$Z = 24 ; 2p = 4 ; a = 1 ; m = 3.$$

## B. Bộ dây động cơ quán kiểu xích

### a) Đặc điểm

– Các cuộn dây trong cùng một nhóm đều tiến về phía trước hoặc lùi lại phía sau cách nhau một rãnh.

– Bước quấn dây là một số lẻ.

– Bước quấn dây nhỏ hơn hoặc bằng bước cực.

– Có số cuộn dây bằng  $1/2$  số rãnh.

– Số nhóm cuộn dây trong 1 pha bằng số cực.

– Đối với động cơ hai cực thì:

+ Nếu  $\tau$  chẵn thì  $y = \tau - 3$

+ Nếu  $\tau$  lẻ thì  $y = \tau - 2$

– Đối với động cơ từ bốn cực trở lên thì :

+ Nếu  $\tau$  chẵn thì  $y = \tau - 1$

+ Nếu  $\tau$  lẻ thì  $y = \tau$

### b) Thông số tính toán

– Thông số cơ bản :  $Z$  ;  $2p$  ;  $a$  ;  $m$

– Thông số tính toán :

$$\tau = \frac{Z}{2p}; \quad q = \frac{Z}{2p.m}; \quad KC2P = 2q; \quad y = \tau - m.$$

### c) Cách vẽ sơ đồ hình trái

**Ví dụ 3.4.** Vẽ sơ đồ hình trái với các thông số sau:  $Z = 24$ ,  $2p = 2$ ,  $a = 1$ ,  $m = 3$ , quấn kiểu xích.

**Lời giải:** Từ các số liệu đã cho, ta tính được các thông số sau:

$$\tau = \frac{Z}{2p} = \frac{24}{2} = 12; \quad q = \frac{Z}{2p.m} = \frac{24}{2.3} = 4$$

$$KC2P = 2q = 4.2 = 8; \quad y = \tau - 3 = 12 - 3 = 9.$$

– Căn cứ vào đặc điểm của bộ dây quấn kiểu xích ta xác định được cạnh đầu của cuộn thứ nhất trong nhóm thứ nhất thuộc pha A.

– Vẽ cạnh đầu tiên của cuộn thứ nhất trong nhóm thứ nhất thuộc pha A.

– Căn cứ vào bước quấn  $y$  ta vẽ được cạnh cuối của cuộn thứ nhất trong nhóm thứ nhất thuộc pha A.

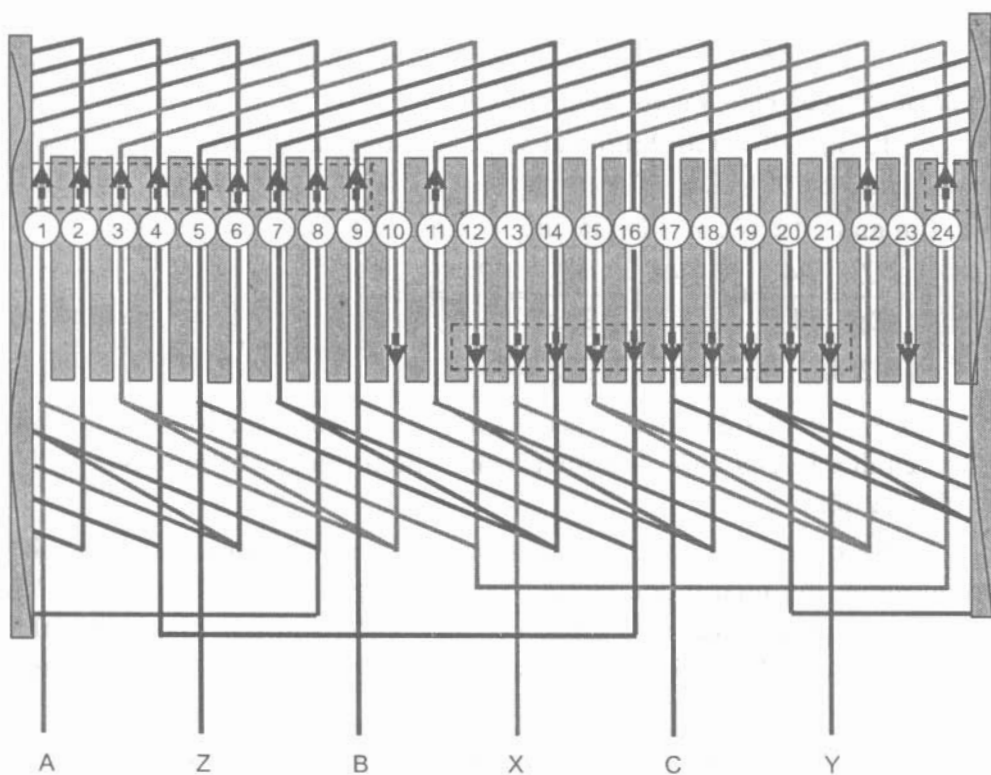
– Sang cuộn thứ hai ta tiến cả cạnh đầu và cuối về phía trước cách một rãnh, vẽ được cuộn thứ hai nhóm thứ nhất thuộc pha A. Thực hiện tương tự cho đến khi đủ số lượng cuộn dây trong nhóm thứ nhất.

– Căn cứ vào  $\tau$  ta xác định được cạnh đầu của cuộn thứ nhất trong nhóm thứ hai, tiến hành tương tự ta vẽ được pha A.

– Căn cứ vào KC2P ta vẽ được cạnh đầu của cuộn thứ nhất trong nhóm thứ nhất thuộc pha B, tiến hành tương tự cho đến hết.

– Căn cứ vào đặc điểm của bộ dây quấn kiểu xích ta tiến hành đấu đầu đầu cuối cuối, tiến hành tương tự cho đến hết số nhóm cuộn dây trong pha.

– Ký hiệu các đầu đầu là A, B, C, còn ký hiệu các đầu cuối là X, Y, Z.



Hình 3.35. Sơ đồ hình trái dây quấn 3 pha kiểu mắt xích

$$Z = 24, 2p = 4, a = 1, m = 3$$

### C. Bộ dây động cơ quấn kiểu 2 lớp

#### a) Đặc điểm

- Trong 1 rãnh có hai cạnh của hai cuộn dây cùng pha hoặc khác pha.
- Bước quấn dây là một số lẻ.
- Bước quấn dây nhỏ hơn hoặc bằng bước cực.
- Có số cuộn dây bằng số rãnh.
- Có số nhóm cuộn dây trong 1 pha bằng số cực.
- Động cơ 2 cực luôn phải rút ngắn bước quấn.

#### b) Thông số tính toán

- Thông số cơ bản :  $Z$  ;  $2p$  ;  $a$  ;  $m$
- Thông số tính toán :

$$\tau = \frac{Z}{2p}; \quad q = \frac{Z}{2p.m};$$

$$y = (1,5 \div 2,4)q; \quad KC2P = 2q$$

#### c) Cách vẽ sơ đồ hình trái bộ dây

**Ví dụ 3.5.** Vẽ sơ đồ hình trái với các thông số sau:  $Z = 24$  ,  $2p = 4$  ,  $a = 2$  ,  $m = 3$ .

**Lời giải :** Từ các số liệu đã cho, ta tính được các thông số sau:

$$\tau = \frac{Z}{2p} = \frac{24}{4} = 6; \quad q = \frac{Z}{2p.m} = \frac{24}{4.3} = 2;$$

$$y = 2,4.2 + 0,2 = 5; \quad KC2P = 4$$

– Căn cứ vào đặc điểm của bộ dây quấn kiểu hai lớp ta xác định được cạnh đầu của cuộn thứ nhất trong nhóm thứ nhất thuộc pha A. Vẽ cạnh đầu tiên.

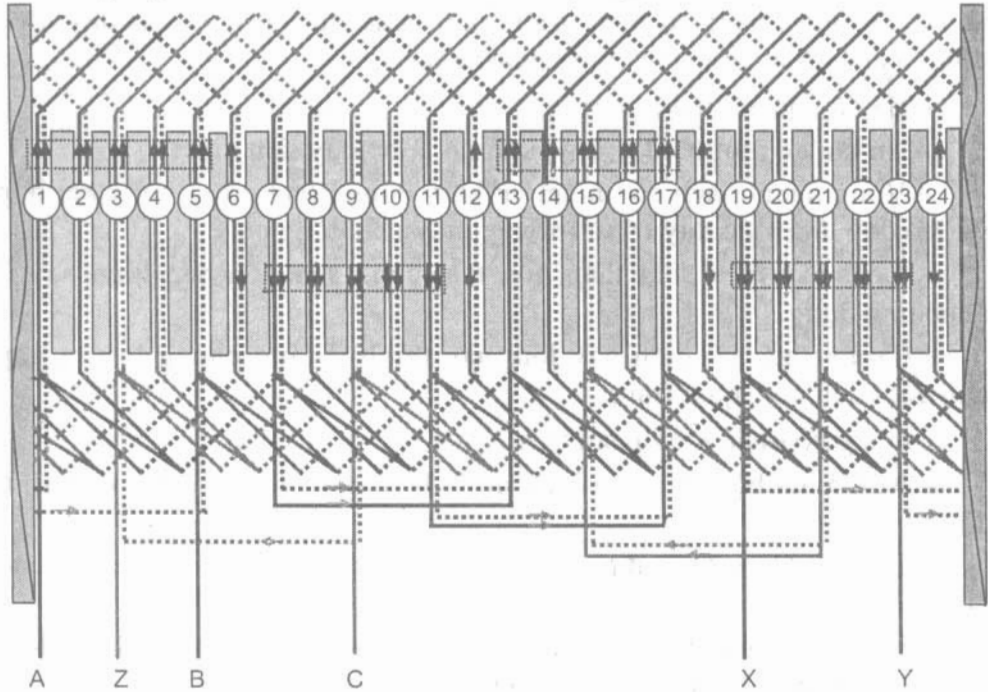
– Căn cứ vào bước quấn  $y$  ta vẽ được cạnh cuối của cuộn thứ nhất trong nhóm thứ nhất thuộc pha A. Sang cuộn thứ hai ta tiến cả cạnh đầu và cuối về phía trước một rãnh, vẽ được cuộn thứ hai nhóm thứ nhất thuộc pha A. Tiến hành cho đến khi đủ số lượng cuộn dây trong nhóm thứ nhất.

– Căn cứ vào  $\tau$  ta xác định được cạnh đầu của cuộn thứ nhất trong nhóm thứ hai, tiến hành tương tự ta vẽ được pha A.

– Căn cứ vào  $KC2P$  ta vẽ được cạnh đầu của cuộn thứ nhất trong nhóm thứ nhất thuộc pha B, tiến hành tương tự cho đến hết.

- Căn cứ vào đặc điểm của bộ dây quần kiểu hai lớp ta tiến hành đấu đầu đầu cuối cuối, tiến hành tương tự cho đến hết số nhóm cuộn dây trong pha.

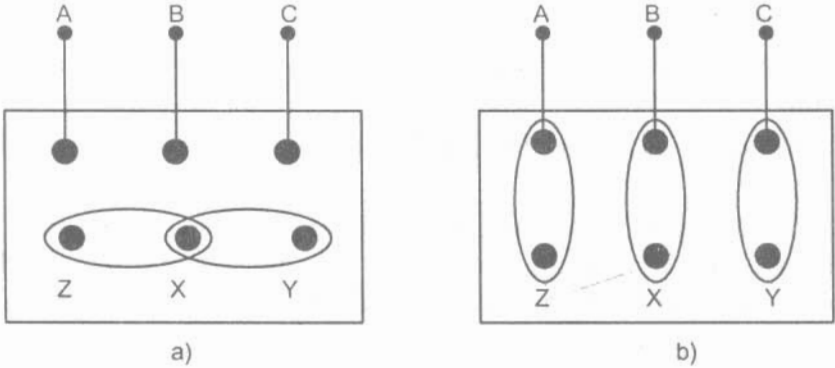
- Ký hiệu các đầu đầu là A, B, C, còn ký hiệu các đầu cuối là X, Y, Z.



**Hình 3.36.** Sơ đồ hình trái dây quần 3 pha hai lớp  
 $Z = 24, 2p = 4, m = 3, a = 2.$

**D. Nguyên tắc đưa đầu dây ra hộp cực**

Người ta đưa ra 6 đầu dây và được bố trí ra ngoài hộp cực như sau :



**Hình 3.37.** Nguyên tắc đưa đầu dây ra cực  
 a) Đầu Y ; b) Đầu Δ.



### 3.14. BỘ DÂY ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ MỘT PHA RÔTÔ LỒNG SÓC

Bộ dây động cơ điện không đồng bộ một pha rô-tô lồng sóc thông thường có 3 kiểu: Kiểu tập trung (khởi động bằng vòng chập), kiểu phân tán (khởi động bằng tụ điện, điện cảm hoặc điện trở) và bộ dây khởi động ở chế độ ngắn mạch có bộ ngắt ly tâm.

– Bộ dây quấn kiểu tập trung:

+ Nó chỉ có một bộ dây duy nhất đó là bộ dây làm việc.

+ Vòng ngắn mạch có nhiệm vụ khởi động động cơ và cùng kết hợp với bộ dây làm việc duy trì từ trường quay cho động cơ.

+ Loại này hiệu suất thấp, tổn thất công suất lớn nên hiện nay ít được ứng dụng.

+ Trong thực tế, hiện nay loại này thịnh hành chúng ta vẫn gặp như quạt con cóc, quạt trần.

– Động cơ quấn kiểu phân tán:

+ Nó có hai bộ dây riêng biệt, đó là bộ dây làm việc và bộ dây khởi động.

+ Bộ dây khởi động được mắc nối tiếp với tụ điện, điện cảm hoặc điện trở.

+ Bộ dây khởi động có nhiệm vụ khởi động động cơ và cùng kết hợp với bộ dây làm việc duy trì từ trường quay cho động cơ.

+ Đặc điểm loại này: có mômen khởi động không lớn nên thường được ứng dụng trong trường hợp khi mômen mở máy không lớn hoặc trường hợp không tải.

+ Loại này được ứng dụng trong quá trình sản xuất quạt bàn 3 số, quạt trần, động cơ.

– Động cơ một pha có bộ dây khởi động ở chế độ ngắn mạch có bộ ngắt ly tâm:

+ Nó có hai bộ dây riêng biệt, đó là bộ dây làm việc và bộ dây khởi động.

+ Bộ dây khởi động được mắc nối tiếp với công tắc ly tâm hoặc role dòng điện và mắc song song với bộ dây làm việc, sau khi khởi động xong bộ dây khởi động được cắt khỏi lưới điện thông qua công tắc ly tâm hoặc rơ le dòng điện.

+ Khi động cơ quay, lúc đó chỉ có duy nhất bộ dây làm việc duy trì từ trường quay cho động cơ.

+ Đặc điểm loại này: có mômen khởi động lớn, hiệu suất cao nên thường được ứng dụng trong trường hợp khi cần mômen mở máy lớn.

+ Loại này được ứng dụng trong quá trình sản xuất: lọc tủ lạnh, lọc điều hoà, động cơ.

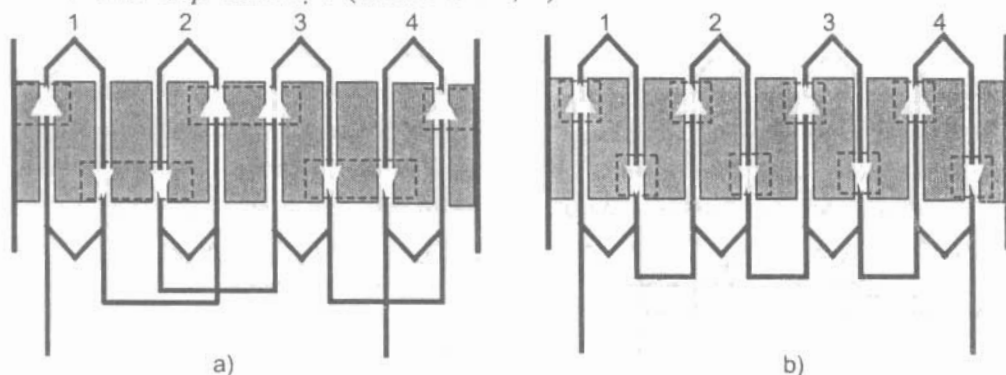
### 3.14.1. Bộ dây quấn kiểu tập trung

#### a) Đặc điểm khi quấn bộ dây kiểu tập trung

- Bước quấn dây luôn bằng 1.
- Có hai loại cơ bản: số cuộn dây bằng số cực và số cuộn dây bằng  $1/2$  số cực.
- Nếu số cuộn dây bằng số cực thì người ta đấu: đầu đầu – cuối cuối.
- Nếu số cuộn dây bằng  $1/2$  số cực thì người ta đấu: cuối – đầu.

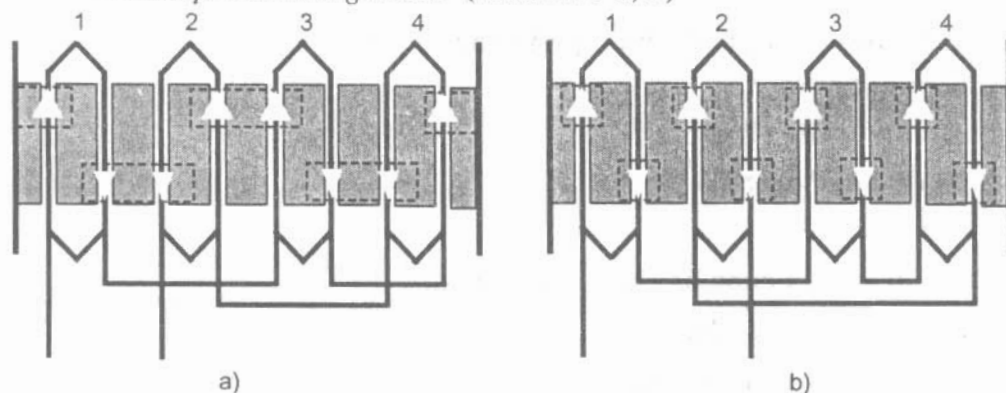
#### b) Phương pháp đấu bộ dây quấn kiểu tập trung

+ *Nối tiếp tuần tự* : (hình 3.38 a, b)



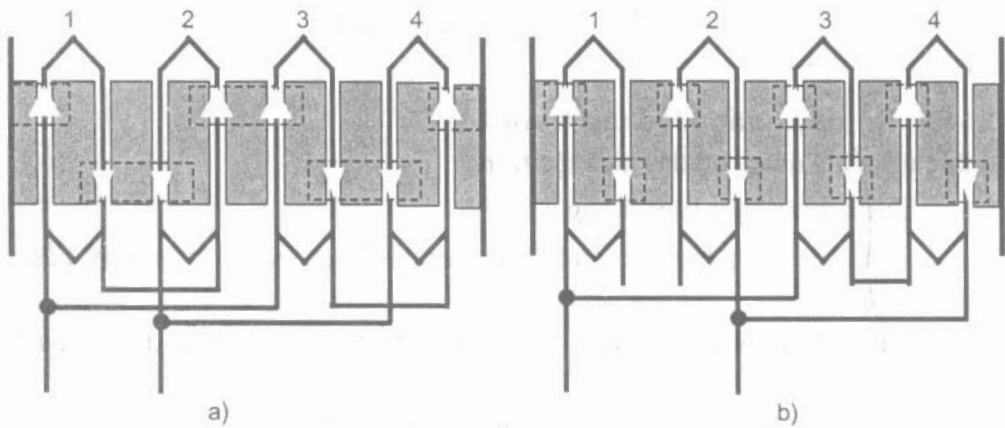
Hình 3.38. Sơ đồ đấu nối tiếp tuần tự

+ *Nối tiếp có khoảng cách* : (hình 3.39 a, b)



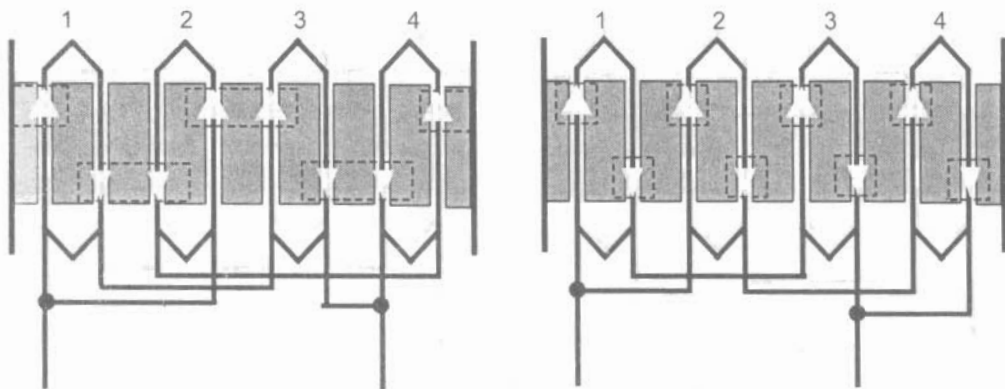
Hình 3.39. Sơ đồ đấu nối tiếp có khoảng cách

+ Song song tuần tự : (hình 3.40 a, b)



Hình 3.40. Sơ đồ đấu song song tuần tự

+ Song song có khoảng cách : (hình 3.41 a, b)



Hình 3.41. Sơ đồ đấu song song có khoảng cách

### 3.14.2 Động cơ một pha kiểu phân tán

#### a) Thông số tính toán

*Có hai trường hợp*

• Trường hợp  $\tau \leq 4$ :

*Đặc điểm:*

- Chỉ có một cuộn dây trong một nhóm.
- Nếu  $\tau < 4$  quấn hai lớp.
- Nếu  $\tau = 4$  quấn một lớp.
- Số cuộn dây trong nhóm bằng  $q/2$ .

*Thông số tính toán*

– Thông số cơ bản:  $Z$ ,  $2P$ ,  $a$ ,  $m$  kiểu quấn

– Thông số tính toán:

$$\tau = \frac{Z}{2p} \quad ; \quad q = \frac{Z}{2pm} \quad ; \quad y = \tau - 1 \text{ quấn 1 lớp ;}$$

$y = \tau$  quấn hai lớp ;  $KC2P = q$ .

**Ví dụ 3.6.** Vẽ sơ đồ hình trái với các thông số sau:  $Z = 16$  ;  
 $2p = 4$  ;  $a = 1$  ;  $m = 2$ .

**Lời giải :** Từ các số liệu đã cho, ta tính được các thông số sau:

$$\tau = \frac{Z}{2p} = \frac{16}{4} = 4 \qquad q = \frac{z}{2pm} = \frac{16}{4.2} = 2$$

$$y = \tau - 1 = 4 - 1 = 3 \qquad KC2P = q = 2$$

Sơ đồ hình trái được khai triển như trên hình 3.42.

• Trường hợp  $\tau > 4$ :

*Đặc điểm:*

- Có số cuộn dây trong nhóm lớn hơn hoặc bằng một.
- Chỉ có ở kiểu quấn đồng tâm.
- Có số nhóm cuộn dây trong pha bằng số cực.
- Có số cuộn dây trong nhóm bằng  $q/2$ .

*Thông số tính toán:*

$$\tau = \frac{Z}{2p} \quad ; \quad q = \frac{Z}{2pm} \quad ; \quad y = q + 1 \quad ; \quad KC2P = q$$

**Ví dụ 3.7.** Vẽ sơ đồ hình trái với các thông số sau:  $Z = 24$  ;  $2p = 2$  ;  
 $a = 1$  ;  $m = 2$ .

**Lời giải :** Từ các số liệu đã cho, ta tính được các thông số sau:

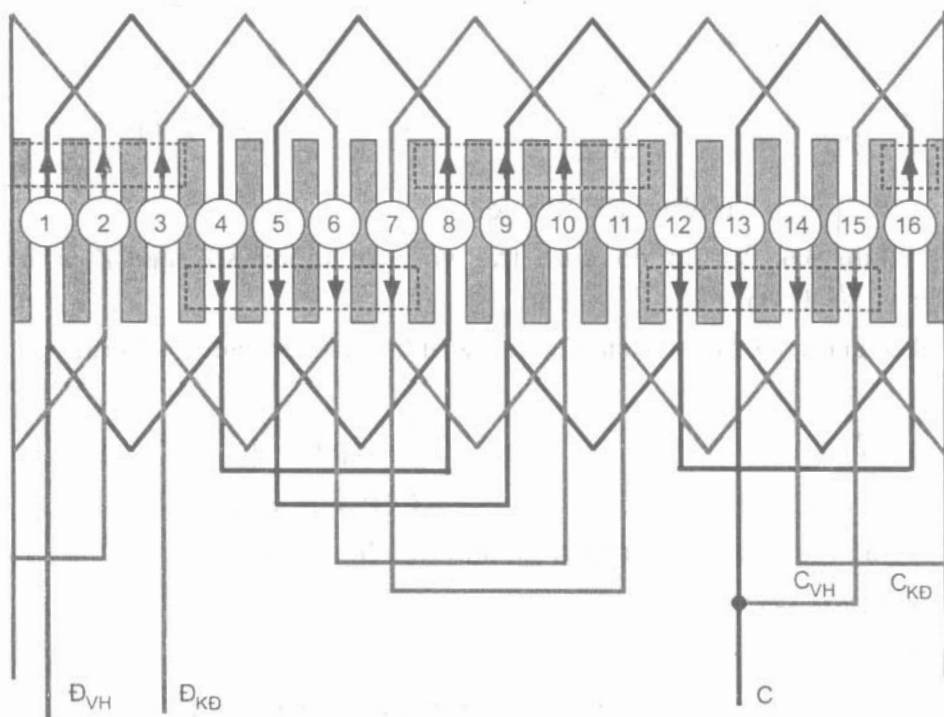
$$\tau = \frac{Z}{2p} = \frac{24}{2} = 12 \quad ; \quad q = \frac{Z}{2pm} = \frac{24}{2.2} = 6 \quad ;$$

$$y = 6 + 1 = 7 \quad ; \quad KC2P = q = 6$$

Sơ đồ hình trái được khai triển như trên hình 3.43.

b) Vẽ sơ đồ hình trái bộ dây

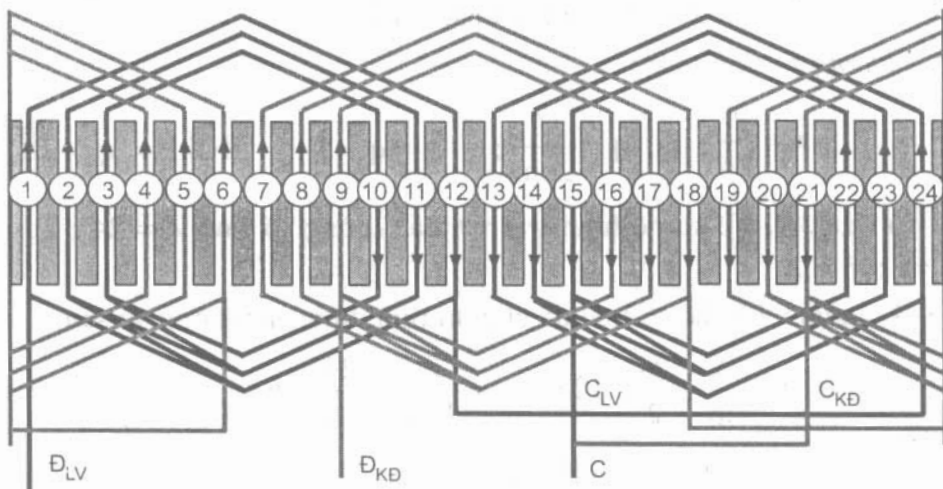
Trường hợp  $\tau \leq 4$ :



Hình 3.42. Sơ đồ hình trái bộ dây quấn một pha

$Z = 16$ ;  $2p = 4$ ;  $a = 1$ ;  $\tau = 4$ ;  $q = 2$ ;  $y = 3$ ;  $KC2P = 2$

Trường hợp  $\tau > 4$ :



Hình 3.43. Sơ đồ hình trái bộ dây quấn một pha

$Z = 24$ ;  $2p = 2$ ;  $a = 1$ ;  $\tau = 12$ ;  $q = 6$ ;  $y = 7$ ;  $KC2P = 6$

c) Bộ dây không đồng bộ một pha khởi động bằng cuộn dây ngắn mạch có bộ ngắt ly tâm

\* Thông số tính toán:

– Các thông số cơ bản:  $Z$ ,  $2p$ ,  $a$ , kiểu quấn.

– Thông số tính toán:

$$\tau = \frac{Z}{2p}; \quad q_{lv} = \frac{Z_{lv}}{2p} = \frac{Z}{3p} = q_{kd} = q$$

$$y = \frac{q}{2} + 1; \quad KC2P = \frac{3 \cdot q}{4}$$

**Ví dụ 3.8.** Vẽ sơ đồ hình trái với các thông số sau  $Z = 24$ ,  $2p = 2$ ,  $a = 1$ , kiểu từ trường khởi động bằng cuộn dây ngắn mạch có bộ ngắt ly tâm.

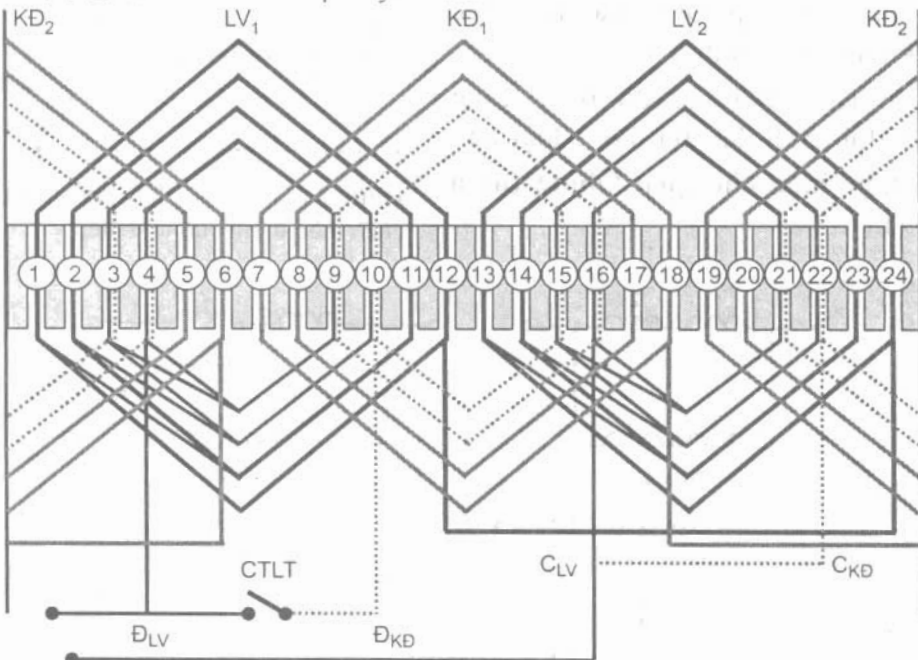
**Lời giải:** Từ các số liệu đã cho, ta tính được các thông số sau:

$$\tau = \frac{Z}{2p} = \frac{24}{2} = 12; \quad q_{lv} = \frac{Z_{lv}}{2p} = \frac{Z}{3p} = q_{kd} = q = \frac{24}{3} = 8$$

$$y = \frac{q}{2} + 1 = \frac{8}{2} + 1 = 5; \quad KC2P = \frac{3 \cdot q}{4} = \frac{3 \cdot 8}{4} = 6$$

Sơ đồ khai triển hình trái minh hoạ trên hình 3.44.

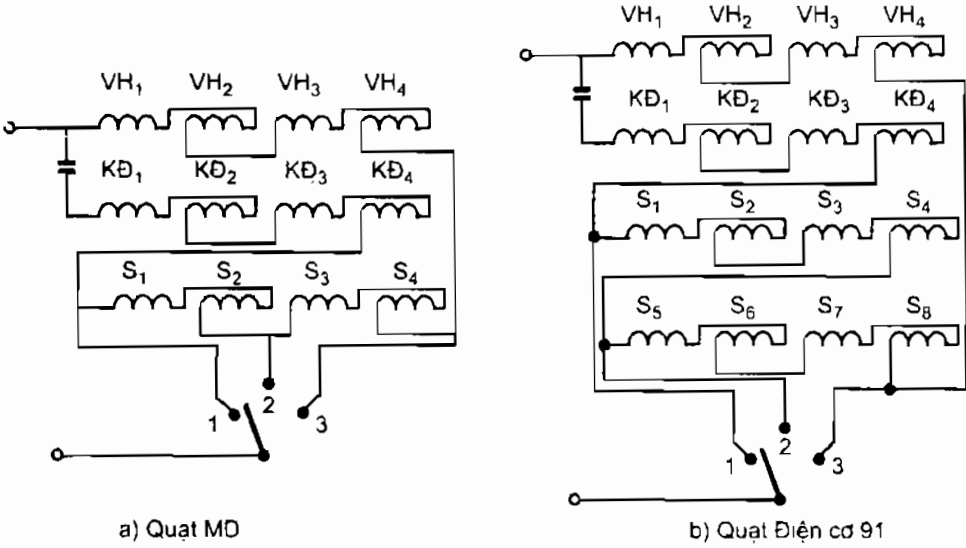
\* Vẽ sơ đồ hình trái bộ dây:



**Hình 3.44.** Sơ đồ hình trái bộ dây quấn một pha  
 $Z = 24$ ,  $2p = 2$ ,  $a = 1$ .

**d) Thay đổi tốc độ động cơ 1 pha**

– Thay đổi bằng cách quấn thêm cuộn số đặt vào trong rãnh của cuộn khởi động



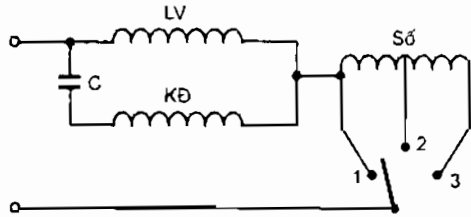
a) Quạt MD

b) Quạt Điện cơ 91

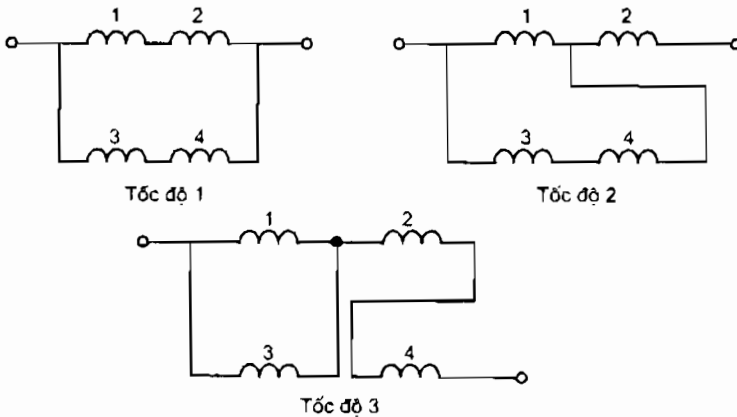
**Hình 3.45.** Sơ đồ thay đổi tốc độ động cơ một pha

– Thay đổi bằng cách mắc thêm cuộn số nối tiếp với bộ dây làm việc và khởi động (hình 3.46).

– Thay đổi tốc độ bằng cách thay đổi cách đấu bộ dây : loại này chỉ thực hiện cho quạt Obitta (hình 3.47).



**Hình 3.46.** Sơ đồ thay đổi bằng cách mắc thêm cuộn nối tiếp



**Hình 3.47.** Sơ đồ thay đổi bằng cách đấu bộ dây

### 3.15. MỘT SỐ SỰ CỐ THÔNG THƯỜNG XẢY RA TRONG ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

#### 3.15.1. Một số sự cố thông thường xảy ra trong động cơ không đồng bộ 1 pha

Sau đây là một số sự cố xảy ra trong động cơ không đồng bộ 1 pha khởi động bằng tụ.

TT	Hiện tượng	Nguyên nhân	Phương pháp sửa chữa
1	Đóng điện vào động cơ không quay, rôto bị hút chặt lệch về một bên, động cơ rung rất mạnh	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Do vòng bi hoặc bạc quá dơ.</li> <li>- Nắp máy bị lệch, rôto chưa đồng tâm.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Thay bạc hoặc vòng bi mới.</li> <li>- Xiết chặt nắp máy, cân chỉnh lại phần rôto.</li> </ul>
2	Động cơ một pha chạy chậm. Có tiếng ù ù, dòng điện tăng cao.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Do bị sát cốt.</li> <li>- Chập nội tại một vài vòng dây.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Xiết chặt nắp máy, cân chỉnh lại phần rôto, kiểm tra vòng bi, bạc hoặc thay thế bạc hoặc vòng bi mới.</li> <li>- Kiểm tra bộ dây bằng grônha, nếu bộ dây bị chập nội tại thì quấn lại bộ dây.</li> </ul>
3	Động cơ bị chập vỏ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Do cách điện giữa cuộn dây và lõi thép bị đánh thủng.</li> <li>- Do đầu dây đưa ra ngoài bị chạm với vỏ.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nếu do cách điện giữa cuộn dây và lõi thép bị đánh thủng thì quấn lại bộ dây khác.</li> <li>- Kiểm tra và sửa lại đầu dây bị chạm vỏ.</li> </ul>
4	Tụ làm việc bị đánh thủng thường xuyên sau khi quấn lại bộ dây stato.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sai số vòng cuộn để (giảm số vòng) làm điện áp đặt lên tụ lớn hơn điện áp định mức của tụ.</li> <li>- Thay tụ có điện dung bé hơn nên điện áp đặt lên tụ lớn hơn điện áp định mức của tụ.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Quấn lại.</li> <li>- Thay tụ thích hợp.</li> </ul>



5	Dùng tay quay động cơ mới khởi động được.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Do tụ điện bị rò nên thông số của tụ điện bị thay đổi.</li> <li>- Do cân chỉnh chưa đồng tâm.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Thay tụ điện mới.</li> <li>- Cân chỉnh lại.</li> </ul>
6	Đóng điện vào, động cơ làm việc phát ra tiếng kêu khác thường.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Do vòng bi bị rỗ.</li> <li>- Do vòng bi bị dơ dẫn đến sát cốt nên gây ra tiếng va chạm cơ khí.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Thay vòng bi mới</li> </ul>

### 3.15.2. Một số hư hỏng ở động cơ không đồng bộ ba pha

TT	Hiện tượng	Nguyên nhân	Cách khắc phục
1.	Dòng không tải quá cao $I_0 > 50\%I_{dm}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mạch từ kém chất lượng.</li> <li>- Dây quấn bị chập nhiều vòng.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tăng cường tản sấy. Nếu có chuyển biến thì dùng được còn nếu không phải sửa chữa lại.</li> </ul>
2.	Khi đóng điện động cơ không khởi động được (quay rất chậm hoặc không quay được) có tiếng rầm rú, phát nóng nhanh.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nguồn cung cấp bị mất 1 pha.</li> <li>- Đứt 1 pha (stato) ở bên trong.</li> <li>- Ổ bi bị mài mòn quá nhiều nên rôto bị hút chặt.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kiểm tra và khắc phục trên đường dây cấp nguồn, cầu chì, cầu dao hoặc các thiết bị đóng cắt chính.</li> <li>- Đo kiểm tra thông mạch từng pha và khắc phục tại chỗ đứt mạch.</li> <li>- Kiểm tra độ rơ của ổ bi. Xử lý hoặc thay thế ổ bi mới.</li> </ul>
3.	Đóng điện vào động cơ các thiết bị bảo vệ tác động ngay (cầu chì bị đứt, CB tác động...).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuộn dây stato bị ngắn mạch.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kiểm tra và xử lý pha bị ngắn mạch.</li> </ul>

4.	Máy chạy không đủ tốc độ, rung lắc mạnh, nóng nhanh.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chập nội tại cuộn dây.</li> <li>- Động cơ bị sát cốt.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kiểm tra bộ dây bằng grônhà, nếu bộ dây bị chập nội tại thì quấn lại bộ dây.</li> <li>- Cân chỉnh lại hoặc thay thế vòng bi mới.</li> </ul>
5.	Có tiếng kêu cơ khí, dòng điện tăng hơn bình thường.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nắp máy không được cố định tốt với vỏ.</li> <li>- Bạc bị rơ, cốt mòn, cong.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chỉnh sửa phần cơ khí.</li> <li>- Thay thế vòng bi mới.</li> </ul>
6.	Máy chạy đủ tốc độ nhưng dòng điện 3 pha không cân bằng (sai lệch quá 10% ở mỗi pha).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Điện áp nguồn không cân bằng.</li> <li>- Chập vòng tương đối nhiều ở một pha.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kiểm tra điện áp nguồn.</li> <li>- Kiểm tra xử lý chỗ chập chập.</li> </ul>
7.	Khi mang tải động cơ không khởi động được.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Quá tải lớn.</li> <li>- Điện áp nguồn suy giảm nhiều.</li> <li>- Mất pha.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Giảm tải.</li> <li>- Kiểm tra điện áp nguồn điện.</li> <li>- Kiểm tra lại nguồn.</li> </ul>

### CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP CHƯƠNG 3

3.1. Nêu cấu tạo máy điện không đồng bộ một pha, ba pha.

3.2. Trình bày về sự hình thành từ trường quay động cơ điện không đồng bộ ba pha.

3.3. Cách mở máy và điều chỉnh tốc độ động cơ điện không đồng bộ ba pha như thế nào?

3.4. Nêu các trạng thái làm việc động cơ điện không đồng bộ.

3.5. Trình bày về mômen động cơ điện không đồng bộ.

3.6. Vẽ sơ đồ hình trái bộ dây 2 cấp tốc độ quấn kiểu xích với  $Z = 12$ ;  $2p = 2/4$ .

3.7. Vẽ sơ đồ hình trái bộ dây 2 cấp tốc độ quấn kiểu 2 lớp với  $Z = 12$ ;  $2p = 2/4$ .

3.8. Vẽ sơ đồ hình trái bộ dây 2 cấp tốc độ quấn kiểu xích với  $Z = 24$ ;  $2p = 2/4$ .

3.9. Vẽ sơ đồ hình trái bộ dây 2 cấp tốc độ quấn kiểu 2 lớp với  $Z = 24$ ;  $2p = 2/4$ .

3.10. Vẽ sơ đồ hình trái bộ dây 2 cấp tốc độ quấn kiểu xích với  $Z = 24$ ;  $2p = 4/8$ .

3.11. Vẽ sơ đồ hình trái bộ dây 2 cấp tốc độ quấn kiểu 2 lớp với  $Z = 24$ ;  $2p = 4/8$ .

3.12. Vẽ sơ đồ hình trái bộ dây 3 cấp  $Z = 36$ ;  $2p = 6/8/12$  với bộ dây 2 cấp quấn kiểu xích, bộ dây 1 cấp quấn kiểu 2 lớp.

3.13. Vẽ sơ đồ hình trái bộ dây 3 cấp  $Z = 36$ ;  $2p = 6/10/12$  với bộ dây 2 cấp quấn kiểu xích, bộ dây 1 cấp quấn kiểu 2 lớp.

3.14. Vẽ sơ đồ hình trái bộ dây 3 cấp  $Z = 36$ ;  $2p = 6/8/12$  với bộ dây 2 cấp quấn kiểu 2 lớp, bộ dây 1 cấp quấn kiểu 2 lớp.

3.15. Vẽ sơ đồ hình trái bộ dây 3 cấp  $Z = 36$ ;  $2p = 6/10/12$  với bộ dây 2 cấp quấn kiểu 2 lớp, bộ dây 1 cấp quấn kiểu 2 lớp.

3.16. Vẽ sơ đồ hình trái bộ dây 3 cấp  $Z = 48$ ;  $2p = 2/4$  với bộ dây 2 cấp quấn kiểu xích, bộ dây 1 cấp quấn kiểu đồng tâm.

3.17. Vẽ sơ đồ hình trái bộ dây 3 cấp  $Z = 48$ ;  $2p = 2/4$  với bộ dây 2 cấp quấn kiểu xích, bộ dây 1 cấp quấn kiểu xích.

3.18. Vẽ sơ đồ hình trái bộ dây 3 cấp  $Z = 48$ ;  $2p = 2/4$  với bộ dây 2 cấp quấn kiểu xích, bộ dây 1 cấp quấn kiểu 2 lớp.

3.19. Một động cơ không đồng bộ 3 pha, 4 cực được cấp nguồn 50Hz và vận hành ở trạng thái ổn định với độ trượt 0,03. Xác định tần số của dòng điện rôto và tốc độ rôto?

**Đáp số:**  $f_2 = 1,5\text{Hz}$ ,  $n = 1455\text{vg/ph}$

3.20. Động cơ không đồng bộ ba pha 12 cực, tần số 50Hz. Động cơ sẽ quay với tốc độ bao nhiêu nếu hệ số trượt bằng 0,06?

**Đáp số:**  $470\text{vg/ph}$

3.21. Động cơ không đồng bộ ba pha 3 đôi cực, tần số 50Hz, quay với tốc độ  $960\text{vg/ph}$ . Hãy xác định:

- Vận tốc đồng bộ?
- Tần số dòng điện rôto?
- Vận tốc tương đối của rôto so với từ trường quay?

**Đáp số:**  $1500\text{vg/ph}$ ;  $2\text{Hz}$ ;  $40\text{vg/ph}$

## Chương 4

# MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

### 4.1. KHÁI NIỆM

Những máy điện xoay chiều có tốc độ quay của rôto ( $n$ ) bằng tốc độ quay của từ trường ( $n_1$ ) gọi là máy điện đồng bộ. Máy điện đồng bộ có hai dây quấn: dây quấn stato nối với lưới điện có tần số  $f$  không đổi, dây quấn rôto được kích thích bằng dòng điện một chiều.

Máy phát điện đồng bộ là nguồn điện chính của các lưới điện quốc gia. Trong đó động cơ sơ cấp là các tuabin khí, tuabin nước. Ở các lưới điện công suất nhỏ, máy phát điện đồng bộ được kéo bởi các động cơ điêzen hoặc các tuabin khí, có thể làm việc đơn lẻ hoặc hai, ba máy làm việc song song.

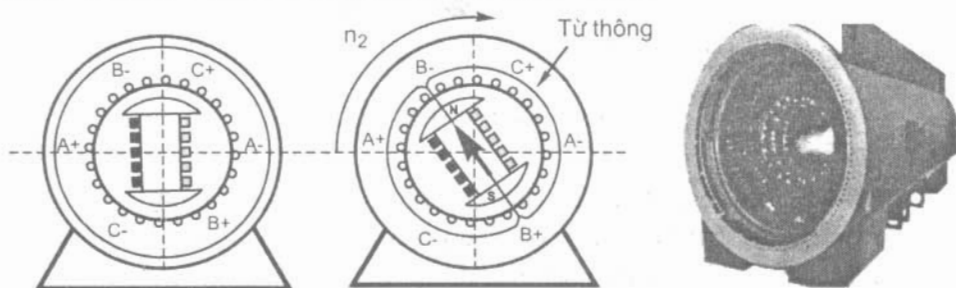
Máy điện đồng bộ còn dùng làm động cơ, đặc biệt trong các thiết bị lớn, vì khác với máy điện không đồng bộ chúng phát ra công suất phản kháng.

Động cơ điện có một đặc tính quan trọng: với tần số dòng ổn định thì tốc độ của động cơ không phụ thuộc vào tải. Chính đặc tính này quyết định lĩnh vực ứng dụng của động cơ đồng bộ.

Các động cơ đồng bộ công suất nhỏ (đặc biệt là các động cơ kích từ bằng nam châm vĩnh cửu) cũng được dùng rất rộng rãi trong các trang bị tự động và điều khiển.

### 4.2. CẤU TẠO MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Máy điện đồng bộ có kết cấu sao cho từ trường phân bố trong không gian gần dạng hình sin. Thành phần cơ bản là rôto và stato. Thành phần chính của stato và rôto là mạch từ và mạch điện.



Hình 4.1. Sơ đồ cấu tạo máy điện đồng bộ

### 4.2.1. Stato

Stato của máy điện đồng bộ giống như stato của máy điện không đồng bộ, gồm có lõi sắt stato và dây quấn còn gọi là dây quấn phần ứng.

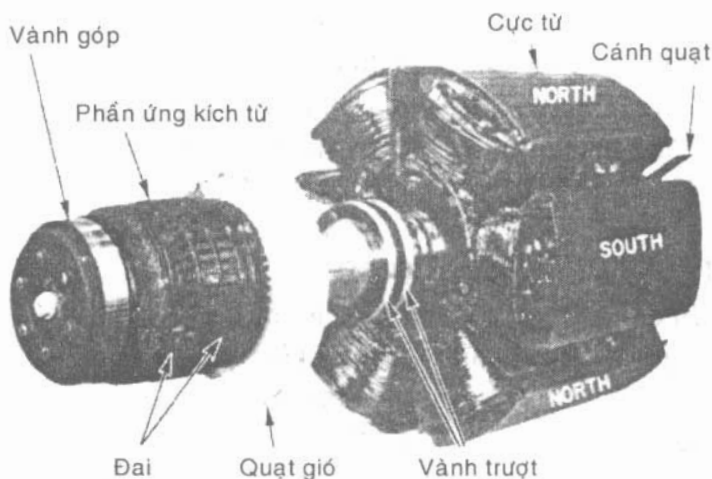
### 4.2.2. Rôto

Rôto máy điện đồng bộ gồm có cực từ và dây quấn kích từ dùng để tạo ra từ trường cho máy. Đối với máy điện nhỏ rôto là nam châm vĩnh cửu.

Rôto máy điện đồng bộ được chia làm hai loại: rôto cực ẩn và rôto cực lộ.

#### a) Rôto cực lộ

Rôto cực lộ của máy điện đồng bộ công suất vừa và nhỏ lõi thép được chế tạo bằng thép đúc và gia công thành khối lăng trụ, trên mặt có đặt các cực từ. Ở các máy lớn lõi thép có được hình thành bởi các tấm thép được dập hoặc đúc hình sẵn để ghép. Vì vậy mà dạng mặt cực để khe hở không khí không đều, mục đích là làm cho từ cảm phân bố trong khe hở không khí hình sin để sđd cảm ứng ở dây quấn stato hình sin (hình 4.2). Loại rôto này dùng ở các máy phát có tốc độ thấp, có nhiều đôi cực như máy phát kéo bởi tua bin thủy điện.

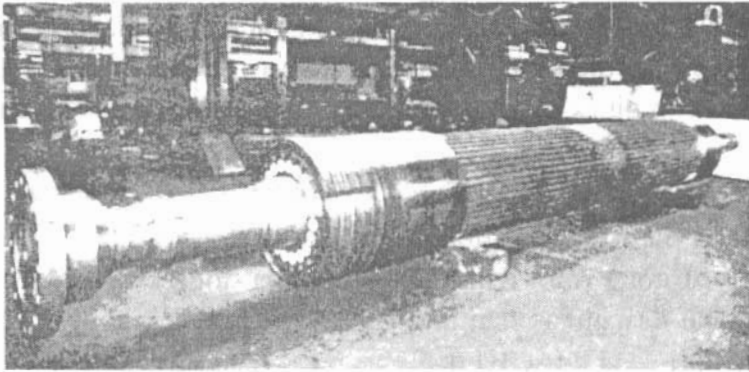


Hình 4.2. Rôto cực lộ

#### b) Rôto cực ẩn

Khe hở không khí đều và rôto chỉ có hai cực hoặc bốn cực (hình 4.3). Rôto cực ẩn thường dùng ở máy có tốc độ cao 3000 vg/ph có hai cực hoặc bốn cực. Vì tốc độ cao nên để chống lực ly tâm, rôto được chế tạo nguyên khối có đường kính nhỏ.

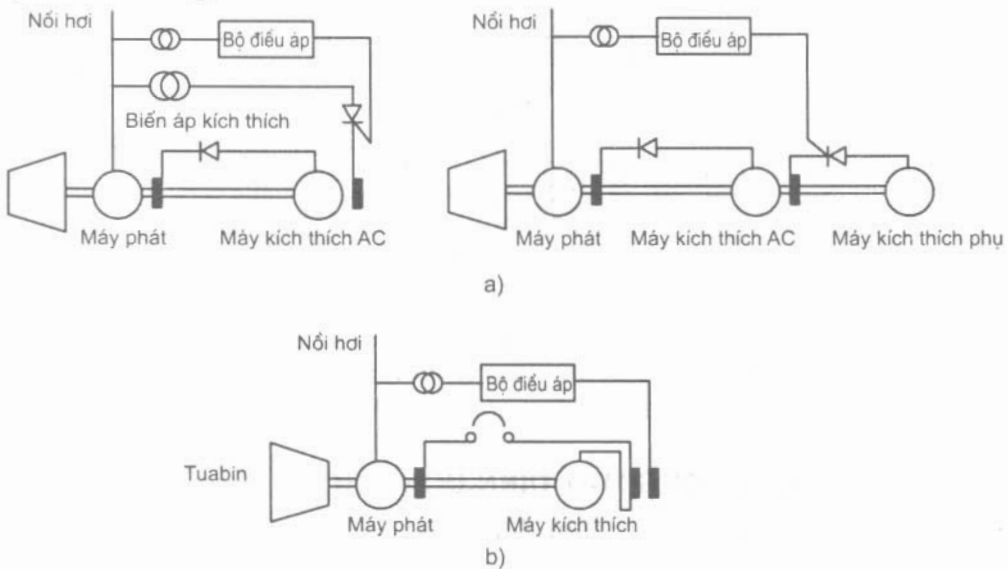
Rôto cực ẩn làm bằng thép hợp kim chất lượng cao, được rèn thành khối trụ, sau đó phay rãnh để đặt dây quấn kích từ. Phần không phay rãnh hình thành mạch cực từ.



**Hình 4.3.** Rôto cực từ ẩn 2 cực 3600 vg/ph  
(Westinghouse Electric Corporation)

Đối với rôto cực ẩn, dây quấn kích từ được đặt trong các rãnh rôto được chế tạo từ dây đồng mềm và quấn chặt vào rôto để có độ bền cần thiết. Hai đầu của dây quấn kích từ đi luồn trong trục và nối với 2 vành trượt ở đầu trục, tiếp xúc với hai chổi điện để nối với nguồn kích từ.

Đối với rôto cực lồi dây quấn kích từ được chế tạo từ dây đồng thành từng cuộn và lồng vào các thân cuộn. Trên các đầu cực có dây quấn kiểu lồng sóc.



**Hình 4.4.** Hệ thống kích thích một chiều (a);  
Hệ thống kích thích xoay chiều (b).

### 4.2.3. Nguồn kích thích

Nguồn kích thích cung cấp dòng một chiều cho dây quấn kích thích máy điện đồng bộ. Phần lớn nguồn kích thích là máy phát điện một chiều kích từ song song có công suất khoảng 0,3 hoặc 2% máy điện đồng bộ. rôto máy điện kích thích nối cùng trục với rôto máy điện đồng bộ. Ngoài ra còn dùng máy kích từ xoay chiều kết hợp với bộ chỉnh lưu.

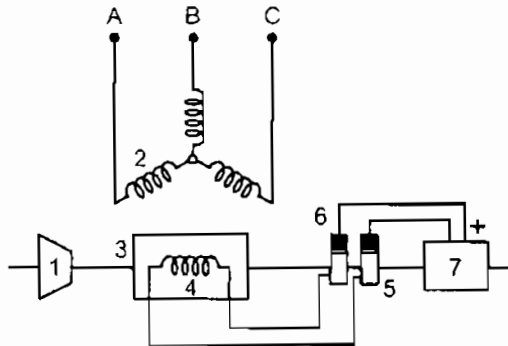
## 4.3. NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Cho dòng điện kích từ (dòng điện không đổi) vào dây quấn kích từ sẽ tạo nên từ trường rôto. Khi quay rôto bằng động cơ sơ cấp, từ trường của rôto sẽ cắt dây quấn phần ứng stato và cảm ứng sức điện động xoay chiều hình sin  $E_{01} = 4.44f w_1 k d_q \Phi_{01}$

Trong đó:  $E_{01}$ ,  $w_1$ ,  $k d_q$ ,  $\Phi_{01}$  là sức điện động pha, số vòng dây một pha, hệ số dây quấn, từ thông cực từ rôto.

Khi dây quấn stato nối với tải, trong các dây quấn sẽ có dòng điện 3 pha. Hệ thống dòng điện này sinh ra từ trường quay, gọi là từ trường

phản ứng, có tốc độ là:  $n_1 = \frac{60.f}{p}$



Hình 4.5. Sơ đồ nguyên lý của máy phát đồng bộ ba pha

1. Động cơ sơ cấp (tuabin hơi);
2. Dây quấn stato;
3. Rôto của máy phát đồng bộ;
4. Dây quấn rôto;
5. Vành trượt;
6. Chổi than từ vành trượt;
7. Máy phát điện một chiều cùng trục với máy phát điện đồng bộ.

## 4.4. TỪ TRƯỜNG TRONG MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

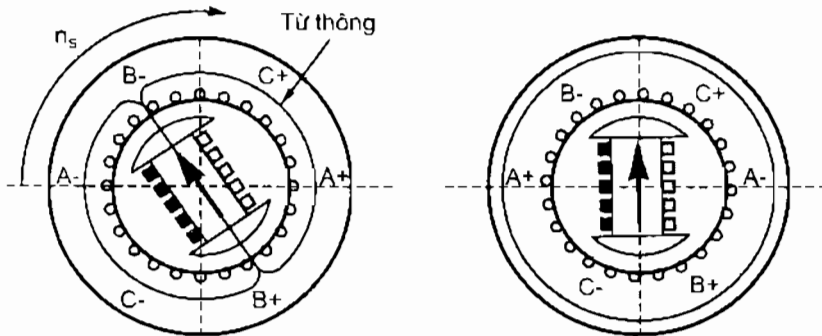
Từ trường trong máy điện đồng bộ tạo bởi từ trường cuộn kích thích và từ trường cuộn phần ứng.

Theo phương pháp phân tích từ trường trong MBA và máy điện

KĐB có thể tìm tổng hai từ trường trên rồi phân tích tác động của nó. Song phương pháp đó sẽ gặp khó khăn đối với MĐĐB. Điều này được giải thích như sau :

Xét cho sóng cơ bản thì từ trường kích thích  $\Phi_0$  và từ trường phản ứng  $\Phi_1$  là từ trường hình sin trong không gian. Trục của hai từ trường này có thể lệch nhau. Tổng của chúng sẽ là một từ trường lệch trục so với  $\Phi_0$ .

Trong MĐĐB cực lõi, mạch từ không đối xứng nên trục từ trường thay đổi, từ trở thay đổi. Cùng một độ lớn  $\Phi$ , với trục thay đổi sẽ có độ lớn từ thông thay đổi (ví dụ mạch từ hình 4.6). Mạch từ theo trục  $\Phi_0$  có từ trở nhỏ nhất. Mạch từ này gọi là mạch từ dọc trục. Mạch từ này ngang trục với  $\Phi_0$ , có từ trở lớn nhất, gọi là mạch từ ngang trục.



Hình 4.6. Từ trở mạch từ MĐĐB phụ thuộc trục từ trường tổng

Do những nguyên nhân trên, đối với MĐĐB dùng một phương pháp phân tích mới. Nội dung của nó là phân tích riêng rẽ tác động của từ trường  $\Phi_0$  và  $\Phi_1$  rồi xếp chồng kết quả.

Sự ảnh hưởng của  $\Phi_1$  tới  $\Phi_0$  gọi là phản ứng phản ứng.

#### 4.4.1. Tác động của từ trường $\Phi_0$

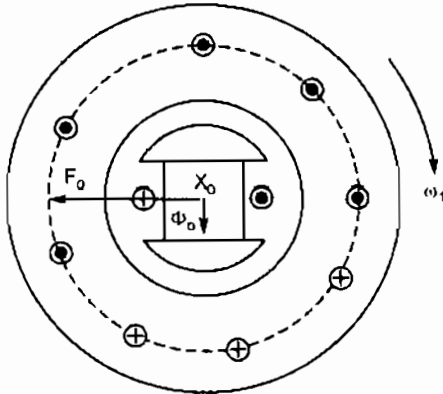
Từ trường  $\Phi_0$  được tạo nên do cuộn dây kích thích, nhờ cấu trúc của máy điện mà nó phân bố trong không gian máy điện theo quy luật hình sin. Mạch từ với tác động của  $\Phi_0$  bao giờ cũng có từ trở nhỏ nhất, gọi là từ trở dọc trục  $R_{Mđ}$ . Khi rôto quay từ trường này cảm ứng trên dây quấn stato sức điện động  $\Phi_0$ . Chiều của  $\Phi_0$  xác định theo quy tắc bàn tay phải khi cho trước chiều của  $\Phi_0$  và  $\omega_1$ .



Dưới tác động của từ thông  $\Phi_0$ , sức điện động dây quấn phản ứng độ lớn:

$$E_0 = \frac{1}{\sqrt{2}} f_1 w_1 \Phi_0 k_{dq} \cdot 2\pi = 4,44 f_1 w_1 k_{dq} \Phi_0 \quad (4.1)$$

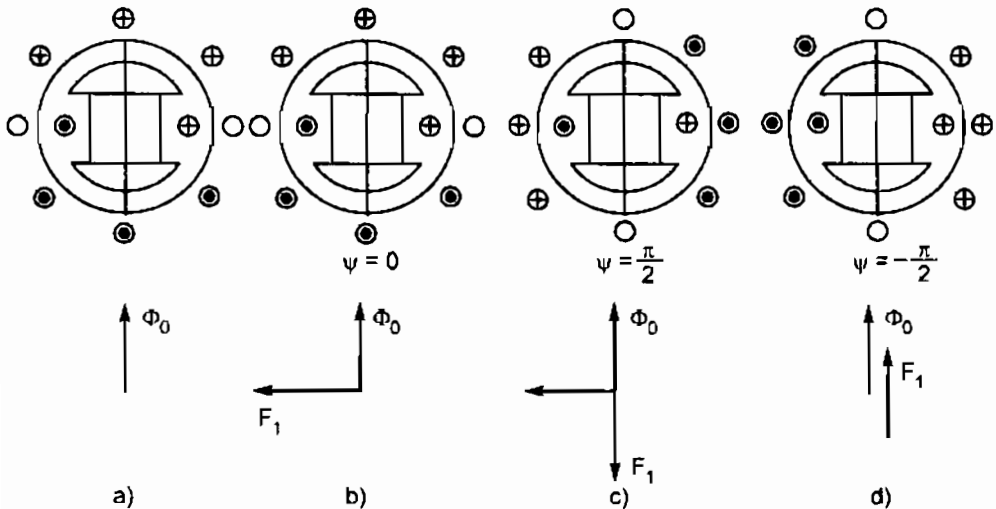
Trong đó:  $E_0$ ,  $w_1$ ,  $k_{dq}$ ,  $\Phi_0$  là sức điện động pha, số vòng dây một pha, hệ số dây quấn, từ thông cực từ rôto.



Hình 4.7. Sự phân bố chiều sđđ của các thanh dẫn phản ứng MĐĐB

#### 4.4.2. Tác động của từ trường phản ứng $F_1$

Để phân tích tác động trước hết cần chú ý rằng trục của  $F_1$  phụ thuộc vào tính chất của tải. Thực vậy, tùy theo tính cảm, dung hay trở mà chiều dòng trong các thanh dẫn sẽ phân bố khác với chiều  $E_0$  trên hình 4.7.



Hình 4.8. Phân bố dòng điện trong các thanh dẫn phản ứng theo đặc tính tải

Hình 4.8 trình bày sự phân bố chiều dòng điện trong một số trường hợp. Nếu tải thuần trở để góc lệch pha giữa  $E_0$  và  $I$  là  $\psi = 0$  thì phân bố chiều dòng điện trùng với sự phân bố chiều  $E_0$ . Theo sự phân bố đó (hình 4.8b) thì trục của  $\Phi_1$  vuông với trục của  $\Phi_0$  và chậm sau  $\Phi_0$  (theo chiều quay rôto). Từ trở của mạch từ này là lớn nhất. Tác động của  $\Phi_1$  nhỏ hơn so với trường hợp trục của nó ở hướng khác. Từ trường này gọi là từ trường ngang trục. Đây là từ trường quay và nó cũng cảm ứng lên dây quấn phản ứng sức điện động ngang trục.  $\Phi_1$  chậm hơn  $\Phi_0$  góc  $\pi/2$  nên sức điện động ngang trục  $E_q$  cũng chậm hơn  $E_0$  một góc bằng  $\pi/2$ .

Trường hợp  $\Psi = \pi/2$  sự phân bố chiều dòng điện như trên hình 4.8c. Từ đây thấy trục của  $\Phi_1$  ngược với  $\Phi_0$ . Tác động của  $\Phi_0$  lúc này gọi là khử từ. Trường hợp  $\Psi = -\pi/2$  sự phân bố chiều dòng điện như trên hình 4.8d. Trường hợp này  $\Phi_1$  trùng với  $\Phi_0$ . Tác động của  $\Phi_1$  trong trường hợp này gọi trợ từ. Từ trường  $\Phi_1$  trợ từ và khử từ đều chung với trục  $\Phi_0$  được gọi là từ trường dọc trục. Để thấy sức điện động dọc trục trùng pha (khi  $\Psi = -\pi/2$ ) hoặc ngược pha (khi  $\Psi = \pi/2$ ) với  $E_0$ .

Trường hợp thường gặp trong thực tế là tải có tính R – L nên góc  $\psi$  nằm trong khoảng  $0 < \Psi < \pi/2$ .

Góc  $\psi$  là góc lệch giữa  $E_0$  và  $I$ . Do E chậm hơn  $\Phi_0$  góc  $\pi/2$  nên góc lệch giữa các trục của hai từ trường  $\Phi_0$  và  $\Phi_1$  bằng  $\Psi + \pi/2$ . Để thuận lợi cho việc phân tích coi:

$$\Phi_1 = \Phi_1 \cos \psi + j \Phi_1 \sin \psi$$

$\Phi_1 \cos \psi = \Phi_q$  là từ trường ngang trục và gọi là thành phần ngang trục của  $\Phi_1$ ;

$\Phi_1 \sin \psi = \Phi_d$  gọi là thành phần dọc trục của  $\Phi_1$ .

Phân tích  $\Phi_1$  thành hai thành phần ngang trục và dọc trục tiện lợi vì từ trở của hai mạch đó là cố định. Xét tác động của từng thành phần rồi xếp chồng kết quả làm cho việc phân tích rất đơn giản. Tuy nhiên phương pháp này chỉ đảm bảo chính xác nếu mạch từ chưa bão hòa. Trường hợp mạch từ bão hòa cần có những biện pháp để hiệu chỉnh, tính tới sai số đã nêu.

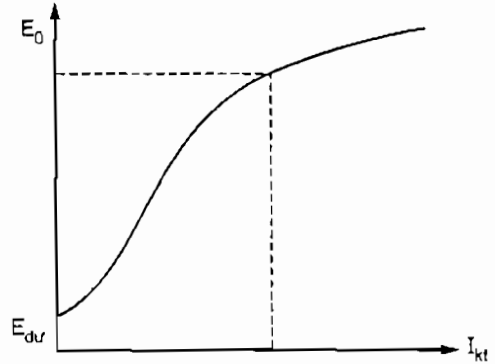
## 4.5. CÁC ĐẶC TÍNH LÀM VIỆC CỦA MÁY PHÁT ĐỒNG BỘ

Những đặc tính của máy phát điện đồng bộ là quan hệ giữa các đại lượng ở cửa đầu ra ( $U, I$ ) và cửa vào ( $\omega, i_{kt}$ ) của máy. Dựa vào đặc tính này để dàng phân tích sự làm việc của máy. Những đặc tính này có thể được thành lập bằng phương pháp thực nghiệm hoặc phương pháp tính toán.

### 4.5.1. Đặc tính không tải

Là quan hệ  $U = f(i_{kt}), i = 0, \omega = \text{const}$ .

Khi máy chạy không tải, nếu ta tăng dần dòng kích thích ( $I_{kt}$ ) sức điện động  $E_0$  và  $U$  trên cực của máy phát cũng tăng theo. Quan hệ  $E = U_0 = f(I_{kt})$  với điều kiện (tốc độ  $n$  không đổi và  $I = 0$ ) gọi là đặc tính không tải của máy. Nếu ta giữ tốc độ quay của rôto không đổi thì  $E_0$  tỷ lệ với  $\Phi_0$  và đường đặc tính không tải có dạng đường cong từ hoá của vật liệu sắt từ.



Hình 4.9. Đặc tính không tải

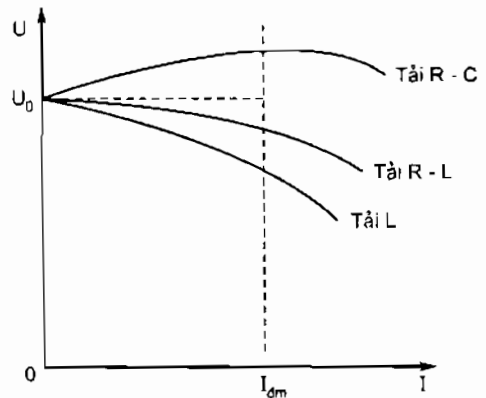
### 4.5.2. Đặc tính ngoài

Là quan hệ  $U = f(I), i_{kt} = \text{const}, \omega = \text{const}, \cos\varphi = \text{const}$ .

Hình 4.10 biểu diễn một số đặc tính ngoài với tải khác nhau.

Khi tải thuần trở phản ứng phân ứng chỉ có thành phần ngang trục  $F_q$ .  $F_q$  rất ít có tác dụng khử từ. Khi dòng điện  $I$  tăng, sụt áp cuộn dây phần ứng tăng dẫn đến điện áp giảm.

Trường hợp tải có tính chất cảm. Với sự tăng lên của  $I$ , sụt áp tăng phản ứng có thành phần dọc trục có tác dụng khử từ tăng làm cho  $U$  giảm nhiều hơn trường hợp tải trên.



Hình 4.10. Đặc tính ngoài

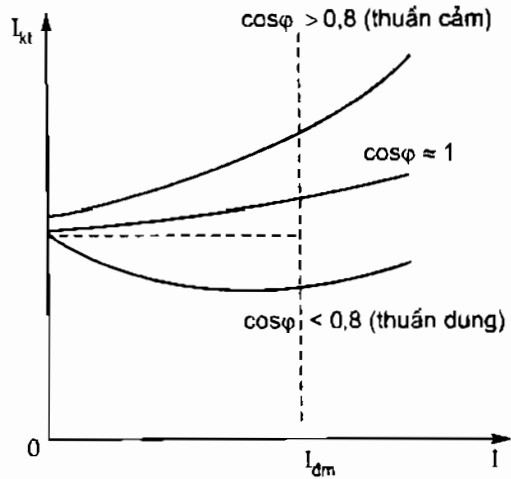
Trường hợp tải có tính dung phản ứng phần ứng có thành phần dọc trục trợ từ. Thành phần này tăng theo  $U$ ,  $I$  cũng sẽ tăng theo chiều tăng  $I$ .

Đặc tính ngoài của MĐĐB giống đặc tính ngoài của máy biến áp. Đây là đặc tính quan trọng của máy phát điện.

#### 4.5.3. Đặc tính điều chỉnh

Đặc tính điều chỉnh của máy phát là quan hệ giữa dòng điện kích từ  $I_{kt}$  theo dòng điện tải  $I$  khi điện áp  $U$  không đổi và tốc độ quay không đổi,  $\cos\varphi$  cũng không đổi (hình 4.11). Đặc tính này cho biết cần phải điều chỉnh dòng điện kích từ như thế nào để điện áp đầu máy không thay đổi.

Các đường đặc tính hiệu chỉnh có thể được giải thích dễ dàng, dựa vào đặc tính ngoài hình 4.10. Khi tải tăng nếu điện áp giảm thì phải giảm  $I_{kt}$  để duy trì  $U = \text{const}$ .



Hình 4.11. Đặc tính điều chỉnh

Thường trong các máy phát điện đồng bộ có bộ tự động điều chỉnh dòng kích từ để giữ điện áp không đổi. Đặc tính điều chỉnh mang ý nghĩa thực tiễn, từ đó mà thành lập các phương án điều chỉnh điện áp cho máy phát.

#### 4.5.4. Đặc tính ngắn mạch đối xứng

Là quan hệ  $I = f(i_{kt})$ ,  $U = 0$ ,  $\omega = \text{const}$ .

Dòng điện  $i$  là dòng trong một pha dây quấn phản ứng, đấu ngắn mạch đối xứng các pha.

Trường hợp này  $U = 0$ , do  $X \gg r$  nên mạch điện được coi là thuần cảm, dòng điện thuần dọc trục:  $I = I_d$ ,  $I_q = 0$ ; Hay  $E_0 = X_d I_d$ .

Do phản ứng khử từ mạnh nên mạch từ không bão hòa. Đặc tính ngắn mạch có dạng đường thẳng.

Dễ thấy sức điện động trong máy bù hoàn toàn cho phản ứng dọc trục và sụt áp trên cuộn dây phản ứng. Từ đây cũng có thể phân tích sức

từ động kích thích ( $F_{kl}$ ) thành hai thành phần. Thành phần để khử phản ứng phân ứng, phần còn lại bù sụt áp trên dây quán phân ứng. Hai đặc tính này có thể xác định nhờ đặc tính ngắn mạch và không tải nếu biết kháng tải.

## 4.6. HOÀ ĐỒNG BỘ

Các máy phát điện khi hoạt động ở chế độ làm việc song song với một máy khác, hoặc nhiều máy cùng nối chung vào một mạng lưới điện luôn đòi hỏi một số điều kiện. Một trong các điều kiện đó là các máy phải hoạt động đồng bộ với nhau.

Khi bắt đầu khởi động một máy phát điện, tốc độ của máy, tần số máy và điện áp của máy luôn bắt đầu từ 0. Sau khi các điều kiện tần số và điện áp của máy bằng với trị số định mức, phải có động tác đấu nối các máy lại với nhau. Động tác này gọi là hòa đồng bộ.

Người ta có thể hòa đồng bộ một máy phát điện với một máy khác, một máy phát điện với một lưới đang có điện, hoặc 2 lưới cùng đang có điện với nhau.

### 4.6.1. Các điều kiện hoà đồng bộ máy phát điện

- Điều kiện về tần số: hai máy phải bằng tần số với nhau, hoặc tần số máy phải bằng tần số lưới.
- Điều kiện về điện áp: hai máy phải cùng điện áp với nhau, hoặc điện áp máy phải bằng điện áp lưới.
- Điều kiện về pha: hai máy phải cùng thứ tự pha, và góc pha phải trùng nhau.

Ta thấy điều kiện 1 và điều kiện 3 có vẻ như mâu thuẫn với nhau. Vì nếu muốn cho góc pha của 2 phía trùng nhau, thì phải điều chỉnh tần số. Khi đã điều chỉnh tần số thì tần số không thể bằng nhau. Nếu muốn giữ nguyên cho 2 tần số bằng nhau, thì không thể điều chỉnh được góc pha. Do đó điều kiện thực tế là:

#### a) Điều kiện về tần số

Tần số của hai máy xấp xỉ bằng nhau. Sai biệt nằm trong khoảng  $\Delta f$  cho phép. Khoảng  $\Delta f$  này là bao nhiêu tùy thuộc vào việc chỉnh định bộ điều tốc và rơ le hòa điện tự động, hoặc rơ le chống hòa sai.

Thông thường, người ta điều chỉnh sao cho  $\Delta f$  có trị số  $> 0$  một chút, nghĩa là tần số máy cao hơn tần số lưới một chút. Như vậy khi hòa vào

lưới, máy phát sẽ bị tần số lưới ghìm lại, nghĩa là máy phát chỉ phát một công suất nhỏ ra lưới ngay thời điểm đóng máy cắt.

Một số role cho phép đóng cả khi tần số máy phát thấp hơn tần số lưới. Nhưng vận hành viên thường vẫn điều chỉnh sao cho tần số máy cao hơn. Nếu tần số máy thấp hơn lưới, thì sau khi đóng máy cắt, máy phát sẽ bị tần số lưới kéo cho chạy nhanh lên, công suất sẽ bị âm một ít, máy phát làm việc ở chế độ động cơ.

Thông thường, các bộ điều tốc sẽ chỉnh định tốc độ FSNL (full speed no load) bằng 100,3 % định mức. Và đây cũng là tần số ban đầu để đưa hệ thống hòa đồng bộ vào vận hành. Với  $d_f$  nhỏ hơn  $d_f$  cho phép, thì khi hòa đồng bộ, công suất phát ra hoặc thu vào rất bé, không ảnh hưởng gì đến hệ thống.

#### **b) Điều kiện về điện áp**

Người ta cũng cho phép điện áp có sai biệt chút ít so với điện áp lưới. Và thường người ta cũng chỉnh định sao cho điện áp máy phát bằng hoặc hơn điện áp lưới một chút, để khi đóng điện thì công suất vô công của máy nhìn hơn 0 một chút. Đối với điện áp thì có thể điều chỉnh cho  $U_{\text{máy}} = U_{\text{lưới}}$  chính xác mà không có vấn đề gì.

#### **c) Điều kiện về pha**

Đây là điều kiện bắt buộc, và phải tuyệt đối chính xác. Thứ tự pha, thường chỉ kiểm tra một lần đầu tiên khi lắp đặt máy. Từ đó về sau, không ai kiểm tra lại làm gì, ngoại trừ nếu có công tác gì đó phải tháo thiết bị ra và lắp lại.

Vì phải điều chỉnh tần số, nên 2 tần số không bằng nhau. Do đó góc pha sẽ thay đổi liên tục theo tần số phách bằng hiệu của 2 tần số. Các role phải dự đoán chính xác thời điểm góc pha bằng 0, biết trước thời gian đóng của máy cắt, và phải cho ra tín hiệu đóng máy cắt MC trước thời điểm đồng bộ bằng đúng thời gian đó. Thường khoảng dưới 100 ms đến vài trăm ms.

### **4.6.2. Các biện pháp để kiểm tra các điều kiện đồng bộ**

Các điều kiện về điện áp và điều kiện về tần số, có thể kiểm tra bằng các dụng cụ đo trực tiếp như Vôn kế, Tần số kế. Nhưng các điều kiện về pha: thứ tự pha và đồng vị pha (góc lệch pha) cần phải kiểm tra nghiêm ngặt hơn:

- Đồng vị pha trong máy phát
- Đồng vị pha trong hai hệ thống lưới

Đối với các hệ thống phân đoạn, hệ thống lưới mạch vòng, thì đồng vị pha đã được xác định ngay khi thiết kế. Tuy nhiên do những sai lệch về điện áp giáng trên đường dây, trên tổng trở ngắn mạch của máy biến áp, do phối hợp các tổng trở các máy biến áp trong mạch vòng không tốt và do sự phân bố tải trước khi đóng, nên góc pha giữa 2 đầu máy cắt có thể khác 0. Nhưng thường là ít thay đổi trong thời gian ngắn. Trong trường hợp này, đóng máy cắt sẽ không gây ra ảnh hưởng gì lớn, ngoại trừ một vài điểm nào đó có khả năng quá tải.

Đối với một số vùng liên kết với hệ thống lưới bằng một đường duy nhất, hoặc nhiều đường nhưng do sự cố đã rã toàn bộ, thì khi đóng lại, góc pha sẽ không còn bằng 0 nữa. Khi đó, góc pha sẽ thay đổi liên tục, vì 2 tần số lúc ấy sẽ không còn bằng nhau. Đóng máy cắt lúc đó phải đầy đủ các điều kiện về tần số như hòa đồng bộ máy phát điện. Và thường rất khó, khó hơn hòa đồng bộ máy phát. Vì muốn thay đổi tần số của một trong 2 hệ thì không thể tác động tại chỗ được, mà phải liên hệ từ xa.

Để bảo đảm đồng vị pha, trên mạch điều khiển các máy cắt ấy phải lắp đặt role hòa đồng bộ, hoặc rơ le chống hòa sai (ký hiệu 25).

Đối với trường hợp thứ nhất, role có thể chỉnh định với khoảng cho phép khá rộng: góc pha có thể sai từ 5 đến 10 độ, điện áp cho phép sai từ 5 đến 10%.

## **4.7. ĐỘNG CƠ ĐIỆN ĐỒNG BỘ**

### **4.7.1. Khái niệm chung**

Động cơ đồng bộ 3 pha làm việc khác với động cơ không đồng bộ 3 pha như sau:

- Đòi hỏi thêm nguồn điện 1 chiều.
- Có thể làm việc tại tốc độ đồng bộ bất chấp mômen tải.
- Hệ số công suất của nguồn xoay chiều được điều khiển mà không ảnh hưởng đến công suất đầu ra của động cơ.
- Không thể khởi động với tốc độ đồng bộ nhưng có thể làm việc tại tốc độ đồng bộ.

Đạt hiệu suất và tính kinh tế hơn so với động cơ không đồng bộ, phù hợp với công suất lớn, tốc độ chậm. Ở dải công suất trên 200 kW với tốc độ không đổi có ưu điểm rõ ràng so với động cơ không đồng bộ.

Động cơ đồng bộ 3 pha kích thích 1 chiều rất phù hợp với các tải công nghiệp, làm việc lâu bền. Bao gồm máy nén, máy bơm, máy trộn, các bộ biến tần và việc chuyển từ chế độ động cơ sang chế độ máy phát. Nhưng động cơ đồng bộ thì giá thành cao hơn so với động cơ không đồng bộ. Hơn nữa việc mở máy động cơ đồng bộ cũng phức tạp hơn.

Có thể tối ưu hoá hệ số công suất loại động cơ này và cải thiện hệ số công suất toàn hệ thống.

#### **4.7.2. Nguyên lý hoạt động động cơ điện đồng bộ**

Khi ta cho dòng điện 3 pha  $i_A, i_B, i_C$  vào 3 dây quấn stato, tương tự như động cơ không đồng bộ, dòng điện 3 pha ở stato sẽ sinh ra từ trường quay với tốc độ  $n_1 = 60f/p$ .

Tác dụng tương hỗ giữa từ trường stato và từ trường rôto sẽ có lực tác dụng lên rôto; khi từ trường stato quay với tốc độ  $n_1$  lực tác dụng ấy sẽ kéo rôto quay với tốc độ  $n = n_1$ . Nếu trục của rôto nối với một máy nào đó thì động cơ sẽ kéo máy quay với tốc độ  $n$  không đổi.

#### **4.7.3. Mở máy động cơ điện đồng bộ**

Nếu đấu dây quấn phần ứng vào lưới điện. Khi máy đã được kích thích thì máy không được khởi động. Điều đó được giải thích như sau. Khi dây quấn phần ứng có dòng, thì trong máy có từ trường quay với vận tốc đồng bộ  $\omega_1$ . Khi rôto chưa quay thì các cực từ của nó luôn bị các cực từ của từ trường quay đi qua. Các cực từ khác tên của từ trường quay tác động lên một cực rôto những mômen ngược chiều. Do rôto của động cơ có quán tính cơ học nên kết quả là tổng các tác động sẽ bằng không, rôto giữ nguyên trạng thái nghỉ. Để mở máy động cơ đồng bộ cần thiết phải làm cho rôto quay sơ bộ với tốc độ gần đồng bộ. Có các cách mở máy động cơ điện đồng bộ sau đây:

##### **a) Dùng động cơ phụ trợ**

Khi mở máy động cơ đồng bộ ta dùng động cơ không đồng bộ để quay rôto động cơ đồng bộ đạt gần tốc độ đồng bộ, sau đó đóng điện một chiều vào dây quấn phần cảm, điện xoay chiều vào dây quấn phần ứng, mômen điện từ tác dụng lên rôto theo một chiều và động cơ được đưa vào tốc độ đồng bộ.

##### **b) Động cơ đồng bộ có phần khởi động không đồng bộ**

Đây là loại động cơ đồng bộ có cấu trúc thêm phần khởi động. Để động cơ đồng bộ tự mở máy được thì trên mặt ngoài của rôto có đặt một



dây quấn như dây quấn động cơ lồng sóc. Trình tự mở máy như sau, đóng điện xoay chiều ba pha vào stato, rôto quay như động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc, khi đạt tới tốc độ ổn định ta đóng điện một chiều vào rôto, từ trường quay stato sẽ kéo rôto vào tốc độ đồng bộ. Khi máy đã vào đồng bộ, tốc độ tương đối giữa rôto và từ trường quay bằng không nên mômen không đồng bộ bị triệt tiêu sẽ không ảnh hưởng tới sự làm việc của động cơ.

Để hạn chế dòng điện mở máy có thể mắc nối tiếp cuộn kháng vào mạch điện stato như động cơ không đồng bộ.

#### **4.7.4. Đặc điểm động cơ đồng bộ**

Động cơ đồng bộ có tốc độ không thay đổi khi tải thay đổi (với điều kiện tần số không thay đổi, vì vậy nó dùng truyền động cho các máy có yêu cầu tốc độ không thay đổi.

Hệ số công suất  $\cos\varphi$  của động cơ có thể nâng lên khi làm việc quá kích thích tạo nên dòng điện vượt pha trước điện áp để bù  $\cos\varphi$  cho lưới. Trường hợp này gọi là máy bù đồng bộ.

Hiệu suất của động cơ đồng bộ cao hơn không đồng bộ từ 1% đến 3%.

Nhược điểm của động cơ đồng bộ là cần nguồn điện một chiều để cung cấp cho phần cảm, mặt khác phương pháp mở máy phức tạp hơn.

#### **4.8. MÁY BÙ ĐỒNG BỘ**

Máy bù đồng bộ thực chất là động cơ điện đồng bộ làm việc không tải với dòng điện kích từ được điều chỉnh để phát hoặc tiêu thụ công suất phản kháng, dùng để duy trì điện áp quy định của lưới điện ở khu vực tập trung hộ tiêu thụ điện. Chế độ làm việc bình thường của máy bù đồng bộ là chế độ quá kích thích phát công suất điện cảm vào lưới điện, hay nói khác đi là tiêu thụ công suất điện dung của lưới điện. Ở trường hợp này, máy bù đồng bộ có tác dụng như một bộ tụ điện và được gọi là máy phát công suất phản kháng.

Máy bù đồng bộ thường có cấu tạo theo kiểu cực lõi. Để dễ mở máy, mặt cực được chế tạo từ thép nguyên khối trên có đặt dây quấn mở máy. Trong trường hợp mở máy trực tiếp khó khăn thì phải hạ điện áp mở máy, hoặc dùng động cơ không đồng bộ rôto dây quấn để kéo máy bù đồng bộ đến tốc độ đồng bộ. Trục của máy bù đồng bộ có thể nhỏ vì

không kéo tải cơ. Cũng do mômen cản trên trục nhỏ (chủ yếu chỉ do ma sát của ổ trục và quạt gió) nên yêu cầu làm việc ổn định với lưới điện không bức thiết, do đó có thể thiết kế cho điện kháng dọc trục  $x_d$  lớn, nghĩa là khe hở có thể nhỏ, kết quả có thể là làm giảm sức từ động và dây quấn kích từ khiến cho kích thước máy nhỏ hơn.

Công suất định mức của máy bù đồng bộ được quy định ứng với chế độ làm việc quá kích thích có trị số:  $S_{dm} = mU_{dm}I_{dm}$  (m là số pha)

Khi làm việc ở chế độ thiếu kích từ tối đa, nghĩa là ứng với khi  $i_{kt} = 0$  và  $E_0 = 0$ , công suất của máy bằng:  $S' = mU_{dm}I'$

$$\text{Nếu bỏ qua tổn hao thì: } I' = \frac{E_0 - \dot{U}_{dm}}{jx_d} = j \frac{\dot{U}_{dm}}{x_d}$$

$$\text{Vậy } S' = m \frac{U_{dm}^2}{x_d}$$

So sánh công suất đó với công suất định mức có:

$$\frac{S'}{S_{dm}} = \frac{U_{dm}}{I_{dm}x_d} = \frac{1}{x_{d*}}$$

Thông thường đối với máy bù đồng bộ  $x_{d*} = 1,5 \div 2,2$ ;  $S'/S_{dm} = 0,45 \div 0,67$  và các trị số này có thể đáp ứng yêu cầu về vận hành. Trong một số trường hợp cần tăng trị số  $S'$  thì phải giảm  $x_{d*}$  bằng cách tăng khe hở và điều này khiến giá thành máy cao hơn. Để được kinh tế hơn, có thể thực hiện chế độ kích thích âm, khi đó  $E_0 < 0$ , kết quả là  $I'$  sẽ tăng khiến cho  $S'$  lớn hơn lên.

## CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP CHƯƠNG 4

- 4.1. Nêu cấu tạo và nguyên lý làm việc của máy phát điện đồng bộ.
- 4.2. Nêu đặc tính ngoài và đặc tính điều chỉnh của máy phát điện đồng bộ.
- 4.3. Nêu các điều kiện hoà đồng bộ máy phát điện.
- 4.4. Trình bày nguyên lý làm việc, cách mở máy và điều chỉnh  $\cos\varphi$  của động cơ điện đồng bộ.
- 4.5. Tính số cực của rôto của động cơ đồng bộ, biết ở tần số 50Hz thì tốc độ quay rôto là 200 vg/ph.

*ĐS: 15 cực*

**4.6.** Tính tốc độ đồng bộ của hai họ động cơ đồng bộ thiết kế vận hành ở tần số 50Hz và 60Hz khi số cặp cực thay đổi từ 1 đến 10.

*ĐS: ở tần số 50Hz*

P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$n_1$	3000	1500	1000	750	600	500	428,5	375	333	300

*ở tần số 60Hz*

P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$n_1$	3600	1800	1200	900	720	600	514	450	400	360

**4.7.** Một tải ba pha có điện trở  $10\Omega$ / pha được cấp từ một máy phát đồng bộ ba pha 220V. Tải nối  $\Delta$ , sau đó nối Y. Tính dòng điện dây và công suất tải tiêu thụ trong hai trường hợp trên ?

**4.8.** Một động cơ không đồng bộ kéo tải và tiêu thụ 350kW từ lưới ở hệ số công suất 0,707 chậm pha. Một động cơ đồng bộ thừa kích từ nối song song với động cơ không đồng bộ và tiêu thụ 150kW từ lưới. Nếu hệ số công suất chung của hai động cơ là 0,9 chậm pha, tính công suất phản kháng và công suất biểu kiến của động cơ đồng bộ.

*ĐS:  $Q_1 = 350 \text{ kVar}$ ,  $Q_2 = -107 \text{ kVar}$ ,  $S_2 = 184,8 \text{ kVA}$ .*

## Chương 5

# MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

---

### 5.1. ĐẠI CƯƠNG VỀ MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

Ngày nay, mặc dù máy điện xoay chiều đã được sử dụng rất rộng rãi, nhưng máy điện một chiều vẫn chiếm một vị trí quan trọng trong đời sống công nghiệp.

Ưu điểm của động cơ điện một chiều là có đặc tính điều chỉnh tốc độ rất tốt, phạm vi rộng, vì vậy được sử dụng nhiều ở những nơi có yêu cầu cao về điều chỉnh tốc độ như: cán thép, giao thông, hầm mỏ...

Máy phát điện một chiều dùng làm nguồn điện cho các động cơ điện một chiều, nguồn cho cuộn kích từ của máy điện đồng bộ. Ngoài ra trong công nghiệp điện hóa học như tinh luyện đồng, nhôm, mạ điện... cũng cần nguồn điện một chiều điện áp thấp.

Nhược điểm của máy điện một chiều là giá thành còn đắt, sử dụng kim loại màu nhiều hơn, chế tạo và bảo quản cồng kềnh, nguy hiểm trong môi trường cháy nổ.

Hiện nay, công suất lớn nhất của máy điện một chiều vào khoảng 10000kW, điện áp vào khoảng vài trăm cho đến 1000 V. Hướng phát triển hiện nay là cải tiến tính năng của vật liệu, nâng cao chỉ tiêu kinh tế của máy và chế tạo những máy công suất lớn hơn.

### 5.2. CẤU TẠO MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

Tương tự như máy điện đồng bộ, máy điện một chiều cấu tạo gồm hai phần chính đó là phần cảm và phần ứng. Điểm khác nhau căn bản giữa máy điện một chiều và máy điện xoay chiều là máy điện một chiều có thêm vành đổi chiều.

#### 5.2.1. Phần cảm (tĩnh)

##### a) Cực từ chính

Đây là bộ phận sinh ra từ trường gồm có lõi thép cực từ và dây quấn kích từ lồng ngoài lõi thép cực từ.

Lõi thép cực từ làm bằng thép kỹ thuật điện hay thép các bon có độ dày 0,5 đến 1mm ép lại và tán chặt.

Dây quấn kích từ làm bằng dây đồng bọc cách điện. Các cuộn dây kích từ đặt trên các cực từ chính thường được nối nối tiếp với nhau.

#### b) Cực từ phụ

Cực từ phụ được đặt giữa các cực từ chính giúp thuận lợi cho quá trình đổi chiều. Lõi thép làm cực từ phụ dùng thép khối, dây quấn cực từ phụ như ở cực từ chính.

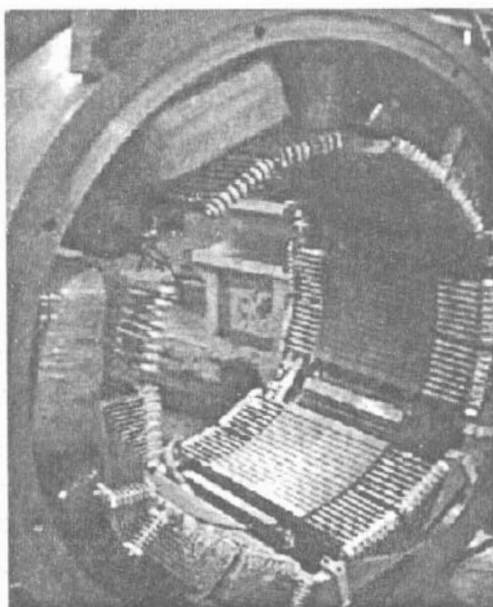
#### c) Gông từ

Dùng làm mạch từ nối liền các cực từ, đồng thời làm vỏ máy. Máy điện nhỏ và vừa thường dùng thép tấm dày uốn và hàn lại. Trong máy điện lớn thường dùng thép đúc.

#### d) Các bộ phận khác

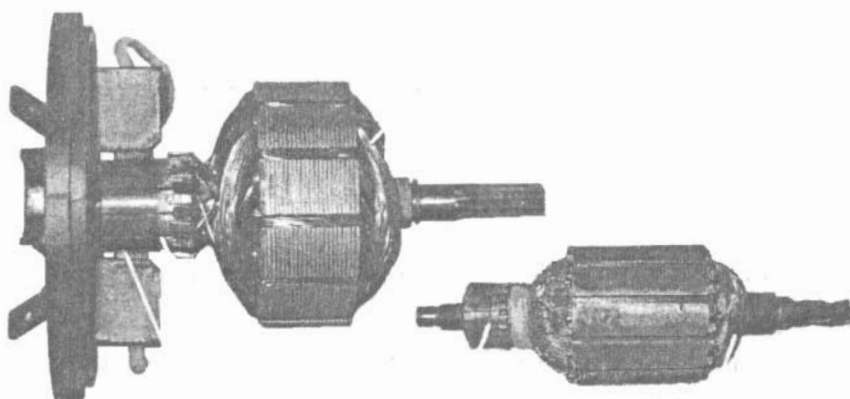
– Nắp máy: để bảo vệ máy khỏi bị những vật ngoài rơi vào làm hư hỏng và an toàn cho người, tránh chạm phải điện.

– Cơ cấu chổi than: để đưa dòng điện từ phần quay ra ngoài. Cơ cấu chổi than gồm có chổi than đặt trong hộp chổi than và nhờ một lò xo tỳ chặt lên cổ góp.



Hình 5.1. Phần cảm

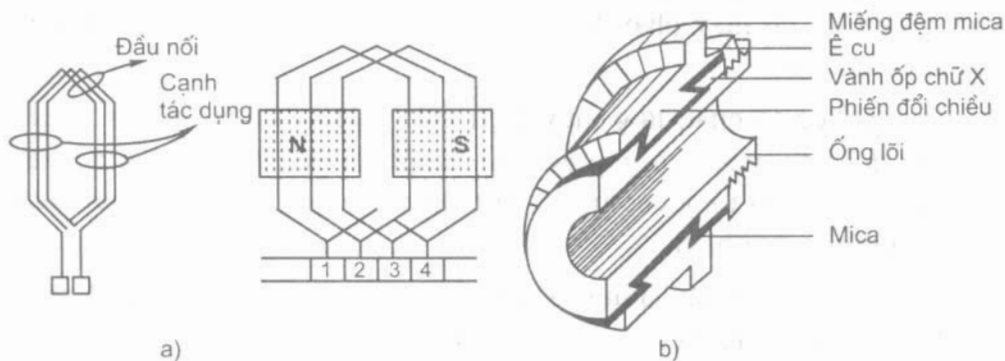
### 5.2.2. Phần quay (rôto)



Hình 5.2. Phần quay

a) **Lõi thép phản ứng:** dùng làm mạch dẫn từ và thường được làm từ thép kỹ thuật điện dày 0,5mm phủ cách điện mỏng ở 2 bên rồi ép chặt lại để giảm tổn hao do dòng điện xoáy. Trên lá thép có dập hình dạng rãnh để đặt dây quấn, ngoài ra còn dập những lỗ thông gió để làm mát máy.

b) **Dây quấn phản ứng:** là phần sinh ra sức điện động và có dòng điện chạy qua, dây quấn phản ứng thường làm bằng dây đồng có bọc cách điện. Với máy điện vừa thường dùng tiết diện tròn, với máy điện lớn thường dùng tiết diện chữ nhật (hình 5.3a).



Hình 5.3. Dây quấn phản ứng và cổ góp

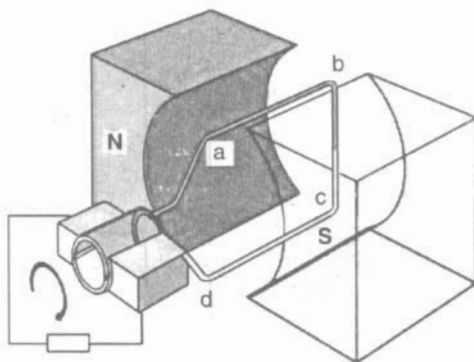
c) **Cổ góp:** dùng để đổi dòng điện xoay chiều thành một chiều (hình 5.3b).

## 5.3. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CƠ BẢN CỦA MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

### 5.3.1. Nguyên lý làm việc của máy phát điện một chiều

Hình 5.4 mô tả nguyên lý làm việc của máy phát điện một chiều, trong đó dây quấn phản ứng chỉ có một phần tử nối với hai phiến đổi chiều.

Khi động cơ sơ cấp quay phần ứng, các thanh dẫn của dây quấn phản ứng cắt từ trường của cực từ, cảm ứng các sức điện động. Chiều sức điện động xác định theo quy tắc bàn tay phải. Như hình (5.4), từ trường hướng từ cực N đến cực S (từ trên xuống dưới), chiều quay phần ứng ngược chiều kim đồng hồ,



Hình 5.4. Nguyên lý làm việc máy phát điện một chiều

ở thanh dẫn phía trên, sdd có chiều từ b đến a. Ở thanh dẫn phía dưới, chiều sdd từ d đến c, sdd của phần tử bằng hai lần sdd của thanh dẫn. Nếu hai chổi điện A và B nối với tải, trên tải sẽ có dòng điện chiều từ A đến B. Điện áp của máy phát điện có cực dương ở chổi A và âm ở chổi B.

Khi phần ứng quay được nửa vòng, vị trí các phần tử thay đổi, thanh ab ở cực S thanh cd ở cực N, sdd trong thanh dẫn đổi chiều. Nhờ có chổi điện đứng yên, chổi điện A vẫn nối với phiến góp phía trên, chổi điện B vẫn nối với phiến góp phía dưới, nên chiều dòng điện ở mạch ngoài không đổi. Ta có máy phát điện một chiều với cực dương ở chổi A và cực âm ở chổi B.

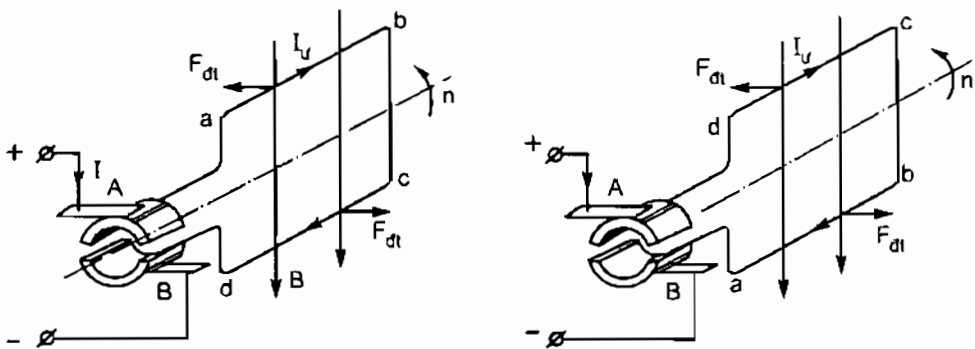
Trong thực tế phần ứng máy điện một chiều dây quấn gồm nhiều phần tử nối tiếp nhau, cổ góp gồm nhiều phiến đổi chiều, điện áp trên hai chổi điện sẽ là tổng các trị số. Sức điện động của các phần tử trong mạch ổn định hơn nhiều.

Ở chế độ máy phát, dòng điện phần ứng cùng chiều với sdd phần ứng  $E_v$ . Phương trình điện áp của máy phát là:

$$U = E_v - R_v I_v \quad (5.1)$$

Trong đó:  $R_v I_v$  là điện áp rơi trong dây quấn phần ứng;  $R_v$  là điện trở của dây quấn phần ứng;  $U$  là điện áp đầu cực của máy phát;  $E_v$  là sức điện động phần ứng.

### 5.3.2. Nguyên lý làm việc động cơ điện một chiều



Hình 5.5. Nguyên lý làm việc của động cơ điện một chiều

Khi cho điện áp một chiều  $U$  vào hai chổi điện A và B, trong dây quấn phần ứng có dòng điện  $I_v$ . Các thanh dẫn ab, cd có dòng điện nằm

trong từ trường, sẽ chịu lực điện từ tác dụng làm cho rôto quay. Chiều lực điện từ xác định theo quy tắc bàn tay trái.

Khi phần ứng quay được nửa vòng vị trí các thanh dẫn ab, cd đổi chỗ cho nhau do có phiên đổi chiều dòng điện, giữ cho chiều lực tác dụng không đổi, đảm bảo động cơ có chiều quay không đổi.

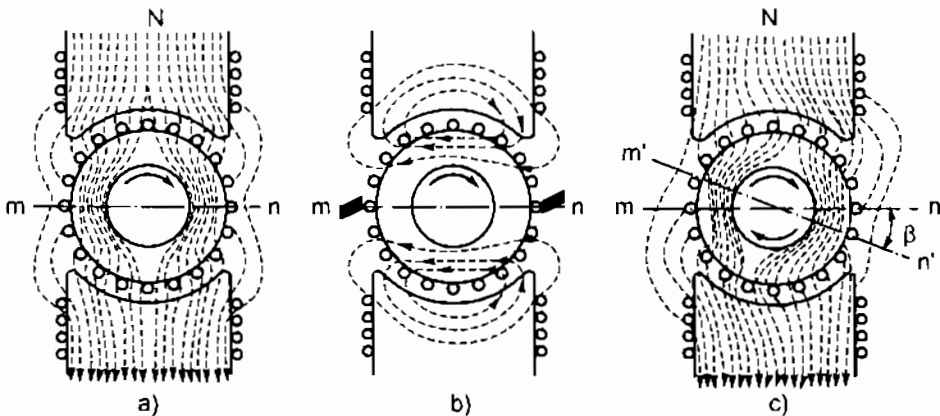
Khi động cơ quay, các thanh dẫn cắt từ trường, sẽ cảm ứng sức điện động  $E_v$ . Chiều sdd xác định theo quy tắc bàn tay phải. Ở động cơ điện thì chiều sdd  $E_v$  ngược chiều với chiều dòng điện

$$\text{Phương trình điện áp sẽ là: } U = E_v + R_v I_v \quad (5.2)$$

## 5.4. TỪ TRƯỜNG VÀ SỨC ĐIỆN ĐỘNG CỦA MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

### 5.4.1. Từ trường của máy điện một chiều

Từ trường trong máy điện một chiều chủ yếu là do cực từ và dòng điện phần ứng sinh ra. Khi máy không tải ( $I_v = 0$ ) từ trường trong máy chỉ do các cực từ kích thích bằng dòng kích từ gây ra. Khi có tải ngoài từ trường cực từ còn có từ trường phần ứng do dòng điện phần ứng. Tác dụng của từ trường phần ứng và từ trường cực từ gọi là phản ứng phần ứng. Phản ứng phần ứng làm thay đổi sự phân bố từ trường khe hở lúc không tải có ảnh hưởng xấu đến quá trình đổi chiều trong các phần tử dây quấn phần ứng bị chổi điện nối ngắn mạch, gây ra tia lửa nơi tiếp xúc của chổi điện với vành góp.



Hình 5.6. Từ trường máy điện một chiều

Trên hình 5.6a vẽ từ trường cực từ. Từ trường cực từ phân bố đối xứng. Ở đường trung tính hình học mn, cường độ từ cảm  $B = 0$ , thanh dẫn chuyển động qua đó không cảm ứng sức điện động.



Khi máy điện có tải, dòng điện  $I_v$  chạy trong dây quấn phần ứng sẽ sinh ra từ trường phần ứng như hình 5.6b. Từ trường phần ứng hướng vuông góc với từ trường cực từ.

Tác dụng của từ trường phần ứng lên từ trường cực từ gọi là phản ứng phần ứng, từ trường trong máy là từ trường tổng hợp của từ trường cực từ và từ trường phần ứng (hình 5.6c). Trên hình 5.6c vẽ từ trường tổng hợp. Ở mòm cực, từ trường được tăng cường tức là ở mòm cực này từ trường phần ứng cùng chiều từ trường cực từ. Trong khi đó ở mòm cực kia, từ trường bị yếu đi nghĩa là chính trên mòm cực này từ trường phần ứng ngược chiều từ trường cực từ.

Hậu quả của phản ứng phần ứng:

– Khi chổi than ở trên đường trung tính hình học, chỉ có phản ứng ngang trục mà tác dụng của nó làm méo từ trường khe hở. Đối với máy phát thì ở mòm ra cực từ (mòm cực từ mà phần ứng đi ra) máy được trợ từ, ở mòm vào của cực từ thì khử từ. Đối với động cơ thì chiều quay ngược với máy phát.

– Nếu mạch từ không bão hoà thì từ trường tổng không đổi vì tác dụng khử từ và trợ từ như nhau. Nếu mạch từ bão hoà thì do tác dụng trợ từ ít hơn khử từ nên từ thông tổng dưới mỗi cực giảm đi một ít, nghĩa là phản ứng phần ứng ngang trục cũng có một ít tác dụng.

– Từ cảm ở đường trung tính hình học không bằng không, do đó đường mà trên bề mặt phần ứng từ cảm bằng không gọi là đường trung tính vật lý đã lệch khỏi đường trung tính hình học một góc thuận theo chiều quay của máy phát.

*Tóm lại:* Khi chổi than đặt trên đường trung tính hình học thì chỉ có phản ứng ngang trục  $F_v$  làm méo từ trường khe hở và do đó làm xuất hiện đường trung tính vật lý. Nếu mạch từ không bão hòa thì từ thông tổng không đổi. Nếu mạch từ bão hòa thì từ thông tổng giảm đi một ít.

– Xê dịch chổi than khỏi đường trung tính hình học: Khi xê dịch như vậy thì sức từ động phần ứng chia làm 2 thành phần: ngang trục  $F_{uq}$  và dọc trục  $F_{ud}$  mà tác dụng của phản ứng ngang trục như đã trình bày ở trên. Phản ứng dọc trục ảnh hưởng trực tiếp từ trường cực từ chính và có tính chất trợ từ hay khử từ tùy thuộc vào chiều quay. Nếu xê dịch chổi than theo chiều quay của động cơ (ngược chiều máy phát) thì phản ứng dọc trục có tính chất trợ từ. Nếu xê dịch chổi than theo chiều quay của

máy phát (hay ngược chiều quay của động cơ) thì có phản ứng phản ứng dọc trục có tính chất khử từ.

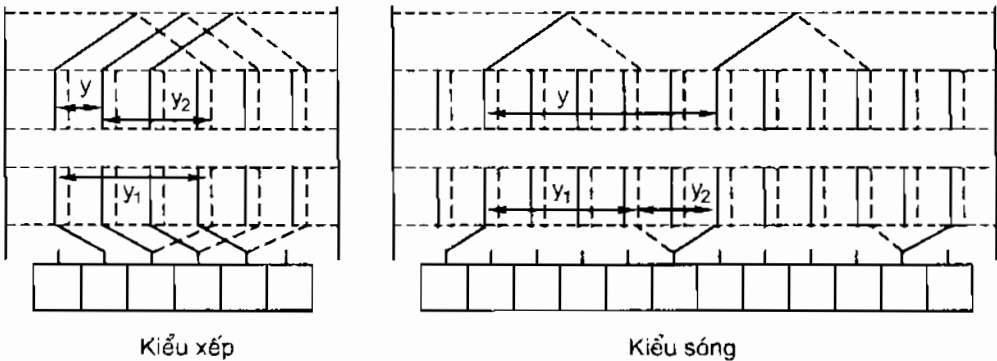
Phản ứng phản ứng dọc trục chỉ ảnh hưởng đến trị số của từ thông tổng mà không làm cho nó biến dạng.

#### 5.4.2. Sức điện động của dây quấn phản ứng

Dây quấn phản ứng máy điện một chiều có cổ góp hợp bởi nhiều phần tử dây quấn. Mỗi phần tử có hai cạnh tác dụng hình 5.7. Một phần tử có thể là một vòng dây hoặc nhiều vòng dây. Một cạnh của phần tử nối với phiến góp, cạnh kia nối với phần tử khác. Hai cạnh của một phần tử cách nhau gần một bước cực ( $y = \tau$ ). Nếu dây quấn có  $Z$  phần tử thì nghĩa là có  $2Z$  cạnh tác dụng. Để xếp dây quấn này vào rãnh  $Z$  thì mỗi rãnh phải chứa hai cạnh của hai phần tử.

Như vậy dây quấn phản ứng nối kín mạch trong máy và nối với cổ góp.

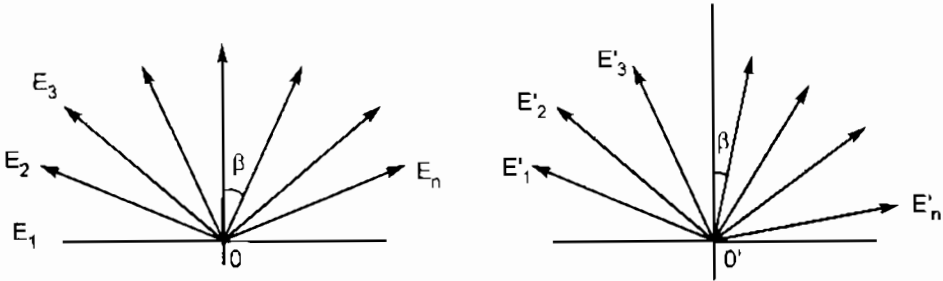
Khi máy điện làm việc, trong các phần tử cảm ứng sức điện động. Các phần tử đặt lệch nhau trong không gian nên các sức điện động của các thanh dẫn lệch nhau trong thời gian. Những phần tử nằm dưới cực cùng tên có sức điện động cùng chiều.



Hình 5.7. Phân tử của vòng dây

Hình 5.8 vẽ đồ thị vectơ của các phần tử dưới hai cực cùng tên của máy điện. Với giả thiết máy điện đối xứng thì số phần tử dưới một cực từ là như nhau. Hai đồ thị vectơ sức điện động giống nhau về độ lớn và tính đối xứng. Cần lưu ý rằng hai đồ thị này không nhất thiết phải chồng khít lên nhau, mà có thể lệch nhau một góc  $\beta$  nào đó do vị trí của các phần tử so với cực từ không giống nhau.

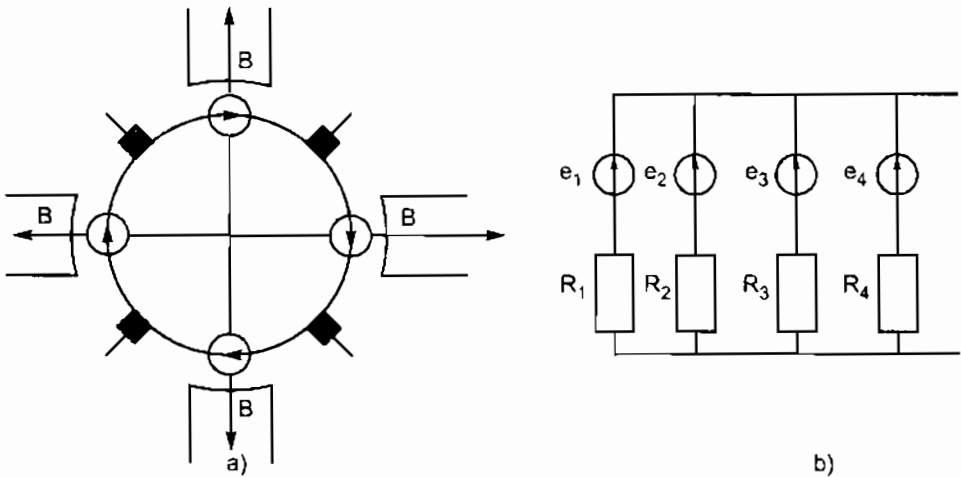
Với các cách quấn dây khác nhau, sức điện động trên hai cực máy điện, tập hợp của các sức điện động sẽ khác nhau.



Hình 5.8. Đồ thị vectơ sức điện động của các phần tử dây quấn dưới hai cực cùng tên

Trường hợp quấn xếp, các phần tử lân cận được đấu nối tiếp với nhau. Sức điện động của các phần tử dưới một cực từ được cộng nối tiếp. Máy điện được coi là hợp bởi một số nguồn sức điện động tương đương như trên hình 5.9a. Sức điện động dưới các cực lân cận ngược chiều nhau. Mô hình mạch trong trường hợp này như trên hình 5.9b. Khi nối với mạch ngoài thì mạch kín của dây quấn phần ứng chia thành số nhánh song song  $2a = 2p$ .

Với cách quấn xếp sức điện động lớn nhất của máy điện là tổng các sức điện động của các phần tử dưới một cực từ.



Hình 5.9. Sức điện động trong máy trường hợp quấn xếp

Trường hợp quấn sóng, các phần tử có sức điện động gần nhau theo pha (hình 5.10) được đấu nối tiếp với nhau. Như vậy sức điện động tổng của máy phụ thuộc vào tổng số phần tử và số cực từ. Số nguồn sức điện

động tương đương của máy luôn là hai. Số nhánh song song cũng luôn bằng hai ( $2a = 2$ ).

Mô hình mạch của máy điện có dạng trên hình 5.10.

Cả hai loại dây quấn đều được sử dụng. Trong điều kiện công suất bằng nhau, loại dây quấn xếp được dùng nếu dòng điện lớn, loại quấn sóng được dùng nếu cần điện áp cao.

Biểu thức sức điện động sẽ được xây dựng dựa trên những phân tích vừa nêu. Sức điện động của một nhánh song song bằng:

$$E = \sum_1^{\frac{N}{2a}} E_i = \sum_1^{\frac{N}{2a}} l.v.B_i \quad (5.3)$$

$B_i$  – từ trường ứng với vị trí của phân tử;

$N$  – tổng số thanh dẫn dây quấn phân ứng;

$2a$  – số nhánh song song;

$l$  – độ dài tác dụng của các phân tử;

$v$  – vận tốc dài của các phân tử.

Tốc độ dài  $v$  xác định theo độ quay  $n$  (vg/ph) bằng công thức:

$$v = \frac{\pi.D.n}{60} \quad (5.4)$$

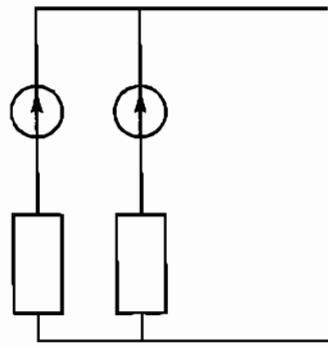
Từ thông  $\Phi$  dưới mỗi cực là :

$$\Phi = B_i \frac{\pi D l}{2p} \quad (5.5)$$

Cuối cùng ta có:  $E = \frac{pN}{60a} n\Phi$  (5.6)

Hoặc:  $E_v = k_E \cdot \Phi \cdot n$  (5.7)

Hệ số  $k_c = \frac{pN}{60a}$ , phụ thuộc vào cấu trúc máy điện, không thay đổi trong quá trình máy làm việc.



Hình 5.10. Mô hình mạch máy điện trường hợp cuộn sóng

Chiều của  $E_v$  phụ thuộc vào chiều từ thông dưới mỗi cực từ  $\Phi_\delta$  và  $n$  và được xác định theo quy tắc bàn tay phải.

Từ công thức (5.7) ta thấy muốn điều chỉnh sức điện động phần ứng phải điều chỉnh từ thông  $\Phi$  hoặc tốc độ quay của máy.

**Ví dụ 5.1.** Một máy điện một chiều phần ứng quấn kiểu xếp đơn  $Z = K = 24$ ,  $2p = 6$ ,  $w = 10$  vòng, từ thông dưới mỗi cực từ là  $\Phi = 0,0375$  (Wb),  $n = 750$  vòng/phút. Tính sức điện động phần ứng.

**Lời giải:** Vì dây quấn xếp đơn nên ta có :  $2p = 2a$

Số dây dẫn phần ứng :  $N = 2w.Z = 2.10.24 = 480$

Sức điện động phần ứng :  $E = k_E.n.\Phi = \frac{3.480}{60.3} 0,0375.750 = 225V$

## 5.5. CÔNG SUẤT ĐIỆN TỪ VÀ MÔMEN ĐIỆN TỪ CỦA MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

Khi máy điện làm việc, trong dây quấn phần ứng sẽ có dòng điện chạy qua, tác dụng của từ trường lên dây dẫn có dòng điện sẽ sinh ra mômen điện từ trên trục máy.

Lực điện từ tác dụng lên thanh dẫn:  $F_{dt} = B_{tb}.l.i_v$  (5.8)

Dòng điện trong mạch nhánh là:  $i_v = I_v/2a$  thì mômen điện từ tác dụng lên dây quấn phần ứng :  $M = B_{tb} \frac{I_v}{2a} l.N \frac{D}{2}$  (5.9)

Trong đó:  $B_{tb}$  – là từ cảm trung bình khe hở;

$I_v$  – là dòng điện phần ứng;

$a$  – là số đôi mạch nhánh;

$l$  – chiều dài tác dụng của thanh dẫn;

$D$  – đường kính ngoài phần ứng.

$N$  – là tổng số thanh dẫn.

Do  $D = \frac{2p\tau}{\pi}$ ;  $B_{tb} = \frac{\Phi_\delta}{\tau.l}$ , ta có :

$M = \frac{pN}{2\pi a} \Phi_\delta I_v = k_m \Phi_\delta I_v$  (Nm) (5.10)

Trong đó:  $\Phi_\delta$  – từ thông dưới mỗi cực từ;

$k_m = \frac{pN}{2\pi a}$  – hệ số phụ thuộc kết cấu máy điện;

Trong máy phát điện, khi quay máy theo một chiều nhất định trong từ trường thì dây dẫn sẽ sinh ra sức điện động mà chiều được xác định theo quy tắc bàn tay phải. Khi có tải thì dòng điện sinh ra cùng chiều với sức điện động nên mômen điện từ sinh ra sẽ ngược chiều với chiều quay của máy. Vì vậy, ở máy phát điện mômen điện từ là một mômen hãm.

Trong động cơ điện, khi cho dòng điện vào phần ứng thì dưới tác dụng của từ trường, trong dây quấn sẽ sinh ra mômen điện từ kéo máy quay, vì vậy chiều quay của máy trùng với chiều quay của mômen.

Công thức (5.10) nói rõ: mômen điện từ là kết quả tương tác của từ trường lên dòng điện.

Công suất ứng với mômen điện từ lấy vào (đối với máy phát) hay đưa ra (đối với động cơ) gọi là công suất điện từ:  $P_{dt} = M \cdot \omega$ .

Trong đó:  $\omega = \frac{2\pi n}{60}$  là tốc độ góc phần ứng.

$$P_{dt} = M\omega = \frac{pN}{2\pi a} \Phi_{\delta} I_u \frac{2\pi n}{60} = E_u I_u \quad (5.11)$$

Từ công thức (5.11) này ta thấy được quan hệ giữa công suất điện từ với mômen điện từ và sự trao đổi năng lượng trong máy điện. Trong máy phát điện, công suất điện từ đã chuyển công suất cơ  $M\omega$  thành công suất điện  $E_u I_u$ . Ngược lại, trong động cơ điện công suất điện từ chuyển công suất điện  $E_u I_u$  thành công suất cơ  $M\omega$ .

## 5.6. MÔ HÌNH MẠCH CỦA MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

Khi xét sức điện động của dây quấn phần ứng, máy điện một chiều được xét như tập hợp của hai hay nhiều nguồn sức điện động đấu song song. Để tiện phân tích sự làm việc của máy điện khi nó được đấu với lưới điện, điện áp  $U$ , những nguồn sức điện động trên được thay bởi một nguồn sức điện động tương đương với  $E_u$  – sức điện động trên hai cực của máy phát và  $R_u$  – là tổng trở mạch phần ứng. Nó bao gồm trở tương đương của các nhánh song song, điện trở của các mối tiếp xúc cổ góp – chổi than và điện trở dây từ chổi than tới đầu ra của máy bao gồm điện trở cuộn dây bù và cuộn dây cực từ phụ nếu có.

Phương trình điện áp máy phát điện một chiều có dạng:

$$U = E_u - I_u R_u \quad (5.12)$$

Phương trình điện áp động cơ điện một chiều có dạng:

$$U = E_u + I_u R_u \quad (5.13)$$

Nhân hai vế phương trình (5.12) và (5.13) với  $I_u$  có dạng:

$$UI_u = E_u I_u - I_u^2 R_u \quad (5.14)$$

$$UI_u = E_u I_u + I_u^2 R_u \quad (5.15)$$

Theo (5.14), công suất ở cửa ra của máy phát bằng:  $P_{ra} = UI_u$

Hợp bởi hai thành phần:  $\Delta P = I_u^2 R_u$  - tổn hao trong mạch phản ứng.

Và  $P_{co} = E_u I_u$  công suất điện từ, bằng công suất cơ được biến đổi và do nguồn cơ năng cung cấp.

Theo (5.15) công suất ở cửa vào động cơ bằng:  $P_{vao} = UI_u$

Cân bằng với tổn hao trong mạch phản ứng  $\Delta P = I_u^2 R_u$  và công suất điện từ được biến đổi thành công suất cơ:  $P_{co} = E_u I_u$  (5.16)

Công suất điện từ luôn bằng công suất cơ trên trục máy:

$$P_{dt} = P_{co} = M \cdot \omega$$

Để đưa ra mô hình mạch ta phân tích  $E_u$  trong (5.12) và (5.13):

$$E_u = E_0 + \Delta E$$

Trong đó  $E_0 = k_c \Phi_0 \omega$  là sức điện động do từ thông kích từ sinh ra.

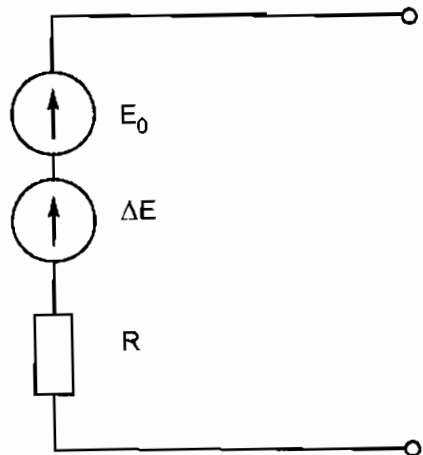
$\Delta E$  là sức điện động do từ trường phản ứng gây ra bởi kết quả tác động trở từ hoặc khử từ. Coi  $E_0$  và  $\Delta E$  là nguồn sức điện động độc lập, mô hình mạch của máy phát điện một chiều có dạng như hình vẽ trên hình 5.11.

Để đưa ra mô hình động cơ, cân mô tả công suất điện từ trong máy như là công suất tổn hao trên một phần tử tiêu tán:

$$P_{co} = I_u^2 r_c \quad (5.17)$$

Để tính giá trị  $r_c$ , có thể xuất phát từ công thức (5.16):

$$P_{co} = I_u E_u = I_u^2 E_u / I_u$$



Hình 5.11. Mô hình mạch của máy phát điện một chiều

Thay  $E_r$  theo (5.7) và rút  $I_r$  từ (5.10) vào (5.17) được :

$$P_{\text{cơ}} = I_r^2 \frac{k_c \Phi \omega}{M} k_c \Phi = (k_c \Phi)^2 \frac{\omega}{M} I_r^2 \quad (5.18)$$

So sánh (5.18) và (5.17) rút ra:

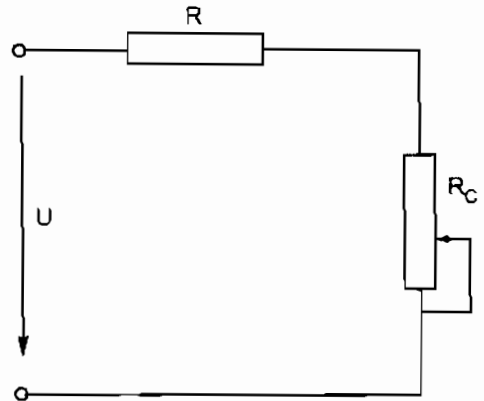
$$r_c = \frac{(k_c \Phi)^2 \omega}{M}$$

Trong đó,  $\Phi$  trong các phương trình trên được coi là tập hợp hai thành phần từ thông kích thích  $\Phi_0$  và phản ứng phần ứng:  $\Phi = \Phi_0 \pm \Delta\Phi$

Ở đây:  $\Phi_0$  không phụ thuộc dòng phản ứng.

$\pm \Delta\Phi$  phụ thuộc dòng phản ứng.

Mô hình mạch một chiều có dạng như hình vẽ trên hình 5.12.



Hình 5.12. Mô hình mạch của động cơ điện một chiều

## 5.7. TIA LỬA ĐIỆN TRÊN CỔ GÓP VÀ BIỆN PHÁP KHẮC PHỤC

Khi máy điện làm việc, quá trình đổi chiều thường gây ra tia lửa giữa các chổi điện và cổ góp. Tia lửa lớn có thể gây nên vành lửa xung quanh cổ góp, phá hỏng chổi điện và cổ góp, gây tổn hao năng lượng, ảnh hưởng xấu tới môi trường và gây nhiễu đến sự làm việc của các thiết bị điện tử. Sự phát sinh tia lửa trên cổ góp do các nguyên nhân: cơ khí, điện thế, đổi chiều.

### 5.7.1. Nguyên nhân cơ khí

Nguyên nhân cơ khí được giải thích là vì tiếp xúc giữa cổ góp và chổi điện không tốt, do cổ góp không tròn, không nhẵn, chổi than không đúng quy cách, rung động của chổi than do cố định không tốt hoặc do lực lò xo không đủ để tỳ sát chổi điện vào cổ góp.

### 5.7.2. Nguyên nhân điện thế

Nguyên nhân điện thế được giải thích bằng sự chênh thế giữa hai phiến góp lân cận quá mức cho phép. Hai phiến góp lân cận nối tiếp với hai phần tử dây quấn mà sức điện động trong các phần tử này phụ thuộc vào cảm ứng từ B (theo 5.4.1). Độ chênh thế quá lớn khi tác động của phản ứng phần ứng làm méo từ trường kích thích. Tia lửa điện do nguyên nhân điện thế là tia lửa giữa các phiến góp lân cận.



### 5.7.3. Nguyên nhân đổi chiều

Đổi chiều là danh từ dùng để chỉ quá trình một phần tử dây quấn máy điện chuyển từ nhánh song song này sang nhánh song song khác. Trong quá trình đó một số phần tử được khép kín mạch qua hai phiến góp và chổi than. Trong phần tử kín mạch đó, dòng có thể khác không. Khi mạch điện kín nối trên hồ ra, tia lửa điện xuất hiện. Tia lửa điện do nguyên nhân đổi chiều là tia lửa điện giữa phiến góp và mặt bên của chổi than. Đổi chiều là một hiện tượng phức tạp.

### 5.7.4. Các phương pháp giảm tia lửa

Để tránh tia lửa cần có những biện pháp trong thiết kế. Chủ yếu ở đây bàn tới những biện pháp giảm tia lửa do nguyên nhân đổi chiều. Những biện pháp này gọi là những biện pháp cải thiện đổi chiều.

Để giảm dòng đổi chiều thì phải giảm dòng phụ. Phương pháp giảm dòng phụ là tăng tổng trở  $r_1 + r_2$  và giảm  $c$ .

Để tăng  $r_1 + r_2$  người ta làm chổi quét bằng than, graphit trộn bột đồng.

Để giảm  $\Sigma e$  người ta làm cực từ phụ hoặc dịch chổi than. Nhờ có cực từ phụ mà có thể điều chỉnh sao cho  $e_q$  (sức điện động do từ trường phản ứng gây ra) bằng  $e_p$  (sức điện động phản kháng) nhưng ngược dấu.

Khi tải thay đổi thì dòng phản ứng thay đổi. Giả sử vận tốc quay không đổi thì tốc độ biến thiên dòng đổi chiều sẽ tăng. Do đó  $e_p$  lớn lên. Để tự điều chỉnh người ta nối tiếp dây quấn cực từ phụ với dây quấn phản ứng và tạo mạch từ tuyến tính.

Ở những máy nhỏ, cực từ phụ khó chế tạo, người ta cải thiện đổi chiều bằng phương pháp dịch chổi than. Dịch chổi than sẽ điều chỉnh được  $e_q$  để có độ lớn và dấu cần thiết. Phương pháp này tiện và rẻ nhưng với tải thay đổi thì  $e_p$  thay đổi,  $e_q$  không tự điều chỉnh được để triệt tiêu  $e_p$  ở một tải mới.

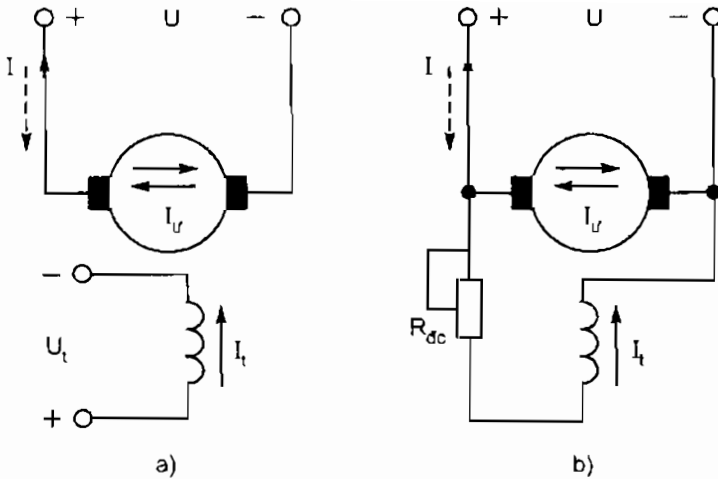
## 5.8. MÁY PHÁT ĐIỆN MỘT CHIỀU

### 5.8.1. Phân loại máy điện một chiều theo phương pháp kích từ

#### a) Máy điện một chiều kích từ độc lập

Sơ đồ nguyên lý của máy như hình vẽ 5.13 a.

Máy điện một chiều kích thích độc lập: bao gồm máy điện một chiều nam châm vĩnh cửu và máy điện một chiều kích thích điện từ.



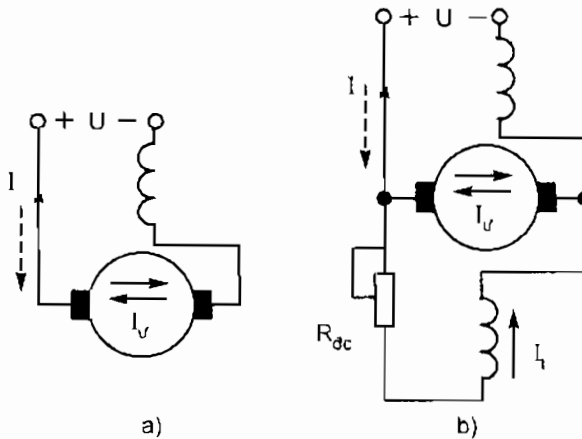
**Hình 5.13.** Sơ đồ nguyên lý

a) Kích thích độc lập; b) Kích thích song song

### b) Máy điện một chiều kích từ song song

Mạch kích từ mắc song song với mạch phần ứng (hình 5.13b). Dòng điện kích từ bằng khoảng  $I_{k1} = (1 \div 5)\%I_a$  (dòng phần ứng). Vì dây quấn kích từ nối trực tiếp với điện áp trên hai chổi than, mà dòng điện kích từ lại nhỏ, do đó điện trở kích từ lớn.

Nếu điện áp  $U$  không đổi, thì từ thông dưới mỗi cực từ cũng không đổi.



**Hình 5.14.** Sơ đồ nguyên lý

a) Kích thích nối tiếp; b) Kích thích hỗn hợp

### c) Máy điện một chiều kích từ nối tiếp

Mạch kích từ mắc nối tiếp với mạch phần ứng. Vì tất cả dòng điện đều chạy qua dây quấn kích từ nên nó phải có điện trở nhỏ. Vì thế cuộn

dây kích từ nối tiếp có tiết diện lớn, số vòng dây ít. Do vậy mà từ thông của máy phụ thuộc rất nhiều vào phụ tải (hình 5.14a).

**d) Máy điện một chiều kích từ hỗn hợp**

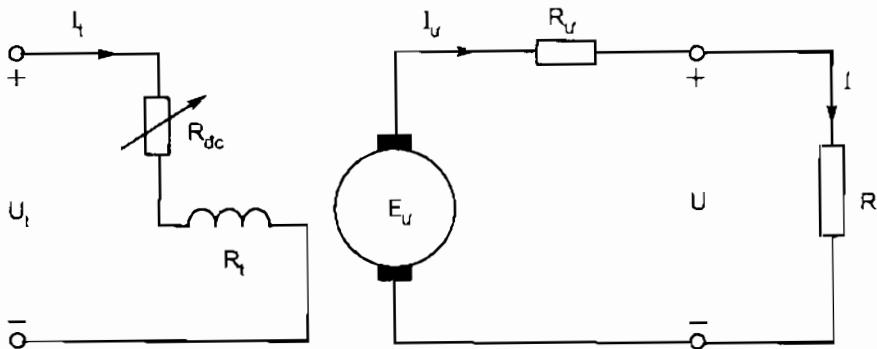
Trong máy này, trên các lõi cực từ chính quấn hai cuộn dây kích từ, một cuộn kích từ nối tiếp, một cuộn song song với mạch phần ứng. Tùy theo yêu cầu của máy, một trong hai cuộn kích từ sẽ có một cuộn kích từ chính và cuộn kia là phụ, ta có máy hỗn hợp song song nối tiếp hay máy nối tiếp song song. Từ trường hai cuộn kích từ này tùy theo cách đấu có thể hỗ trợ từ hoặc khử từ lẫn nhau, ta có máy hỗn hợp tăng (kích từ dương) hoặc máy hỗn hợp giảm (kích từ âm) (hình 5.14b).

**5.8.2. Các đặc tính máy phát điện một chiều**

**a) Máy phát điện một chiều kích từ độc lập**

\* *Mạch điện tương đương*

Mạch điện tương đương máy phát điện một chiều kích từ độc lập như hình 5.15, dòng điện phần ứng bằng dòng điện tải.



**Hình 5.15.** Mạch điện tương đương của máy phát điện một chiều kích từ độc lập

\* *Đặc tính không tải là quan hệ*

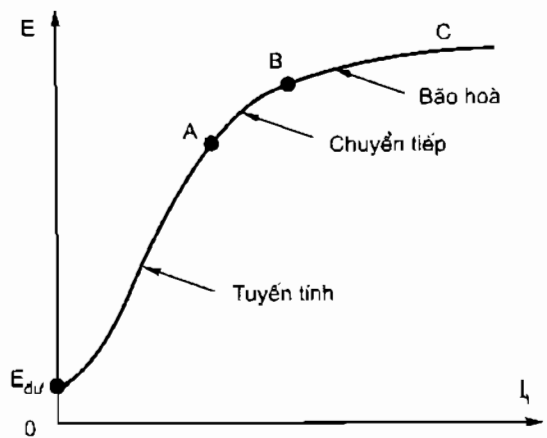
$$\begin{cases} U = f(i_{kt}) \\ I = 0 \\ \omega = \text{const} \end{cases} \quad (5.19)$$

Đầu tiên ta quay rôto máy phát một chiều với tốc độ định mức, do máy còn có từ dư nên ngay khi dòng kích thích bằng không trong dây quấn phần ứng đã cảm ứng ra sức điện động và điện áp trên hai cực của máy bằng  $(2 \div 3)U_{dm}$ . Sau đó ta tăng dần  $I_{kt}$  bằng cách giảm điện trở  $r_{dc}$ , điện áp trên hai cực của máy tăng dần theo đặc tính không tải:  $E = U_0$ .

Tương tự như máy phát điện đồng bộ đường đặc tính không tải của máy phát điện một chiều  $E = f(I_{kt})$  có dạng đường cong từ hoá.

Đặc tính này có thể chia làm ba đoạn (hình 5.16):

- Lúc  $I_t = 0$  vẫn có một sdd nhỏ  $E_{du}$  do từ dư của lõi thép.
- Trong đoạn  $E_{du}A$ , sức điện động  $E$  tỷ lệ  $I_t$ .
- Trong đoạn chuyển tiếp  $AB$ , sức điện động  $E$  tăng chậm hơn  $I_t$ .
- Trong đoạn bão hoà  $BC$ , sức điện động  $E$  tăng không đáng kể.



Hình 5.16. Đặc tính không tải máy phát điện một chiều

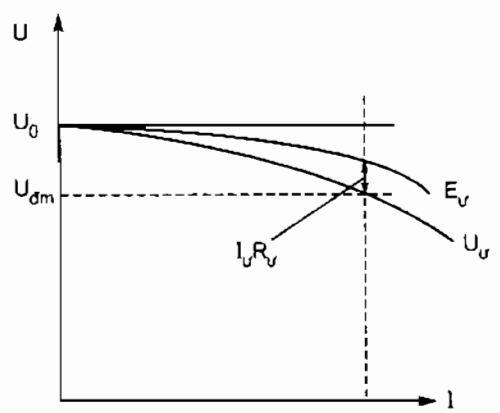
Điểm làm việc bình thường của máy nằm trên đoạn chuyển tiếp, vì nếu nằm trên đoạn tuyến tính sức điện động  $E$  sẽ thay đổi nhiều theo dòng điện  $I_t$  nên điện áp ra của máy bị dao động, còn trên đoạn bão hoà dòng điện  $I_t$  lớn làm tăng tổn hao kích thích.

\* Đặc tính ngoài

Là quan hệ 
$$\begin{cases} U = f(I) \\ I_{kt} = \text{const} \\ \omega = \text{const} \end{cases} \quad (5.20)$$

Khi dòng điện tải tăng, dòng điện phản ứng tăng, điện áp  $U$  giảm xuống do hai nguyên nhân sau :

- Tác dụng của từ trường phản ứng làm cho từ thông  $\Phi$  giảm, kéo theo sức điện động phản ứng giảm.
- Điện áp rơi trong mạch phản ứng  $R_v I_v$  tăng.



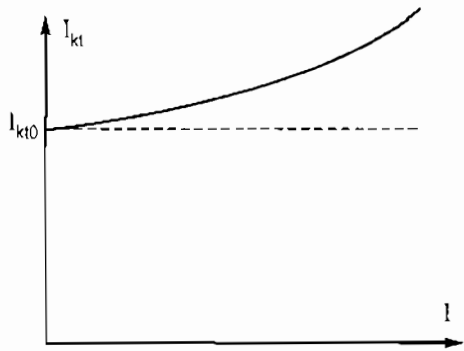
Hình 5.17. Đặc tính ngoài

Khi mang tải định mức, điện áp của máy giảm từ 5 – 10% so với điện áp lúc không tải. Trong trường hợp máy tự ngắn mạch ở đầu cực, điện áp  $U = 0$  và dòng ngắn mạch lớn, dòng ngắn mạch này gây ra mômen hãm rất lớn trên trục máy phát, đồng thời tia lửa điện rất mạnh trên vành đổi chiều. Vì vậy người ta phải đặt thiết bị để bảo vệ.

**\* Đặc tính điều chỉnh**

Là quan hệ 
$$\begin{cases} I_{kt} = f(I) \\ U = \text{const} \\ \omega = \text{const} \end{cases} \quad (5.21)$$

Đó là quan hệ  $I_{kt} = f(I)$  khi giữ điện áp và tốc độ máy phát không đổi vẽ trên hình 5.18. Để giữ cho điện áp máy phát không đổi khi tải tăng, phải tăng dòng điện kích thích  $I_{kt}$ , như vậy dòng điện kích thích tăng là để bù lại phản ứng phần ứng và điện áp rơi trên dây quấn phần ứng.



**Hình 5.18.** Đặc tính điều chỉnh

Máy phát điện một chiều kích thích độc lập có ưu điểm về điều chỉnh điện áp, thường gặp trong các hệ thống máy phát – động cơ để truyền động máy cán, máy cắt kim loại, thiết bị tự động trên tàu thủy, máy bay... song có nhược điểm là cần có nguồn kích từ riêng.

**b) Máy phát điện một chiều kích từ song song**

**\* Mạch điện tương đương**

Mạch điện tương đương như hình vẽ 5.19.

**\* Đặc tính không tải**

Dùng động cơ sơ cấp quay rôto máy phát điện một chiều tới tốc độ định mức, do có từ dư nên hai cực của máy phát có điện áp  $U$  vào khoảng  $(2 \div 3)\% U_{dm}$ . Do đó dây quấn kích thích sẽ có dòng điện nhỏ chạy qua, nên nối đúng dây quấn kích thích với dây quấn phần ứng thì dòng điện này sẽ gây lên một từ trường cùng chiều với từ trường còn dư trong máy. Từ trường tổng trong máy tăng lên, kéo theo sức điện động

phản ứng tăng lên. Quá trình cứ thế tiếp diễn, sức điện động phản ứng tăng theo đường đặc tính không tải  $E = f(I_{kt})$  không đổi.

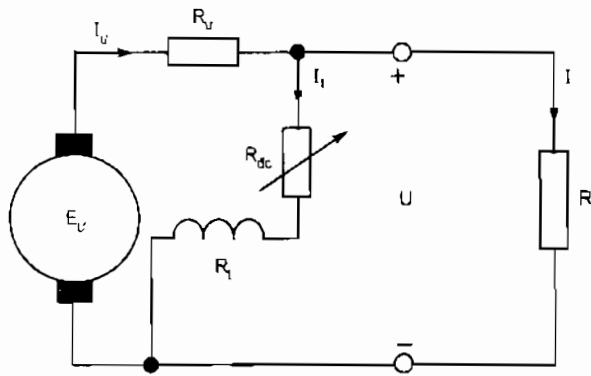
Mặt khác, khi máy không tải thì  $U_0 = E$  và khi điện trở toàn mạch kích thích  $r_{mkt} = r_{dc} + r_{kt}$  là không đổi thì điện áp trên hai cực của máy phụ thuộc vào dòng  $I_{kt}$  theo

quan hệ đường thẳng  $U_0 = I_{kt} r_{mkt}$ . Giao điểm M của hai đường  $E = f(I_{kt})$  và  $U_0 = I_{kt} r_{mkt}$  là điểm làm việc ổn định của máy. Ta thấy khi  $r_{mkt}$  càng tăng thì đường  $U_0$  càng dốc, do đó nếu tăng dần  $r_{dc}$ , điểm làm việc A sẽ dịch dần về phía trái, đường  $U_0$  sẽ quay ngược chiều kim đồng hồ và trùng với đặc tính không tải E (hình 5.20).

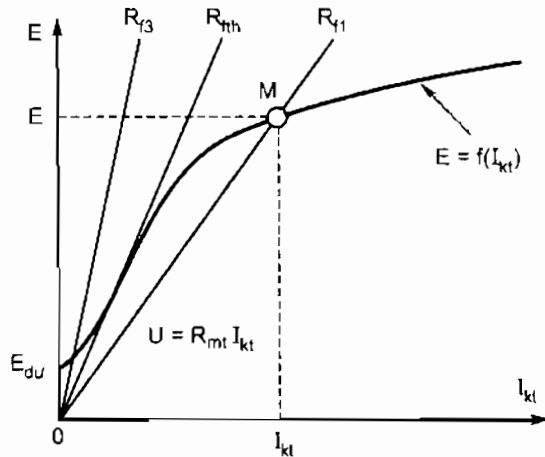
Nếu tiếp tục tăng  $r_{dc}$  máy sẽ không thành lập được điện áp. Do đó, nếu máy phát điện kích từ song song có cấu tạo cực từ bình thường thì không thể làm việc ổn định ở điện áp bằng  $60 \div 70\%$  điện áp định mức.

Khi mở máy phát điện một chiều kích từ song song cần chú ý nối đúng dây quấn kích thích và dây quấn phản ứng. Nếu nối ngược thì từ trường dòng điện qua dây quấn kích thích sẽ ngược chiều với cực từ và sẽ khử từ của máy, máy không thành lập được điện áp.

Đôi khi máy bị ngắn mạch mất từ dư (hoặc máy lâu ngày không sử dụng đến) ta phải dùng nguồn một chiều ở bên ngoài (ví dụ ắc quy) để gây lại từ cho máy.



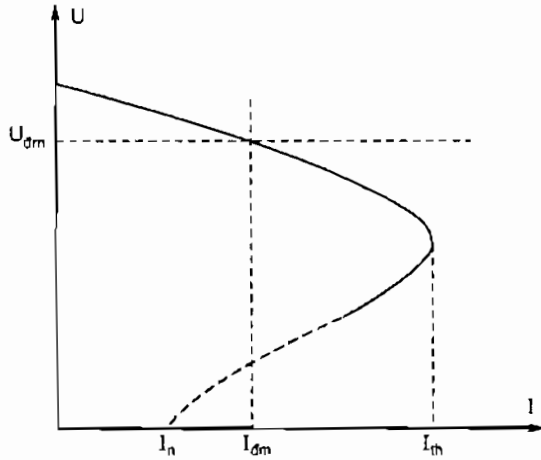
**Hình 5.19.** Mạch điện tương đương máy phát điện một chiều kích từ song song



**Hình 5.20.** Đặc tính không tải máy phát điện một chiều kích từ song song

*\* Đặc tính ngoài*

Khi dòng điện tải tăng, điện áp  $U$  giảm nhanh hơn so với máy phát điện kích thích độc lập, vì ngoài hai nguyên nhân giảm điện áp do phản ứng phần ứng và điện trở phần ứng, ở máy phát song song dòng điện kích từ  $I_{kt}$  không thể duy trì mà sẽ giảm khi  $U$  giảm, do đó làm cho điện áp giảm mạnh hơn.

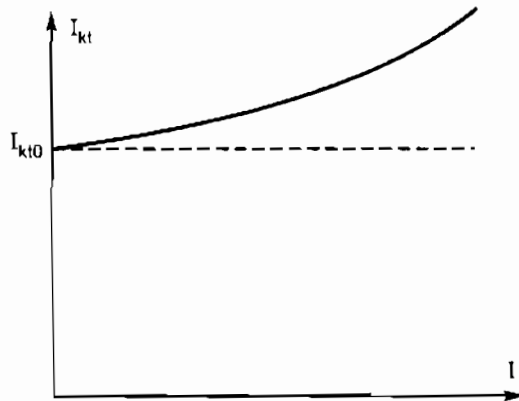


**Hình 5.21.** Đặc tính ngoài máy phát điện kích từ song song

Độ giảm điện áp khi máy làm việc định mức so với khi không tải từ  $8 \div 15\%$  (máy có cực từ phụ) và  $12 \div 20\%$  máy không có cực từ phụ. Khi tăng dần phụ tải bằng cách giảm điện trở mạch ngoài thì  $U$  giảm rất nhanh và dòng điện máy phát giảm tới trị số ngắn mạch nhỏ hơn  $I_{dm}$ , lúc này  $U = 0$ ,  $I_{kt} = 0$ . Dòng điện ngắn mạch  $I_{nm}$  không nguy hiểm cho máy vì nó còn nhỏ hơn dòng điện định mức.

*\* Đặc tính điều chỉnh*

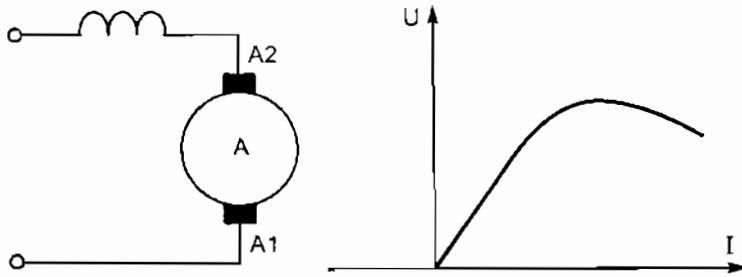
Để điều chỉnh điện áp, ta phải điều chỉnh dòng điện kích từ, đường đặc tính điều chỉnh  $I_{kt} = f(I)$ , khi  $U$ ,  $n$  không đổi như hình 5.22.



**Hình 5.22.** Đặc tính điều chỉnh máy phát điện một chiều kích từ song song

**c) Máy phát điện kích từ nối tiếp**

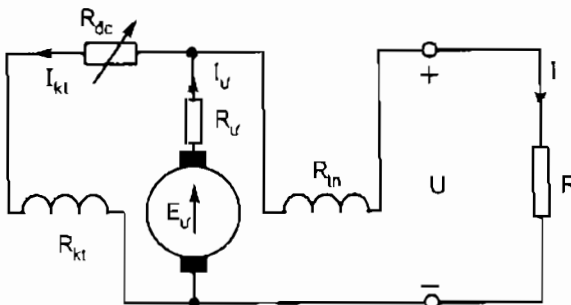
Sơ đồ nối dây như hình vẽ. Dòng điện kích từ là dòng điện tải, do đó khi tải thay đổi, điện áp thay đổi rất nhiều, trong thực tế không sử dụng máy phát kích từ nối tiếp. Đường đặc tính ngoài  $U = f(I)$  như hình 5.23. Dạng đường đặc tính ngoài được giải thích như sau: Khi tải tăng, dòng điện  $I_v$  tăng, từ thông và  $E_v$  tăng, do đó  $U$  tăng. Khi  $I = (2 \div 2.5)I_{dm}$ , máy bảo hoà, thì  $I$  tăng  $U$  sẽ giảm.



Hình 5.23. Sơ đồ nối dây và đặc tính ngoài của máy phát điện một chiều kích từ nối tiếp

d) Máy phát điện một chiều kích từ hỗn hợp

\* Mạch điện tương đương

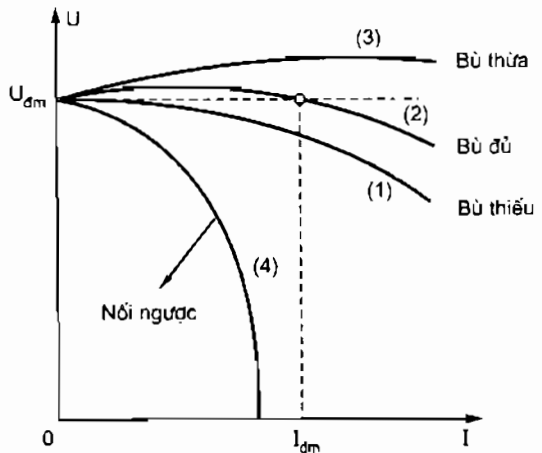


Hình 5.24. Mạch điện tương đương của máy phát điện một chiều kích từ hỗn hợp

\* Đặc tính ngoài

Chú ý: Nếu dòng điện  $I_{kt}$  và  $I_a$  tạo ra các từ thông song song  $\Phi_s$  và từ thông nối tiếp  $\Phi_n$  cùng chiều thì từ thông tổng của mỗi cực là:

– Khi nối thuận, từ thông của dây quấn kích từ nối tiếp cùng chiều với từ thông của dây quấn kích từ song song. Khi tải tăng, từ thông cuộn nối tiếp tăng làm cho từ thông của máy tăng lên, sức điện động của máy tăng lên, điện áp đầu cực của máy được giữ hầu như không đổi.



Hình 5.25. Đặc tính ngoài máy điện một chiều kích từ hỗn hợp



– Khi nối ngược, chiều từ trường của dây quấn kích từ nối tiếp ngược với chiều từ trường của dây quấn kích từ song song, khi tải tăng điện áp giảm rất nhiều.

Đó là đường cong quan hệ  $U = f(I)$ , khi tốc độ quay động cơ  $n = \text{const}$ ,  $R_{ki} = \text{const}$ . Gọi  $U_0$  là điện áp lúc không tải và  $U_{dm}$  là điện áp đầy tải. Từ các phương trình trên, ta thấy khi dòng điện tải  $I$  tăng, điện áp  $U$  thay đổi phụ thuộc vào độ lớn của  $\Phi_n$  so với  $\Phi_s$ , tức là phụ thuộc vào số vòng dây  $w_n$  của cuộn kích từ nối tiếp.

+ *Kích từ hỗn hợp nối thuận*: đường (1) bù thiếu; đường (2) bù đủ; đường (3) bù thừa, loại này dùng để cung cấp điện cho những phụ tải xa nguồn, vì độ tăng điện áp ở đầu ra bù vào sụt áp trên đường dây tải điện.

+ *Kích từ hỗn hợp nối ngược*: đường (4), do nối ngược làm từ thông tổng giảm nhiều khi tải tăng nên  $U$  giảm rất nhanh, được sử dụng làm máy hàn điện một chiều.

## 5.9. ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU

### 5.9.1. Mở máy động cơ điện một chiều

Để mở máy động cơ điện một chiều được tốt, cần đảm bảo các yêu cầu sau: Mômen mở máy phải có trị số cao nhất có thể có để tránh cho dây quấn khởi bị cháy hoặc ảnh hưởng xấu đến đổi chiều.

Có các phương pháp mở máy sau:

- Mở máy trực tiếp;
- Mở máy nhờ biến trở;
- Mở máy bằng điện áp thấp.

#### a) Mở máy trực tiếp

Phương pháp này được thực hiện bằng cách đóng thẳng động cơ điện vào nguồn. Như vậy lúc rôto chưa quay sức điện động  $E_u = 0$  và dòng điện qua phần ứng bằng  $I_u = \frac{U}{R_u}$ , vì  $R_u$  rất bé  $R_u = 0,2 \div 0,1$  nên  $I_u = (5 \div 10)I_{dm}$ .

#### b) Mở máy nhờ biến trở

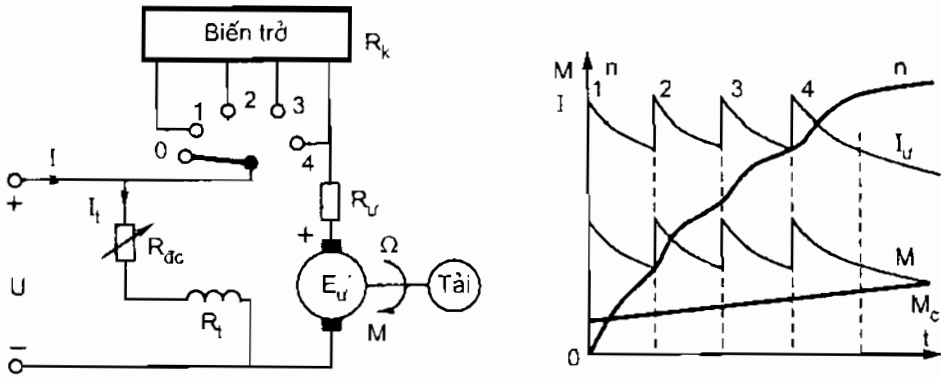
Do có biến trở mắc nối tiếp vào mạch phần ứng nên dòng điện mở máy được tính:

$$I_u = \frac{U - E_u}{R_u - R_{ki}} \quad (5.22)$$

Trong đó "i" là chỉ số nhưng với thứ tự các bậc của điện trở.

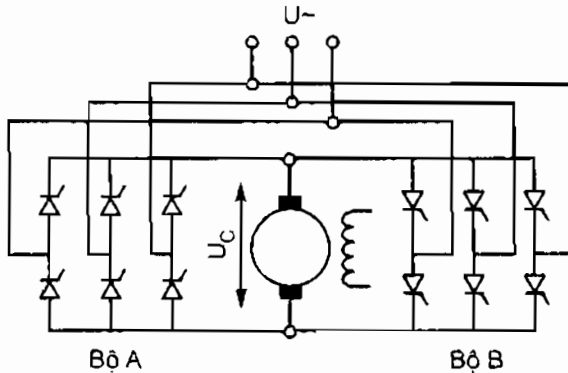
Biến trở mở máy được tính sao cho dòng điện mở máy  $I_k = (1,4 \div 1,7)I_{dm}$  đối với động cơ lớn và  $I_k = (2,0 \div 2,5)I_{dm}$  với động cơ nhỏ (hình 5.26).

Lúc đầu để biến trở  $R_k$  lớn nhất trong quá trình mở máy, tốc độ tăng lên, sức điện động  $E_v$  tăng và điện trở mở máy giảm dần đến 0, máy làm việc đúng điện áp định mức.



**Hình 5.26.** Dùng biến trở mở máy

**c) Mở máy bằng cách giảm điện áp vào phần ứng**



**Hình 5.27.** Sơ đồ nguyên lý

Phương pháp này đòi hỏi phải dùng một nguồn điện độc lập có thể điều chỉnh được điện áp được cung cấp cho phần ứng của động cơ, trong khi đó mạch kích thích phải được đặt dưới điện áp  $U = U_{dm}$  của một nguồn khác (hình 5.27).

### 5.9.2. Điều chỉnh tốc độ động cơ điện một chiều

Tốc độ động cơ điện một chiều phụ thuộc vào các loại tải với nhau, vì vậy cần phải điều chỉnh tốc độ động cơ điện một chiều.

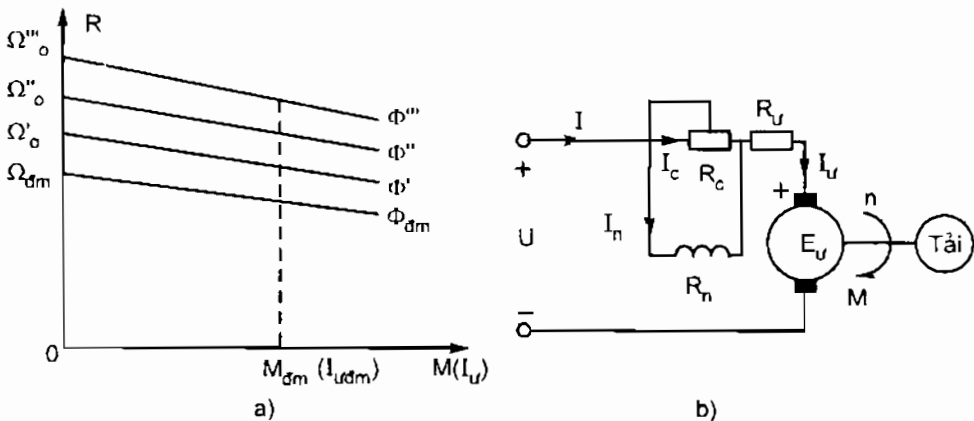
$$\text{Từ phương trình: } n = \frac{E}{k_E \Phi} = \frac{U - I_U R_U}{k_E \Phi} \quad (5.23)$$

Trên cơ sở công thức (5.7) ta có các phương pháp điều chỉnh tốc độ động cơ điện một chiều:

- Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi từ thông  $\Phi$ .
- Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện áp.
- Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện trở phụ  $R_p$ .

#### a) Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi từ thông $\Phi$

Với động cơ kích từ song song hoặc hỗn hợp, ta thay đổi từ thông  $\Phi$  bằng cách thay đổi  $R_{dc}$  để thay đổi  $I_{kt}$ . Họ đặc tính cơ khi thay đổi từ thông của động cơ kích từ song song trình bày trên (hình 5.28a). Khi giảm dòng điện kích từ, từ thông giảm, đặc tính cơ dịch chuyển lên trên, tốc độ động cơ tăng. Còn động cơ kích từ nối tiếp, ta dùng một biến trở  $R_c$  ghép song song với cuộn dây kích từ nối tiếp như (hình 5.28b). Lúc đó  $R_c$  sẽ có dòng  $I_c$  chạy qua, nên dòng qua  $R_n$  chỉ còn  $(I_U - I_c)$ . Như vậy từ thông  $\Phi$  được điều chỉnh bằng  $R_c$ .



Hình 5.28. Sơ đồ nguyên lý và họ đặc tính cơ

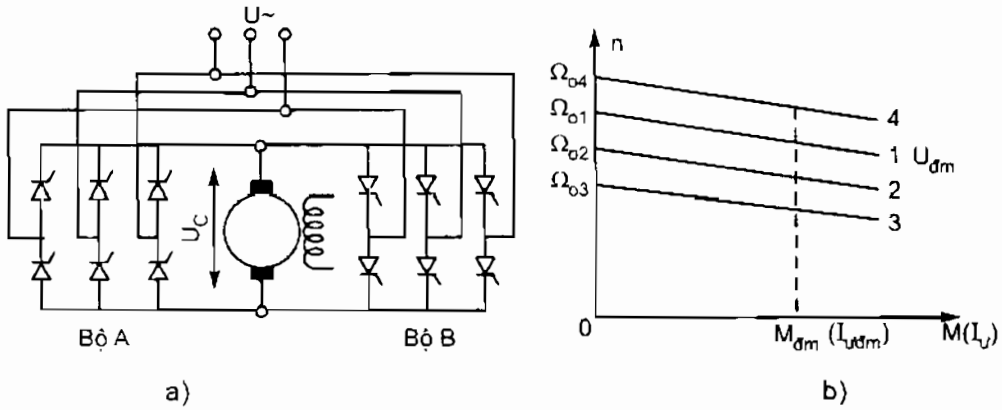
#### b) Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện áp

Việc cung cấp điện áp có thể điều chỉnh được cho động cơ từ một nguồn điện độc lập thực hiện trong kỹ thuật bằng cách ghép thành tổ

máy phát – động cơ, hoặc hệ thyristo – động cơ như (hình 5.29).

Bộ biến đổi A và B được nối song song ngược, trong đó bộ B được dùng khi cần đổi chiều quay động cơ.

Khi thay đổi U, họ đặc tính cơ trình bày trên hình 5.29b. Đường 1 ứng với  $U_{đm}$ , đường 2 và 3 ứng với  $U_1 < U_2 < U_{đm}$ , còn đường 4 ứng với  $U_4 > U_{đm}$ .



Hình 5.29. Sơ đồ nguyên lý và họ đặc tính cơ

### c) Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện trở phụ $R_p$ trên mạch phản ứng

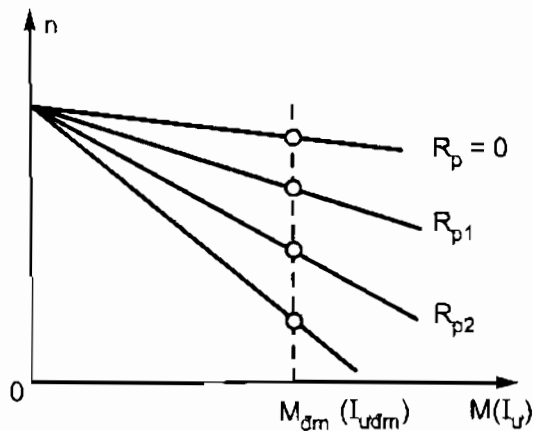
Khi nối  $R_p$  vào mạch phản ứng:

$$n = n_0 - \frac{(R_u + R_p)M}{(k\Phi)^2} \quad (5.21)$$

$R_p = 0$  ứng với đường đặc tính cơ tự nhiên.

Ta thấy rằng, nếu  $R_p$  càng lớn đặc tính cơ sẽ có độ dốc càng cao và do đó càng mềm hơn, nghĩa là tốc độ sẽ thay đổi nhiều khi tải thay đổi.

Do dòng điện phản ứng lớn nên tổn hao công suất trên điện trở điều chỉnh lớn. Phương pháp này chỉ sử dụng động cơ công suất nhỏ.



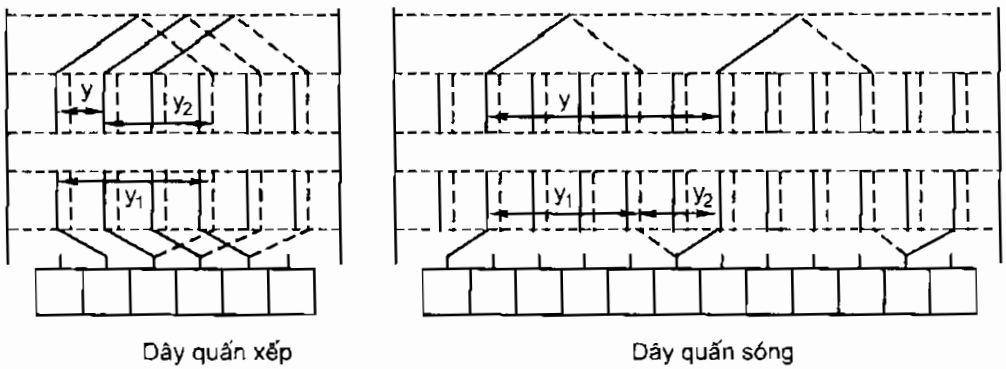
Hình 5.30. Họ đặc tính cơ khi thay đổi  $R_p$

## 5.10. BỘ DÂY QUẤN PHẦN ỨNG

### 5.10.1. Khái niệm chung

Dây quấn phần ứng máy điện một chiều thực chất là dây quấn máy điện xoay chiều kết hợp với vành đổi chiều để chỉnh lưu sức điện động xoay chiều thành một chiều. Bộ dây phần ứng máy điện một chiều là một bộ dây mà đầu và cuối của cuộn dây được nối tiếp nhau tạo thành một hay nhiều vòng khép kín.

Quy luật nối các phần tử để tạo thành dây quấn được xác định bằng bốn loại bước dây quấn sau.



Hình 5.31. Các bước dây quấn

- *Bước quấn dây tổng hợp* (ký hiệu là  $y$ ) : là khoảng cách giữa cạnh đầu của cuộn dây thứ nhất đến cạnh đầu của cuộn dây thứ hai (hình 5.31).
- *Bước quấn dây thứ nhất* (ký hiệu là  $y_1$ ): là khoảng cách giữa cạnh đầu đến cạnh cuối của cuộn dây (hình 5.31).
- *Bước quấn dây thứ hai* (ký hiệu là  $y_2$ ): là khoảng cách giữa cạnh cuối của cuộn dây thứ nhất đến cạnh đầu của cuộn dây thứ hai (hình 5.31).

### 5.10.2. DÂY QUẤN KIỂU XẾP CÓ BƯỚC TRÊN VÀNH GÓP: $y_g = m$

#### a) Định nghĩa

Bộ dây quấn kiểu xếp là bộ dây mà cuối và đầu của các cuộn dây kế tiếp được nối tiếp với nhau theo thứ tự của các lá góp.

## b) Phân loại

Căn cứ vào số vòng khép kín, người ta chia ra:

- Bộ dây quấn kiểu xếp đơn: là bộ dây quấn kiểu xếp trong đó có một vòng khép kín.
- Bộ dây quấn kiểu xếp kép: là bộ dây quấn kiểu xếp trong đó có hai vòng khép kín.
- Bộ dây quấn kiểu xếp phức tạp: là bộ dây quấn kiểu xếp trong đó có từ ba vòng khép kín trở lên.

## c) Bộ dây phản ứng máy điện một chiều kiểu xếp đơn

– *Thông số cơ bản:*  $Z, 2p, K$  (nhận biết  $Z \approx K$  và các đầu và cuối của cuộn dây được nối tiếp nhau theo thứ tự của các lá góp).

– *Thông số tính toán:*  $y = y_K = 1$  ;  $y_1 = \frac{Z}{2p} \pm \varepsilon$  ;  $y_2 = y_1 - y$ .

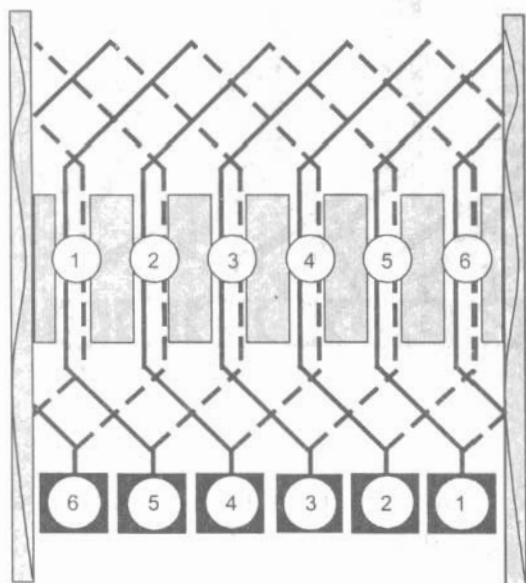
**Ví dụ 5.2.** Vẽ sơ đồ hình trái với các thông số sau:  $Z = 6$ ;  $2p = 2$ ;  $K = 6$ ; xếp đơn.

**Lời giải :** Từ các số liệu đã cho, ta tính được các thông số sau:

$$y = y_K = 1 ; y_1 = \frac{Z}{2p} \pm \varepsilon = \frac{6}{2} = 3 \quad (\varepsilon \text{ là số gia của bước dây cuốn})$$

$$y_2 = y_1 - y = 3 - 1 = 2$$

Vẽ sơ đồ khai triển hình trái như hình 5.32.



**Hình 5.32.** Sơ đồ khai triển dây quấn  $Z = 6, 2p = 2, K = 6$ .

**d) Bộ dây quần kiểu xếp kép**

– *Thông số cơ bản:*  $Z, 2p, K$  (nhận biết  $2.Z \approx K$  và các đầu và cuối của cuộn dây được nối tiếp nhau theo thứ tự của các lá góp).

– *Thông số tính toán:*  $y = 1$

$$y_2 = y_1 - y$$

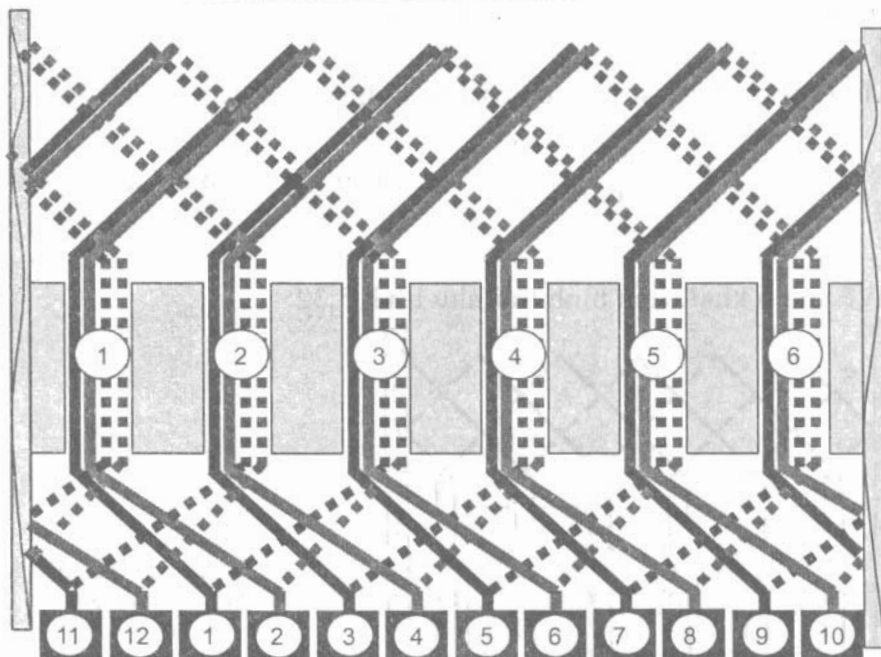
**Ví dụ 5.3.** Vẽ sơ đồ hình trái với các thông số sau:  $Z = 6; 2p = 2; K = 12$ ; xếp kép.

**Lời giải:** Từ các số liệu đã cho, ta tính được các thông số sau:

$$y = 1; y_k = \frac{K}{Z} = \frac{12}{6} = 2$$

$$y_1 = \frac{Z}{2p} \pm \varepsilon = \frac{6}{2} = 3; y_2 = y_1 - y = 3 - 1 = 2$$

Vẽ sơ đồ khai triển hình trái như hình 5.33.



Hình 5.33. Giản đồ khai triển dây quần xếp kép  
 $Z = 6, 2p = 2, K = 12.$

**e) Bộ dây quần kiểu xếp phức tạp**

– *Thông số cơ bản:*  $Z, 2p, K$  (nhận biết  $n.Z \approx K$  và các đầu và cuối của cuộn dây được nối tiếp nhau theo thứ tự của các lá góp). Trong đó  $n$  là số mạch vòng mắc nối tiếp.

– Thông số tính toán:  $y = 1$ ;  $y_k = \frac{K}{Z} = \pm n$  ;

$$y_1 = \frac{Z}{2p} \pm \varepsilon; \quad y_2 = y_1 - y.$$

**Ví dụ 5.4.** Vẽ sơ đồ hình trái với các thông số sau :  $Z = 12$ ;  $2p = 4$ ;  $K = 36$ ; xếp phức tạp

**Lời giải:** Từ các số liệu đã cho, ta tính được các thông số sau:

$$y = 1; \quad y_k = \frac{K}{Z} = \frac{36}{12} = 3;$$

$$y_1 = \frac{Z}{2p} \pm \varepsilon = \frac{12}{4} = 3; \quad y_2 = y_1 - y = 3 - 1 = 2.$$

Vẽ sơ đồ khai triển hình trái tương tự kiểu xếp kép.

### 5.10.3. Bộ dây quần kiểu sóng

**Định nghĩa:** Bộ dây quần kiểu sóng là một bộ dây mà đầu và cuối của cuộn dây được nối tiếp nhau nằm dưới cực từ cùng tên của các lá góp.

*Phân loại bộ dây:*

Căn cứ vào số vòng khép kín mà ta phân ra:

– Bộ dây quần kiểu sóng đơn: là bộ dây quần kiểu sóng trong đó có một vòng khép kín.

– Bộ dây quần kiểu sóng kép: là bộ dây quần kiểu sóng trong đó có hai vòng khép kín.

– Bộ dây quần kiểu sóng phức tạp: là bộ dây quần kiểu sóng trong đó có từ ba vòng khép kín trở lên.

#### a) Bộ dây quần kiểu sóng đơn

– *Thông số cơ bản:*  $Z, 2p, K$  (nhận biết  $Z \approx K$  và các đầu và cuối của cuộn dây được nối tiếp nhau nằm dưới cực từ cùng tên của các lá góp).

– *Thông số tính toán:*

$$y = y_k = \frac{Z}{p} \pm 1 = \frac{K}{p} \pm 1; \quad y_1 = \frac{Z}{2p} \pm \varepsilon;$$

$$y_2 = y - y_1$$



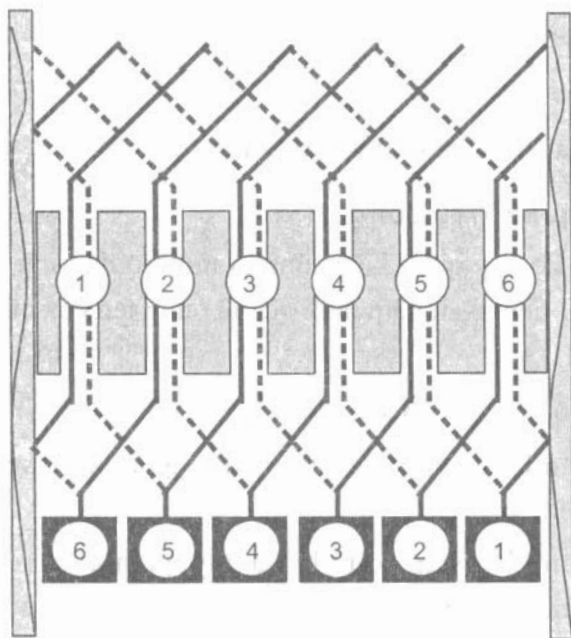
**Ví dụ 5.5.** Vẽ sơ đồ hình trái với các thông số sau:  $Z = 6$ ;  $2p = 2$ ;  $k = 6$ ; sóng đơn.

**Lời giải:** Từ các số liệu đã cho, ta tính được các thông số sau:

$$y = y_k = \frac{Z}{p} \pm 1 = \frac{k}{p} \pm 1 = \frac{6}{1} - 1 = 5$$

$$y_1 = \frac{Z}{2p} \pm \varepsilon = \frac{6}{2} = 3 \quad ; \quad y_2 = y_1 - y = 5 - 3 = 2$$

Vẽ sơ đồ khai triển hình trái như hình 5.34.



**Hình 5.34.** Giản đồ khai triển dây quấn sóng đơn  
 $Z = 6$ ,  $2p = 2$ ,  $K = 6$ .

#### b) Bộ dây quấn kiểu sóng kép

- *Thông số cơ bản:*  $Z$ ,  $2p$ ,  $K$  (nhận biết  $2.Z \approx K$  và các đầu và cuối của cuộn dây được nối tiếp nhau nằm dưới cực từ cùng tên của các lá góp).

- *Thông số tính toán:*

$$y = \frac{Z}{p} \pm 1 \quad ; \quad y_k = \frac{K}{p} \pm 2 \quad ; \quad y_1 = \frac{Z}{2p} \pm \varepsilon \quad ; \quad y_2 = y - y_1 .$$

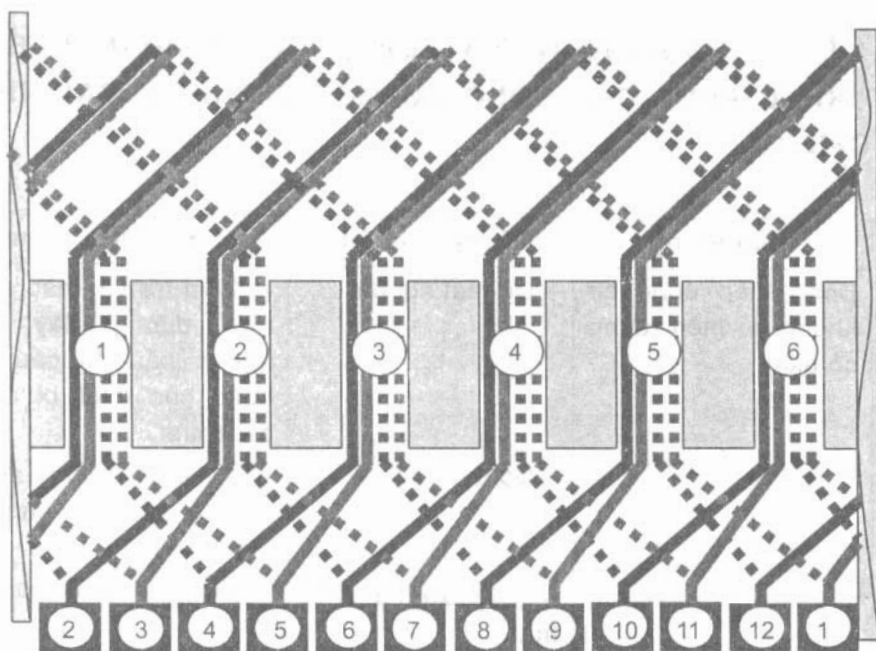
**Ví dụ 5.6.** Vẽ sơ đồ hình trái với các thông số sau:  $Z = 6$ ;  $2p = 2$ ;  $K = 12$ ; sóng kép.

**Lời giải:** Với các số liệu đã cho, ta tính được các thông số sau:

$$y = \frac{Z}{p} \pm 1 = \frac{6}{1} - 1 = 5 \qquad y_k = \frac{K}{p} \pm 2 = \frac{12}{1} - 2 = 10$$

$$y_1 = \frac{Z}{2p} \pm \varepsilon = \frac{6}{2} \pm \varepsilon = 3 \qquad y_2 = y_1 - y = 5 - 3 = 2$$

Vẽ sơ đồ khai triển hình trái như hình 5.35.



Hình 5.35. Giản đồ khai triển dây quấn sóng kép  
 $Z = 6, 2p = 2, K = 12$ .

### c) Bộ dây quấn kiểu sóng phức tạp

– *Thông số cơ bản:*  $Z, 2p, K$  (nhận biết  $n.Z \approx K$  và các đầu và cuối của cuộn dây được nối tiếp nhau nằm dưới cực từ cùng tên của các lá góp). Trong đó  $n$  là số mạch vòng mắc nối tiếp.

– *Thông số tính toán:*

$$y = \frac{Z}{p} = \pm n; \quad y_k = \frac{K}{p} = \pm n; \quad y_1 = \frac{Z}{2p} \pm \varepsilon; \quad y_2 = y - y_1.$$

**Ví dụ 5.7.** Vẽ sơ đồ hình trái với các thông số sau:  $Z = 12$ ;  $2p = 4$ ;  $K = 36$ ; xếp phức tạp.

**Lời giải:** Với các số liệu đã cho, ta tính được các thông số sau:

$$y = \frac{Z}{P} = \pm n = \frac{12}{2} - 1 = 5 ; \quad y_k = \frac{K}{Z} = \frac{36}{2} - 3 = 15$$

$$y_1 = \frac{Z}{2p} \pm \varepsilon = \frac{12}{4} = 3 ; \quad y_2 = y - y_1 = 5 - 3 = 2$$

Vẽ sơ đồ hình trái tương tự như kiểu sóng kép.

### 5.11. MỘT SỐ HƯ HỎNG THƯỜNG GẶP, NGUYÊN NHÂN VÀ BIỆN PHÁP KHẮC PHỤC CỦA ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU VÀ MÁY PHÁT MỘT CHIỀU

TT	Hiện tượng	Nguyên nhân	Cách khắc phục
1	Đóng điện động cơ không có hiện tượng có điện	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Do mất nguồn.</li> <li>- Do đứt dây.</li> <li>- Tiếp xúc ở chổi than.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kiểm tra và khắc phục trên đường dây cấp nguồn, cầu chì, cầu dao hoặc các thiết bị đóng cắt chính.</li> <li>- Đo kiểm thông mạch và khắc phục tại chỗ đứt mạch.</li> <li>- Kiểm tra chổi than và sửa lại.</li> </ul>
2	Khi đóng điện, động cơ không khởi động được (quay rất chậm hoặc không quay được) có tiếng gầm rú, phát nóng nhanh.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiếp xúc giữa vành góp và chổi than.</li> <li>- ổ bi bị mài mòn quá nhiều nên sát cốt.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kiểm tra độ tiếp xúc của chổi than và vành góp và sửa lại.</li> <li>- Kiểm tra độ rơ của ổ bi. Xử lý hoặc thay thế ổ bi mới.</li> </ul>
3	Đóng điện vào động cơ các thiết bị bảo vệ tác động ngay (cầu chì bị đứt, aptômát tác động...).	- Cuộn dây phần cảm hoặc phần ứng bị ngắn mạch.	- Kiểm tra và xử lý pha bị ngắn mạch.

4	Máy chạy không đủ tốc độ, rung lắc mạnh, nóng nhanh.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chập nội tại cuộn dây.</li> <li>- Động cơ bị sát cốt.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kiểm tra bộ dây bằng rônha, nếu bộ dây bị chập nội tại thì quấn lại bộ dây.</li> <li>- Cân chỉnh lại hoặc thay thế vòng bi mới.</li> </ul>
5	Có tiếng kêu cơ khí, dòng điện tăng hơn bình thường.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nắp máy không được cố định tốt với vỏ.</li> <li>- Bạc bị rơ, cốt mòn, cong.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chỉnh sửa phần cơ khí.</li> <li>- Thay thế vòng bi mới.</li> </ul>
6	Khi mang tải động cơ không khởi động được.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Quá tải lớn.</li> <li>- Điện áp nguồn suy giảm nhiều.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Giảm tải.</li> <li>- Kiểm tra điện áp nguồn điện.</li> </ul>
7	Máy phát không thành lập điện áp.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mất từ dư.</li> <li>- Cuộn dây phần cảm đấu ngược.</li> <li>- Rôto quay không đúng chiều quy định.</li> <li>- Điện trở mạch kích thích quá lớn.</li> <li>- Tiếp xúc chổi than với vành đổi chiều.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gây lại từ cho máy.</li> <li>- Đấu lại cuộn dây phần cảm với phần ứng đúng cực tính.</li> <li>- Đảo chiều quay động cơ sơ cấp.</li> <li>- Giảm bớt <math>r_{đc}</math> trong mạch kích từ.</li> <li>- Rà lại chổi than chỗ tiếp xúc.</li> </ul>
8	Máy phát nóng quá mức.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Do quá tải.</li> <li>- Do sát cốt.</li> <li>- Chập một số vòng dây phần ứng.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Giảm bớt tải.</li> <li>- Tháo rôto cân chỉnh và nếu cần thiết thay vòng bi.</li> <li>- Dùng rônha kiểm tra chập vòng dây phần ứng.</li> </ul>

9	Khi không tải không có điện áp phát ra, khi mang tải máy mất điện.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Do quá tải.</li> <li>- Do tiếp xúc không tốt ở chổi than.</li> <li>- Bộ dây phản ứng bị hở mạch.</li> <li>- Do sát cốt.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Giảm, cắt tải sau đó tăng dần, xác định sự cố.</li> <li>- Rửa lại chổi than.</li> <li>- Kiểm tra liên mạch bộ dây phản ứng bằng cách lần lượt kiểm tra các lá góp liên bên có liên mạch không.</li> <li>- Tháo máy kiểm tra vòng bi, bạc cần thiết phải thay mới.</li> </ul>
---	--	---	---

## CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP CHƯƠNG 5

5.1. Nêu cấu tạo và nguyên lý làm việc của máy phát điện một chiều.

5.2. Trình bày khái niệm sức điện động và mômen điện từ của máy điện một chiều.

5.3. Phân loại và sơ đồ đấu dây máy điện một chiều.

5.4. Mở máy và điều chỉnh tốc độ động cơ điện một chiều như thế nào ?

5.5. Nêu các đặc tính máy phát điện một chiều.

5.6. Vẽ sơ đồ hình trái bộ dây phản ứng máy điện một chiều kiểu xếp có thông số như sau:

$$- Z = 6 \quad ; \quad 2p = 2 \quad ; \quad k = 6$$

$$- Z = 6 \quad ; \quad 2p = 4 \quad ; \quad k = 6$$

$$- Z = 12 \quad ; \quad 2p = 2 \quad ; \quad k = 13$$

$$- Z = 17 \quad ; \quad 2p = 4 \quad ; \quad k = 34$$

5.7. Vẽ sơ đồ hình trái bộ dây phản ứng máy điện một chiều kiểu xếp phức tạp có thông số như sau:

$$- Z = 6 \quad ; \quad 2p = 2 \quad ; \quad k = 17$$

$$- Z = 12 \quad ; \quad 2p = 2 \quad ; \quad k = 35$$

$$- Z = 12 \quad ; \quad 2p = 4 \quad ; \quad k = 36$$

5.8. Vẽ sơ đồ hình trái bộ dây phần ứng máy điện một chiều kiểu sóng có thông số như sau:

$$- Z = 6 \quad ; \quad 2p = 2 \quad ; \quad k = 6$$

$$- Z = 6 \quad ; \quad 2p = 4 \quad ; \quad k = 6$$

$$- Z = 12 \quad ; \quad 2p = 8 \quad ; \quad k = 12$$

$$- Z = 12 \quad ; \quad 2p = 6 \quad ; \quad k = 12$$

5.9. Vẽ sơ đồ hình trái bộ dây phần ứng máy điện một chiều kiểu sóng phức tạp có thông số như sau:

$$- Z = 6 \quad ; \quad 2p = 2 \quad ; \quad k = 11$$

$$- Z = 6 \quad ; \quad 2p = 4 \quad ; \quad k = 13$$

$$- Z = 12 \quad ; \quad 2p = 2 \quad ; \quad k = 25$$

5.10. Máy phát điện một chiều có công suất định mức:  $P = 85 \text{ kW}$ ;  $U_{đm} = 230\text{V}$ ;  $n_{đm} = 1470 \text{ vg/ph}$ ;  $\eta_{đm} = 0.895$ . Khi máy làm việc ở chế độ định mức, tính dòng điện định mức và mômen của động cơ sơ cấp.

$$\text{Đáp số: } I_{đm} = 369,5 \text{ A}; M_1 = 617 \text{ Nm}$$

5.11. Máy phát điện một chiều có công suất định mức:  $P = 95 \text{ kW}$ ;  $U_{đm} = 115\text{V}$ ;  $n_{đm} = 2820 \text{ vg/ph}$ ;  $\eta_{đm} = 0.792$ . Khi máy làm việc ở chế độ định mức, tính dòng điện định mức và công suất cơ của động cơ sơ cấp kéo máy phát và mômen của động cơ sơ cấp.

$$\text{Đáp số: } I_{đm} = 826 \text{ A}; P_1 = 120 \text{ kW}; M_1 = 406 \text{ Nm}$$

5.12. Một máy phát điện một chiều lúc quay không tải ở tốc độ  $n = 1000 \text{ vg/ph}$  thì sức điện động phát ra bằng  $E_0 = 22\text{V}$ . Hỏi lúc không tải, muốn phát ra sức điện động định mức  $E_{0đm} = 220\text{V}$  thì tốc độ lúc này phải bằng bao nhiêu khi giữ dòng điện kích từ không đổi?

$$\text{Đáp số: } n_{0đm} = 990 \text{ vg/ph.}$$

5.13. Một động cơ điện một chiều kích từ song song có các số liệu sau:  $U_{đm} = 220\text{V}$ ,  $I_{đm} = 52\text{A}$  (gồm dòng điện phần ứng và dòng điện kích từ), điện trở  $R_v = 0,4\Omega$ , điện trở mạch kích từ  $R_{kt} = 110\Omega$ , tốc độ không tải  $n_0 = 1100 \text{ vg/ph}$ . Hãy tìm:

a) Sức điện động phần ứng lúc tải định mức?

b) Tốc độ lúc tải định mức?

c) Công suất điện từ và mômen điện từ lúc tải định mức? (khi phân tích bỏ qua dòng điện không tải).

$$\text{Đáp số: a) } E_{vđm} = 200\text{V}; \text{ b) } n_{đm} = 1000 \text{ vg/ph}; \\ \text{ c) } P_{dt} = 10000\text{W}, M_{dt} = 1000\text{Nm.}$$

## Chương 6

# MỘT SỐ LOẠI ĐỘNG CƠ ĐIỆN

---

### 6.1. ĐỘNG CƠ BƯỚC

#### 6.1.1. Khái quát chung về động cơ bước

Các hệ truyền động điện số thường sử dụng động cơ chấp hành đặc biệt gọi là động cơ bước.

Động cơ bước thực chất là động cơ đồng bộ dùng để biến đổi các tín hiệu điều khiển dưới dạng các xung điện rời rạc kế tiếp nhau thành các chuyển động của rôto và có khả năng cố định rôto vào những vị trí cần thiết.

Động cơ bước làm việc được là nhờ các bộ chuyển mạch điện tử đưa các tín hiệu điều khiển vào stato theo một thứ tự và một tần số nhất định. Tổng số góc quay của rôto tương ứng số lần chuyển mạch, cũng như chiều quay và tốc độ quay của rôto, phụ thuộc vào thứ tự chuyển đổi và tần số chuyển đổi. Khi một xung điện áp đặt vào cuộn dây stato (phần ứng) của động cơ bước thì rôto (phần cảm) của động cơ sẽ quay đi một góc nhất định, góc ấy là một bước quay của động cơ. Khi các xung điện áp đặt vào các cuộn dây phần ứng thay đổi liên tục thì rôto sẽ quay liên tục.

(Nhưng thực chất chuyển động đó vẫn là theo các bước rời rạc).

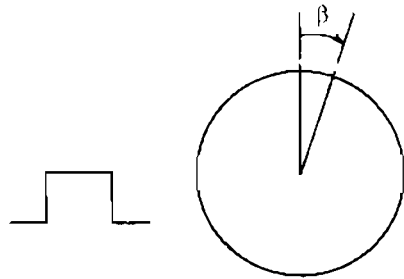
Về cấu tạo, động cơ bước có thể coi là tổng hợp của hai loại động cơ: động cơ một chiều không tiếp xúc và động cơ đồng bộ giảm tốc công suất nhỏ.

Trong khi động cơ một chiều không tiếp xúc có rôto thường là một nam châm vĩnh cửu (số đôi cực  $2p = 2$ ) và cần có cảm biến vị trí rôto (để thực hiện chức năng tạo ra tín hiệu điều khiển nhằm xác định thời điểm và thứ tự đổi chiều) thì động cơ bước có rôto dạng cực lõi gồm nhiều răng cách đều cấu thành các cặp nam châm N – S xen kẽ nhau để tạo ra số cặp cực  $2p$  lớn hơn và không cần phải có bộ cảm biến vị trí rôto. Nhờ cảm biến vị trí rôto, có thể điều khiển dòng một chiều vào các cuộn dây stato để có từ trường quay liên tục nên động cơ điện một chiều không tiếp xúc quay liên tục. Đối với động cơ bước, vì từ trường

quay không liên tục do các xung điện cấp vào rời rạc nên rôto quay theo các bước.

Cũng giống như động cơ đồng bộ giảm tốc công suất nhỏ, động cơ bước có các bố dây tạo thành các pha trên stato, đồng thời trên cả rôto và stato đều có các răng để tạo thành các cặp cực và các nam châm điện. Nhưng động cơ đồng bộ giảm tốc có các cuộn kích thích và cần phải có dòng điện kích thích để khởi động, còn động cơ bước không cần yếu tố này. Mặt khác, trên stato của động cơ đồng bộ giảm tốc, ngoài cuộn dây phụ (để kích thích) thì cuộn dây chính thường là ba pha hoặc là hai pha được nuôi bằng nguồn xoay chiều tạo ra từ trường quay liên tục với vận tốc góc  $\omega$ . Vì vậy sau khi hoàn thành việc khởi động, rôto quay với vận tốc đồng bộ (nhỏ hơn vận tốc của từ trường quay). Trong khi đó, stato của động cơ bước chỉ có một loại cuộn dây pha và chúng có vai trò như nhau.

Theo một phương diện khác, có thể coi động cơ bước là linh kiện (hay dụng cụ) số (Digital Device) mà ở đó các thông tin số hoá đã thiết lập sẽ được chuyển thành chuyển động quay theo từng bước. Động cơ bước sẽ thực hiện trung thành các lệnh đã số hoá mà máy tính yêu cầu (xem hình 6.1).



Hình 6.1. Mỗi xung bằng một bước cực

### 6.1.2. Động cơ bước nam châm vĩnh cửu

a) **Cấu tạo:** Gồm có hai phần chính là phần tĩnh (stato) và phần động (rôto).

*Cấu tạo các bộ phận stato:*

Hai bộ phận chính của stato là lõi thép (mạch từ) và dây quấn:

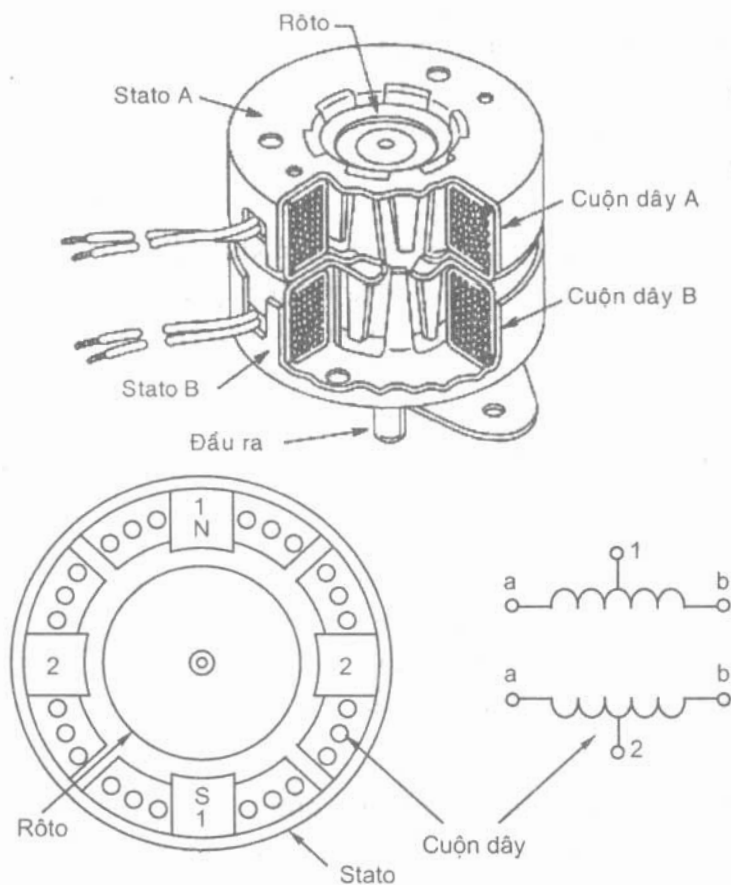
– Lõi thép làm bằng các lá thép kỹ thuật điện dập theo khuôn rồi ghép lại (hình 6.2) dạng hình trụ rỗng, mặt trong có phay rãnh. Trong rãnh là dây quấn máy điện có thể là dây quấn 2 pha, 3 pha, 4 pha hoặc 5 pha. Phía ngoài stato có vỏ bằng nhôm hoặc hợp kim của nhôm, hai đầu stato có hai nắp làm bằng cùng vật liệu với vỏ và bắt chặt vào vỏ. Trên nắp máy có lắp ổ trục (ổ trượt hoặc vòng bi) để đỡ trục quay của rôto.

– Dây quấn stato của động cơ bước nam châm vĩnh cửu là loại dây



điện từ, có tiết diện hình tròn hoặc hình chữ nhật. Dây quấn stator được chia thành nhiều pha dây quấn, mỗi pha có một tổ bố trí dây, mỗi tổ bố trí dây có  $w$  số vòng dây và được lồng vào cực từ của stator.

### Cấu tạo của rôto



**Hình 6.2.** Động cơ bước nam châm vĩnh cửu

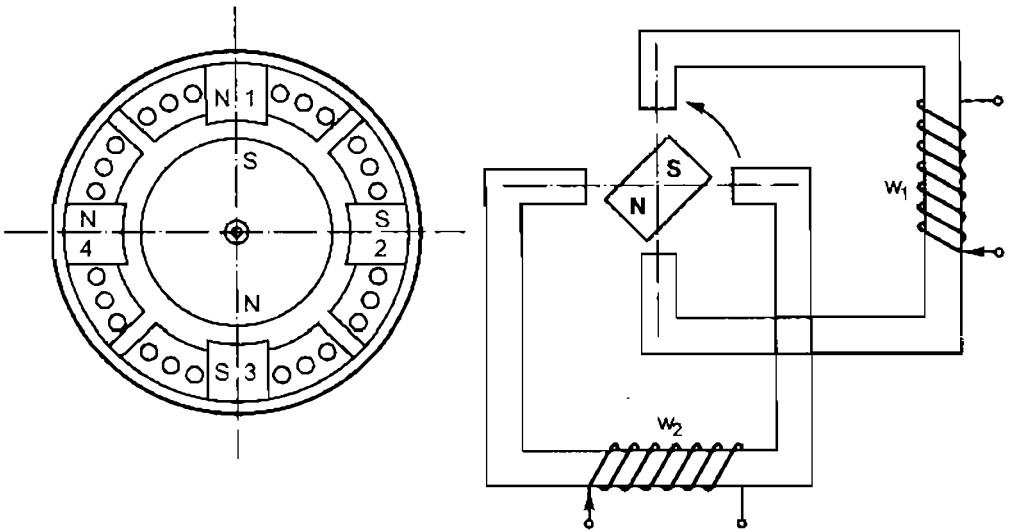
Rôto của động cơ bước nam châm vĩnh cửu có cấu tạo thường không có răng cực từ, được từ hoá vĩnh cửu vuông góc với trục (ngang trục) và được lồng vào phía trong của stator. Cực từ của rôto thường là 2 hoặc 6 cực từ (N – S) xen kẽ nhau.

### b) Nguyên lý làm việc của động cơ bước nam châm vĩnh cửu

Nguyên lý làm việc của loại động cơ này là dựa vào tác động của một trường điện từ trên một mômen điện từ, tức là tác động của một trường điện từ và một hoặc nhiều nam châm vĩnh cửu. Rôto của động cơ

tạo thành một hoặc nhiều cặp từ và mômen điện từ của nam châm được đặt thẳng hàng trên từ trường quay do các cuộn dây tạo nên.

– Xét cấu tạo trục của động cơ bước nam châm vĩnh cửu như hình 6.3.



Hình 6.3. Sơ đồ kết cấu của động cơ bước từ trở

Động cơ có hai cuộn dây lắp ở hai cực của stato và một nam châm vĩnh cửu ở rôto. Khi kích thích một cuộn dây của stato (đồng thời ngắt cuộn kia) sẽ tạo nên hai cực Bắc (North) và Nam (South) của nam châm. Rôto sẽ thẳng đứng với từ trường.

Nếu ta cho dòng điện vào cuộn dây  $w_1$ , thì vị trí 1 và 3 của stato tương ứng sẽ là cực Nam và cực Bắc.

Giả sử trục của nam châm vĩnh cửu của rôto đang lệch với trục 1 — 3 một góc  $\alpha$ , dưới tác dụng của lực hút do các cực trái dấu của nam châm vĩnh cửu sẽ sinh ra một lực quay rôto về vị trí 1, vị trí này gọi là vị trí cân bằng. Sau đó dòng điện  $I_2$  vào cuộn dây  $w_2$  (lúc này dòng điện trong cuộn dây  $w_1$  bị ngắt), thanh nam châm sẽ quay nhanh về vị trí 2 một góc  $90^\circ$  nếu việc cấp điện liên tục và tuần tự vào cuộn dây  $w_1, w_2, w_1, w_2, \dots$  và đảo chiều dòng điện sau mỗi bước, thanh nam châm sẽ quay thành những vòng tròn, từ một phần tư vòng đến một phần tư vòng tròn khác.

Các cuộn dây của stato gọi là các pha. Động cơ bước có thể có nhiều pha 2, 3, 4, 5 pha, nó được cấp điện cuộn này sang cuộn khác với việc đảo chiều dòng điện sau mỗi bước quay. Chiều quay của động cơ

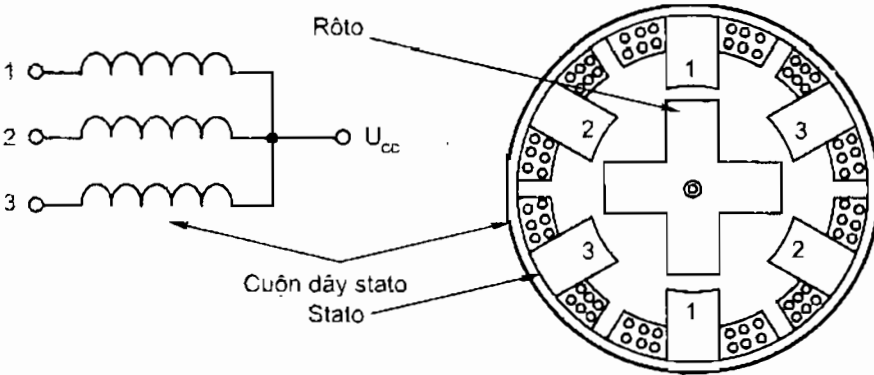
phụ thuộc vào thứ tự cung cấp điện cho các cuộn dây và hướng của từ trường.

– Góc bước của động cơ thay đổi thường là từ 6 đến 45° trong chế độ điều khiển bước đủ, mômen hãm từ 0,5 đến 25 Ncm, tần số khởi động lớn nhất là 0,5 và tần số làm việc lớn nhất ở chế độ không tải là 5 kHz.

### 6.1.3. Động cơ bước từ trở (hay còn gọi là động cơ phản kháng)

#### a) Cấu tạo

Động cơ bước từ trở có hai phần cấu tạo chính là stato (phần tĩnh) và rôto (phần quay):



Hình 6.4. Động cơ bước 3 pha có từ trở thay đổi

**Stato:** gồm có hai phần chính: Lõi thép và dây quấn stato.

– Lõi thép: Được ghép bằng các lá thép kỹ thuật điện lại với nhau tạo thành một khối hình trụ, ở giữa được đục lỗ và phay các rãnh cực từ, trên mặt cực từ có răng. Bề dày của mỗi lá thép vào khoảng 0,35mm đến 0,5 mm, ở hai mặt của mỗi lá thép được sơn cách điện có tác dụng giảm nhỏ dòng điện xoáy.

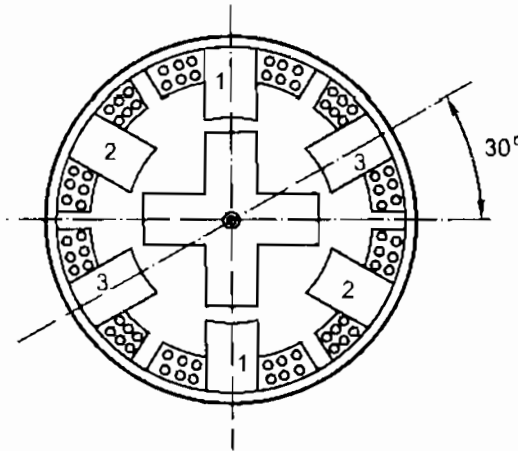
– Dây quấn stato: là dây điện từ có thể là dây nhôm hoặc dây đồng được cách điện bằng lớp ê-may hoặc cotton, tiết diện dây quấn có dạng hình tròn. Mỗi pha trên stato được quấn thành hai cuộn dây nối tiếp nhau ở vị trí xuyên tâm đối xứng trên stato, thậm chí thành 4 cuộn đối một trục giao, mỗi cuộn dây cuốn có w số vòng dây.

**Rôto:** Cũng giống như stato, rôto cũng có răng. Rôto được làm bằng vật liệu dẫn từ (sắt non) có từ trở thay đổi theo góc quay. Mỗi răng của rôto là một cực.

## b) Nguyên lý làm việc

Nguyên lý làm việc của động cơ bước có từ trở thay đổi dựa trên cơ sở hiện tượng từ trở cực tiểu, nghĩa là hệ thống mạch từ luôn có xu hướng giảm thiểu từ trở. Trong động cơ bước loại này stato và rôto đều được làm cùng một vật liệu từ và rôto luôn quay về trạng thái sao cho từ trở là nhỏ nhất. Tức là dựa trên sự tác động giữa một trường điện từ và một rôto có từ trở thay đổi theo góc quay.

– Cấu trúc tiêu biểu cho động cơ bước có từ trở thay đổi hình vẽ 6.5.



Hình 6.5. Động cơ bước ba pha có từ trở thay đổi

Rôto được chế tạo bằng vật liệu dẫn từ, trên bề mặt rôto thường có nhiều răng. Mỗi răng của rôto hoặc stato gọi là một cực. Trên hai cực đối diện nhau thì mắc nối tiếp hai cuộn dây tạo thành một phần của động cơ. Như vậy động cơ như hình vẽ 6.5 có 3 pha (1,2,3) từ trở thay đổi theo góc quay của răng. Khi các răng của rôto đứng thẳng hàng với các cực của stato, từ trở ở đó sẽ nhỏ nhất. Nếu ta cho dòng điện chạy vào cuộn dây số 2 nó sẽ tạo nên từ trường kéo cực của rôto ở gần nó nhất và làm rôto quay một góc  $30^\circ$  theo chiều kim đồng hồ.

Nếu dòng điện được đưa vào cuộn dây số 3, rôto lại quay đi một góc  $30^\circ$  nữa v.v... Các cuộn dây 1, 2, 3 được gọi là các pha.

Như vậy, hướng quay của rôto không phụ thuộc vào chiều của dòng điện mà phụ thuộc vào thứ tự cấp điện cho cuộn dây. Nhiệm vụ này do các mạch logic trong bộ chuyển phát thực hiện. Với cách thay đổi thứ tự hoặc thay đổi cách kích thích các cuộn dây ta cũng làm thay đổi các vị trí góc quay.

Động cơ bước có từ trở thay đổi chuyển động êm, số bước lớn, góc bước giới hạn trong khoảng  $1,8^\circ$  đến  $30^\circ$  trong chế độ điều khiển bước đủ, mômen hãm từ 1 đến 50Ncm, tần số khởi động lớn nhất 1kHz, tần số làm việc lớn nhất trong điều kiện không tải là 20kHz.

– Một số công thức tính cho động cơ bước có từ trở thay đổi:

$N_r$  – số răng rôto.

$N_s$  – số răng stato.

$N_p$  – số pha stato.

$P_r$  – góc độ răng rôto.

$P_s$  – góc độ răng của stato.

$\Phi_s$  – góc bước.

$R_s$  – giá trị bước.

$X = N_s / N_p$  – số răng stato cho một pha.

– Góc độ răng giữa hai răng kề nhau được xác định như sau:

$$P_r = \frac{360^\circ}{N_r}; \quad P_s = \frac{360^\circ}{N_s} \quad (6.1)$$

– Góc bước được xác định bằng biểu thức:

$$\Phi_s = \frac{360^\circ}{N_r \cdot N_p} \quad (\text{độ / bước}) \quad (6.2)$$

– Giá trị bước:

$$R_s = \frac{360^\circ}{\Phi_s} \quad (6.3)$$

– Nếu tần số xung là  $f$  thì tốc độ rôto sẽ là:

$$\omega = \frac{60f}{R_s} = \frac{60f}{N_p \cdot N_r} = \frac{\Phi_s}{6} \quad (\text{vg/ph}) \quad (6.4)$$

– Số răng rôto cho một pha:

$$X = \frac{N_r}{N_p + 1} \quad (6.5)$$

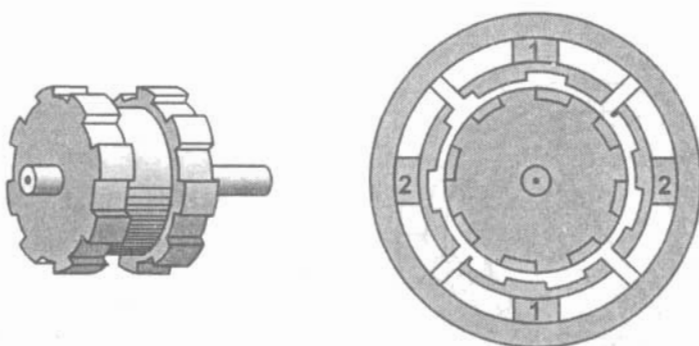
#### 6.1.4. Động cơ bước kiểu hỗn hợp (Hybrid)

Động cơ bước kiểu hỗn hợp có góc bước thay đổi từ  $0,36^\circ$  đến  $15^\circ$  trong chế độ đủ bước, mômen hãm từ 3 đến 1000Ncm, tần số khởi động lớn nhất là 40kHz. Trong tất cả các loại động cơ bước kể trên thì động

cơ bước hỗn hợp được dùng nhiều hơn cả. Vì loại động cơ này kết hợp những ưu điểm của hai loại động cơ là: Động cơ nam châm vĩnh cửu với dạng cực móng và động cơ có từ trở thay đổi.

#### a) Cấu tạo của động cơ bước hỗn hợp

Cấu tạo động cơ bước hỗn hợp là sự kết hợp giữa động cơ bước nam châm vĩnh cửu và động cơ bước có từ trở thay đổi. Phần stato có cấu tạo hoàn toàn giống cấu tạo của động cơ có từ trở thay đổi. Trên các cực của stato được đặt các cuộn dây pha, mỗi cuộn dây pha được cuốn thành bốn cuộn dây, hoặc được cuốn thành hai cuộn dây đặt xen kẽ nhau để hình thành nên các cực N và S đồng thời đối diện với mỗi cực của các bố trí dây là răng của rôto và cũng đặt xen kẽ giữa hai vành răng số 3 của rôto.



Hình 6.6. Cấu tạo của động cơ bước hỗn hợp

#### b) Nguyên lý làm việc

Động cơ hỗn hợp là sự kết hợp giữa nguyên tắc làm việc của động cơ bước nam châm vĩnh cửu và động cơ bước từ trở được đặc tính tốt nhất của hai loại động cơ kể trên là mômen lớn và số bước lớn. Động cơ bước gồm hai nửa rôto như hình vẽ 6.6. Nửa thì có nhiều răng, nửa là nam châm vĩnh cửu. Động cơ loại này có số bước đạt đến 400 bước, nhưng giá thành đắt.

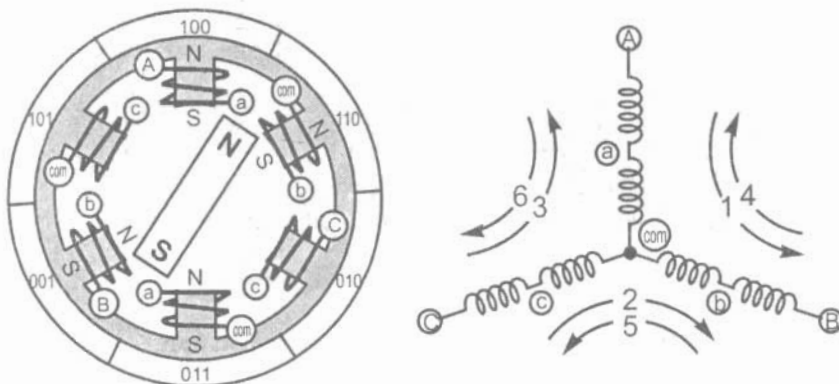
## 6.2. ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU KHÔNG TIẾP XÚC

Động cơ một chiều cấu trúc bình thường có hàng loạt nhược điểm do bộ phận đổi chiều vành góp, chổi than gây ra làm hạn chế phạm vi sử dụng của chúng. Trong thời gian gần đây đã xuất hiện và đưa vào sử dụng ngày càng rộng rãi, nhất là trong các hệ thống điều khiển tự động, động cơ không tiếp xúc một chiều, với bộ phận đổi chiều điện tử để thỏa mãn yêu cầu cao về độ tin cậy trong các điều kiện làm việc đặc biệt

(chân không, nhiệt độ thay đổi, rung động nhiều...). Bộ phận đổi chiều có cấu tạo từ các linh kiện điện tử thay thế cho vành góp – chổi than làm cho động cơ một chiều không tiếp xúc mất đi những nhược điểm của động cơ điện một chiều bình thường.

### 6.2.1. Cấu tạo của động cơ một chiều không tiếp xúc

Động cơ một chiều không tiếp xúc giống động cơ đồng bộ ở chỗ, chúng được điều chỉnh bằng cách thay đổi tần số nhờ sự tự đồng bộ. Sự điều chỉnh tần số nhờ sự tự đồng bộ nằm ở chỗ việc điều khiển bộ biến đổi tần số được thực hiện theo vị trí góc rôto động cơ, điều này được thực hiện nhờ hệ thống các cảm biến (cảm biến Hall) được bố trí trong đó, khi đó điện áp được cấp cho mỗi pha của động cơ khi góc phụ tải <math> < 90^\circ </math> điện.



Hình 6.7. Sơ đồ nguyên lý động cơ một chiều không tiếp xúc  
1,2,3,4,5,6 – bộ chuyển mạch

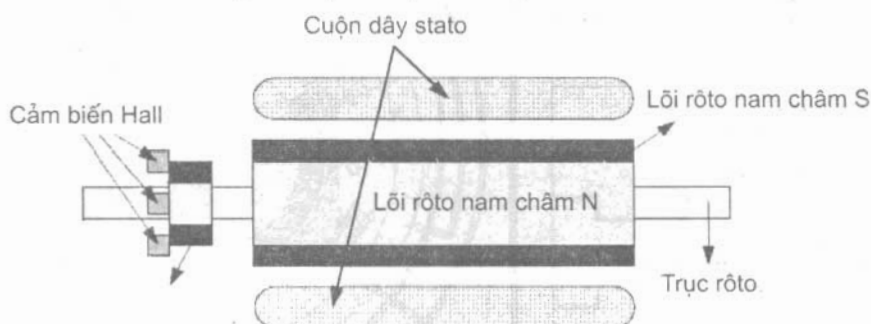
Động cơ một chiều không tiếp xúc (hình 6.7) xúc là động cơ điện trong đó stato có cấu tạo giống như stato của động cơ điện không đồng bộ thông thường và rôto có gắn các cực từ làm bằng nam châm vĩnh cửu trên bề mặt



Hình 6.8. Mặt cắt ngang của một số dạng rôto

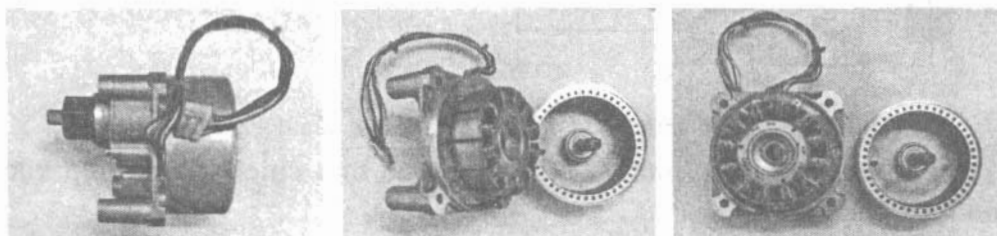
Hình 6.8 là mặt cắt ngang của một số dạng rôto (từ trái qua phải): rôto có cực từ lõi ra bên ngoài, rôto có cực từ hình chữ nhật ẩn vào bên trong, rôto có cực từ hình chữ nhật gắn vào lõi.

Hình 6.9 là mặt cắt dọc động cơ một chiều không tiếp xúc, trong đó ta thấy rõ vị trí của các cảm biến Hall. Phần lớn các động cơ một chiều không tiếp xúc có ba cảm biến Hall gắn trên stato phía đuôi của động cơ (phía không nối tải). Nhờ các cảm biến Hall này, vị trí rôto được xác định làm cơ sở cho việc chuyển mạch công suất stato.



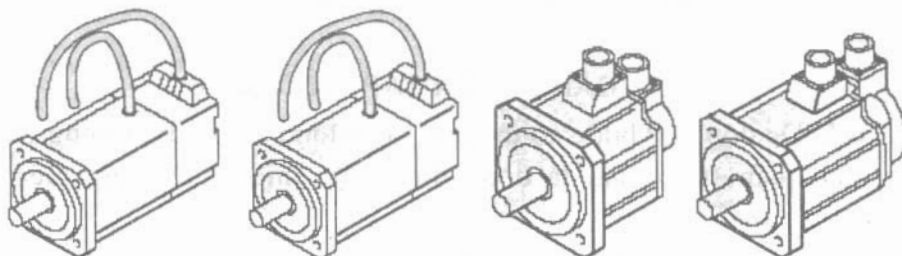
Hình 6.9. Mặt cắt dọc động cơ MCKTX

Cấu tạo của động cơ một chiều không tiếp xúc trong thực tế được thể hiện trên hình 6.10



Hình 6.10. Cấu tạo bên trong của động cơ MCKTX

Hình 6.11 là hình dạng bên ngoài một số loại động cơ MCKTX.

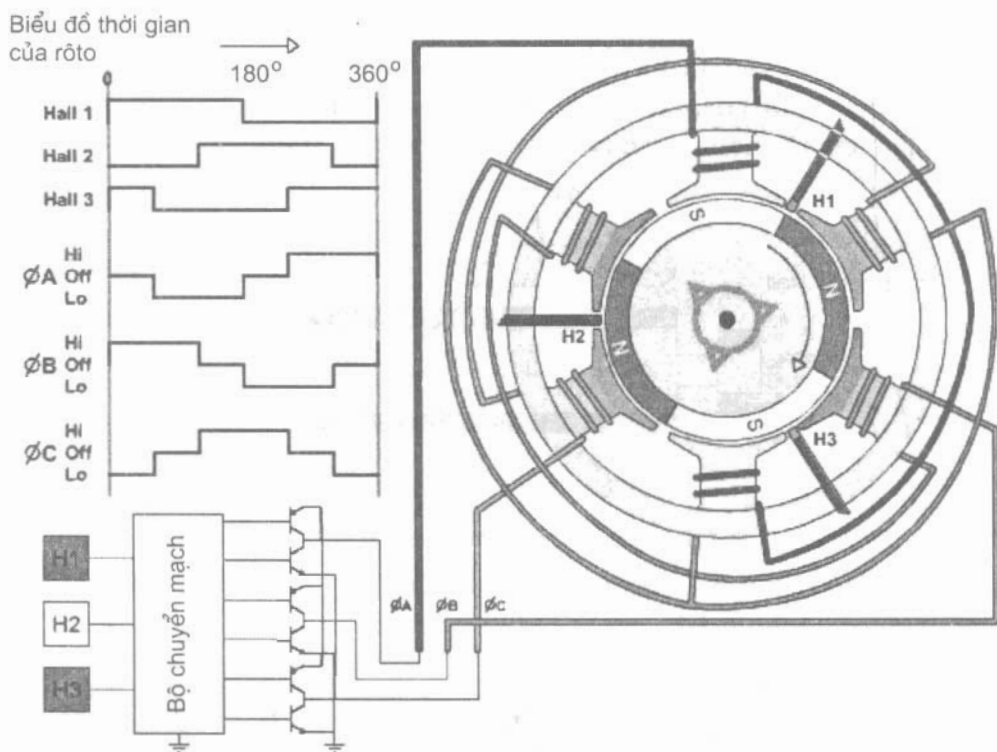


Hình 6.11. Hình dạng bên ngoài của một số động cơ một chiều không tiếp xúc



## 6.2.2. Nguyên lý hoạt động

Nguyên lý làm việc của động cơ một chiều không tiếp xúc được mô tả bằng sơ đồ chức năng sau (hình 6.12).



Hình 6.12. Sơ đồ chức năng nguyên lý làm việc của động cơ MCKTX

Như ta thấy trên hình vẽ 6.12, động cơ một chiều không tiếp xúc gồm ba phần cơ bản:

Trong động cơ có cuộn dây m pha, cảm biến vị trí rôto được chế tạo trên cùng một vỏ với động cơ đọc các tín hiệu điều khiển để xác định tín hiệu chuyển mạch các cuộn dây nhờ bộ chuyển mạch bán dẫn (phi tiếp điểm).

## CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 6

6.1. Để động cơ bước có thể làm việc được, dòng điện xung đưa vào các dây quấn stato phải là dòng điện một chiều hay dòng điện xoay chiều.

6.2. So sánh các loại động cơ bước về cấu tạo.

6.3. Nêu những ưu điểm của động cơ một chiều không chổi than.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Vũ Gia Hanh, Trần Khánh Hà, Phan Tử Thu, Nguyễn Văn Sáu, *Máy điện tập 1, Máy điện tập 2*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 2001.
2. Đặng Văn Đào, Lê Văn Doanh, *Kỹ thuật điện*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 1998.
3. *Tập bài giảng máy điện*, Trường Học viện Kỹ thuật quân sự.
4. Mulukutla S. Sarma, *Electric Machines*, PWS Publishing Company, 1996.
5. Charles I. Hubert P.E., *Electric Machines - Theory, Operation, applications*.

# MỤC LỤC

<i>Lời nói đầu</i> .....	3
<b>Chương 1. Khái niệm chung về máy điện</b> .....	5
1.1. Các định luật điện từ dùng trong máy điện.....	5
1.2. Định nghĩa và phân loại máy điện.....	10
1.3. Nguyên lý máy phát điện và động cơ điện. Tính thuận nghịch của máy điện .....	11
1.4. Vật liệu và sơ lược kết cấu máy điện .....	13
1.5. Phát nóng và làm mát máy điện.....	17
1.6. Phương pháp nghiên cứu máy điện .....	18
Câu hỏi và bài tập chương 1.....	19
<b>Chương 2. Máy biến áp</b> .....	
2.1. Khái niệm chung về máy biến áp.....	20
2.2. Cấu tạo của máy biến áp một pha.....	21
2.3. Các đại lượng định mức của máy biến áp.....	23
2.4. Nguyên lý làm việc của máy biến áp.....	23
2.5. Mô hình toán của máy biến áp.....	26
2.6. Mô hình mạch.....	29
2.7. Các trạng thái làm việc của máy biến áp.....	32
2.8. Một số loại máy biến áp đặc biệt.....	34
2.9. Tính toán số liệu dây quấn máy biến áp một pha.....	37
2.10. Máy biến áp ba pha.....	46
2.11. Các sự cố thông thường xảy ra trong máy biến áp .....	52
Câu hỏi và bài tập chương 2.....	53
<b>Chương 3. Máy điện không đồng bộ</b> .....	55
3.1. Khái niệm chung về máy điện không đồng bộ.....	55
3.2. Cấu tạo máy điện không đồng bộ ba pha.....	55
3.3. Từ trường của máy điện không đồng bộ.....	59
3.4. Nguyên lý làm việc của máy điện không đồng bộ ba pha.....	63
3.5. Mô hình toán và sơ đồ thay thế động cơ điện không đồng bộ ba pha.....	64
3.6. Biểu đồ năng lượng và hiệu suất động cơ không đồng bộ.....	69
3.7. Đặc tính cơ của máy điện không đồng bộ.....	70
3.8. Mờ máy động cơ điện không đồng bộ ba pha.....	73
3.9. Điều chỉnh tốc độ động cơ điện không đồng bộ.....	77
3.10. Trạng thái hãm máy điện không đồng bộ.....	79
3.11. Các tình trạng đặc biệt của động cơ không đồng bộ ba pha.....	81
3.12. Động cơ điện không đồng bộ một pha.....	82
3.13. Bộ dây động cơ điện không đồng bộ 3 pha.....	88
3.14. Bộ dây động cơ điện không đồng bộ một pha rôto lồng sóc.....	96
3.15. Một số sự cố thông thường xảy ra trong động cơ không đồng bộ.....	103
Câu hỏi và bài tập chương 3.....	105
<b>Chương 4. Máy điện đồng bộ</b> .....	107
4.1. Khái niệm.....	107
4.2. Cấu tạo máy điện đồng bộ.....	107
4.3. Nguyên lý hoạt động máy phát điện đồng bộ.....	110

4.4. Từ trường trong máy điện đồng bộ.....	110
4.5. Các đặc tính làm việc của máy phát đồng bộ.....	114
4.6. Hoà đồng bộ.....	116
4.7. Động cơ điện đồng bộ.....	118
4.8. Máy bù đồng bộ.....	120
Câu hỏi và bài tập chương 4.....	121
<b>Chương 5. Máy điện một chiều.....</b>	<b>123</b>
5.1. Đại cương về máy điện một chiều.....	123
5.2. Cấu tạo máy điện một chiều.....	123
5.3. Nguyên lý làm việc cơ bản của máy điện một chiều.....	125
5.4. Từ trường và sức điện động của máy điện một chiều.....	127
5.5. Công suất điện từ và mômen điện từ của máy điện một chiều.....	132
5.6. Mô hình mạch của máy điện một chiều.....	133
5.7. Tia lửa điện trên cổ góp và biện pháp khắc phục.....	135
5.8. Máy phát điện một chiều.....	136
5.9. Động cơ điện một chiều.....	144
5.10. Bộ dây quấn phản ứng.....	148
5.11. Một số hư hỏng thường gặp, nguyên nhân và biện pháp khắc phục của động cơ một chiều và máy phát một chiều.....	154
Câu hỏi và bài tập chương 5.....	156
<b>Chương 6. Một số loại động cơ điện.....</b>	<b>158</b>
6.1. Động cơ bước.....	158
6.2. Động cơ điện một chiều không tiếp xúc.....	165
Câu hỏi ôn tập chương 6.....	168
Tài liệu tham khảo.....	169

*Chịu trách nhiệm xuất bản:*

Chủ tịch HĐQT kiêm Tổng Giám đốc NGÔ TRẦN ÁI  
Phó Tổng Giám đốc kiêm Tổng biên tập NGUYỄN QUÝ THAO

*Biên tập và sửa bản in:*

NGUYỄN DUY MẠNH

*Trình bày bìa:*

ĐINH XUÂN DŨNG

*Chế bản:*

MẠNH HÀ

---

**GIÁO TRÌNH MÁY ĐIỆN**

**Mã số: 7B750Y9 – DAI**

In 1.000 bản (QĐ : 35), khổ 16 x 24 cm. In tại Nhà in Đại học Quốc Gia Hà Nội.

Địa chỉ : 16 Hàng Chuối, Hà Nội.

Số ĐKKH xuất bản : 375 – 2009/CXB/5 – 726/GD.

In xong và nộp lưu chiểu tháng 6 năm 2009.



CÔNG TY CỔ PHẦN SÁCH ĐẠI HỌC - DẠY NGHỀ  
**HEVOBCO**  
25 HÀN THUYỀN - HÀ NỘI  
Website : [www.hevobco.com.vn](http://www.hevobco.com.vn)

**TÌM ĐỌC SÁCH THAM KHẢO KỸ THUẬT  
CỦA NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC VIỆT NAM**

- |   |                  |
|---|------------------|
| 1. Bài tập Kỹ thuật điện  | Đặng Văn Đào     |
| 2. Sửa chữa và quấn lại động cơ điện                            | Bùi Văn Yên      |
| 3. Hỏi đáp về Điện - Điện tử dân dụng                           | Bùi Văn Yên      |
| 4. Công nghệ chế tạo thiết bị điện                              | Nguyễn Đức Sỹ    |
| 5. Cơ sở lý thuyết tính toán và thiết kế hệ thống cung cấp điện | Phan Đăng Khải   |
| 6. Giáo trình Lưới điện   | Trần Bách        |
| 7. Máy điện 1   | Bùi Đức Hùng     |
| 8. Máy điện 2   | Bùi Đức Hùng     |
| 9. Giáo trình công nghệ CNC                                     | Nguyễn Văn Thiện |

*Bạn đọc có thể mua tại các Công ti Sách - Thiết bị trường học ở các địa phương hoặc các Cửa hàng của Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam :*

Tại Hà Nội : 25 Hàn Thuyên ; 187B Giảng Võ ; 232 Tây Sơn ; 23 Tràng Tiền ;

Tại Đà Nẵng : Số 15 Nguyễn Chí Thanh ; Số 62 Nguyễn Chí Thanh ;

Tại Thành phố Hồ Chí Minh : Cửa hàng 451B - 453, Hai Bà Trưng, Quận 3 ;  
240 Trần Bình Trọng -- Quận 5.

Tại Thành phố Cần Thơ : Số 5/5, đường 30/4 ;

Website : [www.nxbgd.com.vn](http://www.nxbgd.com.vn)



**Giá: 23.000 đ**