





**Giáo trình  
Máy điện**

# 1

---

## CƠ SỞ ĐIỆN TỪ TRONG LÝ THUYẾT MÁY ĐIỆN.

---

### 1.1. Khái quát chung.

---

Máy điện được định nghĩa là thiết bị chuyển hoá năng lượng điện thành các dạng năng lượng khác, hoặc ngược lại. Máy điện cũng được định nghĩa là thiết bị chuyển đổi năng lượng điện ở cấp điện áp này sang cấp điện áp khác.

Từ định nghĩa, dựa trên công dụng và đặc điểm làm việc, phân loại máy điện như sau :

- ❖ Máy điện tĩnh : Máy biến áp (máy biến áp ba pha, máy biến áp một pha)
- ❖ Máy điện Quay :
  - Máy điện một chiều (máy điện DC) : Máy phát và động cơ.
  - Máy điện xoay chiều (máy điện AC) :
    - Máy điện đồng bộ và không đồng bộ : Máy phát và động cơ.

- Máy phát : Biến đổi các dạng năng lượng khác thành điện năng.

- Động cơ : Biến đổi năng lượng điện thành cơ năng.

- Máy biến áp : Biến đổi nguồn điện từ cấp điện áp này sang cấp điện áp khác. Được sử dụng thông dụng trong truyền tải và phân phối điện năng.

Cho dù các loại máy điện có khác nhau về cấu trúc, tính năng . . . , nhưng nguyên lý chung cho tất cả các máy điện là dựa trên nguyên lý điện từ. Do vậy trước khi đi vào phân tích máy điện ta cũng nên phân tích qua các hiện tượng điện từ liên quan.

---

## 1.2. Các định luật điện từ:

Trong phần này chúng ta phân tích các hiện tượng điện từ liên quan làm cơ sở phân tích máy điện trong các chương sau.

### 1.2.1. Lực Lorentz.

Lực điện từ tác động lên một điện tích chuyển động trong trường điện từ.

Xét một điện tích  $Q$  chuyển động trong trường từ có mật độ từ thông  $\vec{B}$  với vận tốc  $\vec{v}$  như hình vẽ (**Hình 1.1**). Dưới tác động của từ trường, điện tích  $Q$  chịu tác động một lực từ  $\vec{F}_m$  được định nghĩa:

$$\vec{F}_m = Q \cdot \vec{v} \times \vec{B} \quad (1-1)$$

Lưu ý :  $\vec{v} \times \vec{B}$  tích có hướng của hai vector là một vector.

Lực  $\vec{F}_m$  có phương vuông góc với mặt phẳng chứa  $\vec{v}$  và  $\vec{B}$  và có độ lớn:

$$F_m = |Q| \cdot v \cdot B \cdot \sin \theta \quad (1-2)$$

$\theta$  : là góc nhỏ giữa hai vector  $\vec{v}$  và  $\vec{B}$ .

Chiều của  $\vec{F}_m$  được xác định theo chiều tiến của định ốc thuận khi cho định ốc quay từ  $\vec{v}$  đến  $\vec{B}$  theo chiều góc nhỏ. (hoặc dùng quy tắc bàn tay phải như **Hình 1.2**)

Nếu trong môi trường đang xét, có điện trường  $\vec{E}$  thì ngoài lực từ  $\vec{F}_m$  điện tích  $Q$  còn chịu tác động của lực điện trường.

$$\vec{F}_e = Q\vec{E} \quad (1-3)$$

Và lực Lorentz được định nghĩa :

$$\vec{F}_{dt} = \vec{F}_e + \vec{F}_m = Q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \quad (1-4)$$

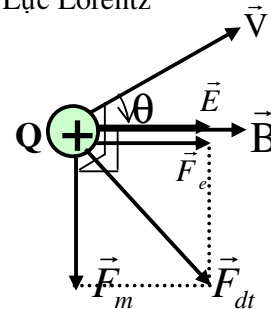
Như vậy khi một hạt mang điện tích, dịch chuyển trong trường điện từ thì sẽ có lực tác động lên điện tích đó, lực đó gọi là lực Lorentz.

### 1.2.2. Lực từ tác động lên phần tử mang dòng điện.

Xét một dây dẫn  $l$  mang dòng điện  $I$  đặt trong từ trường ngoài có mật độ từ thông  $\vec{B}$  như hình vẽ (**Hình 1.3**). Trên  $l$  xét một đoạn vi phân

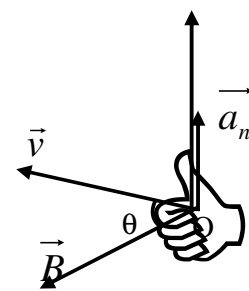
**Hình 1.1**

Lực Lorentz



**Hình 1.2**

Quy tắc bàn tay phải  
 $\vec{v} \times \vec{B}$



$dl$ , mang điện tích  $dQ$ .  $dQ$  dịch chuyển trong đoạn  $dl$  trong khoảng thời gian  $dt$  với vận tốc  $v$ ,  $dl = v \cdot dt$ .

Lực từ tác động lên phần tử dòng  $dQ$ :

$$d\vec{F} = dQ(\vec{v} \times \vec{B})$$

Với  $dQ$  được xem như một điện tích dịch chuyển trong trường điện từ.

ta có :  $dQ = I \cdot dt$

$$\Rightarrow d\vec{F} = I \cdot dt \cdot \vec{v} \times \vec{B}$$

$$\Leftrightarrow d\vec{F} = I \cdot \vec{v} dt \times \vec{B}$$

$$\Leftrightarrow d\vec{F} = I \cdot d\vec{l} \times \vec{B}$$

Trong đó :  $d\vec{l}$  là vectơ chiều dài vi phân dọc theo  $l$ , có chiều theo chiều của dòng điện.

Nếu dây dẫn thẳng, và từ trường  $\vec{B}$  là đều dọc theo dây dẫn thì lực tác động lên dây dẫn được tính :

$$\vec{F} = I \vec{l} \times \vec{B} \quad (1-4)$$

$\vec{l}$  vectơ chiều dài  $l$ , có hướng là chiều dòng điện  $I$ .

Độ lớn lực từ :

$$F = I \cdot l \cdot B \cdot \sin \theta$$

$\theta$  : góc nhỏ hình thành bởi  $\vec{l}$  với  $\vec{B}$ .

### I.2.3. Moment – Moment từ của một cuộn dây.

#### I.2.3.a. Moment.

Moment của một lực  $\vec{F}$  tại một điểm  $O$  như hình vẽ (**Hình 1.4**) được định nghĩa :

$$\vec{T} = \vec{r} \times \vec{F}$$

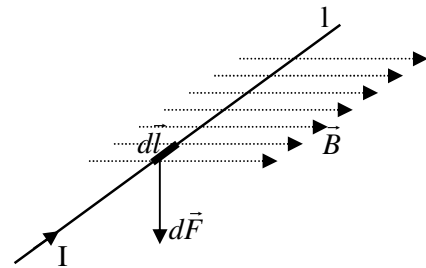
$$(1-5)$$

Điểm  $P$  đặt lực  $\vec{F}$  nằm trong mặt phẳng  $xy$ , lực  $\vec{F}$  cũng nằm trong mặt phẳng  $xy$  thì moment  $\vec{T}$  do  $\vec{F}$  gây ra tại điểm  $O$  trùng với trục  $z$ . Như vậy, trục  $\vec{T}$  là trục mà cánh tay đòn  $r$  sẽ quay quanh khi bị tác động bởi lực  $\vec{F}$ .

Gọi  $\alpha$  là góc hình thành bởi  $\vec{r}$  và  $\vec{F}$ . Ta thấy moment do lực  $\vec{F}$  tạo

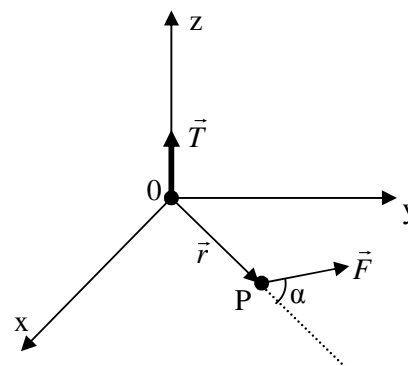
**Hình 1.3**

Lực từ tác động lên dây dẫn



**Hình 1.4**

Moment



ra để quay cánh tay đòn  $r$  quanh điểm  $O$  sẽ lớn nhất nếu  $\vec{F}$  thẳng góc với  $\vec{r}$  và bằng 0 nếu  $\vec{F}$  song song với  $\vec{r}$ .

**I.2.3.b. Moment từ của một cuộn dây.**

Xét cuộn dây phẳng hình chữ nhật, có một vòng dây nằm trong mặt phẳng  $xy$  sao cho tâm cuộn dây trùng với gốc  $O$ . (Hình 1.5). Cuộn dây đặt trong từ trường có mật độ từ thông  $\vec{B}$ .

Lực từ tác động lên các cạnh của khung dây lần lượt :

(Các cạnh song song với  $\vec{B}$  không có lực tác dụng)

$$\vec{F}_t = Il(-\vec{a}_y) \times (B\vec{a}_x) = BIl\vec{a}_z$$

$$\vec{F}_p = Il(\vec{a}_y) \times (B\vec{a}_x) = -BIl\vec{a}_z$$

Lực  $\vec{F}_t$  có điểm đặt lực là trung điểm cạnh trái, cánh tay đòn  $\vec{r}_t = \left(\frac{-d}{2}\right)\vec{a}_x$

Lực  $\vec{F}_p$  có điểm đặt lực là trung điểm cạnh phải, cánh tay đòn

$$\vec{r}_p = \left(\frac{d}{2}\right)\vec{a}_x$$

Moment tổng của các lực trên đối với gốc  $O$  là :

$$\vec{T} = \vec{T}_p + \vec{T}_t = \left(-\frac{d}{2}\vec{a}_x\right) \times (BIl\vec{a}_z) + \left(\frac{d}{2}\vec{a}_x\right) \times (-BIl\vec{a}_z)$$

$$\vec{T} = (Blld)\vec{a}_y = BIS\vec{a}_y \tag{1-6}$$

$S$  : diện tích của cuộn dây.

Công thức (1-6) vẫn đúng đối với cuộn dây có hình dạng bất kỳ.

**Tổng quát** : Một cuộn dây phẳng có  $N$  vòng, mang dòng điện  $I$ , đặt trong từ trường  $\vec{B}$  thì moment từ của nó được định nghĩa (Hình 1.6):

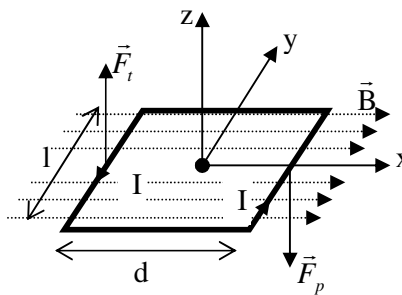
$$\vec{m} = N.I.S.\vec{a}_n \tag{1-7}$$

Là một vector thẳng góc với diện tích  $S$  của vòng dây, chiều theo quy tắc đinh ốc thuận hoặc quy tắc bàn tay phải.

Với moment từ, và từ trường sẽ có

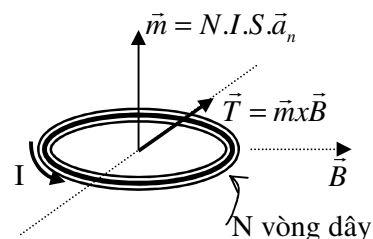
**Hình 1.5**

Moment



**Hình 1.6**

Moment từ



một moment tác động lên cuộn dây suy ra từ công thức (1-6).

$$\vec{T} = \vec{m} \times \vec{B} \quad (1-8)$$

Khung dây có khuynh hướng quay đến khi nào moment từ có cùng hướng với mật độ từ thông  $\vec{B}$ . Từ thông xuyên qua khung dây là lớn nhất, moment tác động lên khung dây bằng không.

Điều này cho thấy, khi ta đặt một khung dây mang dòng điện I trong từ trường, thì khung dây này có xu hướng chuyển động sao cho từ thông xuyên qua khung dây là cực đại. Đây là một trong các nguyên lý để hình thành quá trình chuyển động của động cơ điện.

### I.3. Độ tự cảm của một cuộn dây.

Xét cuộn dây có N vòng, mang dòng điện I có chiều như hình vẽ (Hình 1.7).  $\Phi$  là từ thông do dòng điện chạy trong một vòng dây của cuộn dây gây ra. Từ thông móc vòng của cả cuộn dây được định bởi

:

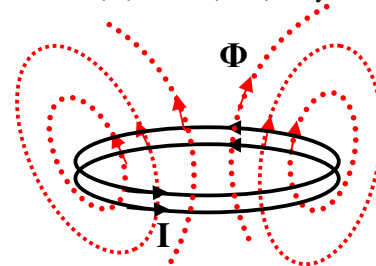
$$\Psi = N \cdot \Phi \quad (\text{Wb} - \text{vòng}) \quad (1-9)$$

Độ tự cảm của cuộn dây được định nghĩa :

$$L = \frac{\Psi}{I} = \frac{N \cdot \Phi}{I} \quad (\text{H}) \quad (1-10)$$

**Hình 1.7**

Độ tự cảm một cuộn dây



### I.4. Định luật Faraday.

Từ định nghĩa lực Lorentz, Khi một điện tích chuyển động với vận tốc  $v$  trong vùng có từ trường  $B$  thì lực từ tác động lên điện tích (xem lại I.2.1):

$$\vec{F}_m = Q \cdot \vec{v} \times \vec{B} = Q \cdot \vec{E}_m$$

Ta định nghĩa cường độ trường điện do chuyển động là :

$$\vec{E}_m = \frac{\vec{F}}{Q} = \vec{v} \times \vec{B} \quad (1-11)$$

Như vậy, khi một thanh dẫn mang nhiều điện tích tự do chuyển động trong từ trường  $\vec{B}$ , điện trường  $\vec{E}_m$  sẽ làm cho các điện tích dịch chuyển, và tạo ra một hiệu điện thế hai đầu thanh dẫn. Độ lớn điện

thể này tùy thuộc vào hướng của  $\vec{E}_m$  hay nói cách khác là tùy thuộc vào vị trí tương đối của thanh dẫn đặt trong từ trường  $\vec{B}$ .

Điện thế của đầu a đối với đầu b trên thanh dẫn là :

$$v_{ab} = \int_b^a \vec{E}_m \cdot d\vec{l} = \int_b^a (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l} \quad (1-12)$$

Biểu thức 1-11; 1-12 là hai biểu thức quan trọng trong nguyên lý làm việc của các máy phát điện. Và là bản chất của định luật Faraday.

**Định luật Faraday cho thanh dẫn chuyển động .**

Nếu thanh dẫn thẳng chuyển động với vận tốc  $\vec{v}$  vuông góc với từ trường  $\vec{B}$ , đồng thời dây dẫn cũng vuông góc với cả hai và dây dẫn có chiều dài l thì trên dây dẫn có điện áp :

$$V = B.l.v \quad (1-13)$$

**Định luật Faraday :**

Khi từ thông biến thiên  $\Phi = \Phi(t)$  theo thời gian xuyên qua một khung dây thì trên khung dây sẽ xuất hiện một điện áp cảm ứng  $v(t)$  :

$$V = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (1-14)$$

Định luật này vẫn đúng trong trường hợp từ thông  $\Phi$  xuyên qua cuộn dây do chính dòng điện i chạy trong cuộn dây đó sinh ra.

$$V = -\frac{d\psi}{dt} = -L \frac{di}{dt} \quad (1-15)$$

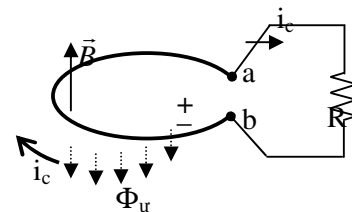
Điện áp V trong cuộn dây gọi là điện áp tự cảm ứng của cuộn dây.

Dấu ( - ) trong biểu thức 1-14; 1-15 liên quan đến cực tính của điện áp cảm ứng. Điện áp cảm ứng sinh ra bởi một từ thông cảm ứng biến thiên theo t có cực tính sao cho dòng điện mà nó sinh ra trong khung dây sẽ sinh ra một từ thông chống lại sự biến thiên của từ thông sinh ra nó.

trong trường hợp dây dẫn chuyển động với vận tốc  $\vec{v}$  trong một từ trường đều không đổi theo thời gian, cực tính điện áp cảm ứng trong dây dẫn được xác định theo quy tắc : nếu nối dây dẫn kín mạch

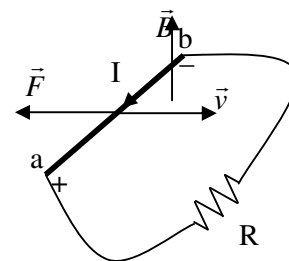
**Hình 1.8**

Điện áp cảm ứng



**Hình 1.9**

Điện áp cảm ứng





thì dòng điện cảm ứng tạo ra sẽ có chiều sao cho lực từ tác động lên dây dẫn chống lại sự chuyển động của dây. (Hình 1.9)

### I.5. Mạch từ và bài toán mạch từ.

#### Mạch từ.

Xét cuộn dây dài, lõi không khí (Hình 1.10) và  $C$  là đường sức của từ trường. Áp dụng định luật lưu số Ampere, ta có :

$$\int_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = N \cdot I$$

vì từ trường chủ yếu tập trung bên trong lõi cuộn dây, do vậy ta có :

$$H \cdot l = N \cdot I$$

$$\Rightarrow H = \frac{N \cdot I}{L}$$

$L$  là chiều dài của lõi. Trong lõi dây là không khí do đó mật độ từ thông:

$$B_0 = \mu_0 H = 4\pi 10^{-7} H$$

Từ thông xuyên qua lõi là :

$$\Phi_0 = B_0 S$$

Với  $S$  là tiết diện của lõi vuông góc với vectơ cảm ứng từ  $B$ .

Xét mạch từ có lõi sắt từ (Hình 1.11)

Gọi  $\mu_r$  là độ từ thẩm tương đối của vật liệu, mật độ từ thông trong vật liệu :

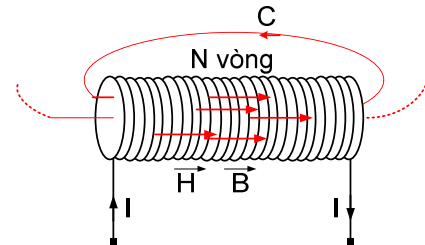
$$B = \mu_r \mu_0 H = \mu \cdot B_0$$

Vì độ từ thẩm tương đối của vật liệu sắt từ tương đối lớn so với không khí, do vậy cùng với một cường độ từ trường  $H$  thì mật độ từ thông  $B$  và từ thông  $\Phi$  qua vật liệu dẫn từ lớn hơn rất nhiều so với khi qua không khí. Theo Hình 1.11 mặt dù dây quấn không chạy dọc theo cả lõi thép, nhưng từ thông vẫn chạy theo lõi thép. Điều này không thể xảy ra trong không khí, do vậy cần quan tâm đến vấn đề mạch từ.

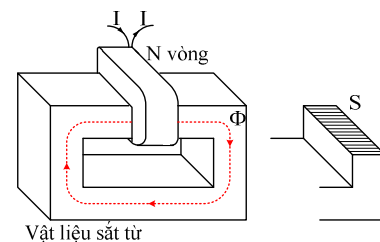
Hình 1.12a,b sau là đường cong từ hoá (quan hệ  $B - H$ ) của vật liệu sắt từ, đường cong từ hoá cho phép xác định độ từ thẩm của vật liệu.

Hình 1.12:

Hình 1.10



Hình 1.11



**Đường cong B – H.**

---

Một mẫu vật liệu sắt từ có thể thử bằng cách tác động lên nó một từ trường H tăng dần rồi đo mật độ từ thông B tương ứng. Từ đó xác định được đường cong từ hoá hay đường cong B – H như trên hình 1.12 của một số loại vật liệu sắt từ.

Cách nào đo được B ?  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....

Từ đường cong từ hoá, ứng với mỗi giá trị của H, ta suy ra giá trị B tương ứng, từ đó tính độ từ thẩm tương đối của vật liệu.

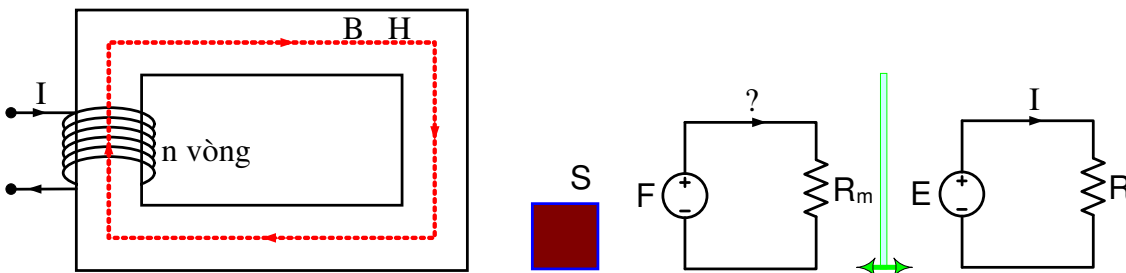
$$\mu_r = \frac{B}{\mu_0 H}$$

Chú ý : Hầu hết các vật liệu dẫn từ cho phép mật độ từ thông qua  $B \leq 1,8 \text{ T}$ . thường  $B = 1,2 \text{ T} \div 1,4 \text{ T}$ .

Bằng phương pháp này, xây dựng đặc tuyến biểu diễn mối quan hệ giữa  $\mu_r$  với H cho vật liệu sắt từ là thép Silic như hình 9.6. Tính chất phi tuyến của mối quan hệ này đòi hỏi phải phân tích mạch từ bằng phương pháp đồ thị.

**Phân tích mạch từ là như thế nào ?**

Hình 1.13



**Định luật mạch từ.**

Xét lõi thép từ có chiều dài trung bình L, tiết diện thẳng S, cuộn dây kích từ có n vòng, mang dòng điện kích từ I. Cuộn dây kích từ mang dòng điện I tạo ra trong mạch từ cường độ từ trường H. Áp dụng luật số Ampere ta có :

$$H.L = N.I = F$$

Gọi  $F=N.I=H.L$  là sức từ động. Trong lõi thép có mật độ từ thông B và từ thông  $\Phi$  chạy xuyên trong mạch từ.

$$\phi = B.S = \mu.H.S = \mu \cdot \frac{N.I}{L} S = \frac{N.I}{L/\mu.S}$$

Gọi  $R_m = L/\mu.S$  là từ trở của mạch từ. Và như vậy ta có  $F=N.I=H.L=R_m \cdot \Phi$

Như vậy ta được một sơ đồ mạch từ tương đương như trên hình 1.13

Có sự tương tự giữa mạch điện và mạch từ ( xem trên hình 1.13).

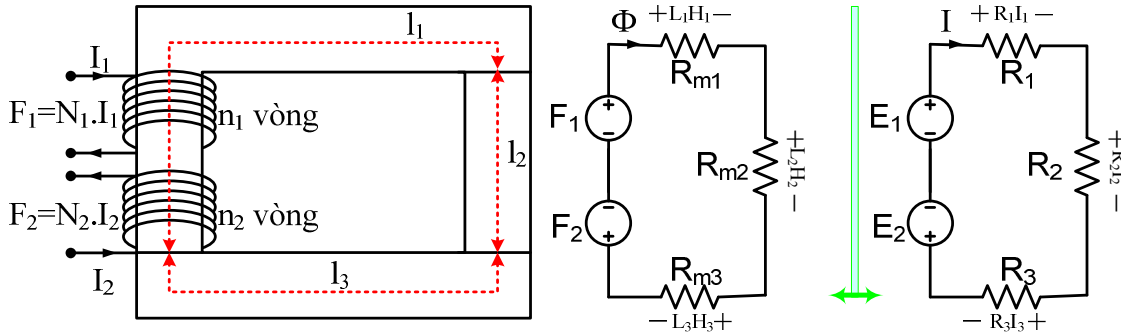
Bảng so sánh sự tương tự mạch điện và mạch từ :

Mạch điện		Mạch từ	
Đại lượng	Chú thích	Đại lượng	Chú thích
$\vec{J} = \sigma \vec{E}$	$\sigma = -\rho \cdot \mu$ [S/m]:điện dẫn suất vật liệu, tỷ lệ thuận với độ linh động âm điện tử tự do và mật độ âm điện tử trong vật liệu	$\vec{B} = \mu \vec{H}$	$\mu = \mu_r \cdot \mu_0$ [H/m] : Độ từ thẩm của vật liệu, hay còn có thể gọi là từ dẫn suất của vật liệu.
$R = \rho \frac{l}{S} = \frac{l}{\sigma \cdot S}$	R: Điện trở.[ $\Omega$ ] $\rho$ : Điện trở suất. $\sigma$ : Điện dẫn suất.	$R_m = \frac{l}{\mu \cdot S}$	$R_m$ : Từ trở của mạch từ.
E	Sức điện động.	F	Sức từ động.
I	Cường độ dòng điện	$\Phi$	Từ thông
$E=R.I$	Định luật Ohm mạch điện.	$F=R_m \cdot \Phi$	Định luật Ohm mạch từ.

Khác nhau cơ bản giữa mạch điện và mạch từ là : Điện dẫn suất  $\sigma$  không phụ thuộc vào dòng điện I, độ thẩm từ  $\mu$  ( $\mu_r$ ) phụ thuộc vào B. Do vậy phải biết  $\mu_r$  mới tính được  $R_m$ , nhưng  $\mu_r$  chỉ biết được sau khi đã tính được B hoặc H. Vì vậy, các phương pháp tính toán mạch từ sẽ khác với cách tính trong mạch điện. **Khác nhau như thế nào ?**

**Mạch từ nối tiếp.(Hình 1.14)**

Hình 1.14



Xét mạch từ hình 1.14, mạch từ gồm 3 phần tử nối tiếp và gọi  $l_i$ ;  $S_i$ ;  $\mu_i$  lần lượt là chiều dài, tiết diện, và độ từ thẩm của từng phần tử. Áp dụng định luật Ampere ta có :

$$H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_3 l_3 = N_1 I_1 - N_2 I_2 = F_1 - F_2$$

Giả sử không có lượng từ thông tản ra ngoài không khí, như vậy từ thông xuyên qua bất cứ tiết diện nào của lõi từ cũng bằng nhau (tương tự như dòng điện chạy trong các phần tử nối tiếp trong mạch điện). Như vậy ta có :

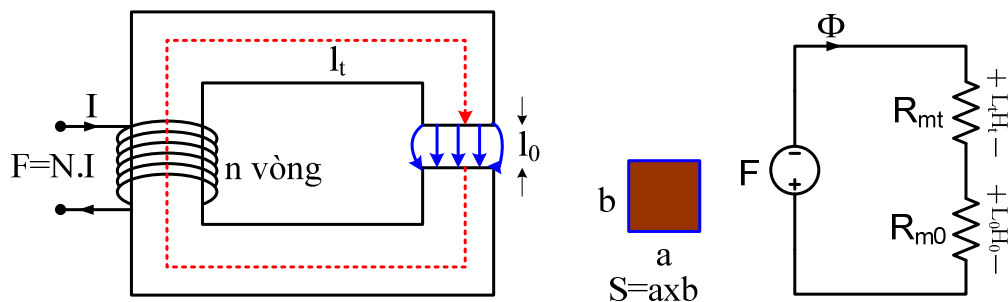
$$(R_{m1} + R_{m2} + R_{m3}) \Phi = F_1 - F_2$$

trong đó :  $R_{mi} = \frac{l_i}{\mu_i S_i}$  là từ trở của từng phần i. Từ đó ta có

mạch tương đương như trên hình 1.14. Các giá trị  $F_i = H_i L_i = R_{mi} \Phi$  được gọi là từ áp trên các phần tử từ thứ i. Công thức  $(R_{m1} + R_{m2} + R_{m3}) \Phi = F_1 - F_2$  tương tự như định luật Kirchhoff 2 trong mạch điện.

**Mạch từ có khe hở không khí.(Hình 1.15)**

Hình 1.15



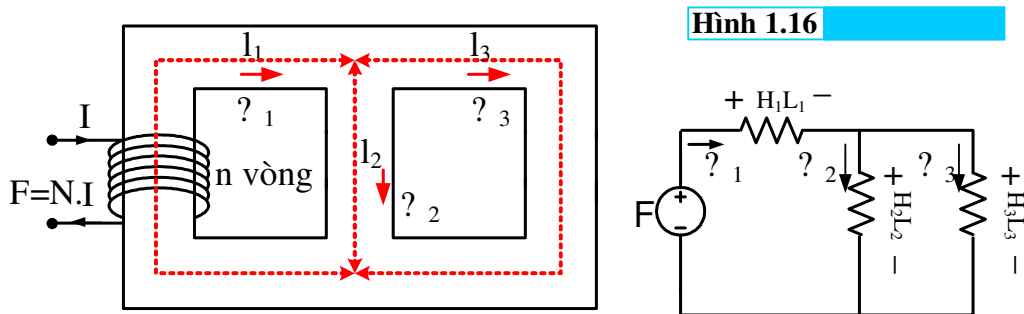
Khe hở không khí được thiết kế càng nhỏ càng tốt, vì từ áp qua khe hở không khí lớn hơn nhiều so với từ áp trong lõi thép.

S là tiết diện lõi thép, khi từ thông qua khe hở không khí thì có xu hướng phình to ra. Nên tiết diện tại khe hở không khí  $S_0$  sẽ lớn hơn so với S.

Nếu điều kiện  $l_0 < 1/10 \min\{a; b\}$  thì tiết diện  $S_0$  được tính:

$$S_0 = (a + l_0) \times (b + l_0)$$

**Mạch từ song song. (Hình 1.16)**



Hình 1.16

Xét mạch từ song song như hình vẽ, và sơ đồ tương đương. Xem mạch từ như mạch điện ta có :

Định luật Kirchoff từ áp :  $F = H_1 L_1 + H_2 L_2 = H_1 L_1 + H_3 L_3$

Định luật Kirchoff dòng từ thông :  $\Phi_1 = \Phi_2 + \Phi_3$

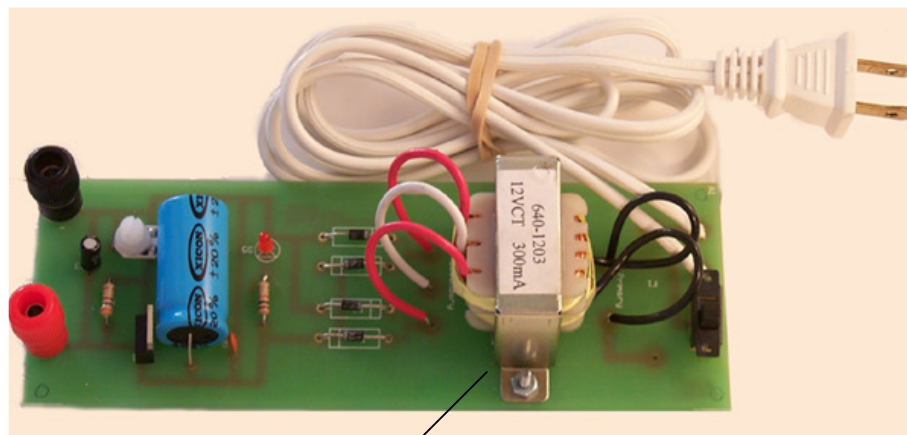
Nếu mạch từ được cấu tạo từ nhiều vật liệu khác nhau, ta phải dùng đến đường cong B – H tương ứng với từng loại vật liệu. Nếu một nhánh có chứa khe hở không khí, từ áp qua nhánh đó vẫn tính như một từ trở nối tiếp vào nhánh

## Chương 2 MÁY BIẾN ÁP (Transformer)

### 2.1. GIỚI THIỆU TỔNG QUAN.



Hình : Trạm biến áp



Hình : Máy biến áp một pha

Máy biến áp ra đời ở nước ta từ rất sớm, máy biến áp chủ yếu được sử dụng trong điện lực để nâng cao điện áp của mạng điện khi truyền tải điện năng đi xa. Khi đến các hộ tiêu thụ, máy biến áp làm giảm điện áp xuống mức phù hợp với phụ tải cần sử dụng.

Khuynh hướng phát triển hiện nay của máy biến áp là dùng các loại vật liệu có từ tính tốt, tổn hao sắt từ thấp để nâng cao công suất truyền tải

của máy biến áp và giảm nhỏ kích thước. Đồng thời dùng vật liệu dẫn điện là dây nhôm thay cho dây đồng để giảm khối lượng trong máy biến áp.

## 2.2. ĐỊNH NGHĨA.

*Máy biến áp là một thiết bị điện từ tĩnh làm việc trên nguyên lý cảm ứng điện từ để chuyển đổi điện áp của mạng điện xoay chiều từ cấp điện áp này sang cấp điện áp khác nhưng vẫn giữ nguyên tần số.*

Máy biến áp là thiết bị làm việc dưới dạng mạch hai cửa, phía nối với nguồn gọi là sơ cấp, các đại lượng liên quan đến sơ cấp được ký hiệu kèm số 1, phía nối với tải được gọi là thứ cấp, các đại lượng liên quan đến thứ cấp được ký hiệu kèm số 2. Ví dụ điện áp sơ cấp ký hiệu là  $U_1$ , Điện áp thứ cấp ký hiệu là  $U_2$ .

$U_1 > U_2$ : Máy biến áp giảm áp.

$U_1 < U_2$ : Máy biến áp tăng áp.

## 2.3. CẤU TẠO.

Máy biến áp bao gồm ba phần chính:

Lõi thép của máy biến áp (Transformer Core)

Cuộn dây quấn sơ cấp (Primary Winding)

Cuộn dây quấn thứ cấp (Secondary Winding)

Ngoài ra còn có các phần khác như vỏ máy, cách điện, sứ đỡ, các thiết bị làm mát, thùng giãn dầu, . . .

- **Lõi thép:** được tạo thành bởi các lá thép mỏng ghép lại, về hình dáng có hai loại: loại trụ (core type) và loại bọc (shell type)
  - Loại trụ: được tạo bởi các lá thép hình chữ U và chữ I. Một lượng lớn từ trường sinh ra bởi cuộn dây sơ cấp không cắt cuộn dây thứ cấp, hay máy biến áp có một từ thông rò lớn. Để cho từ thông rò ít nhất, các cuộn dây được chia ra với một nửa của mỗi cuộn đặt trên một trụ của lõi thép.

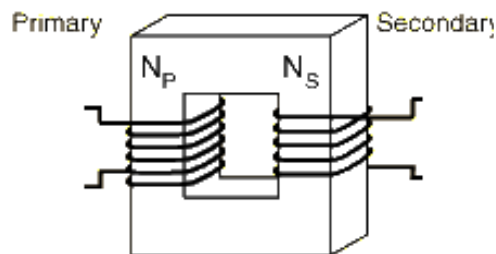
Loại máy biến áp này ít được sử dụng rộng rãi, thường được sử dụng ở điện áp cao hoặc ở nơi mà cách điện giữa các cuộn dây trở nên là một vấn đề cần quan tâm.



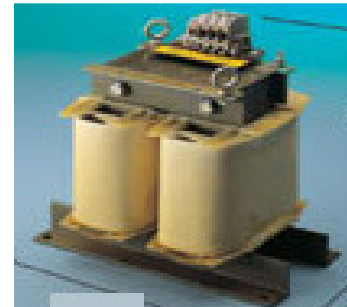
- Loại bọc: được tạo bởi các lá thép hình chữ E và chữ I. Lõi thép loại này bao bọc các cuộn dây quấn, hình thành một mạch từ có hiệu suất rất cao, được sử dụng rộng rãi.

Phần lõi thép có quấn dây gọi là trụ từ, phần lõi thép nối các trụ từ thành mạch kín gọi là gông từ.

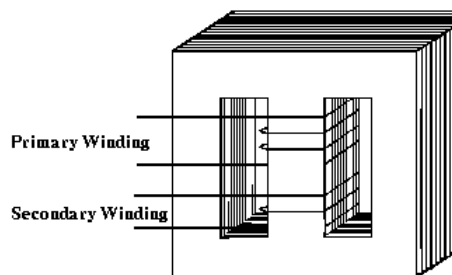
- **Dây quấn sơ cấp** (Primary Winding)
- **Dây quấn thứ cấp** (Second Winding)



Hình : Hình dạng máy biến áp một pha loại trụ



Hình : Máy biến áp một pha loại trụ

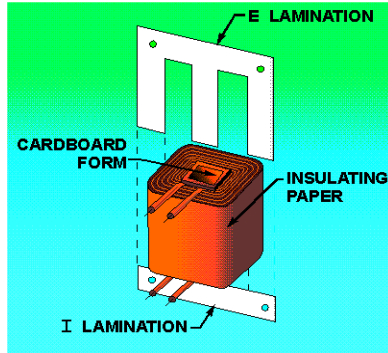


Hình : Hình dạng máy biến áp một pha loại bọc



Hình : Máy biến áp một pha loại bọc

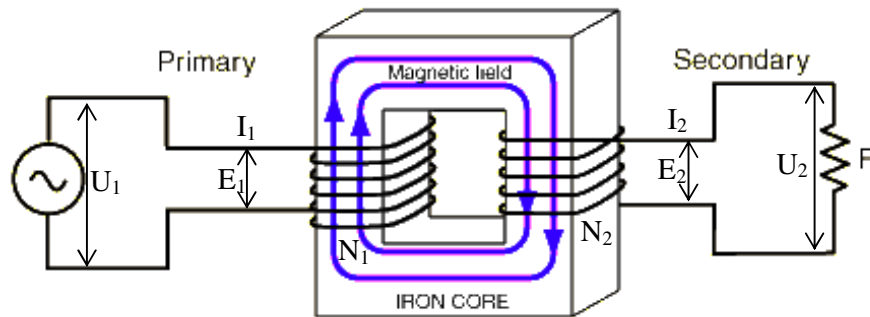
Dây quấn máy biến áp được chế tạo bằng dây đồng hoặc nhôm, có tiết diện hình tròn hoặc hình chữ nhật. Đối với dây quấn có dòng điện lớn, sử dụng các sợi dây dẫn được mắc song song để giảm tổn thất do dòng điện xoáy trong dây dẫn. Bên ngoài dây quấn được bọc cách điện.



Hình : Lắp ráp máy biến áp

Dây quấn được tạo thành các bánh dây (gồm nhiều lớp) đặt vào trong trụ của lõi thép. Giữa các lớp dây quấn, giữa các dây quấn và giữa mỗi dây quấn và lõi thép phải cách điện tốt với nhau. Phần dây quấn nối với nguồn điện được gọi là dây quấn sơ cấp, phần dây quấn nối với tải được gọi là dây quấn thứ cấp.

## 2.4. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC:



Hình : Nguyên lý làm việc cơ bản của máy biến áp

Nguyên lý làm việc của máy biến áp dựa vào hiện tượng cảm ứng điện từ.

Đặt điện áp xoay chiều  $u_1$  vào dây quấn sơ cấp trong đó sẽ có dòng  $i_1$ , dòng  $i_1$  sẽ tạo ra từ thông xoay chiều  $\Phi$ , từ thông chạy trong mạch từ móc vòng qua 2 cuộn sơ cấp và thứ cấp cảm ứng các sức điện động  $e_1, e_2$ .

Nếu máy biến áp không tải (thứ cấp hở mạch) thì điện áp thứ cấp bằng sức điện động  $e_2$

$$U_{20} = e_2$$

Nếu thứ cấp được nối với tải  $Z_L$ , trong dây quấn thứ cấp sẽ có dòng  $i_2$

Giả sử điện áp đặt vào là một hàm sin thì từ thông do nó sinh ra cũng là một hàm sin:

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

Theo định luật cảm ứng điện từ ta có sức điện động trong hai dây quấn là:

$$e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt}$$

$$e_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\text{thay vào: } e_1 = -N_1 \frac{d(\Phi_m \sin \omega t)}{dt} = -\omega N_1 \Phi_m \cos \omega t = \omega N_1 \Phi_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

Sức điện động sẽ chậm pha hơn so với từ thông  $\Phi$  1 góc  $\frac{\pi}{2}$

$$E_{1m} = \omega N_1 \Phi_m = 2\pi N_1 \Phi_m$$

$$\rightarrow e_1 = E_{1m} \sin(\omega t - \pi/2)$$

$$\bullet E_1 = \frac{2\pi \cdot f \cdot N_1 \Phi_m}{\sqrt{2}} = 4,44 f N_1 \Phi_m$$

$$\bullet E_2 = 4,44 f N_2 \Phi_m$$

- *Tỉ số biến áp:*

$$K = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Bỏ qua điện áp rơi trên dây quấn sơ cấp và thứ cấp thì  $E_1 \approx U_1$ ;  $E_2 \approx U_2$  và do hiệu suất máy biến áp cao nên có thể xem công suất máy biến áp nhận vào phía sơ cấp bằng công suất đưa ra thứ cấp  $U_1 I_1 = U_2 I_2$

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

## 2.5. CÁC ĐẠI LƯỢNG ĐỊNH MỨC:

- Điện áp dây định mức sơ cấp:  $U_{1dm}$  (V, KV)
- Điện áp dây thứ cấp định mức:  $U_{2dm}$  (V, KV) là điện áp dây bên thứ cấp của máy biến áp khi không tải và điện áp đặt vào sơ cấp là định mức.
- Công suất định mức (dung lượng định mức) là công suất biểu kiến phía thứ cấp của máy biến áp :  $S_{dm}$  (VA, KVA), đặc trưng cho khả năng chuyển tải năng lượng của máy.

- Máy biến áp 1 pha:  $S_{dm} = S_2 = U_{2dm} \cdot I_{2dm}$  .
- Máy biến áp 3 pha:  $S_{dm} = S_2 = \sqrt{3} U_{2dm} I_{2dm}$  .

Nếu bỏ qua tổn hao trong máy biến áp, xem máy biến áp là lý tưởng ( Hiệu suất  $\eta=1$ ) thì  $S_{dm} = S_2=S_1$ .

- Dòng điện dây sơ cấp định mức:  $I_{1dm}$  (A) tương ứng với công suất và điện áp dây định mức bên sơ cấp.

- 1 pha  $I_{1dm} = \frac{S_{dm}}{U_{1dm}}$

- 3 pha  $I_{1dm} = \frac{S_{dm}}{\sqrt{3}U_{1dm}}$  (dòng điện dây và điện áp dây)

- Dòng điện dây thứ cấp định mức:  $I_{2dm}$  (A) tương ứng với công suất và điện áp thứ cấp định mức.

$$I_{2dm} = \frac{S_{dm}}{U_{2dm}}$$

$$I_{2dm} = \frac{S_{dm}}{\sqrt{3}U_{2dm}}$$

- Tần số định mức:  $f_{dm}$ (Hz) tần số nguồn điện đặt vào sơ cấp.
- Điện áp ngắn mạch phần trăm:  $U_n\%$
- Tổ nối dây của máy biến áp: cho biết kiểu nối dây sơ cấp và thứ cấp, đồng thời cho biết góc lệch pha giữa sức điện động dây sơ cấp và sức điện động dây thứ cấp

Vd: Y/ $\Delta$ -11(330°)

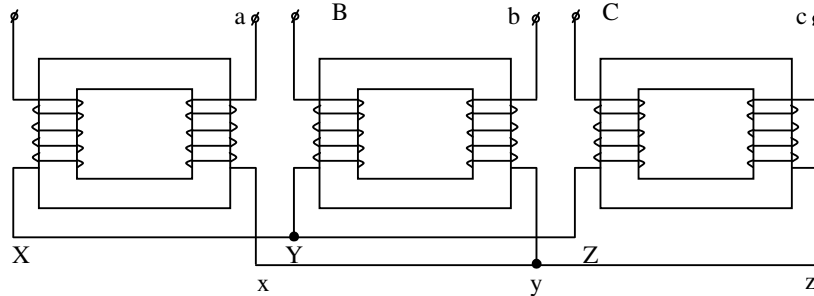
- $\cos \varphi_2$ : hệ số công suất của tải
- Hiệu suất  $\eta\%$ -----

## 2.6. MÁY BIẾN ÁP 3 PHA:

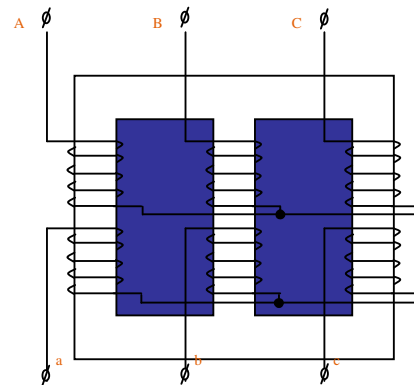
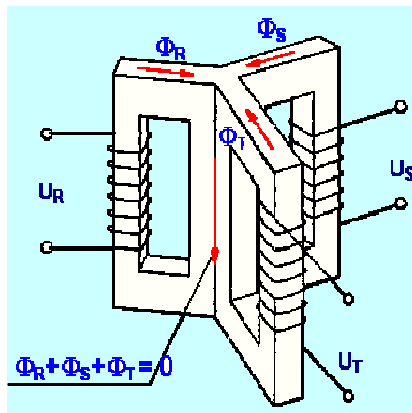
Máy biến áp ba pha đóng vai trò rất quan trọng trong việc truyền tải và phân phối điện năng. Kết cấu lõi thép máy biến áp ba pha có 2 loại, dựa vào sự liên quan hay không liên quan giữa hai mạch từ mà phân ra thành mạch từ riêng và mạch từ chung.

### 2.6.1 Máy biến áp 3 pha mạch từ riêng:

Từ thông trong mạch từ của ba pha độc lập nhau như các máy biến áp một pha. Các máy biến áp một pha có thể được nối lại với nhau để hình thành máy biến áp ba pha.



**2.6.2 Máy biến áp 3 pha mạch từ chung**



Nếu ghép từ 3 máy biến áp một pha lại với nhau, ta nhận thấy rằng : Nếu điện áp trên ba pha đối xứng, nghĩa là  $U_R + U_S + U_T = 0$  thì từ thông trong mạch từ của ba máy biến áp một pha ghép lại cũng tương tự:  $\Phi_R + \Phi_S + \Phi_T = 0$ . Như vậy trụ từ ghép chung của ba mạch từ không còn tác dụng.

Loại máy biến áp mạch từ chung có kết cấu gọn, sử dụng khối lượng mạch từ ít hơn so với máy biến áp mạch từ riêng cùng công suất, nhưng việc lắp đặt, sửa chữa phải tiến hành trên toàn bộ máy.

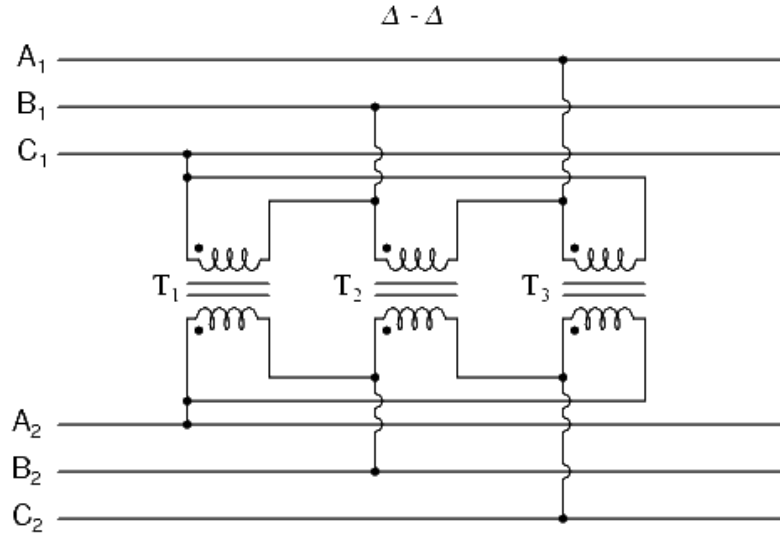
**2.7. CÁC KIỂU KẾT NỐI BA PHA**

Dây quấn máy biến áp có thể thực hiện đấu nối theo dạng hình sao (ký hiệu “Y”) hoặc có thể theo hình tam giác (ký hiệu “Δ” hay “D”).

Đấu Y là ba đầu hoặc cuối nối lại với nhau, đấu  $\Delta$  là đầu đầu cuộn này đấu vào đầu cuối cuộn dây kia.

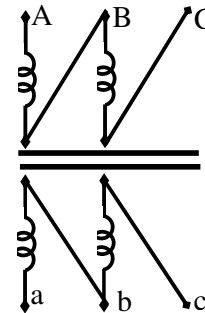
Có bốn kiểu đấu dây:

- Sơ cấp đấu tam giác, thứ cấp đấu tam giác ( $\Delta/\Delta$ ), sử dụng cho điện áp trung bình như trong công nghiệp.



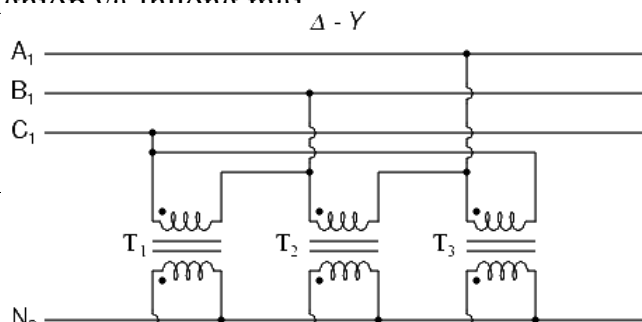
Hình : Nối  $\Delta/\Delta$

Một sự thuận lợi của kiểu đấu này là nếu một máy biến áp bị hư thì hai máy biến áp còn lại có thể được vận hành theo kiểu đấu tam giác hở. Kiểu đấu tam giác hở này vẫn bảo đảm đúng mối quan hệ về pha. Chú ý là công suất của máy biến áp lúc này giảm xuống và bằng khoảng 58% công suất khi còn đủ ba máy biến áp.



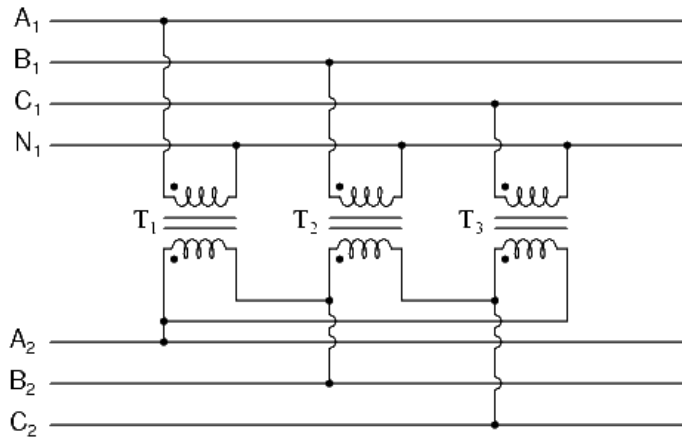
Ví dụ: Công suất mỗi máy biến áp một pha là 25kVA, tổng công suất của ba máy là 75kVA. Nếu một máy được tháo ra và vận hành theo kiểu đấu tam giác hở thì công suất còn lại là  $75kVA \times 58\% = 43.5kV$

- Sơ cấp đấu tam giác, thứ cấp đấu sao ( $\Delta/Y$ ), sử dụng phổ biến trong công nghiệp và thường mai



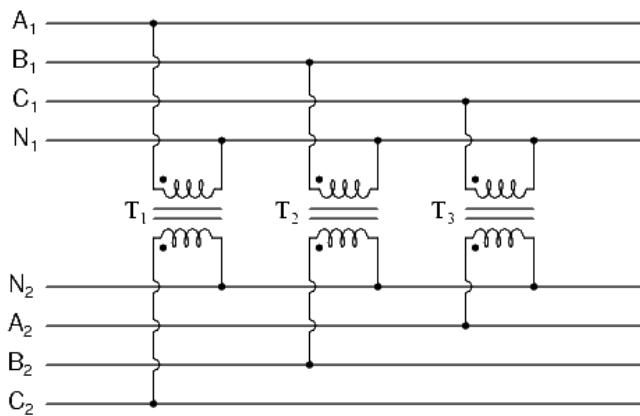
Hình :Nối  $\Delta Y$

- Sơ cấp đấu sao, thứ cấp đấu tam giác (Y/ $\Delta$ ), sử dụng cho giảm áp.  
Y -  $\Delta$



Hình :Nối  $\Delta Y$

- Sơ cấp đấu sao, thứ cấp đấu sao (Y/Y), rất ít được sử dụng vì vấn đề điều hoà  
Y - Y



Trong các máy biến áp truyền tải điện năng, phía cao áp thường đấu Y và phía hạ áp thường đấu  $\Delta$  vì:

- Khi đấu Y: điện áp pha nhỏ hơn điện áp dây  $\sqrt{3}$  lần, ( $U_p = \frac{U_d}{\sqrt{3}}$ ), do đó các vấn đề cách điện trong máy giảm, chi phí giảm. Các cuộn dây điện áp cao của các máy biến áp hoạt động trên 100 000 V thường được đấu Y.
- Khi đấu  $\Delta$  dòng  $I_p < I_d \sqrt{3}$  lần ( $U_p = \frac{U_d}{\sqrt{3}}$ ), do đó đường kính dây dẫn sẽ giảm nhỏ, thuận tiện cho việc chế tạo. Ở các máy biến áp phân phối thường phía hạ áp đấu  $Y_0$  để cung cấp cho phụ tải hỗn hợp: vừa cần điện áp dây, vừa cần điện áp pha.

### 2.8. TỔ NỐI DÂY CỦA MÁY BIẾN ÁP BA PHA

Tổ nối dây của máy biến áp biểu thị góc lệch pha giữa sức điện động dây sơ cấp và sức điện động dây thứ cấp, phụ thuộc vào các yếu tố: Chiều quấn dây, cách ký hiệu các đầu dây và kiểu đấu dây ở sơ cấp và thứ cấp.

• **Chiều quấn dây**

Với máy biến áp một pha, việc chọn đầu đầu hay đầu cuối không quan trọng, tuy nhiên với máy biến áp ba pha, viết đánh dấu đầu đầu và đầu cuối phải thực hiện chính xác để sao cho chiều quấn dây trên ba pha phải cùng chiều. Nếu có một pha không cùng chiều thì điện áp dây lấy ra trên ba pha mất tính chất đối xứng.

• **Ký hiệu các đầu dây**

Cuộn dây sơ cấp:

Đầu đầu :A, B, C

Đầu cuối : X, Y, Z

Trung tính : O hoặc N

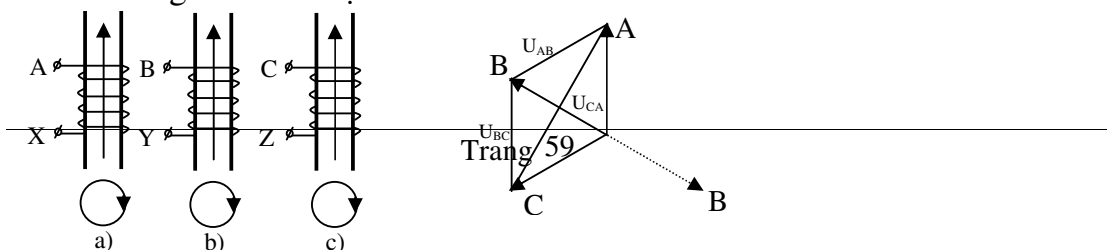
Cuộn dây thứ cấp :

Đầu đầu : a, b, c

Đầu cuối : x, y, z

Trung tính : o hoặc n

*Chiều quấn dây và cực tính của các cuộn dây*



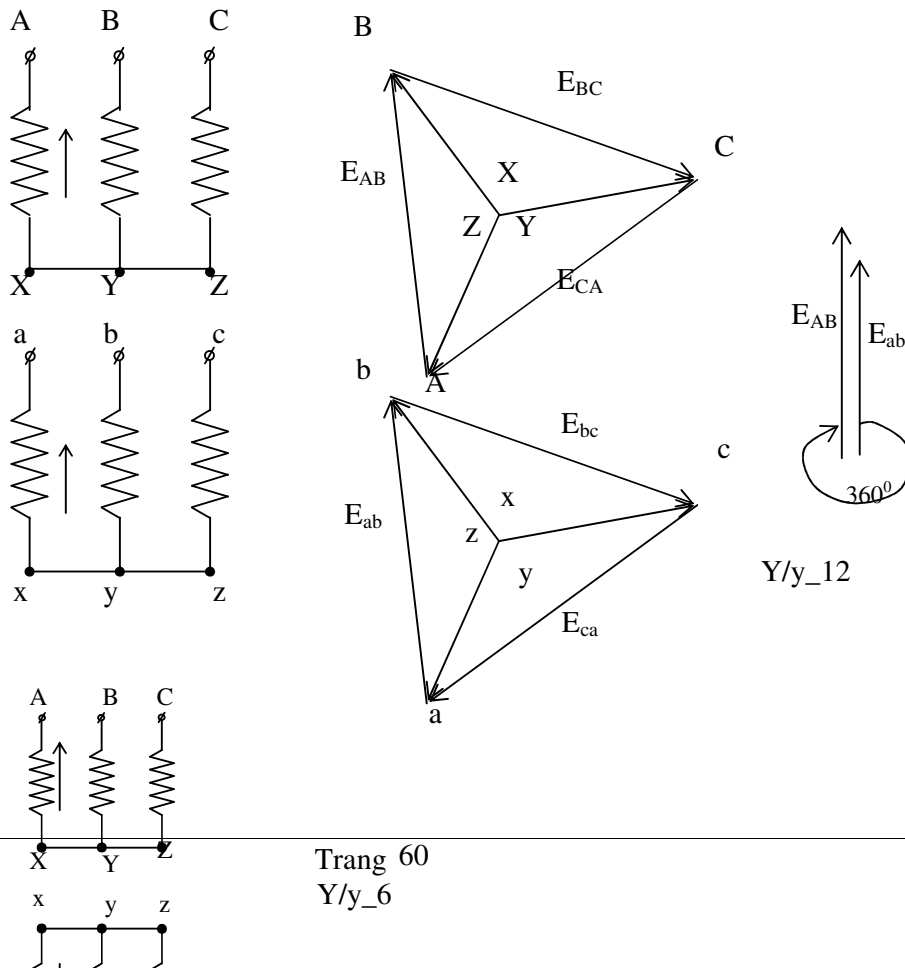


❖ **Xác định tổ nối dây:**

- ✓ Kiểu đấu dây → vẽ đồ thị vectơ sức điện động dây quấn sơ cấp và sức điện động dây quấn thứ cấp.
- ✓ Xác định vectơ điện áp dây sơ cấp và thứ cấp.
- ✓ sức điện động dây sơ cấp được biểu thị bằng kim dài của đồng hồ và đặt ở vị trí số 12.
- ✓ Căn cứ vào góc lệch pha giữa sức điện động dây sơ cấp và sức điện động dây thứ cấp để biểu thị sức điện động dây thứ cấp bằng kim ngắn của đồng hồ ở vị trí tương ứng với góc độ đó theo chiều thứ tự pha.

Việc sản xuất nhiều máy biến áp có tổ đấu dây khác nhau rất bất tiện khi đưa vào sử dụng, do vậy trên thực tế thường chỉ sản xuất máy biến áp loại  $Y/Y_0 - 12$ ;  $Y/Y_n - 0$ ;  $Y/\Delta - 11$ ;  $Y_0/\Delta - 11$ .

Ví dụ 1: xác định tổ đấu dây của máy biến áp sau:



Ví dụ 2:

### 2.9. TỈ SỐ BIẾN ÁP:

Tỉ số máy biến áp 3 pha là tỉ số giữa điện áp dây sơ cấp và điện áp dây thứ cấp.

$$K = \frac{U_{d1}}{U_{d2}}$$

Do đó tỉ số biến áp phụ thuộc vào tỉ số vòng dây giữa sơ cấp, thứ cấp, tổ đấu dây.

Ví dụ: xét tỉ số biến áp trong các trường hợp sau:

✓ Tổ nối dây: Y/Δ

$$K = \frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{\sqrt{3}U_{p1}}{U_{p2}} = \sqrt{3} \cdot \frac{N_1}{N_2}$$

✓ Tổ nối dây: Y/Y<sub>0</sub>

$$K = \frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{\sqrt{3}U_{p1}}{\sqrt{3}U_{p2}} = \frac{N_1}{N_2}$$

Như vậy: đối với máy biến áp 1 pha tỉ số biến áp chỉ phụ thuộc vào tỉ số vòng dây ( $\frac{N_1}{N_2}$ ) còn ở máy biến áp 3 pha còn phụ thuộc vào tổ nối dây.

### 2.10. QUAN HỆ ĐIỆN TỬ TRONG MÁY BIẾN ÁP.

### 2.10.1 Các Phương Trình Cơ Bản Của Máy Biến Áp.

#### b) Phương trình cân bằng sức điện động.

Ta đã biết, sức điện động sinh ra trong dây quấn sơ cấp và thứ cấp là :

$$e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d\psi_1}{dt}$$

$$e_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d\psi_2}{dt}$$

$\Psi_1, \Psi_2$  : từ thông móc vòng qua cuộn dây sơ cấp và thứ cấp tương ứng từ thông chính  $\Phi$ .

Ngoài từ thông chính chạy trong mạch từ, còn có một lượng từ thông sinh ra tản ra môi trường bên ngoài, khép mạch trong môi trường. Từ thông tản do cuộn dây nào sinh ra sẽ chỉ móc vòng qua cuộn dây đó và sinh ra trên chính cuộn dây đó một sức điện động cảm ứng gọi là sức điện động tản:

$$e_{\sigma 1} = -N_1 \frac{d\Phi_{\sigma 1}}{dt} = -\frac{d\psi_{\sigma 1}}{dt}$$

$$e_{\sigma 2} = -N_2 \frac{d\Phi_{\sigma 2}}{dt} = -\frac{d\psi_{\sigma 2}}{dt}$$

Từ thông tản chủ yếu đi trong môi trường không từ tính (dầu, giấy, đồng, không khí . . .) do đó từ thông tản  $\Psi_{\sigma 1}, \Psi_{\sigma 2}$  tỷ lệ với dòng điện tương ứng sinh ra chúng qua hệ số điện cảm tản  $L_{\sigma 1}, L_{\sigma 2}$  :

$$\psi_{\sigma 1} = L_{\sigma 1} i_1$$

$$\psi_{\sigma 2} = L_{\sigma 2} i_2$$

$$e_{\sigma 1} = -L_{\sigma 1} \frac{di_1}{dt}$$

$$e_{\sigma 2} = -L_{\sigma 2} \frac{di_2}{dt}$$

Theo định luật Kirchoff 2, ta có phương trình cân bằng sức điện động của cuộn dây quấn sơ cấp :

$$u_1 + e_1 + e_{\sigma 1} = i_1 r_1$$

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

Như vậy, tương tự ta có phương trình cân bằng sức từ động trong cuộn dây thứ cấp :

$$e_2 + e_{\sigma_2} = u_2 + i_2 r_2$$

Trong đó  $r_2$  là điện trở của dây quấn thứ cấp.

Nếu các điện áp, sức điện động, dòng điện là các đại lượng xoay chiều biến thiên theo quy luật hình sin theo thời gian, thì các phương trình cân bằng sức điện động có thể viết dưới dạng số phức như sau:

$$\begin{aligned}\dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 - \dot{E}_{\sigma_1} + \dot{I}_1 r_1 \\ \dot{U}_2 &= \dot{E}_2 + \dot{E}_{\sigma_2} - \dot{I}_2 r_2\end{aligned}$$

Từ biểu thức :

$$\begin{aligned}e_{\sigma_1} &= -L_{\sigma_1} \frac{di_1}{dt} \\ e_{\sigma_2} &= -L_{\sigma_2} \frac{di_2}{dt}\end{aligned}$$

Thay a2ng điện :  $i_1 = I_{1m} \sin \omega t$  và  $i_2 = I_{2m} \sin \omega t$  ta có:

$$\begin{aligned}e_{\sigma_1} &= -I_{1m} \omega L_{\sigma_1} \cos \omega t = E_{\sigma_{1m}} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) = \sqrt{2} I_{1m} x_1 \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \\ e_{\sigma_2} &= -I_{2m} \omega L_{\sigma_2} \cos \omega t = E_{\sigma_{2m}} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) = \sqrt{2} I_{2m} x_2 \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})\end{aligned}$$

Nhận thấy rằng sức điện động tản sinh ra chậm pha hơn so với dòng điện sinh ra nó một góc  $90^\circ$ , do vậy trị hiệu dụng phức được viết :

$$\begin{aligned}\dot{E}_{\sigma_1} &= -j \dot{I}_1 x_1 \\ \dot{E}_{\sigma_2} &= -j \dot{I}_2 x_2\end{aligned}$$

$x_1 = \omega L_{\sigma_1}$  ;  $x_2 = \omega L_{\sigma_2}$  là điện kháng tản của dây quấn sơ cấp và dây quấn thứ cấp. Thay vào phương trình cân bằng ta được :

$$\begin{aligned}\dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 + j \dot{I}_1 x_1 + \dot{I}_1 r_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 \dot{Z}_1 \\ \dot{U}_2 &= \dot{E}_2 - j \dot{I}_2 x_2 - \dot{I}_2 r_2 = \dot{E}_2 - \dot{I}_2 \dot{Z}_2\end{aligned}$$

Trong đó  $Z_1$ ;  $Z_2$  được gọi là tổng trở của dây quấn sơ cấp và thứ cấp.  $I_1 Z_1$ ;  $I_2 Z_2$  được gọi là điện áp rơi trên các cuộn dây.

### b) Phương trình cân bằng sức từ động.

\* Khi máy biến áp không tải không tải:  $i_2 = 0$  ( hở mạch thứ cấp)

Dòng điện trong dây quấn sơ cấp là  $i_0$ , từ thông chính trong máy lúc này do sức từ động  $i_0 N_1$  sinh ra.

\* Khi máy biến áp làm việc có tải:  $i_2 \neq 0$ . Từ thông chính trong máy do sức từ động trên hai cuộn dây sinh ra ( $i_1 N_1 + i_2 N_2$ ).

Nếu bỏ qua điện áp rơi trên máy biến áp, ta có:

$$U_1 \approx E_1 = 4,44 f.N_1 \Phi$$

Điện áp  $U_1$  được nối với lưới điện, do đó có thể xem như không thay đổi. Do đó sức điện động  $E$  và từ thông  $\Phi$  cũng xem như không đổi. Như vậy sức từ động sinh ra từ thông  $\Phi$  của máy biến áp lúc có tải và không tải phải bằng nhau. (ở chế độ có tải và không tải  $\Phi$  chỉ khác nhau vài phần trăm).

$$I_0 N_1 = i_1 N_1 + i_2 N_2$$

Viết dưới dạng số phức :

$$\dot{I}_1 N_1 + \dot{I}_2 N_2 = \dot{I}_0 N_1$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 - \dot{I}_2 \frac{N_2}{N_1}$$

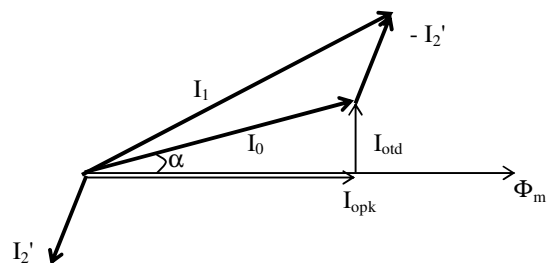
$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 - \dot{I}_2'$$

Trong đó :  $\dot{I}_2' = \dot{I}_2 \frac{N_2}{N_1} = \frac{\dot{I}_2}{K}$

Từ phương trình cân bằng trên ta thấy, lúc máy biến áp có tải, dòng điện sơ cấp gồm hai thành phần. Thành phần dòng  $I_0$  tạo nên từ thông chính trong lõi thép. Thành phần  $(-I_2')$  có tác dụng bù lại tác dụng khử từ của dòng điện thứ cấp. Khi tải tăng, dòng điện thứ cấp  $I_2$  tăng lên, thì thành phần bù  $(-I_2')$  cũng tăng lên. Để giữ cho từ thông trong máy không thay đổi thì dòng điện cấp  $I_1$  cũng tăng lên. Như vậy dây quấn sơ cấp lúc này phải nhận thêm năng lượng từ nguồn để truyền sang cho bên thứ cấp.

#### ❖ Dòng điện từ hóa trong máy biến áp. ( $I_0$ )

Trong máy biến áp dòng điện từ hóa (dòng không tải) bao gồm hai thành phần, thành phần tác dụng và thành phần phản kháng. Để rõ hơn chúng ta xét mạch từ của máy biến áp một pha



như sau:

Điện áp đặt vào là một hàm sin theo thời gian  $u = U_m \sin \omega t$ , bỏ qua tổn hao trong dây quấn thì :

$u = -e = N \frac{d\phi}{dt} \Rightarrow$  từ thông  $\phi$  biến thiên theo thời gian và chậm pha hơn  $u$  một góc  $\frac{\pi}{2}$ .

Nếu bỏ qua tổn hao sắt từ thì dòng điện  $i_0$  là dòng điện phản kháng dùng để từ hoá lõi thép.

Tuy nhiên do quan hệ  $B(H)$  trong mạch từ là không tuyến tính, có đoạn từ hoá lõi thép, và có hiện tượng tổn hao do từ trễ do đó từ quan hệ  $\phi(t)$  và  $\phi(i_0)$  có thể xác định được  $i_0$  và kết quả là  $i_0(t)$  bị lệch pha so với  $\phi(t)$  một góc  $\alpha$  nào đó, góc  $\alpha$  lớn hay bé còn tùy thuộc vào mức độ từ hoá lõi thép ( quan hệ  $B(H)$ ) nhiều hay ít.

Như vậy dòng điện  $I_0$  gồm hai thành phần :  $I_{0x}$  dùng để từ hoá lõi thép và tạo nên từ thông cùng chiều với chính từ thông.  $I_{0r}$  gây nên tổn hao sắt từ trong lõi thép và vuông góc với thành phần từ thông.

### 2.10.2 Mô Hình Toán MBA.

Quan hệ điện áp sơ cấp và thứ cấp là quan hệ điện từ. Do đó để thuận tiện trong quá trình phân tích MBA, tính toán bài toán có liên quan đến MBA trong hệ thống điện, người ta thay thế MBA bằng một mô hình toán hay một mạch điện tương đương.

Việc quy đổi hay thay thế phải không làm thay đổi các quá trình vật lý xảy ra trong MBA như công suất truyền tải, tổn hao . . . của MBA. Và để tạo nên một mạch điện thì mạch sơ cấp và thứ cấp phải liên kết được với nhau, do đó các thông số ở mạch thứ cấp phải được quy đổi tương đương về sơ cấp.

✚ Sức điện động và điện áp ( $E_2'$  ;  $U_2'$ )

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow E_1 = k.E_2$$

Gọi  $E_2'$  là sức điện động thứ cấp quy đổi về sơ cấp, do đó  $E_2' = E_1 = k.E_2$

Tương tự ta có :  $U_2' = k.U_2$

✚ Dòng điện ( $I_2'$ )

Việc quy đổi dòng điện phải đảm bảo công suất truyền qua MBA trước và sau khi quy đổi phải bằng nhau.

$$E_2 I_2 = E_2' I_2' \Rightarrow I_2' = \frac{E_2}{E_2'} I_2 = \frac{E_2}{E_1} I_2 = \frac{I_2}{k}$$

⚡ Điện trở, điện kháng, và tổng trở ( $R_2', X_2', Z_2'$ )

$$I_2^2 R_2 = I_2'^2 R_2' \Rightarrow R_2' = \frac{I_2^2}{I_2'^2} R_2 = k^2 R_2$$

Tương tự :  $X_2' = k^2 X_2$

$Z_2' = k^2 Z_2$

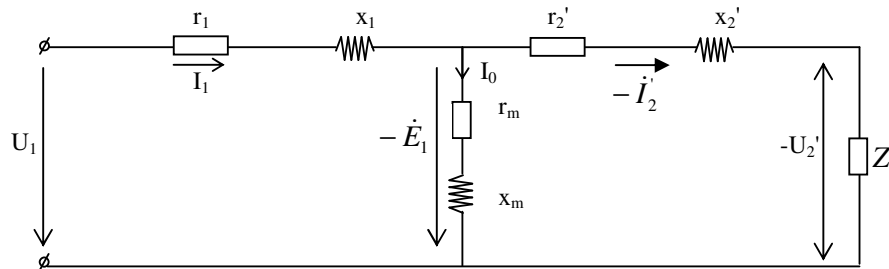
Như vậy sau khi quy đổi, ta có một hệ phương trình mô tả toán học MBA như sau :

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = -E_1 + I_1 \cdot Z_1 \\ \dot{U}_2' = E_2' - \dot{I}_2' \cdot Z_2' \\ I_1 = I_0 - \dot{I}_2' \end{cases}$$

2.11. Sơ Đồ Tương Đương Của MBA.

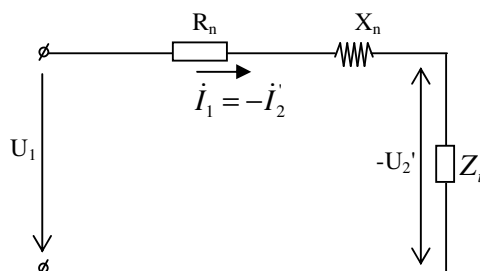
Từ  $\begin{cases} \dot{U}_1 = -E_1 + I_1 \cdot Z_1 \\ \dot{U}_2' = E_2' - \dot{I}_2' \cdot Z_2' \\ I_1 = I_0 - \dot{I}_2' \end{cases}$

Ta có mạch điện tương đương thoả mãn hệ phương trình như sau :



$I_0$  được xem như thành phần chính tạo nên từ thông trên lõi thép và  $Z_m = R_m + jX_m$  là tổng trở từ hoá mạch từ trong MBA,

Thông thường  $Z_m \gg Z_1$  và  $Z_2$  nên để đơn giản trong quá trình tính toán mà không gây ra sai lệch nhiều về kết quả ta có sơ đồ tương đương gần đúng :



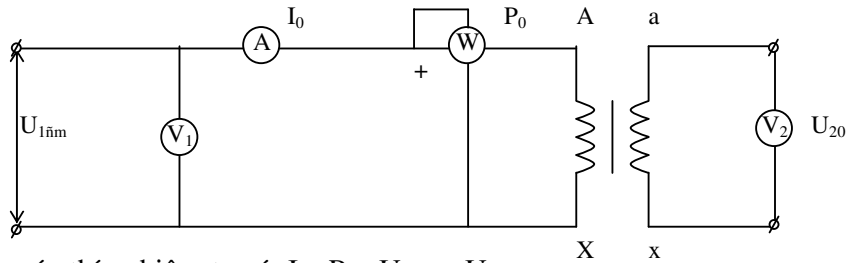
Với  $R_n = r_1 + r_2'$

$X_n = x_1 + x_2'$

$Z_n = R_n + jX_n$  : Tổng trở ngắn mạch của MBA.

2.12. Xác Định Các Tham Số MBA.

Thí nghiệm không tải:



Trong các thí nghiệm ta có:  $I_0, P_0, U_{1dm}, U_{20}$

- Tổng trở máy biến áp lúc không tải:

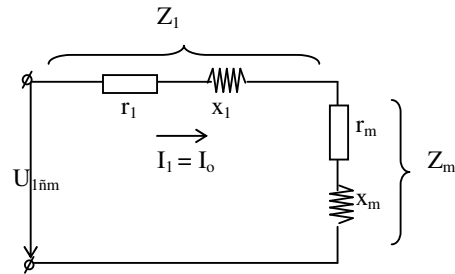
$$Z_0 = \frac{U_{1dm}}{I_0}$$

- Điện trở không tải

$$r_0 = \frac{P_0}{I_0^2}, P_0 : \text{tổn hao thép } P_{Fe}$$

- Điện kháng không tải

$$x_0 = \sqrt{Z_0^2 - r_0^2}$$



$$Z_0 = Z_1 + Z_m$$

$$r_0 = r_1 + r_m$$

$$x_0 = x_1 + x_m$$

vì

$$\begin{cases} Z_1 \ll Z_m \\ r_1 \ll r_m \\ x_1 \ll x_m \end{cases}$$

Nên

$$Z_0 = Z_m$$

$$r_0 = r_m$$

$$x_0 = x_m$$

- Tỷ số biến áp:

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{U_{1dm}}{U_{20}}$$

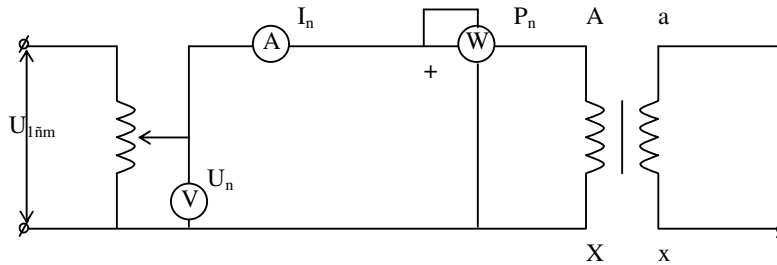
- Hệ số công suất không tải

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_{1dm} \cdot I_0}$$



Không cho máy biến áp làm việc không tải hoặc non tải vì lúc đó hệ số công suất rất thấp.

### Thí nghiệm ngắn mạch:



#### Máy biến áp tự ngẫu

Ngắn mạch trong thực tế máy biến áp là chế độ sự cố khi cuộn thứ cấp bị nối tắt vì nhiều nguyên nhân: dây quấn thứ cấp bị chập xuống đất, hỏng cách điện, ... trong khi đó phía sơ cấp vẫn nối với  $U_{1dm}$

\* Đặc điểm khi ngắn mạch:

- Dòng ngắn mạch trong máy gấp 10 - 25 lần  $I_{1dm}$  nên thường gây cháy dây quấn.
- Điện áp  $U_2 \approx 0$ , các phụ tải mất điện áp.

Để bảo vệ máy biến áp khi có ngắn mạch thường dùng hệ thống rơle bảo vệ tự động các mạch sơ cấp khi có ngắn mạch.

#### Thí nghiệm:

Dùng máy biến áp tự ngẫu để điều chỉnh điện áp  $U_n$  đặt vào dây quấn sơ cấp máy biến áp.

- Điện áp ngắn mạch  $U_n$
- Dòng điện ngắn mạch  $I_n = I_{1dm}$
- Công suất  $P_n$  đo được chính là tổn hao đồng trên dây quấn sơ cấp và dây quấn thứ cấp khi dòng tải định mức (tổn hao sắt từ không đáng kể)
- Tổng trở ngắn mạch

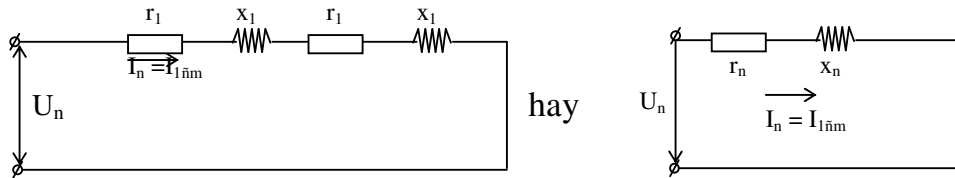
$$Z = \frac{U_n}{I_{1dm}}$$

- Điện trở ngắn mạch,

$$r_n = \frac{P_n}{I_n^2} = \frac{P_n}{I_{1dm}^2},$$

- Điện kháng ngắn mạch

$$x_n = \sqrt{Z_n^2 - r_n^2}$$



trong đó:

$r_n = r_1 + r'_2$  : điện trở ngắn mạch

$x_n = x_1 + x'_2$  : điện kháng ngắn mạch

$$r_1 \approx r'_2 \approx \frac{r_n}{2} \quad ; \quad x_1 \approx x'_2 \approx \frac{x_n}{2}$$

- $\cos \varphi_n = \frac{P_n}{U_n I_{1dm}}$

- Điện áp ngắn mạch phần trăm

$$U_n \% = \frac{U_n}{U_{1dm}} \times 100 = (5 \div 10) \% U_{1dm}$$

Điện áp ngắn mạch có hai thành phần:

$$\circ U_{nr} \% = \frac{U_{nr}}{U_{1dm}} \cdot 100 = \frac{I_{1dm} \cdot r_n}{U_{1dm}} \cdot 100$$

(điện áp ngắn mạch tác dụng phần trăm)

$$\circ U_{nx} \% = \frac{U_{nx}}{U_{1dm}} \cdot 100 = I_{1dm} \cdot \frac{x_n}{U_{1dm}} \cdot 100$$

(điện áp ngắn mạch phản kháng phần trăm)

### ĐỘ BIẾN THIÊN ĐIỆN ÁP THỨ CẤP THEO TẢI

- Độ biến thiên điện áp thứ cấp

$$\Delta U_2 = U_{2dm} - U_2$$

- Độ biến thiên điện áp thứ cấp phần trăm

$$\Delta U_2 \% = \frac{U_{2dm} - U_2}{U_{2dm}} \times 100$$

Hay

$$\Delta U_2 \% = \beta(U_{nr} \% \times \cos \varphi_2 + U_{nx} \% \times \sin \varphi_2)$$

Trong đó

$$\beta \text{ là hệ số tải } \beta = \frac{I_1}{I_{1dm}} ; \beta = \frac{I_2}{I_{2dm}}$$

$\cos \varphi_2$ : hệ số công suất của tải

### TỔN HAO VÀ HIỆU SUẤT CỦA MÁY BIẾN ÁP

- Khi máy biến áp làm việc có các tổn hao sau:

**Tổn hao tải**  $I^2R$  trong các cuộn dây của máy biến áp và **tổn hao không tải** là tổn hao trong lõi thép.

Tổn hao tải phụ thuộc vào dòng điện của tải

$$\Delta P_{\text{tải}} = I_1^2 r_1 + I_2^2 r_2 = I_1^2 r_1 + k^2 I_1^2 r_2 = I_1^2 (r_1 + r_2') = I_1^2 r_n = \beta^2 I_{1dm}^2 r_n$$

$$\Delta P_{\text{tải}} = \beta^2 P_n$$

Tổn hao không tải hay tổn hao lõi thép phụ thuộc vào ảnh hưởng của dòng điện trễ và dòng điện xoáy trong lõi thép của máy biến áp. Tổn hao lõi thép của một máy biến áp về cơ bản thì không đổi cho tất cả các tải khi tần số và điện áp được đặt vào máy biến áp là định mức.

- Hiệu suất của máy biến áp:

Hiệu suất của máy biến áp là tỷ số giữa công suất hữu ích ngõ ra đối với công suất ngõ vào. Bởi vì công suất ngõ vào của một máy biến áp bằng công suất hữu ích ngõ ra cộng với các tổn hao của nó nên ta có phương trình hiệu suất như sau:

$$\eta \% = \frac{P_2}{P_1} \times 100 \% = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P_{\text{tổn hao}}} \times 100 \%$$

$$\eta \% = \frac{\beta S_{dm} \cos \varphi_2}{\beta S_{dm} \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_n} \times 100 \%$$

#### 2.13. MBA làm việc song song.

# 5

---

## Máy Điện DC.

---

### V.1. Khái quát .

---

### V.2. Cấu tạo

---

### V.3. Nguyên lý làm việc.

---

### V.4. Từ trường lúc máy điện DC có tải.

---

### V.5. Quan hệ điện từ trong máy điện DC.

---

### V.6. Máy phát DC.

---

### V.7. Động cơ DC.

---

### V.8. Sơ đồ dây quấn máy điện DC.

---

## V.1. Khái quát

---

Máy điện một chiều là thiết bị điện dùng để biến đổi cơ năng thành điện năng một chiều (máy phát điện một chiều) hoặc biến đổi điện năng một chiều thành cơ năng (động cơ điện một chiều). Máy phát điện một chiều có công suất được tính theo đơn vị Watt, KiloWatts (W, KW). Động cơ điện một chiều có công suất được tính theo đơn vị KW ( hệ đơn vị SI) hoặc HorsePower HP ( hệ USCS).

Ngày nay, máy điện một chiều được sử dụng rộng rãi. Động cơ một chiều (DC motor) có moment khởi động lớn, dễ điều chỉnh tốc độ, điều chỉnh liên tục trong phạm vi rộng. Động cơ một chiều được sử dụng nhiều trong giao thông vận tải với điều kiện làm việc nặng nhọc, thiết bị nâng, hạ; các động cơ chấp hành trong các hệ thống điều chỉnh tự động với công suất nhỏ (vài watt). Máy phát điện một chiều (DC generator) là máy phát kích từ cho máy phát điện đồng bộ; dùng trong kỹ thuật hàn, mạ điện chất lượng cao, dùng trong điện hóa, điện ô tô.

Nhược điểm chủ yếu của máy điện một chiều là có cổ góp điện làm cho cấu tạo phức tạp, giá thành đắt, làm việc kém tin cậy, nguy hiểm trong môi trường dễ cháy nổ. Hơn nữa, khi sử dụng động cơ DC phải có nguồn DC đi kèm.

## V.2. Cấu tạo

---

Máy điện một chiều gồm 2 phần : phần tĩnh và phần quay.

### V.2.1. Phần tĩnh ( stator ) hay phần cảm :

**Phần tĩnh** là phần đứng yên gồm: vỏ máy (gông từ), (phần cảm) bên trong có gắn cực từ chính và cực từ phụ:

+ **Cực từ chính:** vĩ thép được ghép bởi các lá thép kỹ thuật điện (tôn silic) dày  $0.5 \div 1$  mm và dây quấn kích từ lồng ngoài lõi sắt cực từ. Cực từ chính tạo nên từ trường chính trong máy. Mặt cực giữ dây quấn và phân bố từ trường trên bề mặt phần cứng. Cực từ gắn lên vỏ máy bằng bu lông hoặc đinh vít. Dây quấn kích từ là dây đồng, các cuộn dây kích từ đặt trên các cực từ này được nối tiếp với nhau.

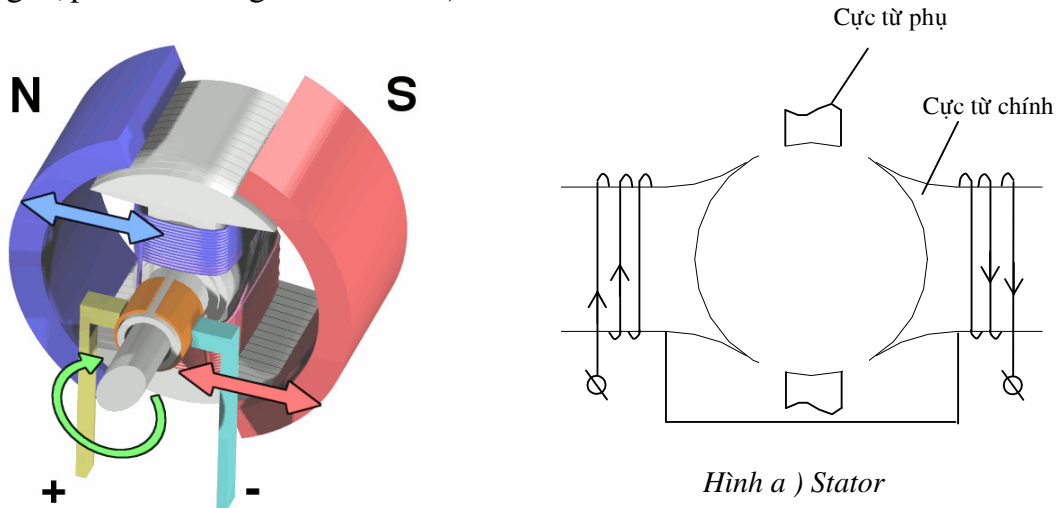
+ **Cực từ phụ:** các cực từ phụ được đặt xen kẽ giữa các cực từ chính để hạn chế tia lửa điện và cải thiện đổi chiều.

+ **Lõi thép cực từ phụ** thường làm bằng thép đúc, dây quấn bằng đồng bọc cách điện, mắc nối tiếp với dây quấn phần ứng.

+ **Gông từ ( vỏ máy )**: dùng để gắn các cực từ, làm mạch từ nối liền các cực từ. Do vậy vỏ máy được dẫn từ, đây là điểm khác biệt với vỏ máy của máy điện xoay chiều.

+ Trong các loại máy điện công suất lớn, gông từ thường làm bằng thép đúc, máy điện công suất nhỏ và vừa thường dùng thép tấm dày uốn và hàn lại, có khi máy nhỏ dùng gang làm vỏ máy.

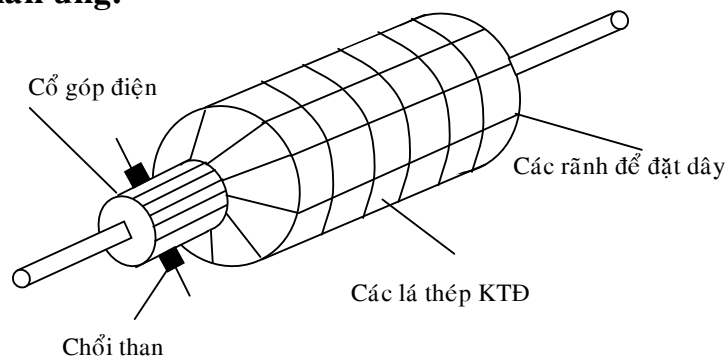
+ **Các bộ phận khác**: nắp máy và cơ cấu chổi than ( gồm: chổi than đặt trong hộp chổi than, giá chổi than )



### V.2.2. Phần quay (Rotor) hay phần ứng:

Phần ứng gồm trục, lõi thép, dây quấn phần ứng, cổ góp.

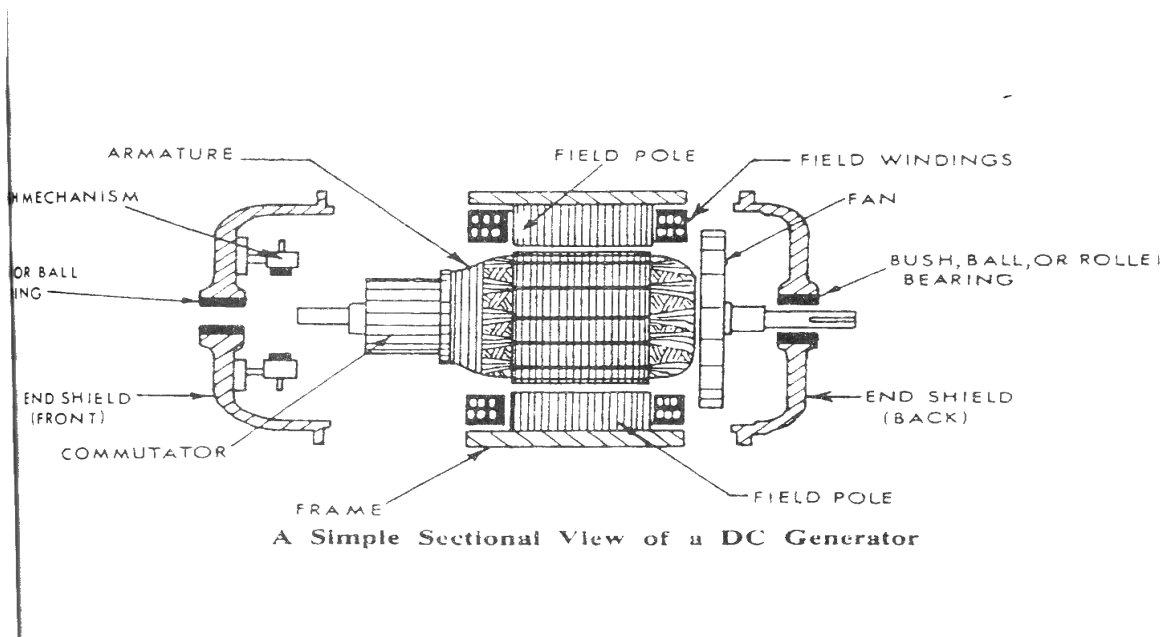
+ **Lõi sắt phần ứng**:



Hình b) Rotor

+ **Lõi thép gồm** các lá thép kỹ thuật điện ghép lại, hình trụ, trên bề mặt lõi thép (dọc theo đường sinh) người ta dập rãnh để đặt dây quấn gọi là dây quấn phần ứng.

+ **Dây quấn phần ứng** thường làm bằng dây đồng tròn hoặc dẹp, các đầu dây của các phần tử dây quấn (bồi dây) được gộp lại tại cổ góp.



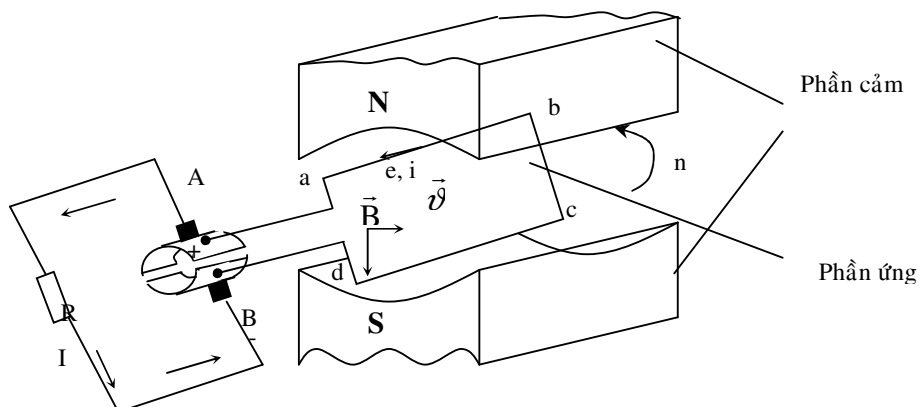
+ **Cổ góp (vành đổi chiều):** cổ góp gồm các phiến góp làm bằng đồng, giữa các phiến góp cách điện với nhau bởi mica và cổ góp cũng được cách điện với trục rotor bằng ống phíp. Nhiệm vụ của cổ góp điện là chỉnh lưu sức điện động xoay chiều thành sức điện động một chiều trên các chổi than, chổi than tiếp xúc (tì lên) cổ góp để lấy điện ra ngoài hoặc đưa nguồn điện một chiều vào trong dây quấn phần ứng.

+ **Các bộ phận khác:**

- Cánh quạt: làm nguội máy
- Trục máy:

### V.3. Nguyên lý làm việc.

#### V.3.1. Nguyên lý làm việc của máy phát điện một chiều.



**Nguyên lý làm việc của máy phát điện một chiều:**

Phần ứng là khung dây a b c d ( quấn trên lõi thép phần ứng) có hai đầu dây nối với hai phiến đổi chiều (phiến góp), 2 chổi than A, B cố định luôn từ lên cổ góp và đưa điện đến phụ tải.

Dùng một động cơ sơ cấp ( tua bin hoặc cơ đốt trong,...) quay phần ứng máy phát. Khi khung quay với tốc độ không đổi, hai thanh dẫn ab, cd lần lượt nằm dưới 2 cực từ khác tên (từ trường của hai cực nam châm không đổi), khung quay sẽ cảm ứng nên một sức điện động xoay chiều :

$$e = B \cdot l \cdot v \cdot \sin\alpha$$

B : từ cảm – Mật độ từ thông.

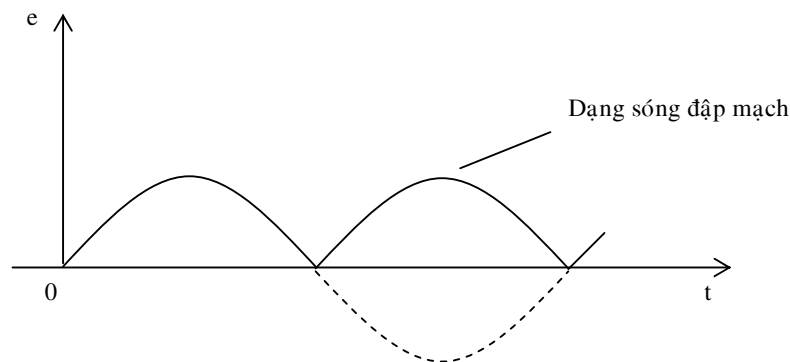
L : chiều dài cạnh tác dụng của thanh dẫn ab+cd

v : tốc độ dài của thanh dẫn.

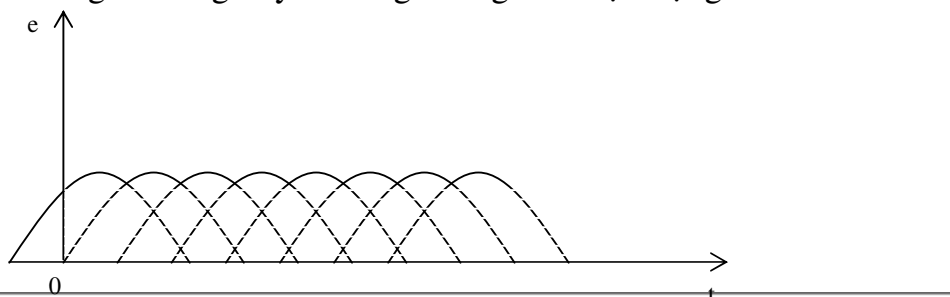
$\alpha$  : là góc nhỏ giữa vận tốc v và từ cảm B.

Chiều của sức điện động xác định theo qui tắc bàn tay phải, trên thanh ab chiều từ b  $\rightarrow$  a, thanh cd chiều từ d  $\rightarrow$  c. sức điện động trong khung dây là sức điện động xoay chiều nhưng nhờ có phiến góp và chổi than A( + ); B ( - ) (sau khi quay 180<sup>0</sup> nó cũng không đổi cực tính ).

Dạng sóng trên hai đầu chổi than:



Trên thực tế người ta chế tạo phần ứng gồm nhiều khung dây đặt lệch nhau một góc  $\alpha$  nào đó trong không gian để giảm bớt sự đập mạch ở cổ góp, chổi than và quấn tăng số vòng dây để tăng cường sức điện động.





**V.3.2. Nguyên lý làm việc của động cơ điện một chiều.**

Đặt nguồn DC vào dây quấn kích từ phần cảm – phần cảm tạo nên từ trường, và dòng điện trong dây quấn phần ứng tác dụng tương hỗ lên nhau tạo thành moment tác dụng lên rotor. Moment này có chiều không đổi làm máy quay (dòng điện chỉ đi vào thanh dẫn nằm dưới cực N và đi ra thanh dẫn nằm dưới cực S), chiều lực xác định bằng qui tắc bàn tay trái (hay dòng điện có chiều không đổi trong các thanh dẫn nằm dưới các cực từ, do đó tạo nên một moment có chiều không đổi làm rotor chỉ quay theo một chiều nhất định mà thôi)

**V.4. Từ trường lúc có tải của máy điện một chiều****V.4.1. Đại cương:**

Khi không tải từ thông  $\Phi$  trong máy do dây quấn kích từ gây nên.

Khi có tải từ thông  $\Phi$  trong máy không những do dây quấn kích từ gây nên mà còn có từ thông phần ứng ( $\Phi_{\text{ư}}$ ) do cuộn dây phần ứng gây nên. Để triệt tiêu tia lửa điện còn có từ thông cực từ phụ  $\Phi_{\text{f}}$  và từ thông dây quấn bù  $\Phi_{\text{b}}$ . Tất cả các từ thông đó tác dụng với nhau để tạo thành từ thông khe hở làm thay đổi từ trường lúc không tải của máy.

**V.4.2. Từ trường trong dây quấn phần ứng:****a) Sự phân bố của từ trường trên bề mặt phần ứng :**

Gọi  $N$  : Tổng số thanh dẫn của phần ứng.

$2a$  : Số mạch nhánh song song.

$i_{\text{ư}}$  : Dòng điện trong 1 thanh dẫn.

$I_{\text{ư}}$  : Dòng điện phần ứng.

$$i_{\text{ư}} = \frac{I_{\text{ư}}}{2a}$$

$$\text{Tải đường } A = \frac{N \cdot i_{\text{ư}}}{\pi \cdot D_{\text{ư[m]}}} \quad \left[ \frac{\text{A}}{\text{m}} \right]$$

$D_{\text{ư}}$  : đường kính ngoài phần ứng.

Ta có:  $F_{\text{ư}} = A \cdot \tau$   $\tau$ : bước cực ( m)

$$\Rightarrow \uparrow i_{\text{ư}} \rightarrow A \uparrow \rightarrow I_{\text{ư}} \uparrow \rightarrow F_{\text{ư}} \uparrow$$

**b) Phản ứng phần ứng trong máy điện một chiều:**

❖ Khi máy điện 1 chiều chạy không tải, trong máy chỉ có từ trường của các cực từ chính sinh ra gọi là từ trường chính hay từ trường phần cảm. Lúc này đường trung tính vật lý  $mm'$  trùng với đường trung tính hình học  $nn'$ .

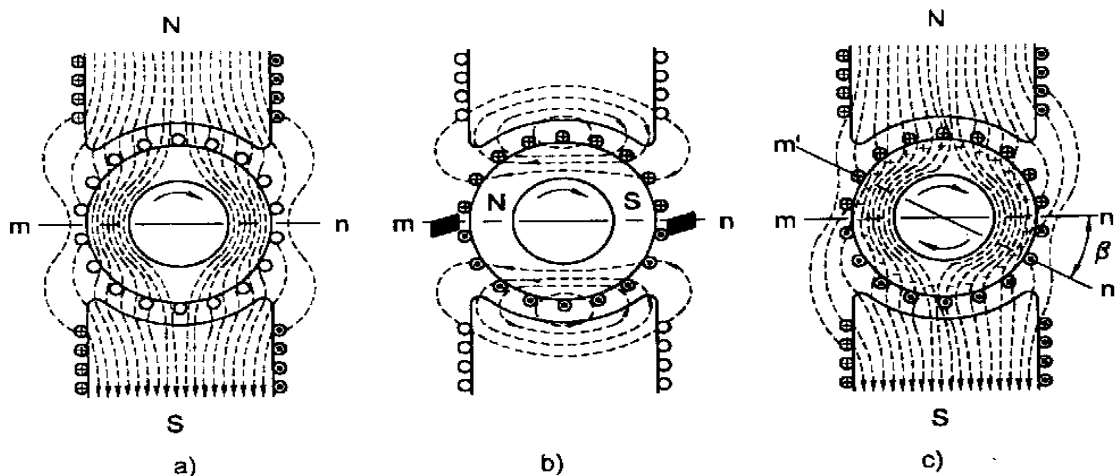
+ Đường trung tính hình học: là đường thẳng thẳng góc với trục cực từ N-S

+ Đường trung tính vật lý: là đường xuyên qua phần ứng tại 2 điểm có từ trường bằng 0 ( $B = 0$ ).

❖ Khi máy mang tải, dòng điện trong dây quấn phần ứng sinh ra từ trường phần ứng.

Do tác dụng của từ trường phần ứng, các đường sức trên mặt cực từ phân bố không đều, không còn đối xứng qua trục cực từ. Ở một nửa mặt cực từ, từ trường phần ứng có tác dụng trợ từ làm cho từ trường tăng, nửa mặt từ kia thì từ trường phần ứng có tác dụng khử từ làm cho từ trường giảm đi

Khi mạch từ của máy chưa bão hoà thì tác dụng trợ từ và khử từ bằng nhau, nên từ trường tổng không đổi. Khi mạch từ bão hoà thì tác dụng trợ từ ít hơn. Khử từ, nên từ trường tổng trong máy giảm, do đó sđđ cảm ứng trong các thanh dẫn sẽ giảm. Đồng thời phản ứng phần ứng làm cho từ trường tại 2 điểm trên đường trung tính hình học khác 0, hay nói cách khác là phản ứng phần ứng làm cho đường trung tính vật lý lệch khỏi trung tính hình học một góc  $\beta$  nào đó theo chiều quay của máy phát ( đối với động cơ thì ngược lại). Nếu chổi điện vẫn đặt trên đường trung tính hình học thì do từ trường tại chỗ tiếp xúc giữa chổi điện và cổ góp khác 0, sức điện động cảm ứng trong phần tử dây quấn phần ứng sẽ bị chổi điện làm ngắn mạch, đây là một nguyên nhân làm phát sinh tia lửa ở chỗ tiếp xúc. Để khắc phục điều này phải xô dịch chổi điện lệch khỏi trung tính hình học một góc  $\beta$

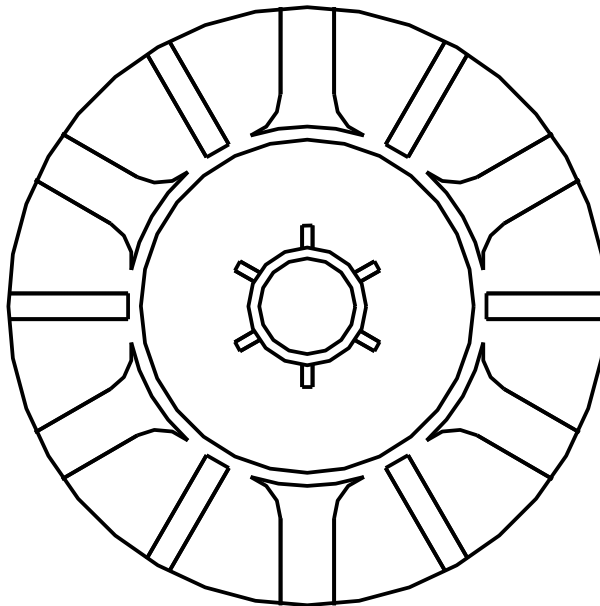


*Từ trường máy điện một chiều*

### **V.4.2. Từ trường cực từ phụ:**

Trong hầu hết các máy điện một chiều (trừ những máy công suất nhỏ hơn 0,5kW) đều có đặt các cực từ phụ để trừ bỏ ảnh hưởng của phản ứng phần ứng làm xô dịch đường trung tính vật lý khỏi đường trung tính hình học

Để trừ bỏ từ trường tại đường trung tính hình học, cực từ phụ được đặt xen kẽ với cực từ chính và cực tính của cực từ phụ cùng cực tính với cực từ chính đứng sau nó theo chiều quay của rotor đối với máy phát, hoặc đứng trước nó theo chiều quay rotor đối với động cơ. Đồng thời, để triệt tiêu từ trường trên đường trung tính hình học thì từ trường cực từ phụ phải tỉ lệ thuận với dòng điện tải nên dây quấn cực từ phụ được nối tiếp với dây quấn phần ứng.



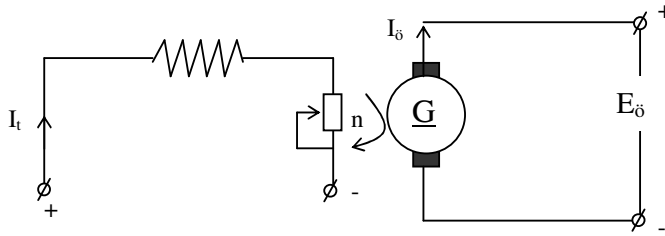
### **V.4.3. Từ trường dây quấn bù:**

Do sự phân bố của từ trường trên phần ứng dưới bề mặt cực từ không đồng đều làm xuất hiện sức điện động trên phiến góp có trị số khác nhau, do đó gây nên tia lửa điện trên chổi than khi máy làm việc. Để khắc phục tình trạng này trong các máy có công suất lớn, người ta chế tạo dây quấn bù.

Dây quấn bù được đặt trong các rãnh trên bề mặt cực từ và được nối tiếp với dây quấn phần ứng. Chiều dòng điện trong dây quấn bù phải có chiều sao cho triệt tiêu được sđđ của phần ứng trên bề mặt cực từ.

## V.5. Quan hệ điện từ trong máy điện DC.

### V.5.1. Sức điện động cảm ứng của dây quấn phần ứng:



Theo định luật Faraday:  $e_{td} = B_{tb} \cdot l \cdot v$  ( v )

Trong đó:  $e_{td}$  : sức điện động một thanh dẫn.

$B_{tb}$  : từ cảm trung bình trong khe hở.

$$B_{tb} = \frac{\phi}{\tau \cdot l}$$

$\Phi$  : từ thông trung bình dưới một cực từ ( Wb ).

$\tau$  : Bước cực từ.

$L$  : Chiều dài thanh dẫn.

$$v = \frac{n}{60} (\tau \cdot 2p) \text{ vận tốc dài của thanh.}$$

$2p$  : số cực phần cảm.

$n$  : tốc độ quay của rotor. (vòng/giây ).

$$\Rightarrow e_{td} = \frac{2p}{60} \cdot \Phi \cdot n$$

Gọi:  $N$  : tổng số thanh dẫn.

$2a$  : số mạch nhánh song song.

$\frac{N}{2a}$  : Số thanh dẫn trên một nhánh song song.

$E_{\mathcal{U}}$  : sức điện động của một mạch nhánh song song.

$$\Rightarrow E_{\mathcal{U}} = \frac{pN}{60a} \cdot \Phi \cdot n \quad ; \quad \text{Đặt: } C_E = \frac{pN}{60a} \text{ : hệ số kết cấu}$$

$$\mathbf{E_{\mathcal{U}} = C_E \cdot \Phi \cdot n}$$

Sức điện động phần ứng tỉ lệ với từ thông dưới một cực từ và tốc độ quay phần ứng. Nghĩa là muốn thay đổi  $E_{\mathcal{U}}$  thì phải tác động lên  $\Phi$  hoặc  $n$ .

**V.5.2. Moment điện từ :**

Lực điện từ tác dụng lên thanh dẫn mang dòng điện là :

$$f = B_{tb} \cdot i_u \cdot l$$

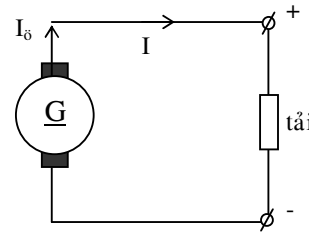
$B_{tb}$  : từ cảm trung bình trong khe hở.

$i_u$  : dòng điện qua thanh dẫn.

$$i_u = \frac{I_u}{2a}$$

$l$  : chiều dài tác dụng của thanh dẫn.

$I_u$  : dòng điện phần ứng.



Moment điện từ tác dụng lên dây quấn phần ứng:

$$M_{dt} = f \cdot r \cdot N = B_{tb} \cdot N \cdot \frac{I_u}{2a} \cdot l \cdot \frac{D_u}{2}$$

$r$  : bán kính của phần ứng  $r = \frac{D_u}{2}$  ( $D_u$ : đường kính phần ứng).

$$B_{tb} = \frac{\Phi}{\tau \cdot l} \quad D_u = \frac{2p \cdot \tau}{\pi}$$

$$\Rightarrow M_{dt} = \frac{\Phi}{\tau \cdot l} \cdot N \cdot \frac{I_u}{2a} \cdot l \cdot \frac{2p \tau}{2\pi} = \frac{pN}{2\pi a} \cdot \Phi \cdot I_u$$

Đặt  $C_M = \frac{pN}{2\pi a}$  : hệ số kết cấu

$$M_{dt} = C_M \cdot \Phi \cdot I_u$$

+ Moment điện từ của máy điện một chiều được tạo nên do sự tác động tương hỗ giữa từ trường phần cảm và từ trường dòng điện trong thanh dẫn phần ứng. Momen này tác dụng lên phần ứng.

+ Ở chế độ máy phát,  $M_{dt}$  ngược chiều với moment quay của động cơ sơ cấp tác dụng lên rotor, nên có tác dụng như một moment cản.

+ Ở chế độ động cơ,  $M_{dt}$  đóng vai trò moment quay, chiều quay của máy cùng chiều quay của moment. Công suất điện từ đã chuyển công suất điện  $E_u I_u$  thành công suất cơ  $M_{dt} \cdot \omega$

**V.5.3. Công suất điện từ:**

Định nghĩa :  $P_{dt} = M_{dt} \cdot \omega$

$\omega$ : vận tốc góc của rotor

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad n: \text{tốc độ quay}$$

$$\text{Thay} \quad M_{dt} = \frac{pN}{2\pi a} \cdot \Phi \cdot I_{\text{r}}$$

$$P_{dt} = \frac{pN}{2\pi a} \cdot \Phi \cdot I_{\text{r}} \cdot \frac{2\pi n}{60} = \frac{pN}{60a} \cdot \Phi \cdot n \cdot I_{\text{r}} = E_{\text{r}} \cdot I_{\text{r}}$$

$$P_{dt} = E_{\text{r}} \cdot I_{\text{r}}$$

#### V.5.4. Quá trình năng lượng và các phương trình cân bằng:

##### a. Các loại tổn hao.

✚ **Tổn hao sắt** :  $\Delta P_{\text{Fe}}$  – Xuất hiện khi có từ trường biến thiên, độ lớn của tổn hao sắt phụ thuộc nhiều yếu tố : tình trạng mạch từ, chất lượng lõi thép, hình dáng lõi thép.

✚ **Tổn hao cơ** :  $\Delta P_{\text{cơ}}$  – Chủ yếu do lực ma sát gây nên.

✚ **Tổn hao không tải** :  $\Delta P_0 = \Delta P_{\text{Fe}} + \Delta P_{\text{cơ}}$

✚ **Tổn hao đồng** :  $\Delta P_{\text{Cu}}$  – Do hiện tượng Junle – Lenxơ . Phát nóng trên dây quấn kích từ, dây quấn phần ứng, điện trở tiếp xúc giữa chổi than với cổ góp.

##### b. Giảm đồ năng lượng và phương trình cân bằng

✚ **Máy phát điện:**

$P_1$  : công suất cơ đầu vào.

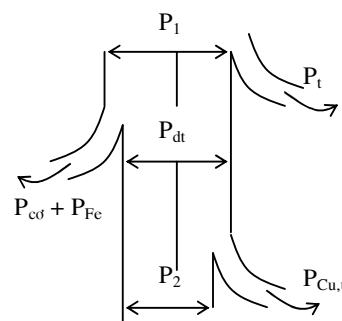
$P_1$  : tổn hao kích từ.

Cuộn dây kích từ thường dùng một nguồn cung cấp riêng, do vậy hầu hết không được xem xét đến trong giản đồ năng lượng của máy.

$P_{\text{cơ}} + F_{\text{Fe}}$ : tổn hao cơ + tổn hao sắt từ

$P_{dt}$  : công suất điện từ chuyển qua phần ứng.

$P_{\text{Cu, r}}$  : tổn hao đồng trên dây quấn phần ứng



Giản đồ năng lượng của máy phát một chiều

$P_2$  : công suất điện đầu ra.

Hiệu suất:  $\eta = \frac{P_2}{P_1} < 1$

Từ giản đồ:  $P_2 = P_{dt} - P_{Cu, \text{tr}}$

chia 2 vế  $I_{\text{tr}}$ :  $UI_{\text{tr}} = E_{\text{tr}}I_{\text{tr}} - I_{\text{tr}}^2 \cdot R_{\text{tr}}$

$$U = E_{\text{tr}} - I_{\text{tr}} \cdot R_{\text{tr}} \quad \text{hay} \quad E_{\text{tr}} = U + I_{\text{tr}} \cdot R_{\text{tr}}$$

Đây là phương trình cân bằng điện áp của máy phát điện một chiều.

$E_{\text{tr}}$ : đóng vai trò nguồn điện, cùng chiều  $I_{\text{tr}}$

$M_1$ : moment cơ đầu vào

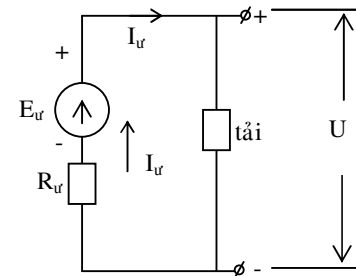
$M_{dt}$ : moment điện từ

$M_0$ : momen không tải do  $\Delta P_0 = \Delta P_{c\sigma} + \Delta P_{Fe}$

Sơ đồ mạch tương đương.

$$M_1 = M_{dt} + M_0$$

là phương trình cân bằng moment của máy phát điện một chiều.



### ⚡ Đối với động cơ điện

$P_1$ : công suất điện đầu vào.

$P_2$ : công suất cơ đầu ra.

$$P_1 = P_{dt} + P_t + P_{Cu, \text{tr}}$$

$$U(I_{\text{tr}} + I_t) = E_{\text{tr}} \cdot I_{\text{tr}} + UI_t + I_{\text{tr}}^2 R_{\text{tr}}$$

Thành phần tổn hao do kích từ trong một số trường hợp cụ thể mới được xem xét.

$$U = E_{\text{tr}} + I_{\text{tr}} R_{\text{tr}}$$

Đây là phương trình cân bằng điện áp của động cơ điện một chiều.

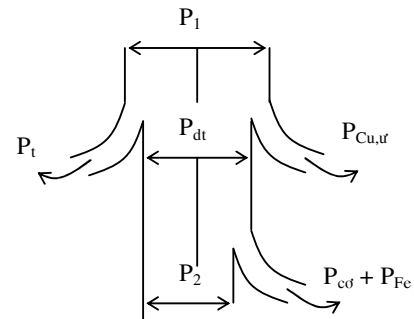
$E_{\text{tr}}$  đóng vai trò sức phản điện, ngược chiều  $I_{\text{tr}}$

$M_2$ : moment cơ đầu ra

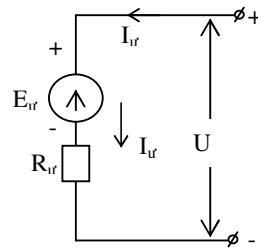
$M_{dt}$ : moment điện từ

$M_0$ : moment không tải.

Ta có sơ đồ mạch tương đương.



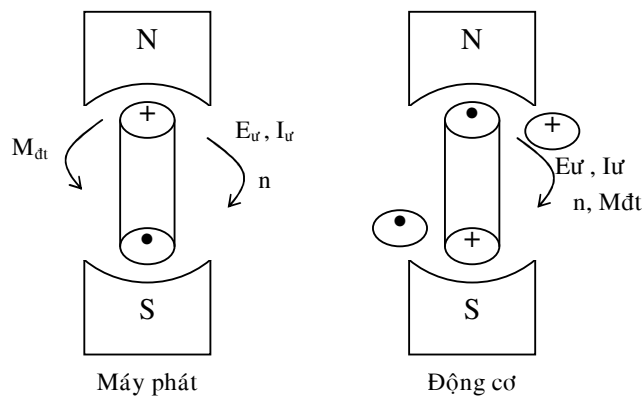
Giản đồ năng lượng của DC một chiều



$$M_2 = M_{\text{dt}} - M_0$$

là phương trình cân bằng momen của động cơ điện một chiều.

### V.5.5. Tính thuận nghịch trong máy điện một chiều:



Máy điện một chiều có thể dùng làm máy phát điện, cũng có thể dùng làm động cơ điện.

**Chế độ máy phát :**  $E_{\text{tr}}, I_{\text{tr}}$  cùng chiều

$M_{\text{dt}}$  ngược chiều quay  $n \rightarrow M_{\text{hãm}}$

**Chế độ động cơ :**  $E_{\text{tr}}, I_{\text{tr}}$  ngược chiều

$M_{\text{dt}}$  cùng chiều  $n$

Giả sử máy phát:  $I_{\text{tr}} = \frac{E_{\text{tr}} - U}{R_{\text{tr}}} > 0$  nghĩa là  $E_{\text{tr}} > U$

Nếu giảm từ thông ( $\Phi$ ) và tốc độ ( $n$ ) để giảm  $E_{\text{tr}}$  kết quả là  $E_{\text{tr}} < U \rightarrow I_{\text{tr}} < 0 \rightarrow$  (đổi chiều),  $E_{\text{tr}}$  và  $I_{\text{tr}}$  ngược chiều nhau. Do chiều  $\Phi$  không đổi  $\rightarrow M_{\text{dt}}$  đổi dấu nghĩa là  $M_{\text{dt}}$  cùng chiều  $n$  ( $M_{\text{dt}}$  chuyển từ hãm thành quay). Máy chuyển từ chế độ máy phát sang chế độ động cơ.



**V.5.6. Ví dụ :****Ví dụ 1:**

Một máy phát điện một chiều lúc quay không tải ở tốc độ  $n = 1000$  vòng / phút thì sức điện động phát ra bằng  $E_0 = 222$  V. Hỏi lúc không tải muốn phát ra sức điện động định mức  $E_{0,đm} = 220$  V thì tốc độ  $n_{0,đm}$  phải bằng bao nhiêu khi giữ dòng kích từ không đổi ?

Giải

Giữ dòng điện kích từ không đổi nghĩa là từ thông không đổi

Ta có :

$$\frac{E_0}{E_{0,đm}} = \frac{C_E \phi n}{C_E \phi n_{0,đm}} = \frac{n}{n_{0,đm}}$$

Do đó khi  $E_{0,đm} = 220$ V ta được :

$$n_{0,đm} = n \frac{E_{0,đm}}{E_0} = 1000 \frac{220}{222} = 990 \text{ vòng / phút}$$

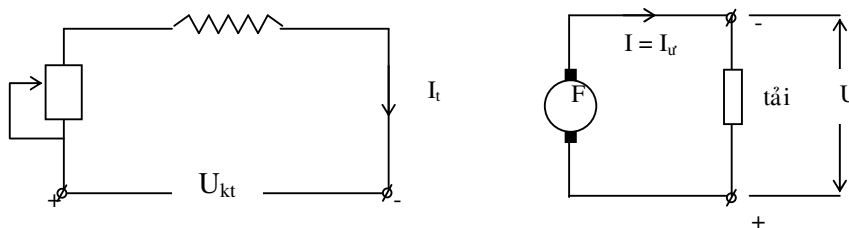
**Ví dụ 2:**

Một động cơ điện một chiều kích thích song song công suất định mức  $P_{đm} = 5,5$  kW,  $U_{đm} = 110$  V,  $I_{đm} = 58$  A ( tổng dòng điện đưa vào bao gồm dòng điện phần ứng  $I_a$  và kích từ  $I_t$  ),  $n_{đm} = 1470$  vòng/phút. Điện trở phần ứng  $R_a = 0,15$   $\Omega$ , điện trở mạch kích từ  $r_t = 137$   $\Omega$ , điện áp giáng trên chổi than  $2\Delta U_{lx} = 2$ V. Hỏi sức điện động phần ứng, dòng điện phần ứng và momen điện từ ?

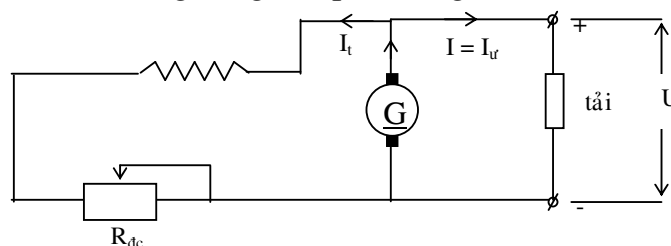
**V.6. Máy phát điện một chiều.( D.C Generator)**

Phân loại: theo cấu tạo máy phát điện một chiều có 4 loại chính.

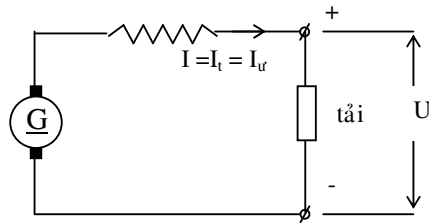
+ **Máy phát điện một chiều kích từ độc lập ( Separated Generator )**



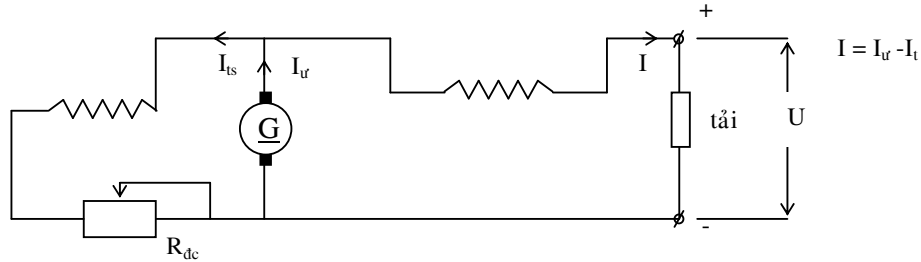
+ **Máy phát điện một chiều kích từ song song: ( Shunt Generator)** cuộn dây kích từ đấu song song với phần ứng



+ **Kích từ nối tiếp: (Series Generator)** cuộn dây kích từ nối nối tiếp phần ứng.



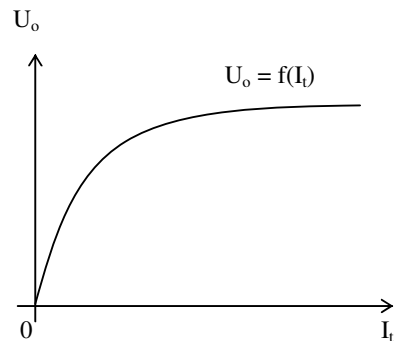
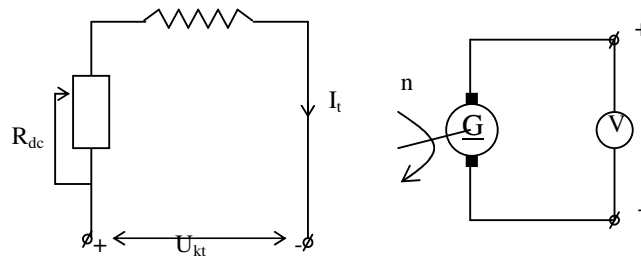
+ **Kích từ hỗn hợp: (Compound Generator)**



Các đại lượng đặc trưng khi máy làm việc : 4 đại lượng:  $U, I_u, I_t, n$   
 tốc độ  $n$  luôn giữ không đổi ( $n = \text{const}$ )

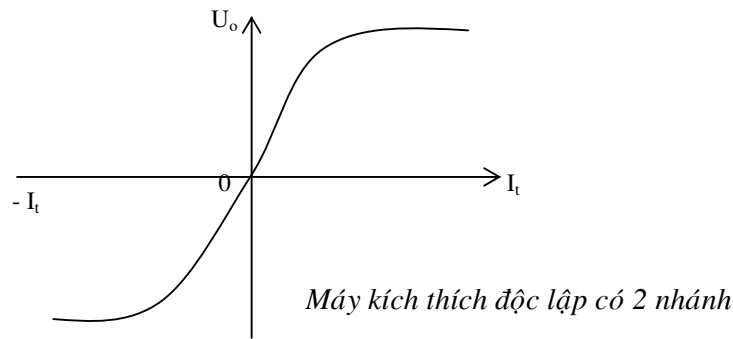
**V.6.1. Đặc tính không tải:  $U_0 = f(I_t) = E_u ; I = 0 ; n = \text{const.}$**

Là đặc tính biểu thị mối quan hệ giữa điện áp không tải và dòng kích từ khi dòng tải bằng 0 và tốc độ không đổi.



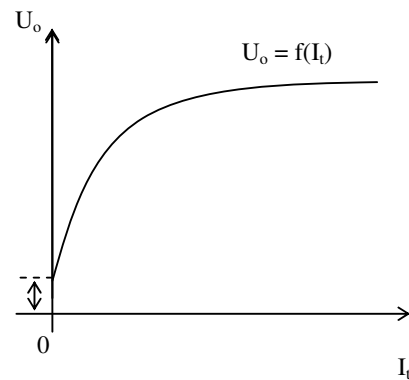
$I_t$ (A)	0	→	$I_{t0}$
$U_0$ (V)	0	→	$U_0$

(bỏ qua từ dư)

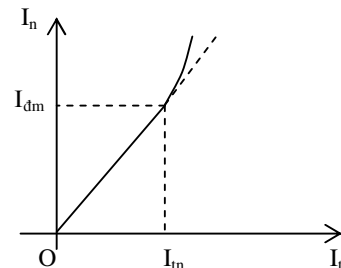
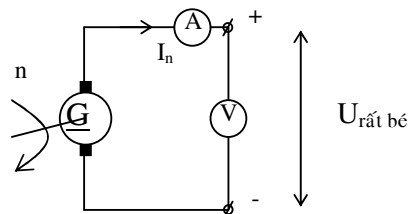
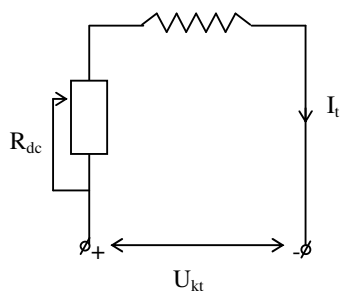


- Khi không bỏ qua từ dư:

Đầu tiên quay rotor máy phát tới tốc độ định mức, do các cực từ có từ dư nên ngay khi dòng điện kích từ  $I_t$  còn bằng 0 trong dây quấn phần ứng đã cảm ứng sức điện động, điện áp trên 2 cực của máy phát lúc này bằng  $(2 \div 3)\% U_{dm}$  sau đó tăng dần dòng kích từ ( $\uparrow I_t \rightarrow \downarrow R_{dc}$ ), điện áp ở 2 cực máy phát sẽ tăng dần theo đường đặc tính không tải. Lúc đầu khi mới tăng  $I_t$ ,  $U_0$  tăng một cách tỉ lệ, sau đó tăng chậm dần do mạch từ bắt đầu bão hòa, đến giai đoạn mạch từ bão hòa dù tăng  $I_t$ ,  $U_0$  cũng không tăng. Đường đặc tính không tải có dạng như đường cong từ hóa của mạch từ.



**V.6.2. Đặc tính ngắn mạch:  $I_n = f(I_t)$  khi  $U = 0$ ,  $n = const.$**



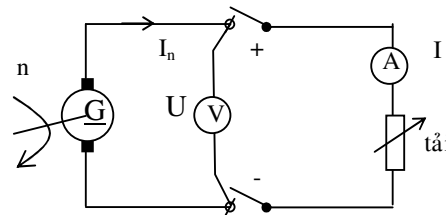
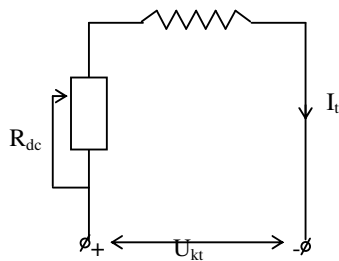
$I_t$ (A)	0	$\longrightarrow$	$I_{tn}$
$I_n$ (A)	0	$\longrightarrow$	$I_{dnm}$

$$U = E_u - I_u R_u$$

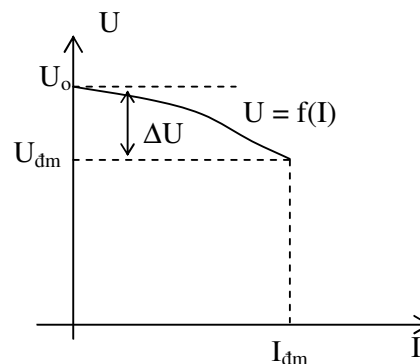
$$0 = E_u - I_u R_u \rightarrow E_u = I_u R_u$$

**V.6.3. Đặc tính của máy phát điện một chiều kích từ độc lập:**

a) **Đặc tính ngoài ( đặc tính tải ) :  $U = f ( I )$      $I_t = \text{const}$  ;  $n = \text{const}$**



$I_t$ (A)	$I_{dm}$ →	0
$U$ (V)	$U_{dm}$ →	$U_o$



Đặc tính ngoài là đặc tính phụ thuộc giữa điện áp trên cực máy phát với dòng tải khi  $I_t = \text{hằng số}$ ,  $n = \text{hằng số}$ .

Để dựng đặc tính này, người ta quay rotor máy phát đến tốc độ định mức, tăng dòng tải đến  $I_{dm}$  ứng với  $U_{dm}$ . Tiếp đó giảm phụ tải từ từ cho đến  $I = 0$  và ghi các số liệu cần thiết. Trong quá trình đó giữ  $I_{kt}$  không đổi và  $n$  không đổi.

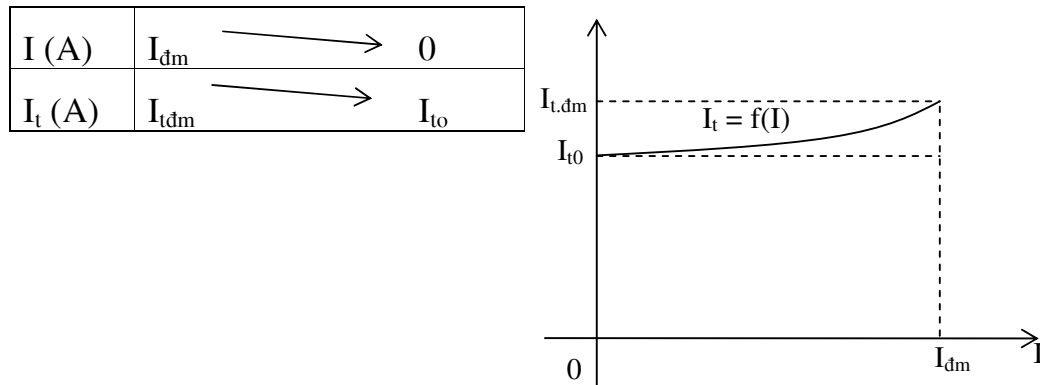
Ta thấy, khi  $I$  tăng, điện áp rơi trên dây quấn phần ứng tăng ( $I_r R_r$ ), mặt khác do tác dụng khử từ của phản ứng phần ứng nên sức điện động  $E$  giảm. Kết quả là điện áp  $U$  máy phát điện giảm xuống.

Độ biến đổi điện áp định mức là hiệu số điện áp lúc không tải ( $I = 0$ ) và lúc tải định mức ( $I = I_{dm}$ ) với điều kiện dòng điện kích từ bằng dòng điện kích từ định mức.

$$\Delta U_{dm} \% = \frac{U_o - U_{dm}}{U_{dm}} \cdot 100 \quad (\text{khi mang tải } U \downarrow (5 \div 15)\% U_{dm} \text{ so với lúc không tải})$$

Đối với máy phát một chiều kích độc lập  $\Delta U_{dm} = (5 \div 15)\%$

b) **Đặc tính điều chỉnh:**  $I_t = f(I)$  khi  $U = \text{const}$ ,  $n = \text{const}$



Quan hệ giữa dòng kích từ và dòng tải khi điện áp ở đầu cực máy phát bằng điện áp định mức và tốc độ quay của rotor không đổi gọi là đặc tính điều chỉnh.

Đường đặc tính cho thấy: để giữ cho điện áp ở đầu cực máy phát không đổi khi phụ tải tăng cần phải tăng dòng kích từ để tăng sức điện động cảm ứng bù vào sự suy giảm do điện áp rơi trên dây quấn phần ứng ( $I_{\text{ư}}$ ,  $R_{\text{ư}}$ ) và tác dụng của phản ứng phần ứng. Nghĩa là  $I \uparrow \rightarrow U \downarrow$  muốn  $U = \text{const} \rightarrow \uparrow I_t$ .

Từ lúc không tải đến lúc tải định mức, thường phải tăng dòng kích từ lên  $(15 \div 25)\% I_{t0}$ .

Máy phát điện một chiều kích từ độc lập được dùng nhiều trong trường hợp cần phạm vi điều chỉnh điện áp trên đầu cực máy phát rộng.

**V.6.4. Máy phát điện một chiều tự kích thích:** bao gồm kích từ **song song**, kích từ **nối tiếp**, kích từ **hỗn hợp**:

a) **Điều kiện để tự kích từ:**

- Máy phải có từ dư ( $\Phi_{\text{dư}}$ ), nếu máy mới sử dụng lần đầu hoặc mất từ dư thì phải dùng nguồn ngoài (acquy, ...) để kích từ lại.
- Mạch kích từ phải nối đúng chiều, dòng kích từ phải tạo ra từ trường cùng chiều với từ dư, nếu ngược chiều sẽ khử mất từ dư và máy phát không thành lập được điện áp.
- Điện trở mạch kích từ không quá lớn để sự gia tăng của dòng kích ở mức độ có thể xảy ra quá trình tự kích.

b) **Quá trình thành lập điện áp:**

➤ **Máy phát kích từ song song :** quay rotor máy phát tới tốc độ định mức, do cực từ có từ dư nên trong dây quấn phần ứng sẽ cảm ứng một sức điện động nhỏ gọi là  $E_{đư} = (2 \div 3)\% U_{đm}$  ;  $E_{đư}$  dư tạo ra dòng điện nhỏ chạy trong dây quấn kích từ. Dòng điện này sẽ sinh ra từ trường, nếu giữa dây quấn kích từ và dây quấn phần ứng được nối đúng thì từ trường này sẽ cùng chiều với từ dư, từ trường tổng trong máy sẽ tăng lên làm cho sức điện động cảm ứng tăng. Khi sức điện động tăng, dòng điện do nó sinh ra chạy trong dây quấn kích từ lại tăng và từ trường trong máy lại tăng, kết quả là sức điện động cảm ứng ở đầu cực máy phát lại tăng lên. Quá trình cứ thế tiếp diễn, sức điện động ở đầu cực máy phát tăng theo đường đặc tính không tải có dạng như đường cong từ hóa của mạch từ.

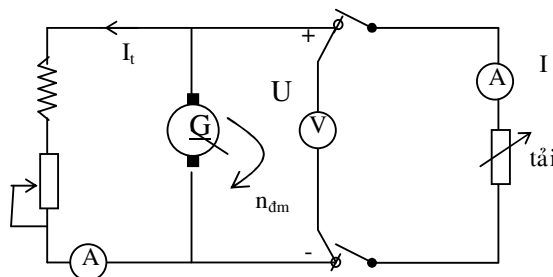
➤ **Máy phát một chiều kích từ nối tiếp:** vì dây quấn kích từ được nối tiếp với tải ( $I_t = I_r = I$ ) nên ngoài các điều kiện về tự kích nói trên, để thành lập được điện áp, mạch ngoài của máy phát một chiều kích từ nối tiếp phải khép mạch qua một điện trở.

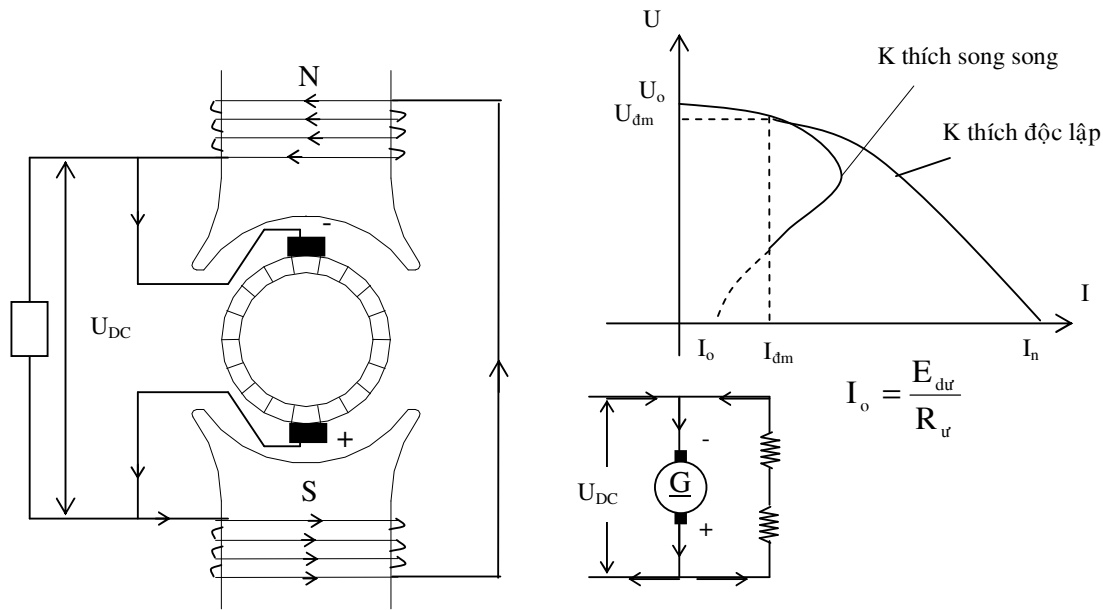
➤ **Máy phát một chiều kích từ hỗn hợp:** khi mở máy cuộn kích từ nối tiếp chưa có tác dụng vì dòng điện  $I = I_t = 0$ . Quá trình thành lập điện áp xảy ra như ở máy phát kích từ song song. Khi máy mang tải, dòng tải chạy qua dây quấn kích từ tạo nên từ trường phụ, tùy theo cách đấu cuộn kích từ nối tiếp mà từ trường phụ có tác dụng trợ từ hoặc khử từ ảnh hưởng đến đặc tính làm việc của máy.

### **V.6.5. Đặc tính của máy phát một chiều kích thích song song:**

a) **Đặc tính ngoài:  $U = f(I)$  khi  $R_t = \text{const}$  ;  $n = \text{const}$ .**

I (A)	$I_{đm}$ →	0
U (V)	$U_{đm}$ →	$U_o$

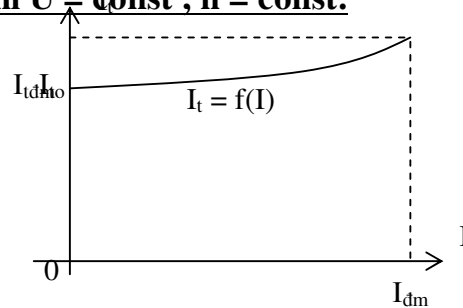




Khi dòng điện tải tăng, điện áp giảm nhiều so hơn với kích từ độc lập vì ngoài ảnh hưởng của phản ứng phần ứng và điện áp rơi trên dây quấn phần ứng, sức điện động còn giảm vì khi điện áp ở đầu cực máy phát giảm dòng kích từ sẽ giảm theo. Ngoài ra, nếu tiếp tục tăng tải thì dòng điện tải không tăng mà giảm nhanh đến một trị số  $I_0$  thường nhỏ hơn  $I_{dm}$ , sở dĩ như vậy là do khi  $I_t$  giảm, máy sẽ làm việc ở tình trạng không bão hòa tương ứng với đoạn rất dốc trên đường đặc tính không tải nên khi  $I_t$  giảm một lượng nhỏ, điện áp giảm khá nhiều. Chính vì thế sự cố ngắn mạch ở đầu cực máy phát kích từ song song không gây nguy hiểm như ở máy phát kích từ độc lập.

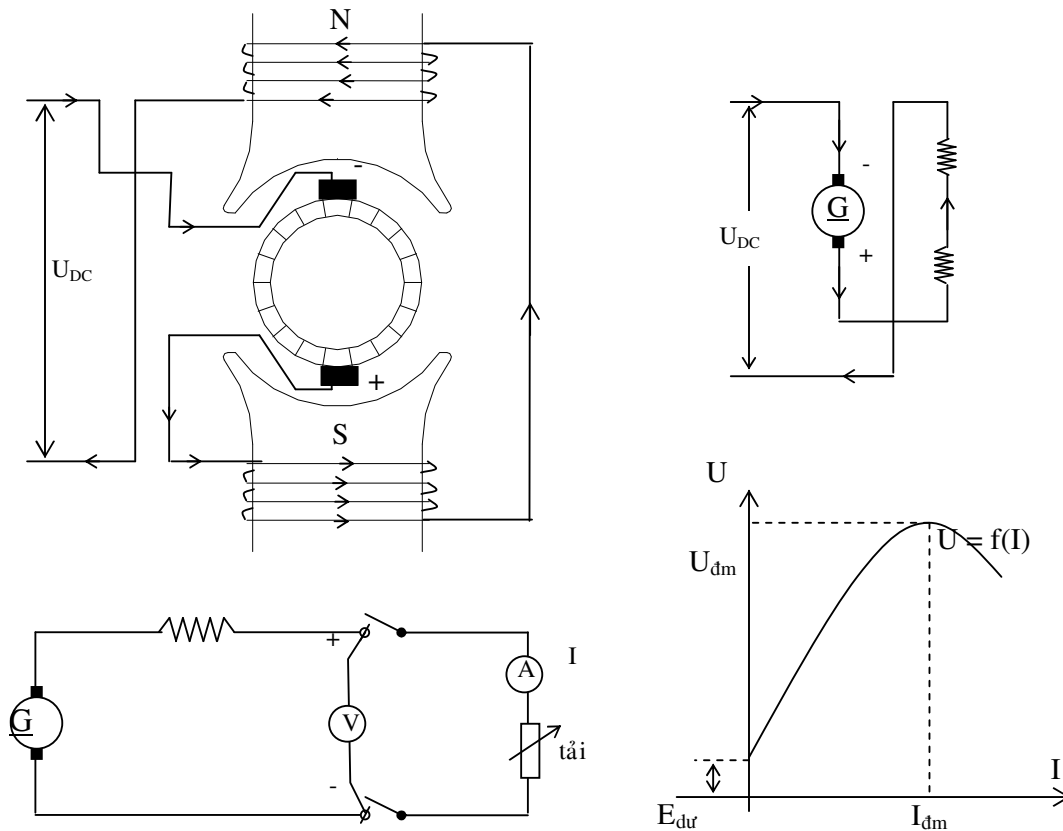
**b) Đặc tính điều chỉnh:  $I_t = f(I)$  khi  $U = const, n = const.$**

$I$ (A)	$I_{dm}$	$\rightarrow$	0
$I_t$ (A)	$I_{tdm}$	$\rightarrow$	$I_{t0}$



Giống như đặc tính điều chỉnh của máy phát kích từ không độc lập. Ở máy phát kích thích song song khi tăng tải, điện áp sụt nhiều hơn nên mức độ tăng dòng điện kích thích phải nhiều hơn, do đó đặc tính điều chỉnh sẽ dốc hơn.

**II.6.6. Đặc tính của máy phát một chiều kích thích nối tiếp:**



**Đặc tính ngoài:**

$$U = f(I) \text{ khi } n \approx \text{const}$$

I (A)	0	$I_{dm}$
U (V)	$E_{dư}$	$U_{dm}$

*Đặc tính ngoài máy phát kích thích nối tiếp.*

Dây quấn kích thích được nối tiếp với dây quấn phần ứng, vì vậy số vòng dây của dây quấn kích thích kích từ nối tiếp ít hơn nhiều so với số vòng dây của dây quấn kích thích kích từ song song nhưng ngược chiều lại tiết diện của dây lớn hơn một cách tương ứng.

Máy chỉ được kích thích khi có tải

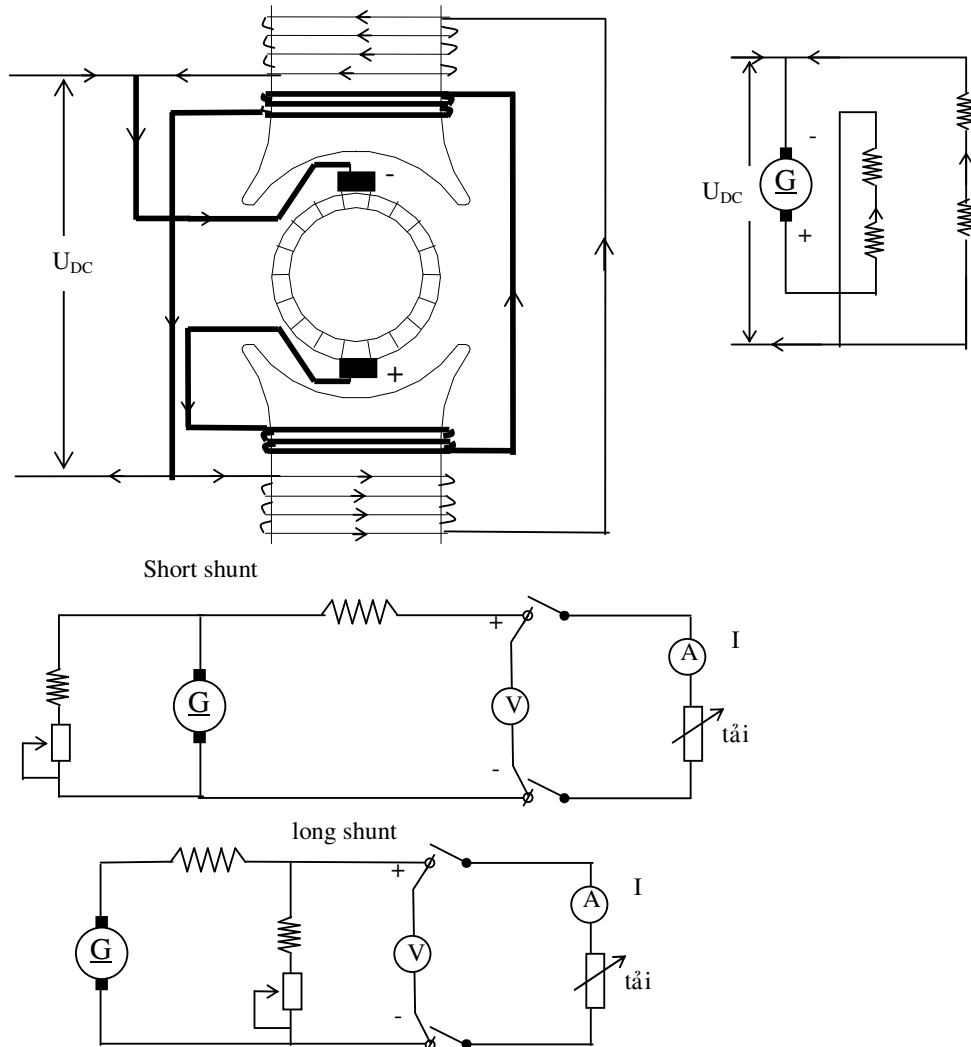
Vì  $I_t = I_r = I$  nên khi  $n = \text{const}$  chỉ còn hai đại lượng biến đổi là  $U$  và  $I$ , do đó máy phát điện này chỉ có một đặc tính ngoài  $U = f(I)$ .

Đường đặc tính này cho thấy: đầu tiên khi tải tăng do  $I_t = I$  nên điện áp ở đầu cực máy phát cũng tăng tỉ lệ, nhưng khi mạch từ bão hòa dù tăng dòng điện tải (tức  $\uparrow I_t$ ) thì điện áp không tăng mà lại giảm do điện áp rơi trên dây quấn phần ứng tăng và phản ứng phần ứng tăng



Từ đường đặc tính cho thấy điện áp phụ thuộc rất nhiều dòng tải vì thế máy phát kích từ nối tiếp ít được sử dụng.

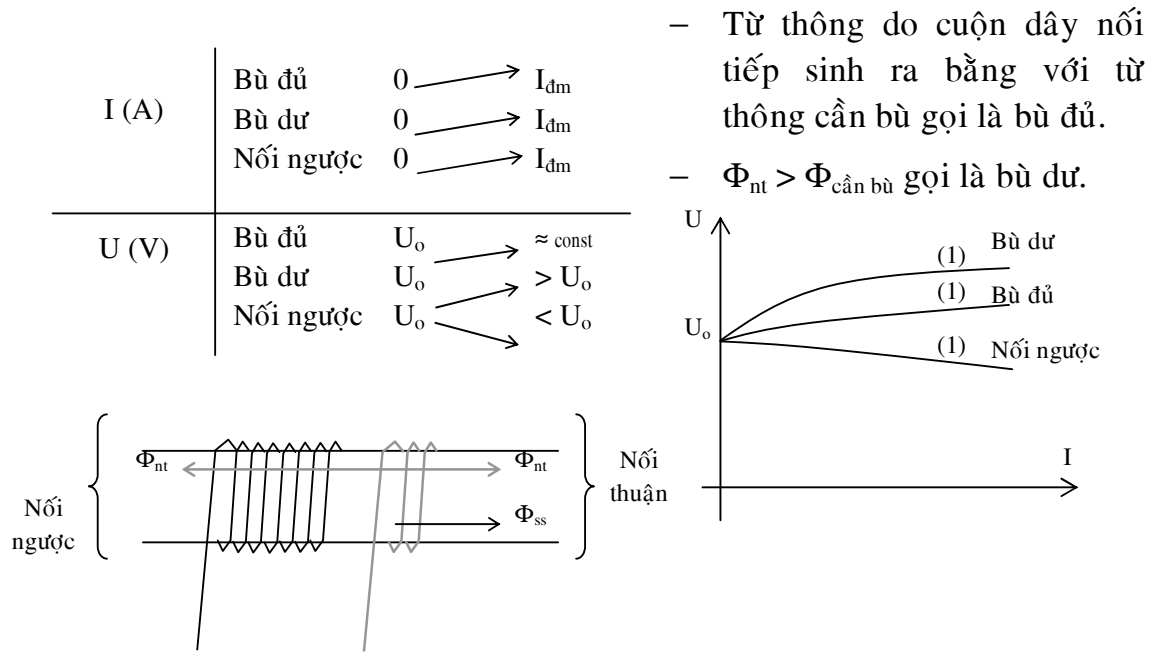
### II.6.7. Đặc tính của máy phát một chiều kích thích hỗn hợp:



Máy phát kích từ hỗn hợp có đồng thời hai dây quấn: song song và nối tiếp. Tùy theo cách nối, sức điện động của hai dây quấn kích thích có thể cùng chiều hoặc ngược chiều.

Khi nối thuận hai dây quấn kích thích, dây quấn song song đóng vai trò chính còn dây quấn nối tiếp đóng vai trò bù lại tác dụng của phản ứng phần ứng và điện áp rơi trên  $R_{\text{r}}$ , nhờ đó mà máy có khả năng điều chỉnh tự động được điện áp trong một phạm vi tải nhất định.

**a) Đặc tính ngoài:  $U = f(I)$  khi  $I_t = \text{const}$ ,  $n = \text{const}$**



– Từ thông do cuộn dây nối tiếp sinh ra bằng với từ thông cần bù gọi là bù đủ.

–  $\Phi_{nt} > \Phi_{cần bù}$  gọi là bù dư.

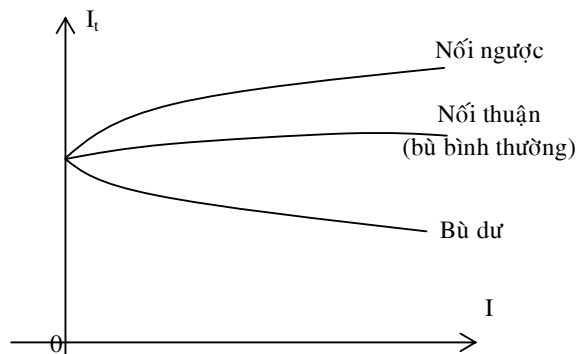
Khi nối thuận, điện áp đầu cực được giữ hầu như không đổi.

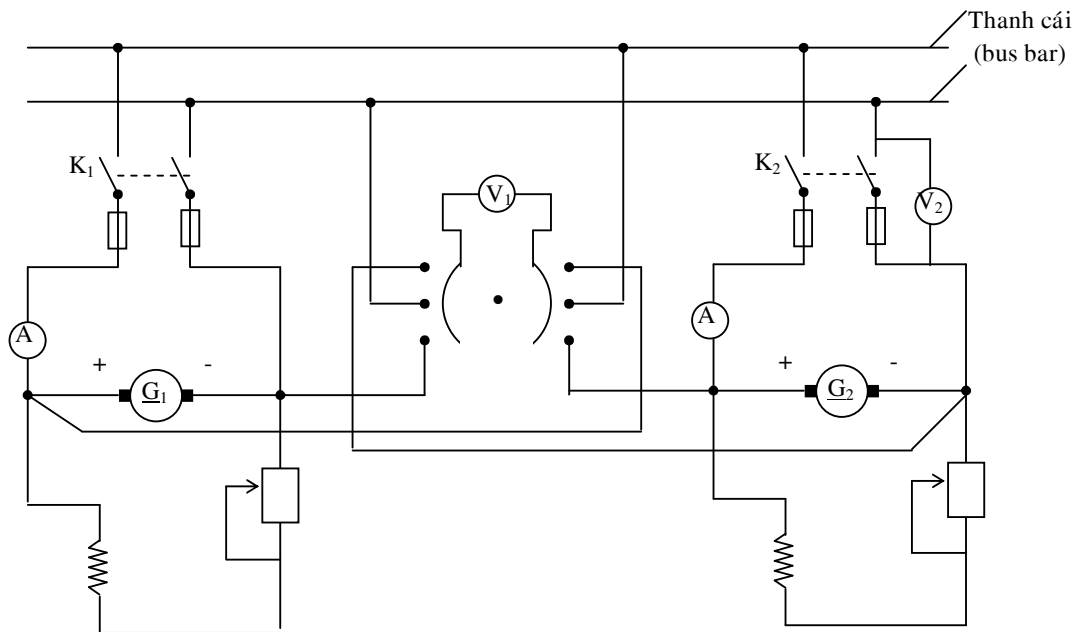
Bù thừa, điện áp tăng khi tải tăng.

Khi nối ngược, dòng tải tăng, từ trường phụ thuộc làm giảm từ trường kích từ nên điện áp đầu cực máy phát giảm rất nhanh. Do đó, máy phát kích từ hỗn hợp được sử dụng trong những trường hợp máy phải làm việc ở điều kiện bị ngắn mạch thường xuyên như máy hàn hồ quang.

**b) Đặc tính điều chỉnh:**

$$I_t = f(I)$$



**V.6.8. Máy phát điện một chiều làm việc song song:****Điều kiện làm việc song song:**

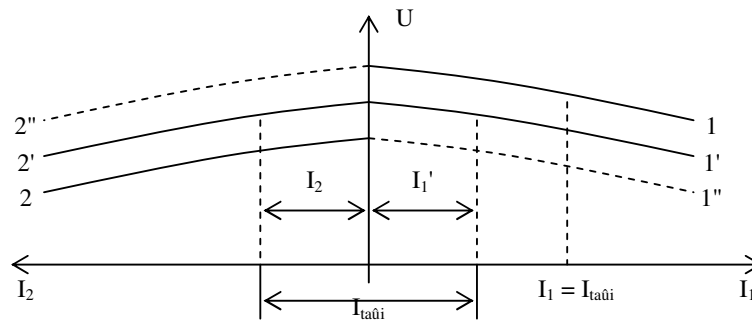
Giả sử  $\underline{G}_1$  đang làm việc với thanh cái có điện áp  $U$ . Muốn ghép  $\underline{G}_2$  vào làm việc song song  $\underline{G}_1$  thì phải thỏa:

- + Cực tính của  $\underline{G}_2$  cùng cực tính  $\underline{G}_1$  (nối đúng cực vào thanh góp).
- +  $E_{u2}$  thực tế phải bằng  $U$  (sức điện động của  $\underline{G}_2$  phải bằng điện áp  $U$  của thanh góp).

Quay  $\underline{G}_2$  với  $n_{dm}$ , khi chưa kích thích  $\underline{G}_2$  và giả sử  $E_{du2} = 0$  thì vôn kế  $V_2$  chỉ một giá trị  $U$  nào đó. Sau đó tăng dần  $I_{u2}$  (dòng kích từ của  $\underline{G}_2$ ), nếu cực tính  $\underline{G}_2$  cùng cực tính  $\underline{G}_1$  thì vôn kế  $V_2$  sẽ chỉ trị số giảm dần cho đến khi vôn kế  $V_2$  chỉ giá trị 0. Lúc đó  $E_{u2} = U \rightarrow$  đóng  $K_2$ , đưa  $\underline{G}_2$  làm việc song song  $\underline{G}_1$ .  $I_{u2} = \frac{E_{u2} - U}{R_{u2}} = 0$ , rất thuận lợi không gây tia lửa điện, nhưng  $\underline{G}_2$  chưa tham gia cấp

điện cho phụ tải ( $I_1 = I$ ;  $I_2 = 0$ ). Muốn cho  $\underline{G}_2$  nhận tải phải tăng  $E_2 > U$  ( $\uparrow I_{u2}$ ), vì dòng điện tổng  $I$  bên ngoài không đổi nên muốn giữ  $U$  của mạng điện không đổi thì cùng với việc  $\uparrow E_2$  phải đồng thời giảm  $E_1$  ( $\downarrow I_{u1}$ ) ( $1 \rightarrow 1'$ ;  $2 \rightarrow 2'$ )

Muốn cắt máy  $F_1$  thì  $\uparrow I_{t2}$ ,  $\downarrow I_{t1}$  sao cho  $I_1 = 0$ ,  $I_2 = I_{t\text{ải}}$   $\rightarrow$  ngắt  $K_1$



## V.7. Động cơ điện một chiều.( D.C Motor)

### II.7.1. Đại cương:

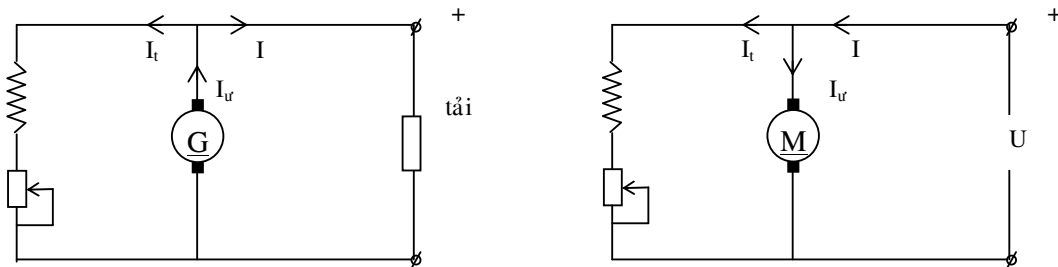
*Phân loại:* phân loại theo cách kích từ.

Động cơ một chiều kích thích độc lập.

Động cơ một chiều kích thích nối tiếp.

Động cơ một chiều kích thích song song.

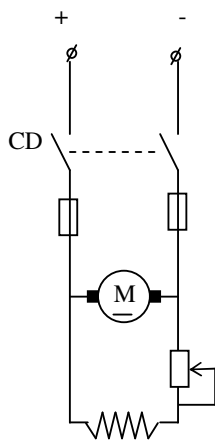
Động cơ một chiều kích thích hỗn hợp.



### V.7.2. Mở máy động cơ điện một chiều: $n = 0 \rightarrow n_{\text{đm}}$ .

#### Yêu cầu:

- Dòng điện mở máy phải được hạn chế đến mức thấp nhất.
- Moment mở máy phải đủ lớn.
- Thời gian mở máy ngắn.
- Thiết bị và phương pháp mở máy phải đơn giản và làm việc chắc chắn.

**a) Mở máy trực tiếp:**

Phương trình cân bằng sđđ động cơ một chiều:

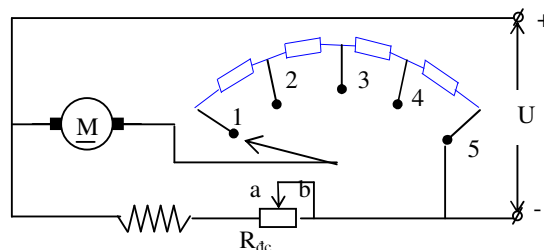
$$U = E_{\text{ư}} + I_{\text{ư}} R_{\text{ư}}$$

$$\Rightarrow I_{\text{ư}} = \frac{U - E_{\text{ư}}}{R_{\text{ư}}} \approx I_{\text{mm}}$$

Khi mở máy  $n = 0$ ,  $E_{\text{ư}} = 0 \rightarrow I_{\text{mm}} = \frac{U}{R_{\text{ư}}}$  rất lớn (ở những động cơ công suất lớn  $R_{\text{ư}}$  rất bé)  $\rightarrow$  xuất hiện các vòng lửa trên chổi than có thể làm hỏng cổ góp. Trường hợp mở máy trực tiếp này chỉ dùng cho loại máy có công suất bé (thường động cơ công suất bé khoảng vài trăm watt có  $R_{\text{ư}}$  tương đối lớn), do đó khi mở máy  $I_{\text{ư}} \leq (4 \div 6) I_{\text{dm}}$ .

**b) Mở máy bằng biến trở:**

Do dòng điện mở máy quá lớn, để tránh nguy hiểm cho động cơ, người ta dùng biến trở mở máy.



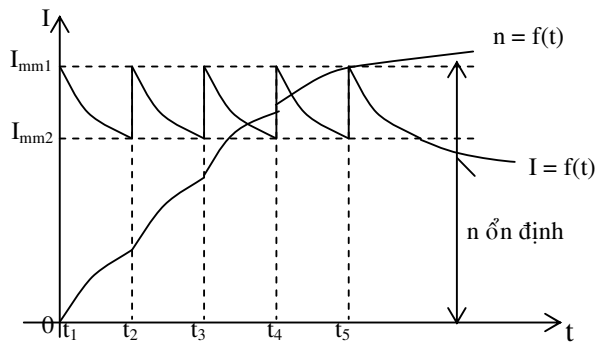
Khi bắt đầu mở máy, tay gạt đặt ở vị trí số 1, toàn bộ các điện trở phụ được nối tiếp với dây quấn phần ứng, đồng thời con chạy của biến trở mạch kích từ ở vị trí a ( $R_{\text{dc}} = 0$ ) nên dây quấn kích từ được nối trực tiếp với điện áp nguồn, từ trường kích từ đạt giá trị cực đại ( $\Phi = \Phi_{\text{max}}$ ). Tại thời điểm  $t_1$ , dòng đạt giá trị  $I_{\text{mm}1}$  là giới hạn trên. Khi  $n$  tăng, sđđ  $E_{\text{ư}} \uparrow$ , do sự xuất hiện và tăng lên của  $E \rightarrow I_{\text{mm}} \downarrow$ , khiến  $n$  tăng chậm hơn. Khi  $I_{\text{mm}}$  giảm đến trị số  $(1,1 \div 1,3) I_{\text{dm}}$  ta gạt đến vị trí 2. Ở vị trí này, 1 cặp điện trở bị loại bỏ nên  $I_{\text{mm}} \uparrow$  đến giới hạn trên của nó ( $I_{\text{mm}1}$ ) kéo theo moment,  $n$  và  $E_{\text{ư}}$  tăng. Sau đó  $I_{\text{mm}}$ ,  $M$  lại giảm theo qui luật trên. Lần lượt chuyển tay gạt đến vị trí 3, 4, 5. Tại vị trí 5 thì toàn bộ điện trở mở máy loại khỏi phần ứng và tốc độ động cơ đạt tốc độ ổn định.

$I_{\text{mm}2}$  phải tạo ra moment động lực dương.

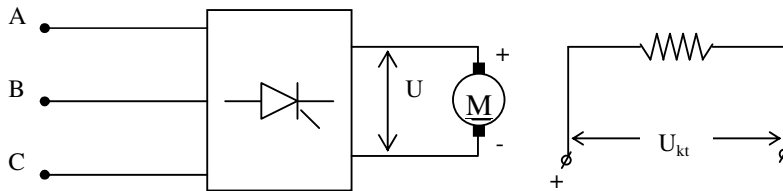
$$M_{dl} = J \cdot \frac{d\omega}{dt} = (M_D - M_C) > 0$$

$M_D$ : moment của động cơ

$M_C$ : moment cản



**c) Hạ điện áp đặt vào phần ứng:**



$$I_{mm} = \frac{U_1}{R_r}$$

với  $U_1 < U_{dm}$

Mạch kích từ phải được đặt dưới điện áp  $U = U_{dm}$  của một nguồn khác.

Nguồn cung cấp cho phần ứng có thể điều chỉnh được.

Momen mở máy phải đủ lớn

**V.7.3. Đảo chiều quay động cơ một chiều :**

Muốn đảo chiều quay động cơ điện một chiều, có thể đảo chiều dòng điện kích từ hoặc đảo chiều cực tính nguồn điện đưa vào phần ứng.

**V.7.4. Điều khiển tốc độ của động cơ điện một chiều:**

$$U = C_E \phi n + I_r R_r$$

$$n = \frac{U - I_r R_r}{C_E \phi}$$

Do đó : để điều khiển tốc độ động cơ điện một chiều ta có các phương pháp:

Điều khiển  $\Phi$

Điều khiển điện áp đặt vào phần ứng

Điều khiển  $R_r$

● **Điều khiển từ thông.**

Dòng kích từ hay từ thông của một động cơ kích từ song song hoặc động cơ kích từ hỗn hợp được thay đổi bằng cách mắc biến trở nối tiếp với cuộn dây kích từ song song. Tăng điện trở ở mạch kích từ làm giảm từ thông và do đó tăng tốc độ. Ngược lại, giảm điện trở mạch kích từ làm tăng tốc độ.

● **Điều khiển điện trở mạch phần ứng.**

Điện trở mạch phần ứng của động cơ được thay đổi bằng cách mắc nối tiếp một biến trở vào phần ứng. Khi điện trở nối tiếp tăng, điện áp qua phần ứng của động cơ giảm và tốc độ động cơ giảm. Ngược lại, tốc độ động cơ được tăng khi điện trở nối tiếp giảm. Phương pháp điều khiển tốc độ này thường được sử dụng cho động cơ kích từ nối tiếp.

● **Điều khiển điện áp.**

Tốc độ động cơ có thể được điều khiển bằng cách thay đổi điện áp đặt vào phần ứng

a) **Động cơ kích từ song song:**

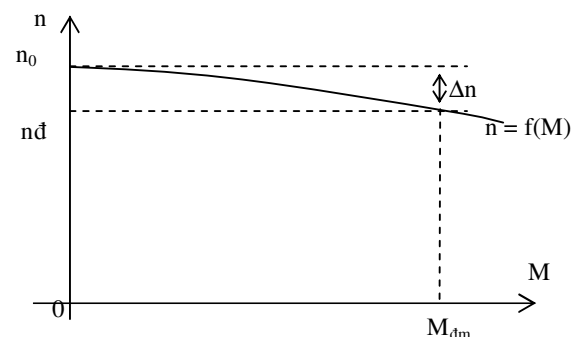
➤ **Đặc tính cơ và tốc độ tự nhiên:** (mạch phần ứng không có điện trở phụ)

$$n = \frac{U}{C_E \phi} - \frac{R_r M}{C_E C_M \phi^2}$$

$$U = \text{const}, I_t = \text{const}$$

$$n = n_0 - \frac{R_r M}{k}$$

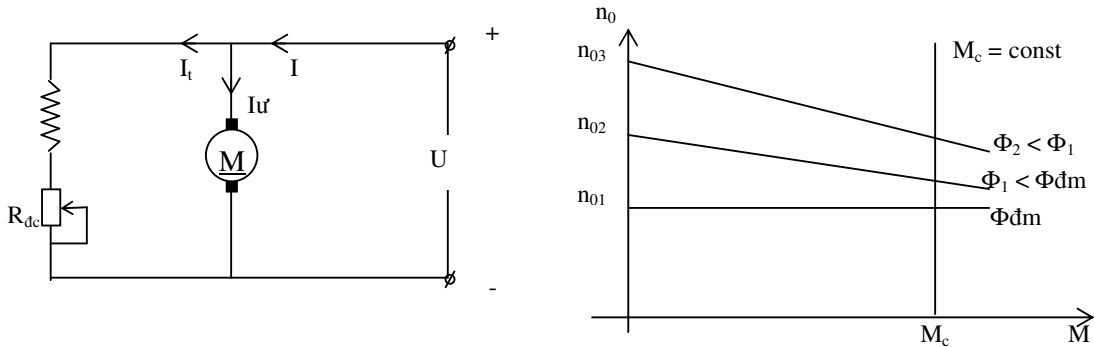
k: hằng số



Do  $R_r$  nhỏ nên khi tải thay đổi từ 0 → định mức tốc độ giảm rất ít → đặc tính cơ rất cứng → động cơ DC kích thích song song được dùng trong trường hợp tốc độ hầu như không đổi khi tải thay đổi (máy cắt kim loại, quạt...)

➤ Điều chỉnh tốc độ :

- Phương pháp thay đổi  $\Phi$  ( tốc độ lớn hơn tốc độ định mức )



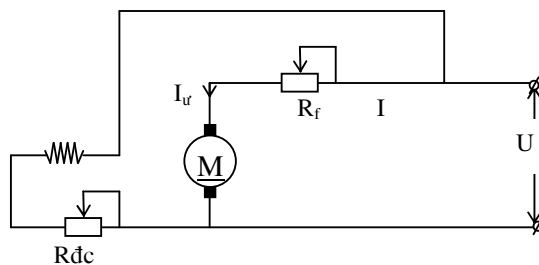
Thay đổi  $R_{dc}$  để thay đổi dòng kích thích dẫn đến thay đổi từ thông  $\Phi$ . Đây là phương pháp điều chỉnh rất kinh tế vì  $I_{kt}$  nhỏ, chỉ bằng  $(3 - 5)\% I_{đm}$  nên tổn hao trên  $R_{dc}$  rất nhỏ. Tốc độ quay của động cơ có thể điều chỉnh được bằng phẳng trong một phạm vi rộng.

Khi  $R_{dc} \uparrow \rightarrow I_{kt} \downarrow \rightarrow \Phi \downarrow \rightarrow E_u = C_u \cdot \Phi \cdot n \downarrow \rightarrow I_u = \frac{U - E_u}{R_u} \uparrow \rightarrow M \uparrow > M_{c\grave{a}n} \rightarrow n \uparrow \rightarrow E_u \uparrow \rightarrow I_u \downarrow$ . Quá trình tiếp diễn đến lúc động cơ làm việc ổn định. ( $M_{đt} = C_M \cdot \Phi \cdot I_u$ )

**Chú ý:** khi  $I_u \uparrow$  có thể xuất hiện tia lửa điện trên vành đổi chiều nên không được điều chỉnh  $n$  trong phạm vi quá lớn. Bình thường, động cơ làm việc ở chế độ định mức với kích thích tối đa ( $\Phi = \Phi_{max}$ ) nên chỉ có thể điều chỉnh theo chiều hướng giảm  $\Phi$ , tức là điều chỉnh tốc độ trong vùng trên tốc độ định mức và giới hạn điều chỉnh tốc độ bị hạn chế bởi các điều kiện cơ khí và đổi chiều của máy.

- Phương pháp thay đổi điện trở mạch phản ứng ( thấp hơn tốc độ định mức ) :

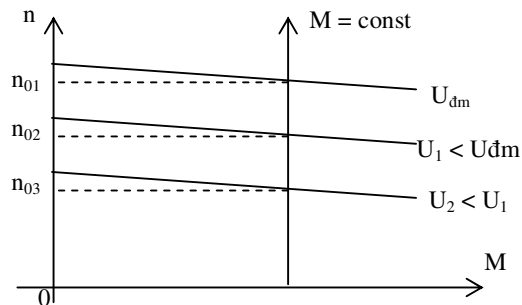
Mắc điện trở nối tiếp với mạch phản ứng. Dòng điện qua phản ứng bị giảm.





Phương pháp này chỉ cho phép điều chỉnh tốc độ quay trong vùng dưới tốc độ quay định mức và luôn kèm theo tổn hao năng lượng trên điện trở phụ, làm giảm hiệu suất của động cơ. Vì vậy phương pháp này chỉ áp dụng ở động cơ điện có công suất nhỏ.

- Phương pháp thay đổi điện áp:



Phương pháp này chỉ điều chỉnh tốc độ quay được tốc độ định mức vì không thể nâng cao điện áp hơn điện áp định mức của động cơ.

Khi  $U \downarrow$ ,  $n_0 \downarrow$  độ dốc phụ thuộc  $R_{\text{tr}}$ .

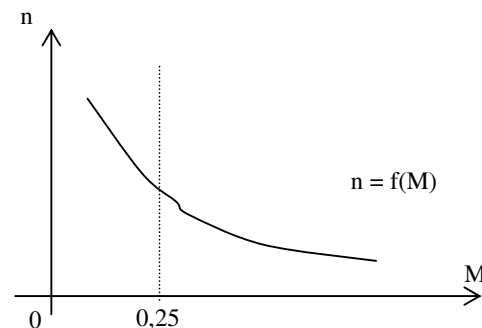
### b) Động cơ kích từ nối tiếp:

➤ Đặc tính cơ:

$$\phi = K_{\phi} \cdot I \quad (\text{do } I_t = I_r = I)$$

$$M = C_M \cdot \phi \cdot I = C_M \cdot \frac{\phi^2}{K_{\phi}} \rightarrow \phi = \sqrt{\frac{M \cdot K_{\phi}}{C_M}}$$

$$n = \frac{\sqrt{C_M} \cdot U}{\sqrt{K_{\phi}} \cdot M} - \frac{R_{\text{tr}}}{C_E \cdot K_{\phi}}$$



Moment mở máy rất lớn nên được sử dụng trong trường hợp cần mở máy có moment lớn.

Đặc tính cho thấy tốc độ quay giảm rất nhanh khi  $M \uparrow$ .

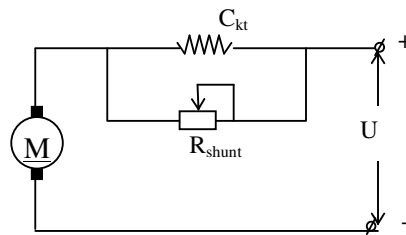
Khi không tải ( $I = 0$ ,  $M = 0$ ) tốc độ động cơ rất lớn  $\rightarrow$  không để DC nối tiếp làm việc không tải. Thông thường cho phép động cơ làm việc tối thiểu  $P_2 = (0,2 \div 0,25)P_{\text{dm}}$ .

**$\rightarrow$  động cơ kích từ nối tiếp rất ưu việt trong những nơi cần điều kiện mở máy nặng nề và cần tốc độ thay đổi trong vùng rộng.**

➤ Điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi từ thông  $\Phi$ :

Thay đổi  $\Phi$  bằng những phương pháp sau:

- Mắc song song dây quấn kích thích bằng một điện trở.
- Mắc shunt dây quấn phần ứng bằng một điện trở.
- Thay đổi điện áp.
- Mắc shunt dây quấn kích thích:  $\Phi \downarrow \rightarrow n \uparrow$ , điều chỉnh  $\Phi < \Phi_{đm}$  và tốc độ thay đổi trong vùng trên vùng định mức.

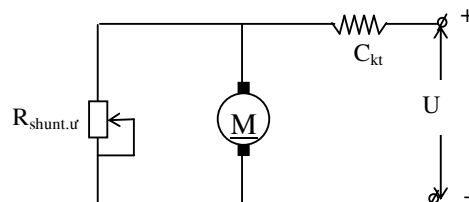


- Mắc điện trở song song phần ứng :

Điện trở  $\Sigma$  toàn mạch bé đi, dòng  $I = I_t$  và từ thông  $\Phi$  tăng lên, tốc độ quay giảm xuống.

Điều chỉnh tốc độ dưới tốc độ định mức.

$R_t$  rất bé nên  $R_{shunt.u}$  hầu như được đặt dưới toàn bộ điện áp của mạng nên tổn hao rất lớn và hiệu suất của động cơ giảm đi nhiều  $\rightarrow$  ít sử dụng.



- Thay đổi điện áp: điều chỉnh tốc độ dưới  $n_{đm}$  vì không cho phép tăng điện áp quá định mức nhưng lại giữ được hiệu suất cao do không gây thêm tổn hao khi điều chỉnh.

### **c) Động cơ một chiều kích từ hỗn hợp:**

Động cơ kích từ hỗn hợp kết hợp đặc tính vận hành của động cơ kích từ nối tiếp và đặc tính vận hành của động cơ kích từ song song. Nó có một tốc độ không tải xác định và có thể được vận hành một cách an toàn ở không tải. Khi tải được thêm vào, một lượng từ thông được tăng làm cho tốc độ giảm nhiều hơn so với động cơ kích từ song song. Do đó, sự điều chỉnh tốc độ của động cơ kích từ hỗn hợp thì kém hơn động cơ kích từ song song.

Momen của động cơ kích từ hỗn hợp lớn hơn momen của động cơ kích từ song song do từ thông của kích từ nối tiếp.

Động cơ kích từ hỗn hợp thường được sử dụng ở những nơi cần một tốc độ tương đối ổn định với tải không đều hoặc tải nặng được đặt vào bất thành hình như: các máy ép, máy cắt, các máy chuyển động qua lại thường được kéo bởi động cơ kích từ hỗn hợp.

## V.8. Sơ đồ dây quấn máy điện DC.

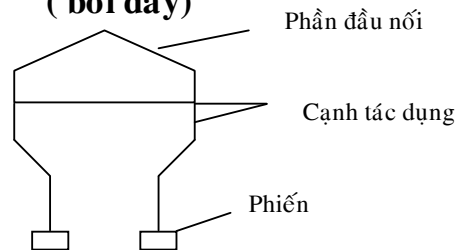
### V.8.1. Định nghĩa các đại lượng:

#### ❖ Phân loại:

- Dây quấn xếp: { dây quấn xếp đơn  
dây quấn xếp phức tạp
- Dây quấn sóng: { sóng đơn  
sóng phức tạp
- Dây quấn hỗn hợp

#### ❖ Phần tử:

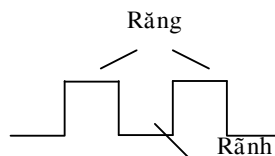
(bối dây)



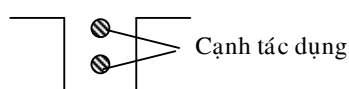
Phần tử có thể có một vòng dây hoặc có thể có nhiều vòng dây.

#### ❖ Rãnh thực – rãnh nguyên tố:

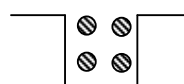
- **Rãnh thực:** là rãnh nằm giữa 2 răng kề nhau.



- **Rãnh nguyên tố:** là rãnh chứa 2 cạnh tác dụng.



$$u = 1$$



$$u = 2$$

1 rãnh nguyên tố

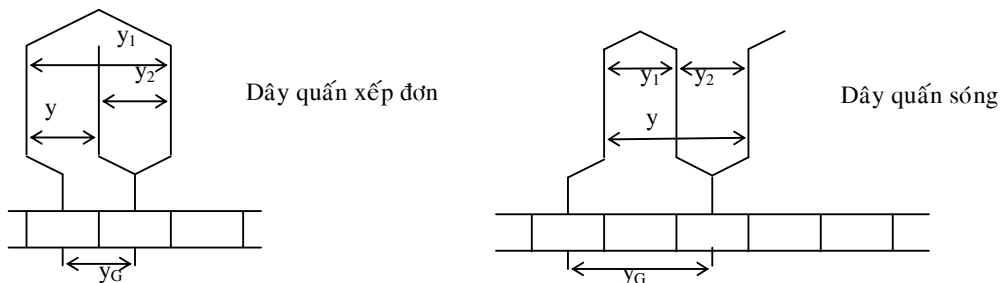
2 rãnh nguyên tố (có 4 cạnh tác dụng)

Gọi S là số phần tử

$$S = Z_{nt} = G \quad (Z_{nt} = u.Z \quad )$$

G: số phiến góp

## ❖ Các bước dây :



$y_1$  : bước dây thứ nhất: là khoảng cách giữa 2 cạnh tác dụng của một phần tử.

$y_2$  : bước dây thứ hai: là khoảng cách giữa các cạnh cuối của phần tử thứ nhất và cạnh đầu của phần tử thứ hai kế tiếp nó

$y$  : bước tổng hợp: là khoảng cách giữa 2 cạnh đầu của 2 phần tử kế tiếp nhau

$y_G$ : bước cổ góp: là khoảng cách giữa 2 cạnh tác dụng của một phần tử được tính bằng số phiến góp

$\{y_1, y_2, y$ : được tính bằng số rãnh nguyên tố.

$y_G$ : được tính bằng số phiến góp

$y = y_G$  ( cả 2 kiểu dây quấn)

**V.8.2. Dây quấn xếp đơn:****a) Tính toán :**

- Tính các bước dây:

$$y_1 = \frac{Z_{nt}}{2p} \pm \varepsilon = \text{số nguyên}$$

$Z_{nt}$ : số rãnh nguyên tố ( nhìn vào số phiến góp  $\rightarrow Z_{nt}$ )

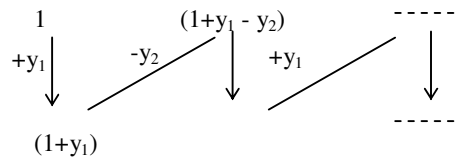
$y = y_G = 1$  (quấn phải  $\rightarrow$  thường dùng)  $y_G = -1$  (quấn trái)

$$y_2 = y_1 - y$$

- **Sơ đồ nối các phần tử:** qui tắc xác định số thứ tự rãnh: 0, âm, dương  $> Z_{nt}$ .

Cạnh nằm trên gọi là lớp trên

Cạnh nằm dưới gọi là lớp dưới



Trong quá trình lập sơ đồ, nếu số thứ tự rãnh tìm được là 0, số âm hay dương có giá trị tuyệt đối  $> Z_{nt}$  ta qui đổi ra giá trị thực sự của rãnh theo qui tắc:

- + Nếu số thứ tự là 0 hay âm :

*Số thứ tự rãnh tương đương* = số thứ tự hiện có +  $Z_{nt}$

- + Nếu số thứ tự là dương  $> Z_{nt}$  :

*Số thứ tự rãnh tương đương* = số thứ tự hiện có -  $Z_{nt}$

- Vẽ các đoạn thẳng song song đặc trưng cho số rãnh nguyên tố.
- Căn cứ vào sơ đồ nối các phần tử → xây dựng sơ đồ khai triển của dây quấn.
- Đặt các cực từ trên sơ đồ dây quấn và vẽ vị trí các chổi than ( bao nhiêu cực từ thì có bấy nhiêu chổi than)
- Đồ thị hình tia và đa giác sức điện động.
- Từ đó ta tìm các kết luận về bộ dây ( bộ dây có hoàn thành đúng, số mạch nhánh song song, số phiến góp, chổi than)

### b) Ví dụ:

Vẽ sơ đồ khai triển dây quấn xếp đơn của dây quấn máy điện một chiều có :  
 $Z_{nt} = S = G = 16 \quad 2p = 4$ .

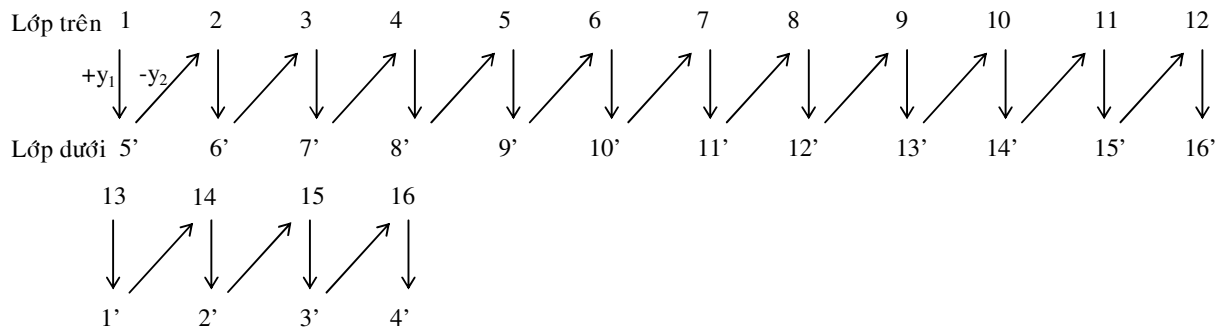
#### Giải

- Các bước dây:  $y_1 = \frac{Z_{nt}}{2p} = \frac{16}{4} = 4$

$$y = y_G = 1$$

$$y_2 = y_1 - y = 3$$

- Sơ đồ nối các phần tử :



**Số đôi mạch nhánh:**

Số đôi mạch nhánh ghép song song của dây quấn phần ứng bằng số cực từ

$$2a = 2p = \text{số đường chổi}$$

hay số đôi mạch nhánh bằng số đôi cực từ: **a = p**

**Đa giác sức điện động:**

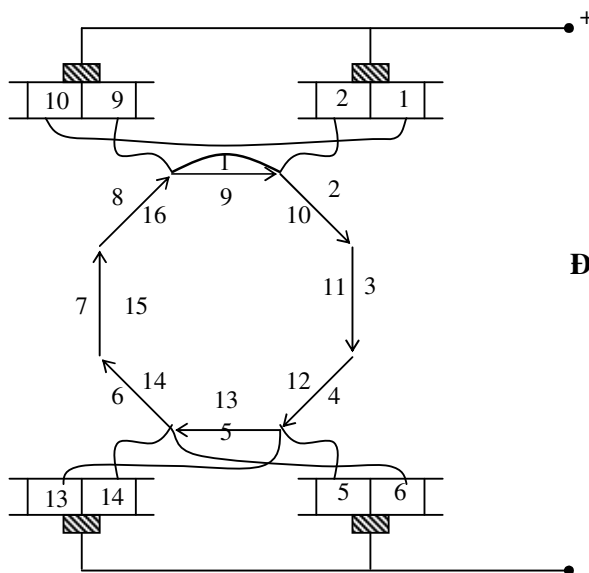
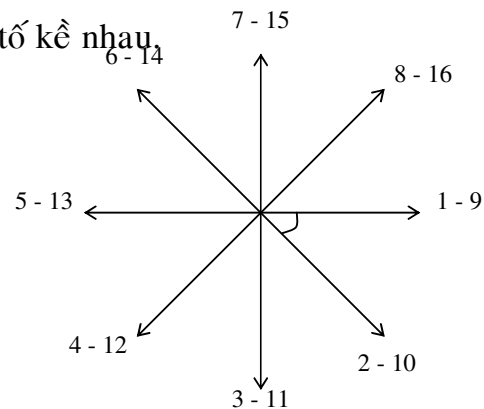
Gọi:  $\alpha_d$ : góc điện giữa 2 rãnh nguyên tố kề nhau.

$$\alpha_d = \frac{p \cdot 360^\circ}{Z_{nt}}$$

p: số đôi cực

Theo thí dụ trên:

$$\alpha = \frac{2 \cdot 360^\circ}{16} = 45^\circ$$



**Đa giác sdd của dây quấn xếp đơn.  
2 đa giác sdd trùng nhau.**

**V.8.3. Dây quấn xếp phức tạp :**• **Tính các bước dây :**

$m$  : bậc dây quấn

+ Thường  $m=2$  , công suất thật lớn  $m > 2$

+ Dây quấn xếp đôi :  $m = 2$

+ Dây quấn xếp ba :  $m = 3$

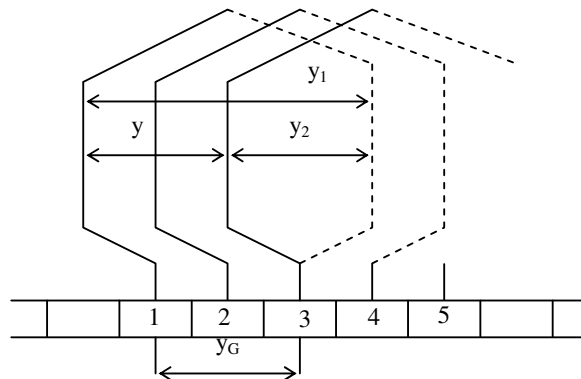
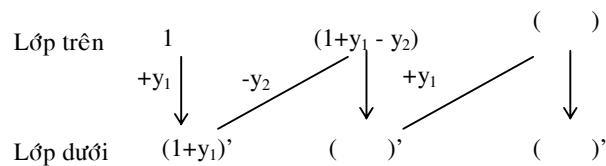
$y = y_G = m$  ;  $m = 2, 3...$

$$y_1 = \frac{Z_{nt}}{2p} \pm \varepsilon = \text{số nguyên}$$

$$y_2 = y_1 - y$$

+ Phần tử I nối với phần tử thứ III.

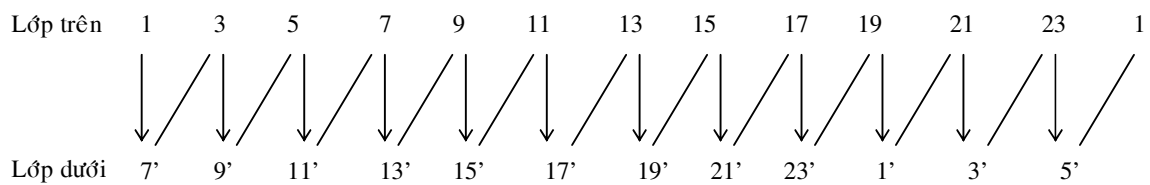
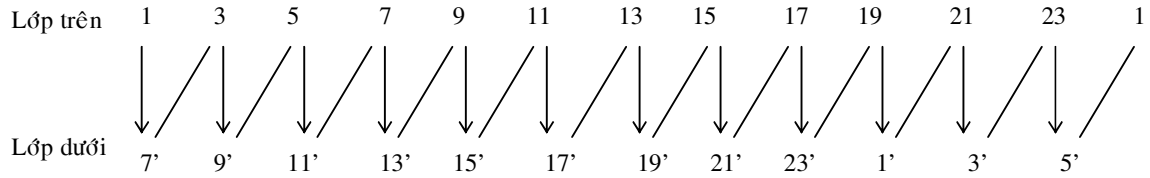
+ 2 dây quấn xếp xen kẽ nhau và nối song song nhau.

• **Sơ đồ nối các phần tử:**

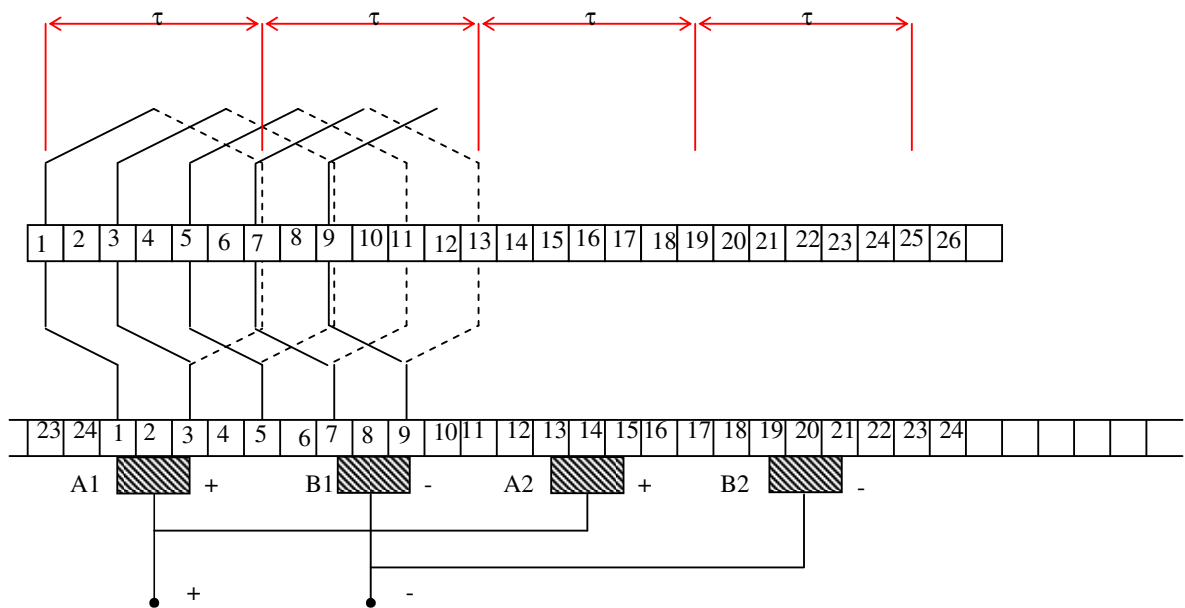
Sơ đồ khai triển

Ví dụ: vẽ sơ đồ khai triển của dây quấn xếp đôi có  $Z_{nt} = S = G = 24 ; 2p = 4$   
 Giải

Sơ đồ nối các phần tử:



- Ta có 2 mạch điện làm việc song song nhau thông qua các chổi than.
- Chiều rộng chổi than = m phiên góp ( để có thể lấy điện đồng thời ở hai dây quấn ra được)
- Vị trí chổi than ngay tại tâm các cực từ, đặt cực từ ngay tại tâm các bước cực.





- Số mạch nhánh song song:

$$2a = 2mp \quad m: \text{số bậc phức tạp}$$

- Đa giác sức điện động:

$$\alpha_{\text{điện}} = \frac{p.360}{Z_{nt}} = \frac{2.360}{24} = 30^\circ$$

**V.8.4. Dây quấn sóng đơn:**

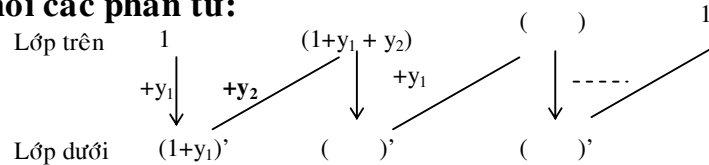
- Tính các bước dây :

$$y_1 = \frac{Z_{nt}}{2p} \pm \varepsilon = \text{số nguyên}$$

$$y = y_G = \frac{G \pm 1}{p} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{“ - “: sóng trái (đỡ tổn đồng) thường dùng} \\ \text{“ + “: sóng phải} \end{array} \right.$$

$$y_2 = y - y_1$$

- Sơ đồ nối các phần tử:



**Ví dụ:**

Vẽ sơ đồ khai triển dây quấn sóng đơn có:

$$Z_{nt} = S = G = 15 \quad 2p = 4$$

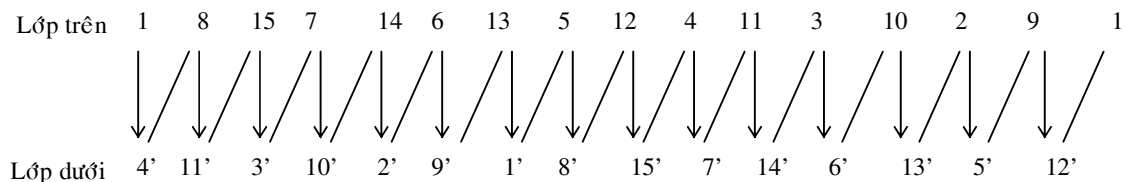
Giải

$$+ y_1 = \frac{Z_{nt}}{2p} \pm \varepsilon = \frac{15}{4} - \frac{3}{4} = 3 \quad (\text{chọn bước ngắn})$$

$$y = y_G = \frac{G \pm 1}{p} = \frac{15-1}{2} = 7$$

$$y_2 = y - y_1 = 4$$

- + Sơ đồ nối các phần tử :



- Số mạch nhánh song song:

$$2a = 2$$

**V.8.5. Dây quấn sóng phức tạp:**

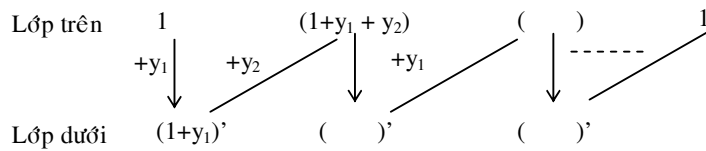
- **Tính các bước dây :**

$$y = y_G = \frac{G \pm m}{p}$$

$$y_1 = \frac{Z_{nt}}{2p} \pm \varepsilon = \text{số nguyên}$$

$$y_2 = y - y_1$$

- **Sơ đồ nối các phần tử:**



**Ví dụ:**

Vẽ sơ đồ khai triển dây quấn sóng đôi, quấn trái của phần ứng:

$$Z_{nt} = S = G = 18 \qquad 2p = 4$$

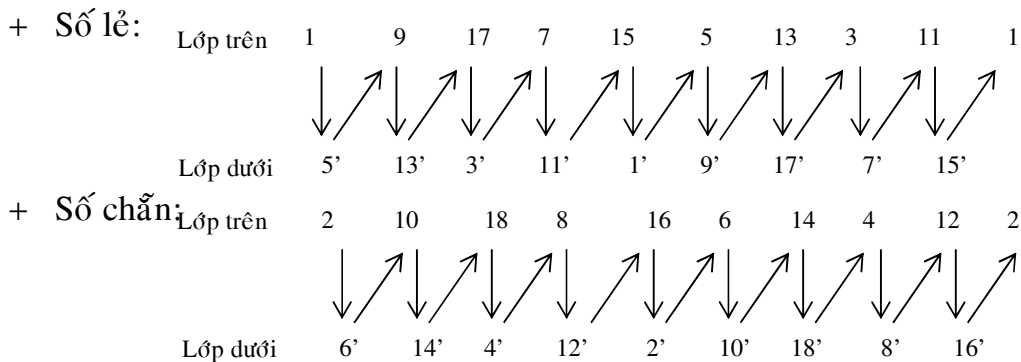
Giải

$$y = y_G = \frac{G - 2}{p} = 8$$

$$y_1 = \frac{Z_{nt}}{2p} \pm \varepsilon = \frac{18}{4} - \frac{1}{2} = 4$$

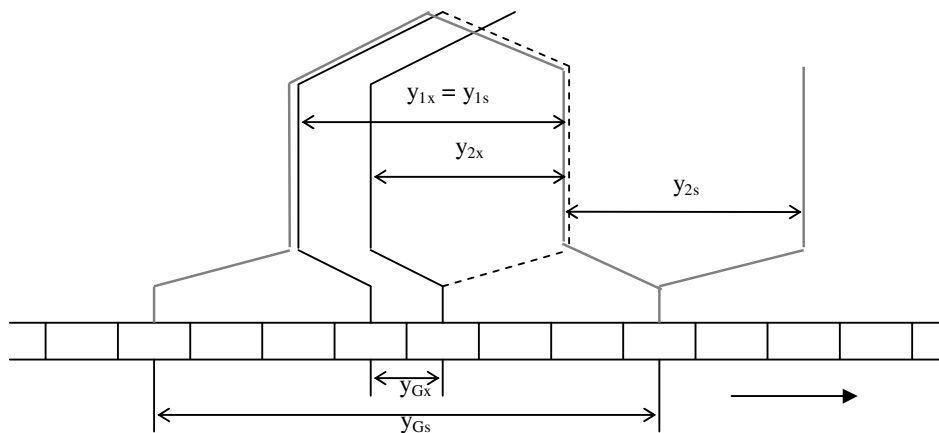
$$y_2 = y - y_1 = 4$$

Sơ đồ nối các phần tử :



- **Số mạch nhánh song song:**

$$2a = 2m$$

**V.8.6. Dây quấn hỗn hợp:**

Điều kiện của dây quấn hỗn hợp:

$$y_{1x} = y_{1s}$$

$$y_{2x} = y_{2s}$$

$$2a_x = 2a_s$$

$$2m_x p = 2m_s$$

$$m_x p = m_s$$

Nếu xếp đơn :  $m_x = 1$  thì  $m_s \in p$

Khi  $p = 1$  xếp đơn - sóng đơn

$p = 2$  xếp đơn - sóng đôi

$p = 3$  xếp đơn - sóng ba

**Ví dụ:** vẽ sơ đồ khai triển dây quấn hỗn hợp có:

$$Z_{nt} = S = G = 24 \quad 2p = 6$$

Giải

Xếp đơn sóng 3

$$+ \quad y_{1x} = \frac{Z_{nt}}{2p} = \frac{24}{6}$$

$$y_x = y_{Gx} = 1$$

$$y_{2x} = y_{1x} - y_x = 3$$

$$+ \quad \text{sóng ba: } y_{1s} = 4 = y_{1x}$$

$$y_s = y_{Gs} = \frac{G-3}{p} = \frac{24-3}{3} = 7$$

$$y_{2s} = y_s - y_{1s} = 3 = y_{2x} \rightarrow \text{Sơ đồ nối các phần tử}$$

### **V.8.7. Dây cân bằng điện thế:**

Trong tất cả các loại dây quấn, trừ dây quấn hỗn hợp, khi  $a \neq 1$  đều phải đặt dây cân bằng điện thế để làm cho điều kiện đối chiều được tốt hơn.

Có hai loại dây cân bằng điện thế. Dây cân bằng điện thế loại một dùng để triệt tiêu sự không đối xứng của hệ thống mạch từ trong máy điện và thường dùng trong dây quấn xếp; loại hai dùng để triệt tiêu sự không đối xứng của sự phân bố điện áp trên cổ góp.

Dây cân bằng điện thế nối liền các điểm của dây quấn về lý thuyết là đẳng thế. Các điểm đẳng thế được xác định nhờ các đa giác sức điện động của dây quấn.

Số dây cân bằng điện thế đặt càng nhiều càng tốt, nhưng để giảm giá thành chế tạo, thường không đặt toàn bộ số dây cân bằng điện thế. Trong máy điện 4 cực công suất lớn, thường đặt 3 đến 4 dây cân bằng điện thế. Trong máy điện công suất vừa và lớn ( $P_{dm} > 100\text{kW}$ ), số dây cân bằng điện thế bằng 20-30% tổng số các phần tử của dây quấn phần ứng. Chỉ trong những máy rất lớn và quan trọng như động cơ điện dùng trong cán thép máy phát điện kích từ trong máy phát điện tua bin hơi... mới dùng toàn bộ dây cân bằng điện thế.

Tiết diện dây cân bằng điện thế chỉ lấy bằng  $\frac{1}{4}$  đến  $\frac{1}{2}$  tiết diện dây quấn phần ứng.

# PHẦN MỞ ĐẦU

## §1. CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN

- Máy: Vật chế tạo từ nhiều bộ phận phức tạp dùng thực hiện chính xác công việc chuyên môn nào đó.
- Máy điện : Máy điện tử : cơ điện, điện cơ, AC  
Máy quay : Máy điện xoay chiều  
Máy điện một chiều

$U_{\sim 1} \sim 2$  có  $f = \text{const}$  : Máy biến áp

## §2. CÁC ĐỊNH LUẬT THƯỜNG DÙNG ĐỂ NGHIÊN CỨU MÁY ĐIỆN

### 1. Định luật cảm ứng điện từ

Định luật Faraday  $e = - \frac{d\Phi}{dt} \cdot n$

Sức điện động tạo ra trong 1 mạch điện tỉ lệ với đạo hàm tổng từ thông biến thiên trong mạch đó.

### 2. Định luật toàn dòng điện

$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum i$  F- sức từ động

Tích phân vòng của cường độ từ trường quanh một vòng kín bất kỳ quanh 1 số vòng điện bằng tổng dòng điện trong W vòng dây của mạch.

### 3. Định luật lực điện từ

$$\vec{d}_{fM} = d\vec{l} \times \vec{B}_M$$

Lực điện từ đặt lên 1 đoạn dây có từ cảm  $B_m$  có từ cảm

$$\vec{f} = \int_0^l \vec{B} \cdot i \cdot \sin \alpha \cdot dl$$

Nếu từ trường đều dây dẫn thẳng  $f = B \cdot i \cdot \sin \alpha \cdot l$

### 4. Năng lượng của điện từ

$$W = \int \frac{H^2}{2} \cdot dV = \frac{1}{2} L i^2$$

$L \cdot i^2 = \Psi$  từ thông móc vòng

L: hệ số điện cảm

Nếu thiết bị điện từ có 2 hoặc nhiều mạch có hỗ cảm với nhau:

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

### 5. Phương trình cân bằng điện áp

$$\vec{U} = \vec{Z} \cdot \vec{i} \quad Z: \text{tổng trở của mạch}$$

$$Z = R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}$$

### 6. Momen điện từ sinh ra ở máy điện

M k.

k: hệ số

$\Psi$ : từ thông móc vòng

### 7. Đơn vị tương đối

$$U \frac{U}{U_{dm}}$$

$$I \frac{I}{I_{dm}}$$

## §3. SƠ LƯỢC VẬT LIỆU CHẾ TẠO THIẾT BỊ ĐIỆN

### 1. Vật liệu dẫn từ

Các loại thép kỹ thuật điện

Thép không gỉ	1511	1512	1513			
Máy biến áp	3404	3405	3408			
Thép không gỉ	1211	1311	1411	1412	1511	1512
động cơ	2211	2312				

Số đầu thể hiện hình thức cán

số 1: Cán nóng

số 2: cán nguội đẳng hướng

số 3: cán nguội dị hướng

Độ thứ hai chỉ hàm lượng Silic

Độ thứ ba phân loại theo suất tổn hao

Độ thứ tư phân loại mã hiệu theo số sản xuất

### 2. Vật dẫn điện chủ yếu là Al, Cu

Al có điện trở suất 0,0282  $\Omega \cdot m$  ở 20°C

Cu có điện trở suất 0,0172  $\Omega \cdot m$  ở 20°C

### 3. Vật liệu kết cấu kim loại - chất dẻo

4. **Vật liệu cách điện:** cách ly phần dẫn điện và dẫn từ hoặc giữa phần dẫn điện với nhau

< vật cách điện tốt : cách điện tốt và dẫn nhiệt tốt, chịu ẩm, độ bền điện cao và có độ bền có tính nhất định >

## PHẦN MỘT

# MÁY BIẾN ÁP

## CHƯƠNG 1

### KHÁI NIỆM CHUNG VỀ MÁY BIẾN ÁP

#### §1.1 ĐẠI CƯƠNG

Máy biến áp là thiết bị đứng yên làm việc trên nguyên lý cảm ứng điện từ dùng biến đổi hệ thống dòng điện xoay chiều này thành hệ thống xoay chiều khác tần số không đổi.

Công dụng: Dùng chủ yếu truyền tải điện năng, máy hàn đo lường

- Ký hiệu
- + Trong truyền tải điện năng
- + Trong sơ đồ điện năng thường kí hiệu

Chú ý : Tổng công suất của MBA >> tổng công suất của MFD

Do có tổn hao MBA. Hãy tính hiệu suất để từ đó quyết định xem kWh ở đâu

■ có sự tổn hao trên MBA sự tổn hao này tương ứng với 1 nhà máy phát điện

#### §1.2. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA MÁY BIẾN ÁP

Khi  $U_1$  là điện áp hình sin

$$u_1 = U_1 \cdot \sin \omega t$$

Theo định luật cảm ứng điện từ

$$e_1 = -N_1 \cdot \frac{d\Phi}{dt}$$

$$e_1 = -N_1 \cdot \frac{d(U_1 \cdot \sin \omega t)}{dt}$$

$$e_1 = -N_1 \cdot \omega U_1 \cdot \cos \omega t$$

$$e_1 = \sqrt{2} E_1 \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

$$e_2 = \sqrt{2} E_2 \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

$E_1 = \frac{N_1}{\sqrt{2}} \cdot 4,44 \cdot f \cdot W_1 \cdot B$
$E_2 = \frac{N_2}{\sqrt{2}} \cdot 4,44 f W_2 \cdot B$
$B = B.S$

$$B = (1,5) T$$

Hệ số biến áp  $k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2} = \frac{U_1}{U_2}$

$$E=U+I.R$$

khi R thì E lúc đó là U

R thì E là sức điện động

### §1.3. CÁC ĐẠI LƯỢNG ĐỊNH MỨC

- Dung lượng máy S(VA,KVA,MVA)
- Điện áp định mức sơ cấp  $U_1$
- Điện áp định mức thứ cấp  $U_2$
- + nếu MBA ba pha là điện áp dây
- + nếu là MBA một pha là điện áp pha
  - Dòng điện áp định mức sơ cấp  $I_1$  (Dòng điện dây)
  - Dòng điện áp định mức thứ cấp  $I_2$

$$I_1 = \frac{S}{\sqrt{3}U_1} \text{ (3pha)}$$

$$I_1 = \frac{S}{U_1} \text{ (1pha)}$$

- Tần số f
  - $U_n\%$  là điện áp đặt vào phía sơ cấp khi phía thứ cấp bị nối ngắn mạch mà còn điện trong các cuộn dây bằng dòng điện định mức
  - Tổ nối dây: là cách nối dây của dòng sơ cấp và thứ cấp
- Số 12, 11 thể hiện góc lệch pha suất điện động dây sơ cấp và suất điện động thứ cấp

### §1.4. CÁC LOẠI MÁY BIẾN ÁP CHÍNH

**1.MBA điện lực:** truyền tải và phân phối điện năng đi xa nhằm giảm tổn thất đường dây

$P=U.I$  phải tăng P thì  $P_d$  giảm mà  $P_d = I^2.R$  thì  $I^2$  giảm thì U tăng thì P tăng

- Không truyền tải dòng điện một chiều vì không sinh ra từ trường biến thiên không tồn tại từ thông

**2. Máy biến áp chuyên dùng**

- Máy biến áp tự ngẫu
- Máy biến áp chỉnh lưu xoay chiều thành một chiều

### §1.5 CẤU TẠO CỦA MÁY BIẾN ÁP

Máy biến áp: - lõi thép  
- dây quấn  
- vỏ máy

**1. Lõi thép:** chế tạo bằng thép kỹ thuật điện thường cán lạnh

a. Máy 1 pha

$$\begin{array}{l} S_T = k\sqrt{S} \\ E = 4,44.f.W.\Phi_m = 4,44.W.f.B.S_T \end{array}$$

$S_T$ : tiết diện trụ bằng  $cm^2$

K : hệ số (1,4) tôn tốt k nhỏ, tôn xấu k lớn

S: Dung lượng máy VA

b. Máy ba pha

- Mạch từ kiểu lõi 3 pha – 3 trụ



- + Trụ: lõi thép có dây quấn
- + Gông: phần nối giữa các trụ tiết diện gông lớn hơn tiết diện trụ làm tổn hao sắt từ
- lạc từ kiểu bọc 3 pha- 5 trụ

## 2. Dây quấn

a. Dây quấn kiểu đồng tâm: - ống trụ

- xoắn: + xoắn đơn

+ xoắn kép

+ Các vòng g trụ, giữ các lớp cách điện bằng tổng điện áp 2 lớp dừng lại có tác dụng cho máy công suất cho cả cuộn cao thế và hạ thế

Thường dùng cho máy trung bình và cao thế

+ Đường dây hạ thế dùng dây quấn chữ nhật, số sợi chập lớn dùng dây xoắn với nhau, với mục đích chiều dài dây quấn bằng nhau

- Để các dây dài bằng nhau ta hoán vị dây

- Xoắn kép tiết kiệm dây, tăng cường dây quấn, tiết kiệm diện tích

b. Dây quấn xoáy ốc liên tục

Dùng cho cao thế lớn hơn 110KV dây quấn thành các bánh dây ghép lại theo hình xoáy ốc và có bán kính dây nếu số sợi dây chập nhiều

c. Dây quấn xoáy ốc: Dùng làm dây quấn hạ thế thay cả trụ và xoắn cắt tấm đồng có chiều cao bằng chiều cao ống

d. Dây quấn xen kẽ <ít dùng>

## 3. Vỏ máy

- Chức năng: che dầy MBA, chứa dầu, làm mát, trên vỏ máy gắn bộ phận tản nhiệt được tính toán đến sự tổn hao: gắn quạt làm mát, mát dầu, bộ chuyển mạch, role, áp lực, bình dầu phụ, sứ v.v...

# CHƯƠNG 2

## TỔ NỐI DÂY

Để MBA làm việc được các dây quấn phải nối theo một tổ hợp nhất định và việc định ra kiểu nối dây phải phù hợp mạch từ

### §2.1. TỔ NỐI DÂY CỦA MBA

Quy ước đầu dây

#### 1. Cách ký hiệu đầu dây

	Cao thế	Trung thế	Hạ thế
Đầu đầu	ABC	$A_m B_m C_m$	abc
Đầu cuối	XYZ	$X_m Y_m Z_m$	xyz
Đầu trung tính	O,N	O, $N_m$	o,n

#### 2. Các kiểu nối dây

- Kiểu sao tam giác đầu ZicZăc

+ Đầu a đầu cuối hoặc ba đầu đầu chập lại  $U_d \sqrt{3}U_f$   
 $I_d I_f$

+ Đâu tam giác

$$U_d = U_f$$

$$I_d = \sqrt{3}I_f$$

### 3. Tổ nối dây

Là sự tổ hợp kiểu nối sơ cấp và thứ cấp biểu thị góc lệch pha suất điện động sơ và thứ cấp

+ Phụ thuộc chiều quấn, cách ký hiệu đầu dây, kiểu đầu dây

Cao thế sơ cấp      hạ thế thứ cấp      11  
góc lệch pha  $E_{dsc}$  và  $E_{dtc}$

VD: Máy pha kí hiệu  $I_6, I_{12}$

Phạm vi ứng dụng của tổ nối dây

Tổ nối dây	cao áp	Hạ áp	Dung lượng
Yy-12	35kV	400/230 V	630kVA
Y $\Delta$ -1	35kV	400/230 V	2500kVA
	10kV	< 100V	2500kVA
		150 V	
Y $\Delta$ -1	5,3kV	300V	10000kVA

## §2.2. MẠCH TỪ CỦA MBA

### 1. Các kiểu mạch từ

- Mạch từ lõi, kiểu bọc

- Mạch từ chung, mạch từ riêng (3 pha)

Ba pha chung một mạch gọi là mạch từ chung

Mỗi pha một mạch gọi là mạch từ riêng

### 2. Sự xuất hiện từ hoá ở lõi thép

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

$$u = W_1 \cdot \frac{d\Phi}{dt}$$

a. Máy một pha

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

$$i_0 = i_0 \sin(\omega t) \quad (H)$$

- Mạch từ chung      không tồn tại (3 pha, 3 trụ)

Mạch từ sau thì tồn tại

- Mạch từ: 5 trụ, 3 pha độc lập < mạch từ riêng > nên tồn tại do từ trở lõi thép nhỏ suy ra khá lớn (15-20%)

ở nối dây Yy hạn chế tổn thất máy, hạn chế dung lượng, công suất máy dùng

ở nối dây  $\Delta$  dòng từ hoá  $i_{03}$  khép kín mạch nên dòng từ hoá không hình sin và có dạng nhọn đầu thì hình sin đó suất điện động ở sơ cấp và thứ cấp hình sin không có gì bất lợi ứng dụng rộng rãi

ở nối dây phía sơ cấp không tồn tại dòng điện bậc 3 nên tổ nối dây sơ cấp có dạng ban đầu. Khi có tải dòng bậc 3 thứ cấp sinh ra suất điện động bậc  $E_{23}$  nó ngược với  $U_1$  và triệt tiêu ảnh hưởng không đáng kể

Kết luận: Đối với tổ nối dây Y $\Delta$  tránh được ảnh hưởng của từ thông và sđđ bậc 3

## §2.3. TÍNH TOÁN MẠCH TỪ CỦA MÁY BIẾN ÁP

- Xác định dòng từ hoá  $i_0$  và tổn hao sắt từ trong đó

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_{or} + \dot{I}_{ox}$$

$\dot{I}_{or}$ : thành phần đốt nóng lõi thép

$\dot{I}_{ox}$ : sinh ra từ thông chính

### 1. Tính $I_{or}$ căn cứ tổn hao sắt từ

$$P_{Fe} = P_{1150} \cdot [B_t^2 \cdot G_t + B_g^2 \cdot G_g] \cdot \left(\frac{f}{50}\right)^3 \quad (W)$$

$P_{1150}$ : suất tổn hao thép ở mật độ từ cảm 1T,  $f=50\text{Hz}$

$B_t, B_g$  mật độ từ cảm ở trụ và gông

$G_t, G_g$ : khối lượng của trụ, gông

$$I_{or} = \frac{P_{FE}}{m \cdot U_1}$$

$m$ : là số pha

$U_1$ : điện áp pha

### 2. Tính $I_{ox}$

$$\sqrt{2} I_{ox} \cdot W = F$$

$I_{ox} \cdot W$ : sức từ động

$W$  số vòng dây

$$I_{ox} = \frac{F}{\sqrt{2} \cdot W}$$

Cách 1: Máy một pha  $F = 2 \cdot H_t \cdot l_t + 2 \cdot H_g \cdot l_g + n_k \cdot B_t \cdot S$  ( $n_k=4$ )

$H_t$ : cường độ từ trong trụ

$l_t$ : chiều dài trụ

Cách 1: Máy 3 pha

trường hợp hai trụ ngoài

$$F = 2 \cdot H_t \cdot l_t + 2 \cdot H_g \cdot l_g + n_k \cdot B_t \cdot S$$
 ( $n_k=3$ )

Trụ giữa:

$$F = 2 \cdot H_t \cdot l_t + n_k \cdot B_t \cdot S$$
 ( $n_k=1$ )

$$F = \frac{2F}{3} + \frac{2F}{3} + n_k' \cdot B_t \cdot S$$
 ( $n_k' = 7/3$ )

$$I_{ox} = \frac{F}{\sqrt{2} \cdot W}$$

Cách 2:  $I_{ox} = \frac{Q_0}{m \cdot U_1} + \frac{Q_{tt} \cdot G_t + Q_{tg} \cdot G_g \cdot \mu \cdot q}{m \cdot U_1}$

$S$ : diện tích khe hở không khí

$Q_{tt}, Q_{tg}$ : suất từ hoá trong trụ và gông

$$I_0 = \sqrt{I_{or}^2 + I_{ox}^2}$$

$$i\% = \frac{I_0}{I_{dm}} \cdot 100\% \quad (10\%)$$

Bài tập: Tính các dòng điện định mức của 1 máy biến áp ba pha khi biết các số liệu  
 $S_{dm} = 100 \text{ kVA}$ ,  $U_{1dm}/U_{2dm} = 6000/230 \text{ V}$

Ta có :

$$I_{1dm} = \frac{S}{\sqrt{3}U_{1dm}} = \frac{10^5}{\sqrt{3} \cdot 6000} = 9,62 \text{ (A)}$$

$$I_{2dm} = \frac{S}{\sqrt{3}U_{2dm}} = \frac{10^5}{\sqrt{3} \cdot 230} = 251 \text{ (A)}$$

## CHƯƠNG 3

### MÔI QUAN HỆ ĐIỆN TỬ TRONG MBA

#### §3.1. CÁC PHƯƠNG TRÌNH CƠ BẢN

##### 1. Phương trình cân bằng sức điện động

$$e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\Phi = \frac{N_1 i_1}{L_1}$$

$$e_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt}; \quad \Phi = \frac{N_2 i_2}{L_2}$$

$\Phi$  là từ thông móc vòng

$$e_1 = -N_1 \frac{d}{dt} \left( \frac{N_1 i_1}{L_1} \right)$$

$$e_2 = -N_2 \frac{d}{dt} \left( \frac{N_2 i_2}{L_2} \right)$$

- Từ thông tải chủ yếu đi qua môi trường phi từ tính  $\Phi$  lệ dòng điện sinh ra nó thông qua hệ số điện cảm (điện tải cảm)

$$u_1 = L_1 \frac{di_1}{dt}$$

$$u_2 = L_2 \frac{di_2}{dt}$$

Theo Kirchoff 2 :

$$u_1 = r_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt}$$

$$u_1 = r_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt}$$

$$e_2 = r_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt}$$

$$u_2 = r_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt}$$

Trong đó :  $L_1=L_{11}+L_{12}$  ;  $L_2=L_{22}+L_{12}$  ;  $M = L_{12} = L_{21}$

Dạng phức :

$$\begin{aligned} U_1 &= E_1 + I_1 \cdot r_1 + I_2 \cdot r_1 + I_1 \cdot x_1 + I_2 \cdot r_1 + I_1 \cdot r_1 + I_2 \cdot Z_1 \\ U_2 &= E_2 + I_2 \cdot r_2 + I_1 \cdot r_2 + I_2 \cdot Z_2 \\ E_1 &= I_1 \cdot x_1 \\ E_2 &= I_2 \cdot x_2 \end{aligned}$$

## 2. Phương trình sức từ động

$$U_1 \cdot E_1 = 4,44 f \cdot W_1 \cdot \Phi$$

$\Phi = \text{const}$  kể cả khi có tải và khi không tải

Sức từ động  $(i_1 w_1 + i_2 w_2)$  sinh ra  $\Phi$  lúc có tải

$i_0 w_1$  sinh ra  $\Phi$  lúc không tải

$$(i_1 w_1 + i_2 w_2) = i_0 w_0$$

$$I_1 \cdot w_1 + I_2 \cdot w_2 = I_0 \cdot w_0$$

$$I_1 \cdot w_1 + I_2 \cdot w_0 \left( I_2 \cdot \frac{w_2}{w_1} \right)$$

$$I_1 \cdot w_1 + I_2 \cdot w_0$$

Kết luận: Khi có máy có tải sơ cấp gồm hai thành phần

$$I_0 \cdot w_0 + I_1 \cdot w_1$$

$I_0$  sinh ra từ thông chính

$I_1$  : bù lại tác dụng dòng thứ cấp do đó khi tải tăng thì  $I_2$

tăng  $I_1$  tăng  $I_2$  tăng để giữ  $I_0$  đảm bảo sinh ra từ thông chính

## §3.2 MẠCH THAY THẾ CỦA MBA

-Mục đích: Đơn giản trong quá trình tính toán, thay thế mạch điện và mạch từ bằng mạch tương đương và đặc trưng cho MBA mạch thay thế nối trực tiếp sơ cấp và thứ cấp thành mạch điện thì dây quấn nọ thành dây quấn kia, việc qui đổi thuận tiện cho tính toán không ảnh hưởng đến quá trình vật lý

### 1. Quy đổi MBA

a. Quy đổi suất điện động, điện áp thứ cấp về sơ cấp

$E_2$  qui đổi  $E_2'$

$U_2$  qui đổi  $U_2'$

do có sự qui đổi  $W_1=W_2$  ( $E_2' = E_1$ )

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2} \Rightarrow E_1 \cdot \frac{W_1}{W_2} = E_2 \cdot E_1$$

b. Dòng điện qui đổi  $I_2'$

$$I_1 \cdot \frac{E_2}{E_1} = I_2 \cdot \frac{1}{k} I_2$$

$$k = w_1/w_2$$

c. Điện trở của điện kháng qui đổi  $r_2', x_2'$

$$I_2^2 \cdot r_2 = I_2'^2 \cdot r_2' \Rightarrow \left( \frac{I_2}{k} \right)^2 \cdot r_2 = I_2'^2 \cdot r_2'$$

$$Z_2' = k^2 \cdot Z_2$$

$$Z_t' = k^2 \cdot Z_t$$

$$x_2' = k^2 \cdot x_2$$

$$Z_t = Z_t' \cdot x_t$$

d. Các phương trình qui đổi từ phương trình cũ thành phương trình mới. Phương trình qui đổi

$$\begin{cases} U_1 = E_1 - I_1 Z_1 \\ U_2 = E_2 - I_2 Z_2 \\ I_1 = I_2 \end{cases}$$

## 2. Sơ đồ thay thế của MBA

$$E_1 = M \cdot i_0$$

$$E_2 = k \cdot M \cdot i_0$$

$$e_1 = M \cdot \frac{di_0}{dt}$$

$$e_2 = k \cdot M \cdot \frac{di_0}{dt}$$

$$E_1 = E_2 + I_1 r_1 + I_1 x_1 + I_1 M \cdot I_0 \cdot x_m$$

$$x_m = k \cdot m \cdot x_2$$

$$r_m = \frac{P_{FE}}{I_0^2}; Z_m = r_m + j x_m$$

$Z_m$  : tổng trở từ hoá MBA

## 3. Mạch điện thay thế đơn giản

$$r_n = r_1 + r_2$$

$$x_n = x_1 + x_2$$

$$Z_n = r_n + j x_n$$

Tổng trở ngắn mạch MBA

## §3.3. ĐỘ THỊ VECTO CỦA MÁY BIẾN ÁP

Mục đích: Thấy rõ quan hệ trị số và góc pha giữa đại lượng của MBA và thấy được sự biến thiên giữa các đại lượng

## §3.4. CÁCH XÁC ĐỊNH THAM SỐ CỦA MÁY BIẾN ÁP BẰNG THỰC NGHIỆM

### 1. Thí nghiệm không tải

$$Z_0 = \frac{U_1}{I_0}; r_0 = \frac{P_0}{I_0^2}; x_0 = \sqrt{Z_0^2 - r_0^2}$$

$$k = \frac{w_1}{w_2} = \frac{U_1}{U_2}; \cos \phi_0 = \frac{P_0}{S_0} = \frac{P_0}{U_1 \cdot I_0}$$

- Khi máy chạy không tải  $\cos \phi_0$  rất thấp nên khi không chạy không tải

### 2. Thí nghiệm ngắn mạch

+ Nối a-b-c

$$Z_n = \frac{U_n}{I_n}; r_n = \frac{P}{I_n^2} \quad \sqrt{Z_n^2 - r_n^2}$$

Bài tập chương 3:

**Bài 1(62):** máy BA 1 pha có  $S = 5\text{kVA}$ ;  $U_{1dm}=11000\text{V}$ ;  $U_{2dm}=110\text{V}$  . Thay đổi cách nối dây quấn với nhau sẽ có các tỉ số biến đổi điện áp khác nhau. Với mỗi cách nối hãy tính các dòng điện định mức sơ và thứ cấp

Bài làm:

Dây sơ cấp và thứ cấp đều nối nối tiếp

$$S = U_{1dm} \cdot I_{1dm} = U_{2dm} \cdot I_{2dm} \Rightarrow I_{1dm} = \frac{5000}{2.11000} = 0,227(\text{A})$$

$$S = U_{1dm} \cdot I_{2dm} = U_{2dm} \cdot I_{1dm} \Rightarrow I_{2dm} = \frac{5000}{2.110} = 2,7(\text{A})$$

Dây sơ cấp và thứ cấp nối song song

$$S = U_{1dm} \cdot I_{1dm} = U_{2dm} \cdot I_{2dm} \Rightarrow I_{1dm} = \frac{5000}{11000} = 0,454(\text{A})$$

$$S = U_{1dm} \cdot I_{2dm} = U_{2dm} \cdot I_{1dm} \Rightarrow I_{2dm} = \frac{5000}{110} = 45,4(\text{A})$$

**Bài 2:** Máy biến áp có  $S_{dm}=20000\text{kVA}$ ;  $U_1 = 126,8\text{kV}$ ;  $U_2=11\text{kV}$ ;  $f = 50\text{kHz}$  . Diện tích lõi thép là  $3595 \text{ cm}^2$  ;  $B = 1,5 \text{ T}$ . Tính  $W_1$  ;  $W_2$

## CHƯƠNG 4

# CÁC ĐẶC TÍNH CỦA MÁY BIẾN ÁP LÀM VIỆC VỚI TẢI ĐỐI XỨNG

### §4.1.GIẢN ĐỒ NĂNG LƯỢNG

Trong quá trình truyền tải năng lượng qua MBA phần tổn hao cho MBA tổn hao đồng, tổn hao sắt nhân công suất điện từ truyền qua máy

$$P_{dt} = P_1 - P_{cu1} - P_{FE} = E_2 \cdot I_2 \cdot \cos \phi_2$$

$$P_1: \text{ Công suất phần sơ cấp } P_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \phi_1$$

$$P_{cu} = I_1^2 \cdot r_1 : \text{ tổn hao điện trở sơ cấp}$$

$$P_{FE} = k_m \cdot I_o^2 : \text{ tổn hao sắt từ}$$

$$P_2 = P_{dt} + P_{cu} = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \phi_2$$

Công suất tác dụng

$$Q_1 = U_1 \cdot I_1 \sin \phi_1$$

$$q_1 = k_1 \cdot I_1^2$$

$$q_m = k_m \cdot I_o^2$$

$$Q_{dt} = Q_1 - q_1 - q_m = E_2 \cdot I_2 \cdot \sin \phi_2$$

$$q_2 = k_2 \cdot I_2^2$$

+ Đối với tải cảm do  $\phi_1 > 0$  ;  $\phi_2 > 0$  ,  $Q_1 > 0$  công suất phản kháng truyền từ sơ cấp đến thứ cấp

+ Đối với tải dung  $\cos \phi < 0$   $\cos \phi_2 < 0$

Nếu  $Q_1 > 0$  toàn bộ công suất phản kháng dùng từ hoá lõi thép

$Q_1 < 0$  toàn bộ công suất phản kháng truyền ngược lại thứ cấp sang sơ cấp

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

$$\frac{U_2}{U_2} = \frac{U_{20}}{U_{20}} \cdot \frac{U_1}{U_1} = \frac{U_{1dm}}{U_{1dm}}$$

Độ thay đổi điện áp gọi hiệu số học giữa trị số điện áp lúc không tải và có tải trong điện áp sơ cấp không đổi

- Thay đổi tùy theo giãn tải

$$\frac{I_2}{I_{2dm}}$$

Tải cảm:  $\cos \phi_2 < 0$   $\cos \phi_2 < 0$

Tải dung:  $\cos \phi_2 > 0$   $\cos \phi_2 > 0$

$U_{20}$ : điện áp thứ cấp lúc không tải

$U_2$ : điện áp thứ cấp lúc có tải

Cách điều khiển:

- Cân đối giữa tải dung và tải cảm  $\cos \phi$  giảm

- Thay đổi tỷ số điện áp:  $k = \frac{W_1}{W_2}$  Nếu thay đổi  $W_1$  hoặc  $W_2$  khác

- Điện áp dưới tải nhỏ biến thiên tỷ số biến áp khi tải đang làm việc

- Điện áp không tải cắt điện khi thay đổi tỷ số biến áp

Hiệu suất của máy biến áp

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 \quad P_1, P_2 \text{ công suất có ích}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 = \frac{P_2}{P_1} \cdot \frac{P_{cu} + P_{Fe}}{P_{cu} + P_{Fe}}$$

Tổng tổn hao

$$P_2 \cdot S_{dm} \cdot \cos \phi = P_0$$

Hệ số tải

$$\text{Tổn hao đồng: } P_{Cu} = \frac{I_2^2}{I_{2dm}^2} \cdot r_n \cdot I_{2dm}^2 = \frac{I_2^2}{I_{2dm}^2} \cdot P_n$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 = \frac{P_2}{P_0 + P_{cu} + P_{Fe}} \cdot 100$$

Nếu  $\cos \phi = \text{const}$  thì  $\eta$  là hàm hay  $f(\eta)$

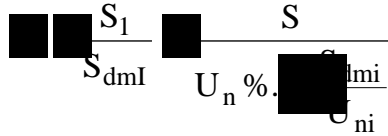
$$\text{Cực đại khi } \frac{d\eta}{d\eta} = 0 \Rightarrow \sqrt{\frac{P_0}{P_n}} \text{ hay } \eta \cdot P_n = P_0$$

Chú ý: Hiệu suất của máy biến áp sẽ cực đại ở một tải nhất định ứng với khi tổn hao không đổi bằng tổn hao biến đổi hay tổn hao sắt bằng tổn hao đồng

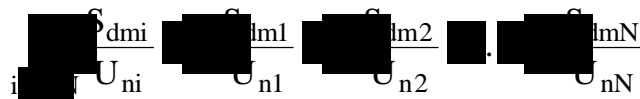
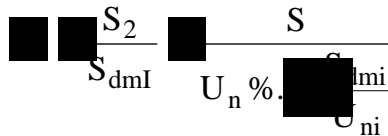
## §4.4. MÁY BIẾN ÁP LÀM VIỆC SONG SONG



- Đơn giản thiết kế, dễ bảo dưỡng, tăng hiệu quả kinh tế, người ta ghép máy biến áp song song
- Điều kiện:
  - + Cùng tổ nối dây
  - + Cùng điện áp và tỉ số biến đổi
  - + Cùng điện áp ngắn mạch  $U_n\%$  (qui định độ phân phối tải trong máy)
- Một số công thức:



S: tải chung của i máy



Bài tập:

Cho 3 máy biến áp ba pha làm việc song song

Máy I :  $S=560$  kVA 22/0,4 kV ;  $Y_{11}$ ;  $U_{nI}=5\%$ ;  $P_0=800$ W ;  $P_n=800$  W

Máy II :  $S=1000$  kVA 22/0,4 kV;  $Y_{11}$ ;  $U_{nII}=5,6\%$ ;  $P_0=1200$ W ;  $P_n=1300$  W

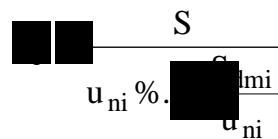
Máy III :  $S=800$  kVA 22/0,4 kV;  $Y_{11}$ ;  $U_{nIII}=6,5\%$ ;  $P_0=1080$ W ;  $P_n=11080$  W

- 1) Tính dòng điện thứ cấp định mức của mỗi máy
- 2) Cho 3 máy làm việc công suất chung cho tải  $S = 2300$ kVA
  - 2.1. Tính hệ số tải mỗi máy
  - 2.2. Tính tổn hao của mỗi máy ứng với hệ số tải
  - 2.3. Tính dòng điện mỗi máy để  $I_{ix}$

Bài làm:

1. Từ  $S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_{dm}$  ;  $I_{2dm} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_{2dm}}$

2.1. Từ



2.2. Tổn hao của mỗi máy :

$$P_I = P_{0I} + P_{nIdm} = P_{Fe} + P_{Cu}$$

2.3.  $I_{max} = \sqrt{\frac{P_0}{P_n}} \cdot I_{dm}$

## CHƯƠNG 5

# MÁY BIẾN ÁP LÀM VIỆC VỚI TẢI KHÔNG ĐỐI XỨNG

## §5.1. ĐẠI CƯƠNG

- Máy biến áp làm việc không đối xứng khi tải phân phối không đều cho 3 pha, dòng không bằng nhau ảnh hưởng xấu đến tình trạng làm việc bình thường của MBA như  $U_d, U_f$ , tổn hao phụ trong dây quấn và lõi thép tăng lên, độ chênh lệch trong dây quấn quá qui định
- Nghiên cứu ta dùng phương pháp phân lượng đối xứng. Hệ thống dòng điện không đối xứng  $I_a, I_b, I_c$  phân ra thành 3 hệ thống dòng điện đối xứng: Thứ tự thuận  $I_{a1}, I_{b1}, I_{c1}$ ; Thứ tự ngược  $I_{a2}, I_{b2}, I_{c2}$ ; Thứ tự không  $I_{a0}, I_{b0}, I_{c0}$

Quan hệ

$$\begin{aligned} I_a &= I_{a0} + I_{a1} + I_{a2} \\ I_b &= I_{a0} + a^2 I_{a1} + a I_{a2} \\ I_c &= I_{a0} + a I_{a1} + a^2 I_{a2} \\ I_{a0} &= \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) \\ I_{a1} &= \frac{1}{3}(I_a + a I_b + a^2 I_c) \\ I_{a2} &= \frac{1}{3}(I_a + a^2 I_b + a I_c) \end{aligned}$$

Trong đó :

$$\begin{aligned} a &= j.120^\circ \\ a^2 &= j.240^\circ \\ 1 &= 1 \end{aligned}$$

- Hệ thống thứ tự thuận và hệ thống thứ tự ngược xét như trong phần tải đối xứng.
- Dòng thứ tự không chỉ tồn tại khi tổ nối dây Y. Để phân tích giả sử từ không bão hoà. Hệ số thứ cấp chuyển đổi về sơ cấp.

## §5.2.MÁY ĐIỆN THAY THẾ VÀ TỔNG TRỞ CỦA MÁY BIẾN ÁP ĐỐI VỚI CÁC THÀNH PHẦN KHÔNG ĐỐI XỨNG

Chỉ xét thành phần thứ tự không thành phần này sinh ra từ thông thứ tự không gọi là  $I_{a0}$  trùng pha về thời gian

Xảy ra trường hợp

+ Trong tổ MBA 3 pha khép mạch trong lõi thép và do từ trở lõi thép nhỏ dù  $I_{A0}, I_{B0}, I_{C0}$  nhỏ nhưng lớn

+ Đối với MBA 3 pha 5 trụ thì không đáng kể ghép mạch qua lõi thép mà phải khép mạch qua vách thùng dầu thành ra trong cuộn sơ cấp và thứ cấp tự cảm.

Tổ nối dây :  $Y_{oY_0}$

Tổng trở thứ tự không là  $Z_{to}$ : là tổng trở có được khi đo ở một phía MBA với điều kiện phía kia ngắn mạch có trị số giả thiết ( $Z_1 = 0$ )

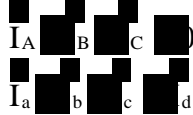
$$Z_{to} = \frac{U}{3.I}; r_{to} = \frac{P}{3.I^2}; x_{to} = \sqrt{Z_{to}^2 - r_{to}^2}$$

$$Z_{to} = \frac{U}{3.I}; r_{to} = \frac{P}{3.I^2}; X_{to} = \sqrt{Z_{to}^2 - r_{to}^2}$$

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

#### 1. Khi có dòng điện thứ tự không

a. Tổ nối dây:  $Yy_0$  không đối xứng; Dòng thứ cấp cân bằng dòng sơ cấp. Dòng thứ tự không không cân bằng sinh ra từ thông  $\Phi_{mo}$



Vì  $I_A = I_B = I_C$  và  $E_A = E_B = E_C$  ta suy ra được :

$$U_A = U_B = U_C = E_{mo} \cdot I_{mo} \cdot Z_{mo}$$

Do sơ cấp nối Y nên:

$$\begin{aligned} U_{AB} &= U_A - U_B \\ U_{BC} &= U_B - U_C \\ U_{CA} &= U_C - U_A \end{aligned}$$

Ta tìm được điện áp pha sơ cấp

$$\begin{aligned} U_A &= \frac{1}{3} (U_{AB} + U_{CA}) = \frac{1}{3} (I_{ao} \cdot Z_{mo} - I_{ao} \cdot Z_{mo}) \\ U_B &= \frac{1}{3} (U_{BC} + U_{AB}) = \frac{1}{3} (I_{bo} \cdot Z_{mo} - I_{bo} \cdot Z_{mo}) \\ U_C &= \frac{1}{3} (U_{CA} + U_{BC}) = \frac{1}{3} (I_{co} \cdot Z_{mo} - I_{co} \cdot Z_{mo}) \end{aligned}$$

- Sự ảnh hưởng của thứ tự không làm cho điểm trung tính xô dịch  $I_{ao} \cdot Z_{mo}$  m cho điện áp không đối xứng

Thứ cấp  $y_0$

- Dòng thứ tự không làm lệch điểm trung tính một đoạn  $I_{to} \cdot Z_{to} = I_{ao} \cdot Z_{mo}$  do  $Z_{to} = Z_{mo} = Z_2$ . Tuy nhiên sự khác nhau không đáng kể

$$\begin{aligned} I_a &= I_A = I_A \cdot Z_n = I_{ao} \cdot Z_{to} \\ I_b &= I_B = I_B \cdot Z_n = I_{bo} \cdot Z_{to} \\ I_c &= I_C = I_C \cdot Z_n = I_{co} \cdot Z_{to} \end{aligned}$$

**Kết luận:** Sự xô dịch điểm trung tính làm điện áp pha mất đối xứng bất lợi cho phụ tải không cho phép và hạn chế sử dụng tổ nối dây  $Yy_0$  đối máy ba pha, ba trụ

b. Tổ nối dây  $Y_0y_0$ ;  $Y_0$

Do thứ tự không tồn tại hai phía thứ và sơ cấp MBA mà nó cân bằng nhau không sinh ra  $\Phi_{mo}$ ,  $E_{to}$  ảnh hưởng của dòng thứ tự không làm điểm trung tính xô dịch không đáng kể.

## 2. Khi không có thành phần thứ tự không Y/Y, $Z_n$ , Y/

Trong trường hợp này khi tải mất cân bằng ở các pha không bằng nhau, do  $Z_n$  nhỏ nên sự mất cân bằng không đáng kể

### §5.4. NGẮN MẠCH KHÔNG ĐỐI XỨNG CỦA MÁY BIẾN ÁP

## CHƯƠNG 6

# QUÁ ĐỘ CỦA MÁY BIẾN ÁP

### §6.1. ĐẠI CƯƠNG

Quá trình quá độ: + Quá dòng điện  
+ Quá điện áp

### §6.2. QUÁ ĐỘ DÒNG ĐIỆN

Quá dòng điện xảy ra khi đóng MBA không tải của dòng điện ngắn mạch đột nhiên.

#### 1. Đóng MBA không tải vào lưới

Khi đóng MBA tải vào lưới

$$U_{1m} \cdot \sin(\omega t - \theta) \cdot I_1 \cdot v_1 \cdot \frac{d}{dt}$$

Giả thiết  $\frac{w_1}{L_1}$

$$\frac{U_{1m}}{w_1} \cdot \sin(\omega t - \theta) \cdot \frac{r_1}{L_1} \cdot \frac{d}{dt}$$

Nổi đất:  $\frac{dU_x}{dx} = J_A \cdot \frac{ch}{sh}$

Không nổi đất:  $\frac{dU_x}{dx} = J_A \cdot \frac{sh}{ch}$

ở đầu dây quấn tg thì

$$\left. \frac{dU_x}{dx} \right|_x = k \cdot U_A \text{ ở đầu dây quấn đầu tiên thì điện áp lớn gấp 2 lần}$$

trường hợp phân bố đều cường độ cách điện ở vòng dây đầu tiên của MBA.

ghiệm của phương trình vi phân

: thành phần xác lập

: thành phần tự do

$$\sin\left(\frac{\omega t}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\omega t}{2}\right)$$

$$\frac{L_1 \cdot U_{1m}}{w_1 \cdot \sqrt{r_1^2 + L_1^2}}$$

$$C \cos(\omega t) \cdot e^{-\frac{t}{L_1}}$$
 Khi  $t = 0$  dòng tại từ thông dư trong lõi thép

$$C \cos(\omega t) \cdot e^{-\frac{t}{L_1}} \cdot \cos(\omega t)$$

- Tại thời điểm  $\frac{\omega t}{2}$  là thời điểm đóng MBA vào lưới điện là thuận lợi nhất vì

$$\sin(\frac{\omega t}{2})$$

- Bất lợi nhất khi  $\omega t = \pi$ ;  $i_r$  có dấu dương lúc đó

$$C \cos(\omega t) \cdot e^{-\frac{t}{L_1}}$$

Từ thông  $\Phi_{ax}$  vào thời gian nửa chu kỳ sau. Khi đóng mạch và  $\Phi_{ax} = 2 \cdot \Phi_{ax}$  dòng quá độ có thể gấp 5 lần dòng định mức gây ra hiện tượng đứt mạch (quấn dây tròn để từ trường đều)

## 2. Ngắn mạch đột nhiên

$$U_{1m} \cdot \sin(\omega t) = i_n \cdot r_n + L_n \cdot \frac{di_n}{dt}$$

$$i_n = \frac{U_{1m}}{\sqrt{r_n^2 + \omega^2 L_n^2}} \cdot \cos(\omega t) + \frac{U_{1m}}{\sqrt{r_n^2 + \omega^2 L_n^2}} \cdot \cos(\omega t) \cdot e^{-\frac{r_n t}{L_n}}$$

$$\sqrt{2} \cdot I_n \cdot \cos(\omega t) + \sqrt{2} \cdot I_n \cdot \cos(\omega t) \cdot e^{-\frac{r_n t}{L_n}}$$

$$\sqrt{2} \cdot I_n \cdot \cos(\omega t) + \sqrt{2} \cdot I_n \cdot e^{-\frac{r_n t}{L_n}}$$

$$i_{xg} = \sqrt{2} \cdot I_n \cdot (1 - e^{-\frac{r_n t}{L_n}}) + \sqrt{2} \cdot I_n \cdot k_{xg}$$

Máy có dung lượng càng lớn thì  $k_{xg}$  càng lớn và  $i_{xg}$  gấp vài chục lần dòng định mức.

## §6.3. QUÁ ĐIỆN ÁP

Do thao tác bấm cắt các đường dây, do ngắn mạch nối đất kèm hồ quang, quá điện áp do khí quyển (sét đánh). Sóng điện áp do khí quyển tạo ra không chu kỳ đầu sóng dốc, đuôi sóng thẳng thời gian tác động ngắn vài phần triệu và coi 1/4 chu kỳ sóng điện áp có tần số từ 10000-100000Hz

$C_d$ : điện dung các vòng dây

$C_q$ : điện dung giữa vòng dây và cuộn dây nối đất

$$C_d = \frac{1}{\omega^2 L} \quad \text{điện dung dọc}$$

$$C_q = \frac{1}{\omega^2 L} \quad \text{điện dung ngang}$$

Do có  $C_q'$  sóng xung kích truyền vào dây quấn trong quá trình nạp ban đầu trong các điện tích phân bố không đều trên các điện tích  $C_q'$  giảm dần A theo qui luật

$$U_x = J_A \cdot \frac{sh}{ch} \quad (\text{dây nối đất})$$

$$U_x = J_A \cdot \frac{ch}{ch} \quad (\text{dây quấn không nối đất})$$

$$\sqrt{\frac{C_q}{C_d}} \text{ với qui ước chiều dài dây quấn bằng một}$$

## CHƯƠNG 7

### CÁC LOẠI BIẾN ÁP ĐẶC BIỆT

#### §7.1. MÁY BIẾN ÁP BA PHA DÂY QUẤN

Các tổ nối dây tiêu chuẩn:  $Y_o/Y_o$   $Y_o/Y$

#### §7.2. MÁY BIẾN ÁP TỰ NGÃU

Hai dây quấn nối nhau nên ngoài liên hệ từ còn có liên hệ điện  
Ưu điểm: tận dụng công suất truyền tải

VD: 100 kVA hai dây quấn phải tính 100 kVA  
tự ngẫu theo cấp điện áp

22/15 kV  $P_{tt} = k \cdot P_{tr} \cdot \frac{15}{22}$

ách tính đường kính dây

$$I_1 = \frac{S}{U_1} \quad I_2 = \frac{S}{U_2} \quad (\text{một pha})$$

chọn  $J=2,5$  A/mm<sup>2</sup>

$$\text{day} = \frac{I}{J} \cdot \frac{1}{4}$$

Bài tập:

$$U_{\text{vào}}=220V; U_{\text{ra}} = 150V; S = 5kVA$$

$$k_{\text{lợi dụng}} = \frac{22 \cdot 5}{22} = 0,32$$

$$S_{\text{tính toán}} = 0,32 \cdot 5 = 1,6 \text{ kVA } (S_{tt})$$

$$S_{\text{trụ}} = k \cdot \sqrt{S_{tt}} = 0,32 \cdot \sqrt{1,6} = 0,404 \text{ (kVA)}$$

$$I_1 = \frac{5000}{220} = 22,7 \text{ (A)}$$

$$I_2 = \frac{5000}{150} = 33,3 \text{ (A)}$$

chọn  $J=2,5$  A/mm<sup>2</sup> ( $J=4$  A/mm<sup>2</sup>)

$$\text{day} = \frac{I_1}{J} = \frac{22,5}{4} = 5,625 \text{ (mm)} \quad \sqrt{\frac{22,5}{4}} = 2,37 \text{ (mm)}$$

$$d_2 = 3,25 \text{ (mm)}$$

$I_1 + I_3 = I_2$  (hình 1) ở hình bên

$$I_3 = I_2 - I_1 = 33,3 - 22,7 = 10,6 \text{ (A)}$$

$$d_3 = \sqrt{\frac{10,6}{0,84}} \approx 3,584 \text{ (mm)}$$

chọn lõi thép hình xuyên E – I

### §7.3. MÁY BIẾN ÁP ĐO LƯỜNG

- Cần độ chính xác sao cho  $\frac{w_1 U_1}{w_2 U_2}$ , an toàn

Máy biến dòng điện (TY; BI; CT)

3000/5; 2000/5 500/5 100/5 50/5

- Biến dòng phải ngắt mạch; không bao giờ hở mạch

- Máy biến áp hở mạch

### §7.4. MÁY BIẾN ÁP HÀN

Luôn làm việc trong trạng thái chập mạch

## PHẦN HAI

# NHỮNG VẤN ĐỀ LÝ LUẬN CHUNG CỦA MÁY ĐIỆN QUAY

## CHƯƠNG 8

### ĐẠI CƯƠNG VỀ CÁC MÁY ĐIỆN QUAY

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

Kết cấu gồm hai bộ phận chính: Mạch từ và dây quấn. Ở đó diễn ra sự biến thiên năng lượng điện từ, điện – cơ. Ngoài ra còn có các bộ phận khác như vỏ, bộ phận làm mát.

+ Mạch từ được cấu tạo gồm hai khối thép đồng trục và cách nhau một đoạn sao cho chúng có thể chuyển động tương đối được

■ lõi tĩnh: lõi thép stato

khối quay lõi thép rôto

■ dây quấn: được đặt ở hai phía của khe hở trong các rãnh của stato và rôto

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

- Dựa trên hai định luật cơ bản:

+ Định luật cảm ứng điện từ

$$\bar{e} = -\dot{\Phi} \cdot \vec{l} = -\frac{d\Phi}{dt}$$

+ Định luật lực điện từ

$$\vec{F} = \vec{I} \cdot \vec{B} \cdot l$$

Vì hai định luật cơ bản trên có tính thuận nghịch nên bất kỳ một máy điện quay nào cũng có thể làm việc thuận nghịch

- Có 4 loại máy điện

### 1. Máy điện không đồng bộ

Máy điện không đồng bộ loại máy phổ biến nhất, nguyên lý làm việc như sau : Khi có dòng trong dây quấn tạo ra từ trường quay

$$n_1 = \frac{60 \cdot f}{p}$$

từ trường này quét qua dây quấn rôto và tạo ra suất điện động do Rôto nối ngắn mạch  
 ■ dòng điện rôto ■ thông rôto, từ thông này kết hợp với từ thông stato tạo nên từ thông tổng

Sự tương tác giữa dòng điện rôto và từ thông tổng tạo nên mômen quay làm cho Rôto quay với tốc độ  $n$  ■  $n_1$

■ gọi là máy điện không đồng bộ

- hệ số trượt:

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

■ Một số trường hợp cụ thể

### 2. Máy điện đồng bộ

Rôto quay tạo ra từ trường  $F_t$  quay với tốc độ  $n$ ,  $F_t$  cảm ứng nên suất điện động  $e_A, e_B, e_C$  có tần số  $f = \frac{p \cdot n_1}{60}$

Dòng  $i_A, i_B, i_C$  sinh ra từ trường phản ứng quay với tốc độ  $n_1$  Do  $n = n_1$  nên gọi là máy điện đồng bộ

### 3. Máy điện một chiều

Thực chất là máy điện đồng bộ trong đó suất điện động xoay chiều chỉnh lưu thành suất điện động một chiều chỉnh lưu bằng vành góp

### 4. Máy xoay chiều có vành góp

Là máy điện không bộ dùng hệ thống vành góp đưa dây quấn vào suất điện động phụ mục đích điều chỉnh tốc độ và  $\cos \phi$  ■

## §8.3. MÔ TẢ TOÁN HỌC CÁC QUÁ TRÌNH BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG CƠ ĐIỆN TRONG CÁC MÁY ĐIỆN QUAY



Phương trình Kirrchoff viết cho các mạch vòng dây quấn và phương trình chuyển động của Rôto

giả thiết mạch từ không bão hoà. Thí dụ mạch vòng k ( $1 < k < s$ )

$$U_k = R_k \cdot i_k + \frac{d}{dt} \left( L_{kn} \cdot i_n \right)$$

$L_{kn} \cdot \frac{di_n}{dt}$  : suất điện động biến áp

$i_n \cdot \frac{dL_{kn}}{dt}$  : suất điện động quay

$\frac{d}{dt}$  vận tốc góc

- Công suất đưa từ lưới điện vào mạch vòng k

$$P_K = U_k \cdot i_k = R_k \cdot i_k^2 + L_{kn} \cdot i_k \cdot \frac{di_n}{dt} + i_n \cdot \frac{dL_{kn}}{dt}$$

tổng công suất tức thời:

$$P = \sum_k R_k \cdot i_k^2 + \sum_k L_{kn} \cdot i_k \cdot \frac{di_n}{dt} + \sum_k i_n \cdot \frac{dL_{kn}}{dt}$$

$P_d = \sum_k R_k \cdot i_k^2$  : Công suất tiêu tán trên dây quấn

Do năng lượng từ trường

$$W = \frac{1}{2} \sum_k L_{kn} \cdot i_k^2 \quad \text{tăng theo thời gian khi } i_k, i_n \text{ và } L_{kn} \text{ tăng}$$

$$W = \sum_k \frac{V}{2} \cdot di_k + \sum_n \frac{V}{2} \cdot di_n + \sum_{kn} \frac{V}{2} \cdot dL_{kn}$$

$$\sum_k L_{kn} \cdot i_k \cdot di_n + \frac{1}{2} \sum_k L_{kn} \cdot \frac{dL_{kn}}{dt}$$

Vì vậy để biến đổi năng lượng từ trường phải tiêu hao công suất

$$P_w = \frac{dW}{dt} = \sum_k L_{kn} \cdot i_k \cdot \frac{di_n}{dt} + \frac{1}{2} \sum_k L_{kn} \cdot \frac{dL_{kn}}{dt}$$

- Công suất còn lại là công suất cơ truyền qua trụ máy

$$P_{co} = P - P_d - P_w = \sum_k L_{kn} \cdot i_k \cdot \frac{dL_{kn}}{dt}$$

Kết luận: Công suất phản kháng được hiểu là công suất tức thời cực đại lấy từ lưới tạo nên từ trường trong máy (từ trường này không được phép mất đi)

$$Q \left| \frac{dW}{dt} \right|_{\max}$$

Mômen điện từ

$$M = \frac{P_{co}}{2} \cdot \frac{1}{k_n} \cdot \frac{dW}{dt}$$

$$M = M_C \cdot \frac{d}{dt}$$

$M_C$  : mômen cản

$\omega$  vận tốc góc

$J$ : mômen quán tính

## CHƯƠNG 9

# DÂY QUẤN CỦA MÁY ĐIỆN QUAY

## §9.1. ĐẠI CƯƠNG DÂY QUẤN PHẦN CẢM DÂY QUẤN PHẦN ỨNG

Mục đích: tạo ra khe hở một từ trường phân bố hình sin ở dây quấn phần cảm đảm bảo có một sức điện động, một dòng điện tương ứng công suất điện từ của máy.

- Đảm bảo độ bền về nhiệt, cơ, lý, hoá, phải tiết kiệm kim loại màu
- Chế tạo, lắp ráp thuận tiện.

## §9.2. DÂY QUẤN PHẦN CẢM

Là dây quấn mà dòng trong đó là dòng một chiều hoặc dòng xoay chiều có tần số thấp( chỉ có ở máy không đồng bộ) dây quấn tập trung trên các cực từ  
 Máy có cực từ xen kẽ: cực lồi và cực ấn.

- Cực lồi thường nối với máy một chiều, máy đồng bộ( xạc điện tua bin nước)
- Cực ấn nối với máy phát đồng bộ, tua bin hơi.

Máy có cực tính không đổi.

## §9.3 DÂY QUẤN PHẦN ỨNG

### 1. Máy có cực tính xen kẽ

ab, cd: cạnh tác dụng, phân trong lõi thép

bc, ad: phần đầu nối

y: bước dây nối

$w_s$ : số vòng trong một bội dây

-Bước dây nối y có 3 dạng:

$y = \frac{Z}{2p}$  bước đủ

$y > \frac{Z}{2p}$  bước dài

$y < \frac{Z}{2p}$  bước ngắn

với bước cực đại  $y = \frac{Z}{2p}$

Nguyên tắc thực hiện dây quấn phân ứng căn cứ vào:

-số pha: m

-số rãnh:  $z = 2mpq$

-số đôi cực: p

-số mạch nhánh song song: a

-số sợi chập: n

-số rãnh của một pha dưới một cực: q

Dây 3 pha tạo ra từ trường quay

$$\frac{Z}{2p} = \frac{Z}{2p} = \frac{Z}{2p}$$

Vẽ sơ đồ trải dây quấn một lớp:  $Z=24; m=3; 2p=4$

$$\frac{Z}{2mp} = \frac{24}{2 \cdot 3 \cdot 4} = 1; \quad \frac{Z}{2p} = \frac{24}{2 \cdot 4} = 3$$

Dây quấn một lớp là dây quấn bước đủ

Dây quấn hai lớp có thể là dây quấn bước ngắn

VD:  $Z=24; m=3; 2p=4$

$$\frac{Z}{2mp} = \frac{24}{2 \cdot 3 \cdot 4} = 1; \quad \frac{Z}{2p} = \frac{24}{2 \cdot 4} = 3$$

Dây quấn một lớp bước ngắn:  $y = 5; \frac{Z}{2p} = 3$

Đồng khuôn phân tán

$Z=24; 2p=4; m=3; a=1$

VD:  $Z=36; 2p=4; m=3; a=1$

$$\frac{Z}{2mp} = \frac{36}{2 \cdot 3 \cdot 4} = 3; \quad y = \frac{Z}{2p} = \frac{36}{2 \cdot 4} = 9$$

Dây quấn hai lớp:  $Z=24; m=3; 2p=4; a=1$

$\frac{Z}{2mp} = 1; \frac{Z}{2p} = 3$

lấy  $y=5$  thì sao?

Đây quấn có q là phân số: nếu số rãnh nhiều thì răng nhỏ và yếu, nếu số rãnh ít thì suất điện động yếu

đặt  $q = \frac{N}{d}$  với q là số rãnh một pha dưới d cặp cực

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

bó trí: (d-c) cực có b bồi dây  
c cực có (b+1) bồi dây

VD:  $Z = 15; 2p = 4; m = 3$   $\frac{15}{12} = \frac{3}{4}$

Phân tích ra: 5 bồi dây trên một pha dưới 4 cực

$b=3$  (3bồi dây) dưới 3 cực

$b=1+1$  (2 bồi dây) dưới 1 cực

lấy  $y = 3$

Đây quấn ngắn mạch kiểu lồng sóc

-Dùng trong các loại máy điện không đồng bộ, trong các máy phát điện đồng bộ

-Cấu tạo: trong mỗi rãnh đặt một thanh dẫn; số pha bằng số thanh dẫn và bằng số rãnh; số vòng  $w = \frac{1}{2}$

Hai đầu thanh dẫn nối liền bằng hai vòng ngắn mạch

$$m=Z=N;$$

$$w_f = \frac{1}{2}$$

## 2. Dây quấn phản ứng của máy điện một chiều

bồi dây nối vào phiên góp

-Rãnh nguyên tố:  $Z_{nt} = Z.U$

$$Z_{nt} = S = G; S \text{ là số phần tử}$$

$$y = \frac{Z_{nt}}{2p}$$

$y = 0$ : bước đủ

$y > 0$ : bước dài

$y < 0$ : bước ngắn

Đây quấn xếp

Bước vành góp:  $y_G = n(m, 2, 3, \dots)$

$m = 1$ : dây quấn xếp đơn

$m > 1$ : dây quấn xếp phức

Dấu +: quấn thuận

-: quấn ngược

VD:  $Z = Z_{nt} = S = G = 16; 2p = 4; y_G$

$$\frac{Z_{nt}}{2p} = 4$$

Sơ đồ

$$\text{Góc điện: } \frac{p \cdot 360^\circ}{Z} = 5^\circ$$

Dây quấn xếp đơn  $p$  phức: tạo ra càng nhiều đa giác sức điện động, giảm bớt độ nhấp nhô

Dây quấn xếp phức (SGK)

## CHƯƠNG 10

# SỨC ĐIỆN ĐỘNG DÂY QUẤN PHẦN ỨNG MÁY ĐIỆN QUAY

### §10.1 KHÁI NIỆM

Khi từ thông từ cảm xuyên qua phần ứng biến thiên sẽ sinh ra sức điện động

hai cách tạo từ thông biến thiên:

- Cho dây quấn phần ứng chuyển động đều

Nếu điện trường có phần cảm xen kẽ sẽ sinh sức điện động xoay chiều

Nếu điện trường có phần cảm không đổi sẽ sinh ra sức điện động một chiều

- Cho xuyên qua dây quấn phần ứng đứng yên một điện trường đập mạch hoặc từ trường không thay đổi và từ dẫn thay đổi

Sức điện động xoay chiều hình sin

Sức điện động một chiều phẳng

- Nếu trong một rãnh đặt  $w_s$  vòng dây thì suất điện động:

$$E_s = 4,44 \cdot f \cdot w_s \cdot k_n \cdot \Phi$$

$$\text{Hệ số bước ngắn: } k_n = \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

Vì sao trong máy điện quay lại có hệ số  $k_n$  ?

$$E_q = q \cdot E_s \cdot k_r$$

$$\text{Hệ số rải: } k_r = \frac{\sin \frac{q}{2}}{q \sin \frac{1}{2}}$$

$$E_q = 4,44 \cdot w_q \cdot k_{dq} \cdot \Phi$$

với:  $w_q = q \cdot w_s$

$$k_{dq} = k_n \cdot k_r$$

$$\Phi = 4,44 \cdot f \cdot w_f \cdot k_{dq} \cdot \Phi$$

Ước điện động dây quấn do từ trường bậc cao

Hệ số bậc ngắn bậc  $k_n = \frac{\sin(n \cdot \frac{\alpha}{2})}{n \cdot \sin(\frac{\alpha}{2})}$

Hệ số rải bậc  $k_r = \frac{\sin(\frac{q}{2})}{q \sin(\frac{\alpha}{2})}$

Hệ số dây quấn bậc  $k_{dq} = k_n \cdot k_r$   
 $E_q = 4,44 \cdot f \cdot \Phi \cdot k_{dq}$   
 $\Phi = \frac{B_n \cdot l}{\mu_0 \mu_r}$

Suất điện động tổng:  $E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + \dots + E_n^2}$

Cải thiện dạng sóng sức điện động

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n$$

- Cải thiện nghĩa là đưa nó về dạng gần hình sin nhất đồng nghĩa với việc loại trừ sóng bậc cao nếu được hoặc phải làm yếu sóng bậc cao

+ Cách 1: Rút ngắn bước dây quấn làm triệt tiêu hoặc yếu sóng bậc cao.

VD:  $k_{n5} = \frac{\sin(5 \cdot \frac{\alpha}{2})}{5 \cdot \sin(\frac{\alpha}{2})}$

$$k_{n5} = 0$$

$$k_{n6} = 0,5$$

$$k_{n5} = 0,259; k_{n7} = 0,259;$$

$$k_{n1} = 0,966$$

+ Cách 2: Quấn rải

Ta có:  $k_r = \frac{\sin(\frac{q}{2})}{q \sin(\frac{\alpha}{2})}$

Nếu tăng q thì  $k_r$  giảm  $k_{dq}$  giảm do đó  $E_q$  giảm

+ Cách 3: Làm rãnh chéo : thường chọn nghiêng một bước rãnh

## §10.2. MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

$$E_u = \frac{N}{2a} \cdot E_{tb} = \frac{N}{2a} \cdot 2 \cdot E_m = \frac{N}{2a} \cdot 2 \cdot \sqrt{2} \cdot E$$

$$E = \frac{\Phi}{\sqrt{2}} \cdot f \quad \text{với } f = \frac{p \cdot n}{60}$$

$$E_u = \frac{N}{2a} \cdot 2 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{p \cdot n}{60} \cdot \Phi$$

$$= \frac{p \cdot N}{60 \cdot a} \cdot n \cdot \Phi$$

$$= C_e \cdot \Phi \quad \text{với } C_e \text{ là hệ số kết cấu}$$

## §10.3 SUẤT ĐIỆN ĐỘNG CẢM ỨNG KHI TỪ THÔNG PHẦN CẢM XUYÊN QUA PHẦN ỨNG BIẾN THIÊN

### 1. Từ thông phần cảm biến thiên theo thời gian

a) Suất điện động biến áp

$$E_{\text{biến áp}} = E_{\text{biến áp}} \cdot \cos \alpha$$

$$E_{ba} = \frac{2}{\sqrt{2}} \cdot f \cdot w \cdot k_{dq} \cdot \Phi$$

Máy điện có vành góp:

$$w = \frac{N}{2 \cdot 2a}$$

$$k_{dq} = \frac{2}{\sqrt{2}}$$

$$E_{AB} = E_{ba} \cdot \cos \alpha = \frac{N}{a} \cdot \frac{\Phi}{2} \cdot \cos \alpha$$

$$\text{Khi } \alpha = 0: \quad E_{AB} = E_{ba} \cdot f \cdot \frac{N}{a} \cdot \frac{\Phi}{2}$$

$$\alpha = 90^\circ: \quad E_{AB} = 0$$

b) Sức điện động quay

Khi  $\alpha = 90^\circ$ :  $E_{ba} = 0$  Lúc này tồn tại suất điện động quay  $E_q$

$$E_q = 4,44 \cdot w_q \cdot k_{dq} \cdot \Phi$$

$$w = \frac{N}{2 \cdot 2a}; \quad k_{dq} = \frac{2}{\sqrt{2}}$$

$E_q = \frac{p \cdot N}{\sqrt{2a}} \cdot n$  với p là số đôi cực

## 2. Sức điện động cảm ứng khi từ thông không đổi, từ dẫn mạch từ thay đổi

$$E = 22.f.w.(I_{ax} - I_{in})$$

$$f = \frac{72}{60} n$$

# CHƯƠNG 11

## SỨC TỪ ĐỘNG CỦA DÂY QUẤN MÁY ĐIỆN QUAY

### §11.1 ĐẠI CƯƠNG

- Dòng điện chạy trong dây quấn tạo ra sức điện động sinh ra từ trường bao quanh dây quấn
- Từ trường dây quấn bao gồm từ trường khe hở, từ trường rãnh và từ trường gàn đầu nối, trong đó từ trường khe hở quan trọng nhất
- Khi xem xét từ trường khe hở coi khe hở là đều, từ trở của máy không đáng kể nên sự phân bố từ trường khe hở chính là sự phân bố sức từ động dây quấn mà sức từ động dây quấn phụ thuộc vào kiểu dây quấn và dòng điện chạy trong dây quấn (khe hở là nơi chuyển giao điện và cơ)
- Đối với dòng một chiều sức từ động trong khe hở không đổi và nó sẽ đập mạch nếu từ dẫn thay đổi
- Đối với dòng xoay chiều một pha sức từ động đập mạch
- Đối với dòng xoay chiều m pha sức từ động quay tròn
- Đối với dòng xoay chiều m pha không đối xứng sức từ động quay theo hình e líp

**Kết luận:**

+ Sức từ động đập mạch là tổng hai sức từ động quay tròn theo chiều thuận và chiều ngược với tốc độ là  $\omega$

+ Sức từ động quay tròn là tổng hai sức từ động đập mạch khác pha nhau về thời gian ( $\frac{\pi}{2}$ ) và lệch nhau trong không gian một góc  $\frac{\pi}{2}$

+ Sức từ động e líp sinh ra khi đặt hai dây dẫn lệch nhau một góc  $\frac{\pi}{2}$ , khi đó sức từ động sinh ra cũng lệch nhau một góc  $\frac{\pi}{2}$  nhưng về thời gian thì lệch nhau một góc  $\frac{\pi}{2}$



$\frac{m}{2}$  hoặc hai sức từ động đập mạch lệch nhau góc  $\frac{m}{2}$  nhưng khác nhau về biên độ hoặc hai sức từ động lệch nhau góc  $\frac{m}{2}$  trong không gian nhưng lại lệch nhau một góc  $\frac{p}{2}$  về thời gian.

## CHƯƠNG 12

# ĐIỆN KHÁNG CỦA DÂY QUẦN MÁY ĐIỆN XOAY CHIỀU

### §12.1. ĐẠI CƯƠNG

Dòng điện xoay chiều  $m$  pha chạy trong dây quần của máy điện xoay chiều sẽ sinh ra từ trường quay. Từ trường đó có sóng lưu lạc quay với tốc độ đồng bộ; quay thuận hoặc quay ngược

Điện kháng trong ba vùng từ trường

**1. Từ trường ở khe hở:** do sức từ động bậc một và bậc cao sinh ra

$$F = \frac{m \cdot \sqrt{2}}{k_a \cdot k_p} \cdot \frac{w \cdot k_{dq} \cdot I}{p}$$

với  $k_a = \frac{B_{th}}{B_m}$

với  $B_{th}$ : trị số cực đại của từ cảm không hình sin  $B$

$B_m$ : biên độ sóng  $B$

$$B_{tb} = \frac{m \cdot \sqrt{2}}{k_a \cdot k_p} \cdot \frac{w \cdot k_{dq} \cdot I}{p}$$

Tác dụng chủ yếu là thành phần bậc nhất (1)

: sinh ra sức điện động tự cảm trong bản thân dây quần và các sức điện động hổ cảm trong dây quần khác. Tương ứng với nó tự cảm  $x_1$  và hổ cảm  $x_2$

Từ trường bậc cao trong khe hở rất yếu gọi là từ trường tạp:

$$E_t = E_{chính}$$

**2. Từ trường rãnh:** do dòng điện chạy trong các rãnh tác dụng của dây quần, vì chạy trong rãnh nên đường sức từ thẳng góc với mặt rãnh

Ứng với từ trường rãnh ta có điện kháng rãnh  $x$

**3. Từ trường đầu nối:** do móc vòng cả cuộn dây rôto và stato sinh ra sức từ động tự cảm và hồ cảm nhưng trị số rất nhỏ, có một điện kháng tương ứng  $X_{dn}$

Sự trao đổi năng lượng điện cơ chủ yếu dựa vào từ trường chính của khe hở. Các từ trường còn lại như rãnh, đầu nối gọi chung là từ trường tản tương ứng có điện kháng tản  $X_{\square}$

## §12.2. ĐIỆN KHÁNG CHÍNH CỦA DÂY QUẤN MÁY ĐIỆN XOAY CHIỀU

Từ thông biến thiên sinh ra suất điện động  $E_1$

$$E_1 = \sqrt{2} \cdot f \cdot w_1 \cdot k_{dq1} \cdot \Phi_m$$

$$\Phi_m = \frac{4 \cdot m_1 \cdot f \cdot I_1}{k_{dq1} \cdot k_{dpq1}} \cdot \frac{w_1^2 \cdot k_{dq1}^2}{p}$$

$$E_1 = \frac{4 \cdot m_1 \cdot f \cdot I_1}{k_{dq1} \cdot k_{dpq1}} \cdot \frac{w_1^2 \cdot k_{dq1}^2}{p}$$

Suất điện động hồ cảm:  $E_{12} = \sqrt{2} \cdot f \cdot w_2 \cdot k_{dq1} \cdot \Phi_m$

$$E_{12} = \frac{4 \cdot m_2 \cdot f \cdot I_1}{k_{dq1} \cdot k_{dq2}} \cdot \frac{w_1 \cdot k_{dq1} \cdot w_2 \cdot k_{dq2}}{p}$$

Kết luận: Điện kháng tỉ lệ với bình phương số vòng dây và tỉ lệ nghịch với khe hở không khí, điều này đúng với mọi máy điện

## §12.3. ĐIỆN KHÁNG TẢN DÂY QUẤN MÁY ĐIỆN XOAY CHIỀU

### 1. Điện kháng tản rãnh

$$X_r = \frac{w^2 \cdot f \cdot I}{p \cdot q}$$

$$X_r = \frac{h_1}{3 \cdot b \cdot r} + \frac{h_2}{b \cdot r}$$

$X_r$ : phụ thuộc kích thước và hình dạng rãnh

### 2. Điện kháng tản phần đầu nối

$$X_n = 0,34 \cdot \frac{q}{l_{dn}} + 0,64 \cdot k_n^2$$

### 3. Điện kháng tản tạp

$$x_t = \frac{4.m.f}{k} \cdot \frac{w^2}{k} \cdot \frac{h_{dq}^2}{p}$$

$$x_t = 4.f \cdot \frac{w^2}{p.q} \cdot l$$

$$k_t = \frac{m.q.k_{dq}^2}{k} \cdot k_t$$

$$k_t = \frac{1}{k_{dq1}^2} \cdot \frac{h_{dq1}^2}{p}$$

#### 4. Điện kháng tản dây quấn

$$X_{\Sigma} = X_{dn} + X_t + X_r$$

$$4.f \cdot \frac{w^2}{p.q} \cdot l \cdot n$$

## CHƯƠNG 13

### MẠCH TỪ CỦA MÁY ĐIỆN QUAY

#### §13.1 ĐẠI CƯƠNG

Nghiên cứu mạch từ lúc không tải xác định sức từ động cần thiết tạo ra từ thông khe hở. Làm sinh ra trong dây quấn 1 suất điện động điện từ

##### 1. Từ trường chính và từ trường tản

Từ trường chính là từ trường khe hở gọi là  $\Psi_o$

Từ trường tản  $\Psi_{\sigma}$

$$\text{Từ trường tổng } \Psi_c : \Psi_c = \Psi_o + \Psi_{\sigma} = \Psi_o \left(1 + \frac{\Psi_{\sigma}}{\Psi_o}\right) = \sigma_t \Psi_o$$

$\sigma_t$ : hệ số tản (1,15 ÷ 1,28)

##### 2. Sức từ động

$$F = H \cdot dl$$

$$F_o = 2 \cdot H_{\delta} \cdot l_{\delta} + 2 \cdot H_r \cdot h_r + H_{ur} \cdot l_{ur} + 2 \cdot H_c \cdot l_c + H_g \cdot l_g$$

$$= F_{\delta} + F_r + F_{ur} + F_c + F_g$$

#### §13.1 TÍNH TOÁN MẠCH TỪ (sgk)

## CHƯƠNG 14

# PHÁT NÓNG VÀ LÀM LẠNH CỦA CÁC MÁY ĐIỆN

## §14.1 ĐẠI CƯƠNG

Nhiệt độ của máy phải giới hạn ở mức độ cho phép vì vậy phải tăng công suất và hiệu suất của máy.

### 1. Sự truyền nhiệt trong máy điện

Tuyền dẫn, bức xạ và đối lưu.

### 2. Chế độ làm việc và nhiệt độ cho phép của máy điện và các biện pháp làm lạnh.

- Chế độ làm việc liên tục : S1 ( nhiệt độ của máy có thể tăng đến trị số xác lập).

Biện pháp làm mát : quạt gió, khí nén, bức xạ thông thường công suất làm mát tính vào tổn hao của máy.

- Chế độ làm việc ngắn hạn tức là máy làm việc với thời gian không đủ để chi tiết đạt tới nhiệt độ xác lập.

- Chế độ làm việc ngắn hạn lặp lại : máy làm việc chưa đến nhiệt độ xác lập đã dừng nhưng khi dừng chưa đạt đến nhiệt độ xác lập lại chạy .

$$T_{\text{chu kỳ}} = T_{\text{làm việc}} + T_{\text{nghi}}$$

$$\frac{T_{\text{lv}}}{T_{\text{ck}}} \blacksquare 5\%, 25\%, 30\% \dots$$

## §14.2 SỰ PHÁT NÓNG VÀ LÀM LẠNH CỦA MÁY ĐIỆN

Được thể hiện bằng hệ phương trình phát nóng và làm lạnh ứng với chế độ làm việc

## §14.3 VẤN ĐỀ LÀM LẠNH CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN

### 1. Các kiểu chế tạo : Chủ yếu thể hiện qua vỏ máy

IPXX

IP ( Ingress Protection )

chữ số thứ nhất chỉ mức độ bảo vệ chống sự tiếp xúc của người và máy có 7 cấp từ 0 ÷ 6.

Chữ số thứ nhất : chống nước vào có 9 cấp độ từ 0 ÷ 8.

+ Chữ số thứ nhất :

Cấp 0 : Kiểu hở không có vỏ bảo vệ

Cấp 1 : Kiểu bảo vệ tránh vật rắn xâm nhập có kích thước 50 mm

Cấp 2 : Kiểu bảo vệ tránh vật rắn xâm nhập có kích thước 12 mm

Cấp 3 : Kiểu bảo vệ tránh vật rắn xâm nhập có kích thước 2,5 mm

Cấp 4 : Kiểu bảo vệ tránh vật rắn xâm nhập có kích thước 1 mm

Cấp 5 : Chống bụi ( bụi xâm nhập vào không đáng kể và không ảnh hưởng đến chế độ làm việc của thiết bị ).

Cấp 6 : Bảo vệ kín hoàn toàn.

+ Chữ số thứ hai :

- Cấp 0 : Không bảo vệ chông nước.
- Cấp 1 : Chông được nước nhỏ giọt theo phương thẳng đứng.
- Cấp 2 : Chông được nước nhỏ giọt theo phương góc nghiêng 15°.
- Cấp 3 : Chông được mưa góc rơi đến 60°.
- Cấp 4 : Chông được nước nhỏ giọt và mưa từ mọi phía.
- Cấp 5 : Chông được tia nước từ mọi phía.
- Cấp 6 : Chông được song nước tràn vào thiết bị.
- Cấp 7 : Chông được ngập nước với áp suất và thời gian xác định.
- Cấp 8 : Chông được ngập nước kéo dài.

## **2.Các phương pháp làm lạnh.**

Làm lạnh tự nhiên : Nhiệt độ trong máy tự phát cân bằng nhiệt độ môi trường.

Làm lạnh trong : Lắp quạt gió trong máy.

Làm lạnh mặt ngoài : Sử dụng quạt gió ngoài, chất lỏng, khí nén tiếp xúc bề ngoài.

Làm lạnh độc lập : Thiết bị làm lạnh không liên quan đến máy.

Làm lạnh trực tiếp : Làm mát ngay khu vực phát nhiệt độ, dây dẫn cho nước chảy vào thiết bị.

## **PHẦN BA**

### **MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ**

## **CHƯƠNG 15**

### **ĐẠI CƯƠNG VỀ MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ**

#### **§ 15.1 PHÂN LOẠI VÀ KẾT CẤU**

##### **1.Phân loại**

Theo vỏ máy : hở IP00, kín IP55

Theo rôto : lồng sóc và dây quấn.

Theo số pha : một pha, hai pha, ba pha.

##### **2.Kết cấu.**

1. Phần tĩnh ( stato) : Thông thường có vỏ máy lõi sắt và dây quấn stato, các chi tiết khác liên quan không quay.
2. Phần động ( Roto)
3. Khe hở.

Tên động cơ : 3K 112 – S4

#### **§15.2 CÁC ĐẠI LƯỢNG ĐỊNH MỨC CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ**

P : Công suất	cơ đầu trục đối với động cơ. Điện đầu ra đối với máy phát.
U : Điện áp	220/380 V      Δ/Y
I : Dòng điện	$I_{\Delta} / I_Y$ A
Hiệu suất	$\eta$ %
Cos $\varphi$	( ứng với tại định mức )
Cấp bảo vệ	IP44; IP23; IP55.
Cấp cách điện	B, F, E, H.
Tiêu chuẩn	TCVN 1987-94
Kiểu máy	3K112_M6
Có bi	2Z6205
Ngày tháng năm sản xuất :	

Môi quan hệ :

$$n = \frac{60f}{p} \quad p: \text{số đôi cực}$$

$$p = \frac{60f}{n}$$

$$P = P_{(2)} = U.I.\eta.\cos\varphi.$$

### §15.3 CÔNG DỤNG CỦA MÁY ĐIỆN BỘ

Chủ yếu ở phụ tải không yêu cầu cao về tốc độ hoặc ít điều chỉnh tốc độ.

## CHƯƠNG 16

# QUAN HỆ ĐIỆN TỬ TRONG MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

### §16.1 ĐẠI CƯƠNG

Coi máy điện không đồng bộ như và sự liên hệ giữa chúng thông qua từ trường quay khe hở.

### §16.2 MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ LÀM VIỆC KHI ROTO ĐỨNG YÊN

Lúc khởi động (  $n = 0$  )

$$F_1 = \frac{m_1 \sqrt{2}}{p} w_1 k_{dq1} I_1$$

$$F_2 = \frac{m_2 \sqrt{2}}{p} w_2 k_{dq2} I_2$$

$F_1, F_2, F_0$  : từ trường tổng của khe hở

$$F_0 = (F_1 + F_2)$$

$$I_1 \approx I_0 \left( \frac{m_2 \sqrt{2}}{p} \frac{w_2 \cdot k_{dq2}}{m_1 \cdot w_1 \cdot k_{dq1}} \right) I_2 \approx I_0$$

$I_2$  là dòng điện sinh ra  $F'_2$  để bù lại  $F_2$

$$F'_2 = \frac{m_2 \sqrt{2}}{p} \frac{w_2 \cdot k_{dq2}}{m_1 \cdot w_1 \cdot k_{dq1}} I_2 \approx F_2$$

$$k_i = \frac{I_2}{I_1} = \frac{m_1 \cdot w_1 \cdot k_{dq1}}{m_2 \cdot w_2 \cdot k_{dq2}} \quad (\text{hệ số biến đổi dòng điện}).$$

Từ thông  $\psi$  do  $F_0$  sinh ra  $E_1$  và  $E_2$

$$E_1 = 4,44 f_1 \cdot w_1 \cdot k_{dq1} \cdot \psi$$

$$E_2 = 4,44 f_2 \cdot w_2 \cdot k_{dq2} \cdot \psi$$

Khi roto đứng yên  $f_1 = f_2$

$$k_e = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1 \cdot k_{dq1}}{w_2 \cdot k_{dq2}}$$

$$E_2 = E_1 \cdot k_e \cdot E_2$$

Phương trình cân bằng sức từ động :

$$U_1 = -E_1 + I_1 Z_1$$

$$0 = -E_2 + I_2 Z_2$$

$U_2 = 0$  do roto nối ngắn mạch.

Tương tự máy biến áp:

$$-E_1 = I_0 Z_m = I_0 (r_m + j \cdot x_m) \quad , r_m, x_m \text{ là điện trở và điện kháng từ hóa.}$$

$$U_1 = E_1 + I_1 \cdot Z_1$$

$$0 = E_2 + I_2 \cdot Z_2$$

$$E_1 = E_2$$

$$I_1 = I_0$$

$$E_1 = I_0 \cdot Z_m$$

$$I_1 = \frac{U_1}{Z_1 + Z_2} = \frac{U_1}{Z_m}$$

Khi  $U_1 = U_{dm}$  thì  $I_1 = I_{mở máy}$  rất lớn.

## §16.3 MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ KHI ROTO QUAY

1. Các phương trình cơ bản :

$$U_1 = E_1 + I_1 \cdot Z_1$$

Tần số dòng roto  $f_2$  :

$$f_2 = \frac{n_2 \cdot p}{60} \frac{n_1}{n_1} = \frac{n_2 \cdot p}{60} \cdot f_1$$

$$s = \frac{n_1}{n_2} \quad (\text{hệ số trượt}).$$

Trên dây quấn roto:

$$E_{2s} = 4,44 f_2 \cdot w_2 \cdot k_{dq2} \cdot \psi = 4,44 s \cdot f_1 \cdot w_2 \cdot k_{dq2} \cdot \psi = s \cdot E_2 .$$

$$X_{2s} = 2 \cdot f_2 \cdot L_2 = s \cdot X_2$$

Phương trình cân bằng suất điện động roto :

$$0 = E_{2s}' - I_2' r_2' - x_{2s}' I_2'$$

$$0 = E_{2s}' - I_2' r_2' - x_{2s}' I_2'$$

$$\frac{n_1}{n_2} \frac{1}{s} \rightarrow E_2' = E_{2s}' \cdot \frac{1}{s}$$

Giữ cho  $I_2' = \text{const}$  thì  $r_2'$  và  $x_2'$  tăng lên  $1/s$  lần.

$$r_2' \rightarrow \frac{1}{s} r_2' \quad ; \quad x_{2s}' \rightarrow \frac{1}{s} x_{2s}'$$

$$E_2' = E_{2s}' \left( \frac{r_2'}{s} + x_2' \right) = E_{2s}' \left( r_2' + x_2' \frac{1}{s} r_2' \right)$$

Phương trình khi roto quay :

$$U_1 = E_1' - I_1' r_1'$$

$$0 = E_2' - I_2' \left( \frac{r_2'}{s} + x_2' \right)$$

$$\begin{aligned} E_1' &= E_2' \\ I_1' &= I_2' \\ E_1' &= I_1' \cdot Z_m \end{aligned}$$

Coi công suất tiêu tán trên điện trở giả từ :

$$P_{\text{cơ}} = m_1 \cdot I_2'^2 \cdot \frac{1}{s} r_2'$$

$$\text{Khi } n = 0 \rightarrow s = 1 \rightarrow P = 0.$$

Dùng mạch điện thay thế tính

Dùng sơ đồ thay thế một hệ cơ điện phức tạp để tính toán mạch điện một cách đơn giản.

Mạch thay thế hình  $\Gamma$

$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{Z_1}{Z_m} \\ I_1 &= I_{00} \\ I_{00} &= \frac{U_1}{C_1 \cdot Z_m} = \frac{U_1}{Z_1 \cdot Z_m} \\ s &= \frac{1}{s} r_2' \\ \frac{U_1}{C_1 \cdot Z_{c1}} &= \frac{U_1}{C_1 \cdot Z_1} \end{aligned}$$

2. Hệ số quy đổi dây quấn lồng sóc :

$$k_e = \frac{w_1 \cdot k_{dq1}}{w_2 \cdot k_{dq2}} \quad ; \quad k_i = \frac{m_1 \cdot w_1 \cdot k_{dq1}}{m_2 \cdot w_2 \cdot k_{dq2}}$$

$$k = k_e \cdot k_i$$

$$m_2 = Z_2 \quad ; \quad w_2 = \frac{1}{2} \quad ; \quad k_{dq2} = 1$$

$$k_e = 2 \cdot w_1 \cdot k_{dq1}$$



$$k_i = \frac{2m_1 \cdot w_1 \cdot k_{dq1}}{Z_2}$$

$$k = \frac{4m_1}{Z_2} (w_1 \cdot k_{dq1})^2$$

## §16.4 CÁC CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC, GIẢM ĐỘ NĂNG LƯỢNG VÀ ĐỒ THỊ VECTO CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

**1. Động cơ :** ( $0 < s < 1$ )

$$P_1 = P_2 + \Sigma p$$

$$\Sigma p = p_{cu1} + p_{Fe} + p_{cu2} + p_{c\sigma} + p_{ph\upsilon}$$

$$P_1 = m \cdot U_1 I_1 \cdot \cos \varphi_1$$

$$P_{đt} = P_1 - p_{cu1} - p_{Fe} = m_1 \cdot I_2'^2 \cdot \frac{r_2'}{s}$$

$$P_{c\sigma} = P_{đt} - p_{cu2} = m_1 \cdot I_2'^2 \cdot \frac{1-s}{s} \cdot r_2'$$

$$P_2 = P_{c\sigma} - (p_{c\sigma} + p_{ph\upsilon})$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{P_{c\sigma} - (p_{c\sigma} + p_{ph\upsilon})}{P_1}$$

**2. Đồ thị vectơ**

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

$$q_1 = m_1 \cdot I_1'^2 \cdot x_1$$

$$q_2 = m_1 \cdot I_2'^2 \cdot x_2$$

Phần lớn sinh ra từ trường khe hở :

$$Q_m = m_1 \cdot E_1 \cdot I_o = m_1 \cdot I_o'^2 \cdot x_m$$

$$Q_1 = Q_m + q_1 + q_2 = m \cdot U_1 I_1 \cdot \sin \varphi_1$$

Do khe hở không khí lớn nên dòng từ hóa  $I_o \gg$  so với dòng máy biến áp nên  $\cos \varphi_1$  thấp.

1. Chế độ máy phát điện

Khi  $s < 0$  :

$$P_{c\sigma} = m_1 \cdot I_2'^2 \cdot \frac{1-s}{s} \cdot r_2' < 0. \text{ Máy nhận công suất cơ.}$$

$$\tan \varphi_1 = \frac{x_2'}{r_2'/s} \cdot \frac{s \cdot x_2'}{r_2'} > 0, \quad 90^\circ < \varphi_1 < 180^\circ, \quad \varphi_1 > 90^\circ.$$

$$P_1 = m \cdot U_1 I_1 \cdot \cos \varphi_1 < 0 \text{ máy phát công suất tác dụng vào lưới.}$$

$$Q_1 = m \cdot U_1 I_1 \cdot \sin \varphi_1 > 0 \text{ máy nhận công suất phản kháng.}$$

Đồ thị vectơ :

**3. Chế độ hãm**  $1 < s < \infty$

$$\text{Khi } s > 1 : P_{c\sigma} = m_1 \cdot I_2'^2 \cdot \frac{1-s}{s} \cdot r_2' < 0. \text{ Máy nhận công suất cơ.}$$

$$P_{đt} = m_1 \cdot I_2'^2 \cdot \frac{r_2'}{s} > 0. \quad \text{Máy lấy công suất điện từ lưới vào.}$$

$$P_{đt} + (-P_{c\sigma}) = m_1 \cdot I_2'^2 \cdot r_2' = p_{cu2}.$$

Ví dụ : Tình huống đặt ra nếu động cơ quay để chuyển gạch lên đến một vị trí, ngoại lực tác động làm cho gạch rơi xuống làm roto chuyển động ngược lại, roto nhận công suất cơ và công suất điện. Điều này có thể gây ra chảy roto, vì vậy cần phải có chế độ hãm.

Trường hợp kéo cho tốc độ quay của động cơ lớn hơn tốc độ quay động cơ cho phép thì động cơ làm việc ở chế độ máy phát.

### §16.5 BIỂU THỨC MÔMEN ĐIỆN TỪ CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Phương trình cân bằng momen :  $M = M_o + M_2$ .

$$M : \text{mômen điện từ.} \quad M = \frac{P_{co}}{\omega}$$

$$M_o : \text{mômen không tải.} \quad M_o = \frac{P_{co} \cdot p_f}{\omega}$$

$$M_2 : \text{mômen tải.} \quad M_2 = \frac{P_2}{\omega} ; \omega = \frac{2 \cdot n}{60}$$

$M$  : do từ trường quay tác dụng với dòng điện roto sinh ra từ trường quay với tốc độ  $n_1$  ;  $n_1 = \frac{60 \cdot f}{p}$  ;  $\omega_1 = \frac{2 \cdot n_1}{60}$

$$P_{co} = \frac{\omega}{\omega_1} P_{dt} = \frac{n}{n_1} P_{dt} = (1-s) \cdot P_{dt}$$

$$P_{cu2} = P_{dt} - P_{co} = s \cdot P_{dt}$$

$$P_{dt} = m_2 \cdot U_2 I_2 \cdot \cos \Psi_2$$

$$\rightarrow P_{co} = m_2 (1-s) \cdot U_2 I_2 \cdot \cos \Psi_2$$

$$E_2 = \sqrt{2} \cdot w_2 \cdot k_{dq2} \psi$$

$$\rightarrow M = \frac{P_{co}}{\omega} = \frac{1}{\sqrt{2}} m_2 \cdot P \cdot w_2 \cdot k_{dq2} \cdot \cos \Psi_2 \cdot I_2$$

Tính theo sơ đồ thay thế  $\Gamma$  :

$$I_2' = C_1 \cdot I_2'' = \frac{U_1}{\sqrt{(r_1 + C_1 \frac{r_2'}{s})^2 + x_1 + C_1 \cdot x_2'}}$$

$$P_{dt} = m_1 I_2'^2 \cdot \frac{r_2'}{s} = \frac{m_1 \cdot U_1^2 \cdot \frac{r_2'}{s}}{(r_1 + C_1 \frac{r_2'}{s})^2 + x_1 + C_1 \cdot x_2'}$$

$$M_{dt} = \frac{P_{dt}}{\omega_1} = \frac{m_1 \cdot U_1^2 \cdot \frac{r_2'}{s}}{2 \cdot [(r_1 + C_1 \frac{r_2'}{s})^2 + x_1 + C_1 \cdot x_2']}$$

$M$  tỉ lệ với  $U_1^2 \rightarrow U_1$  thay đổi thì  $M$  thay đổi lớn.

$M$  tỉ lệ nghịch với điện kháng.

$$\frac{dM}{ds} \rightarrow s_m = s_{\text{tối hạn}} \text{ ta có } M_{\text{max}}$$

$$\text{Và } s_m = \frac{C_1 \cdot r_2'}{\sqrt{r_1^2 + x_1 \cdot C_1 \cdot x_2'}} ;$$

$$M_{\max} = C_1 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{mP \cdot U_1^2}{r_1 \sqrt{r_1^2 + x_1 \cdot C_1 \cdot x_2'}} ,$$

Chú ý :  $M_{\max}$  : tỉ lệ với bình phương điện áp

$M_{\max}$  : không phụ thuộc điện trở của roto.

$S_m$  : phụ thuộc điện trở của roto.

Mômen khởi động sẽ lớn khi tăng điện trở roto.

Thay  $s = 1$  vào biểu thức mômen ta tìm được  $M_k$  : mômen khởi động.

$$M_k = \frac{m_1 P \cdot U_1^2 \cdot r_2'}{2 [(r_1 + C_1 r_2')^2 + x_1 \cdot C_1 \cdot x_2']}$$

$M_{kd}$  lớn quan trọng, muốn  $M_{kd}$  lớn tăng điện áp hoặc tăng điện trở roto  $r_2'$

Biểu thức Klox :

$$\frac{M}{M_{\max}} = \frac{2}{s} \cdot \frac{s_m}{s} ; \quad k_m = \frac{M_{\max}}{M_{dm}} \text{ Khả năng quá tải.}$$

$$\frac{dM}{ds} > \frac{dM_2}{ds} \text{ thì máy làm việc ổn định.}$$

Kiến thức cần nắm : + Biểu thức M  
+  $M_{kdb}$  tỉ lệ với  $U_1^2$ .

## §16.6 MÔMEN PHỤ CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

### 1. Mômen phụ không đồng bộ.

$v = 6k + 1$  : Quay thuận

$v = 6k - 1$  : Quay ngược

Tốc độ từ trường bậc  $v$  :  $n_v = \pm \frac{1}{v} \cdot n_1$

$n$  : tốc độ của độ tổng hợp tất cả các loại sóng.

$n > \frac{1}{7} n_1$  đối với sóng bậc 7 động cơ chuyển sang chế độ máy phát còn đối với

sóng bậc 1 vẫn ở chế độ động cơ

$n \in (-n_1; -1/5 n_1)$  mômen khởi động  $< 0$  máy làm việc ở chế độ máy phát.

### 2. Mômen phụ đồng bộ

Sinh ra các sóng không điều hòa bậc cao, từ trường stato tác dụng với 1 sóng bậc cao nào đó có cùng số đôi cực của từ trường roto.

Mômen phụ sinh ra do ảnh hưởng sức từ động bán răng, do đó thiết kế phải phù hợp số rãnh stato và roto, theo kinh nghiệm :  $Z_1 = Z_2$  hoặc  $Z_1 - Z_2 = \pm 2p$ .

### 3. Mômen sinh ra chấn động ở tạp âm

Do từ trường sóng điều hòa gây lên, khi làm việc thì thường kêu và rung . Ngoài nguyên nhân cơ khí còn có nguyên nhân do lực từ kéo lệch về một phía. Sự rung động sinh ra cộng hưởng và ta thấy  $Z_1 = Z_2 \pm 1p, 2p$  thì sinh ra tung động rõ nhất.

### 4. Phương pháp khử mômen phụ.

Không đồng bộ :

Làm triệt tiêu hoặc yếu sóng bậc 5, bậc 7 bằng cách rút ngắn dây quấn.

Làm yếu bằng cách tính toán phối hợp răng rãnh roto và stato

Làm chéo rãnh ở roto hoặc stato.

## §16.7 CÁC ĐƯỜNG ĐẶC TÍNH CỦA MÁY KHÔNG ĐỒNG BỘ

### 1. Đặc tính tốc độ.

$$n = f(p_2)$$

$$n = n_1(1-s)$$

$$s = p_{cu2}/P_{dt}$$

### 2. Đặc tính mômen

### 3. Cos $\Psi$ và hiệu suất $\eta$ .

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\%$$

### 4. Năng lực quá tải

$$k_m = \frac{M_{max}}{M_{dm}}$$

## §16.8 CÁC ĐƯỜNG ĐẶC TÍNH CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ TRONG ĐIỀU KIỆN KHÔNG ĐỊNH MỨC

### 1. Điện áp không định mức.

Nếu  $M_2$  không đổi thì khi U giảm thì I tăng

Nếu  $M_2$  nhỏ ( động cơ làm việc non tải) khi đó trong một số trường hợp U giảm kéo theo cos $\Psi$  tăng.

Nếu tải < 40% ( khi non tải ) thì nên giảm điện áp.

### 2. Tần số không định mức

### 3. Điện áp không đối xứng.

$$E = 4,44f.w.k.\psi$$

Khi E tăng thì f giảm dẫn đến  $\Psi$  tăng

$$P \sim B^2 \sim \Psi^2$$

→ P tăng lên rất nhiều

Ví dụ : Cho một máy 380V\_50Hz so với 2 máy 200V\_50Hz thì đã tiết kiệm được 1,2 tỉ ở công ty.

## CHƯƠNG 18

# ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ ỨNG DỤNG HIỆU ỨNG MẶT NGOÀI

1. Hiệu ứng mặt ngoài ngoài là gì ?

Là : dòng có tần số càng cao càng có xu hướng tập trung chạy ở mặt ngoài của dây dẫn → tăng điện trở mặt ngoài.

2. Ứng dụng vào động cơ không đồng bộ :  $f_2 = s.f_1$

Khi khởi động :  $n = 0 \rightarrow s = 1 = \frac{n_1}{n}$

Dòng điện có xu hướng dồn ra phía ngoài  $r_2$  tăng lên dẫn đến  $M_k$  tăng lên.

+ Chế tạo roto rãnh sâu

+ Chế tạo roto hai lồng sóc.

+ Chế tạo roto có rãnh dạng đặc biệt ( hình chêm, hình chai ...)

## CHƯƠNG 19

# MỞ MÁY VÀ ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

### §19.1 MỞ MÁY ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

Các phương pháp mở máy :

- M mở máy lớn phù hợp với tính chất.
- Phương pháp mở máy đơn giản dễ thực hiện
- Tổn hao năng lượng thấp.

#### 1. Mở máy trực tiếp

+ Ưu điểm : đơn giản.

+ Nhược điểm : dòng mở máy lớn  $4 \div 7 I_{dm}$  làm sụt lưới, ảnh hưởng đến hoạt động bình thường của các thiết bị khác.

Do dòng mở máy lớn tạo ra ứng suất do môi ghép các phần quay.

Tổn hao lớn :  $P_{cu}$  tỉ lệ với  $I^2$  ; do đó khi  $I$  tăng lên thì  $P_{cu}$  tăng lên rất nhanh. Điều này được ứng dụng để mở máy động cơ công suất nhỏ hoặc động cơ công suất lớn nhưng điện áp cao.

#### 2. Hạ điện áp khi khởi động

Khởi động bằng phương pháp nối Y –  $\Delta$  ( chỉ áp dụng cho các động cơ khi làm việc bình thường dây quấn nối  $\Delta$  ).

VD : động cơ chạy ở lưới 380 V.

U :  $\Delta / Y$                       380/660 V

Điện áp khởi động giảm lần.

Mômen ,  $I$  giảm 3 lần so với khởi động trực tiếp.

+ Ưu điểm : Đơn giản, tiết kiệm năng lượng.

+ Nhược điểm : Chỉ làm việc với động cơ nối  $\Delta$ , tổn công tắc tơ khi chuyển từ  $Y \rightarrow \Delta$  động cơ bị giật do xung dòng điện lớn

+ Ứng dụng : phù hợp với tải không yêu cầu Mômen khởi động lớn.

Sử dụng máy biến áp tự ngẫu.

- Khi khởi động :  $K_1, K_2$  đóng sau đó  $K_2$  mở
- Làm việc :  $K_3$  đóng  
 $K_1, K_2$  mở
- Ưu điểm : Khởi động cho mọi động cơ.  
Điện áp đưa ra khởi động là tùy ý.
- Nhược điểm : Tốn kém, giá thành cao, nặng.

Khởi động bằng điện kháng stato.

- Ưu điểm : đơn giản, rẻ tiền, bền, hiệu quả  
Sử dụng trong môi trường khắc nghiệt  
Sử dụng cuộn kháng tuyến tính dẫn đến mạch từ không bị kháng

bão hòa.

Mở máy bằng cách thêm điện trở phụ vào mạch roto (áp dụng với động cơ không đồng bộ dây quấn )

Máy yêu cầu mở máy với Mômen lớn mà các phương pháp khác không đáp ứng được, do đó phải mở máy bằng cách thêm điện trở phụ vào mạch roto.

Cấp 1 :  $R_f = R_1 + R_2 + R_3$

Cấp 2 :  $R_f = R_1 + R_2$  (  $K_1$  đóng )

Cấp 3 :  $R_f = R_1$  (  $K_2$  đóng )

Cấp 4 :  $R_f = 0$  (  $K_3$  đóng )

- Ưu điểm : Hạn chế dòng nhưng tăng được mômen .
- Nhược điểm : Chế tạo phức tạp, phải có vàng trượt, chổi than, giá thành cao do đo ít được sử dụng.

### §19.3 ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

Động cơ không đồng bộ là loại khó khăn khi điều chỉnh tốc độ :

$$n < n_{db} ; n_{db} = \frac{60f}{p} ; s = \frac{n_{db} - n}{n_{db}} \rightarrow n = n_{db}(1-s)$$

$$\rightarrow n = f(f, p, s).$$

Các phương pháp điều chỉnh tốc độ.

- Thay đổi tần số áp dụng cho việc điều chỉnh  $f$  ở stato
- Thay đổi số đôi cực  $p$  ( đổi nối dây quấn, nhiều bộ dây quấn với  $p$  khác nhau trong một máy ).
- Thay đổi  $s$  ( giảm áp,  $R_f$  lắp ở roto, nối cấp máy điện )

#### 1. Điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi tần số

Cho phép điều chỉnh tốc độ vô cấp và ứng dụng cho nhiều loại tải, có thể tạo ra nhiều đặc tính phục vụ tốt cho nhiều động cơ, hiệu suất cao, giá thành cao.

$$\text{Ta có : } M_{\max} = C \cdot \frac{U_1^2}{f_1^2}$$

$$\text{Nếu cần } \frac{M_{\max}}{M_{dm}} = \text{const} \quad \text{điều chỉnh theo quy luật :}$$

$$\frac{U_1'}{U_1} = \frac{f_1'}{f_1} \cdot \sqrt{\frac{M'}{M}}$$

Nếu cần  $M = \text{const}$  điều khiển theo quy luật

$$\frac{U_1'}{U_1} = \frac{f_1'}{f_1}$$

Nếu cần  $M$  tỉ lệ với  $n^2$  điều khiển quy luật

$$\frac{U_1'}{U_1} = \frac{f_1'}{f_1} \cdot n^2$$

Nguyên lý biến tần

## 2. Điều chỉnh tốc độ bằng phương pháp thay đổi số đôi cực p

$$n = \frac{60f}{p} \quad p = 1, 2, \dots$$

Phù hợp với tốc độ có cấp, cách điều chỉnh đơn giản, tuy nhiên cấu tạo phức tạp, công suất lớn, kích thích lớn.

$\cos\varphi$  ở các cấp độ khác nhau thì khác nhau. Trong các cấp độ chỉ có một cấp độ phù hợp và đạt đến chỉ tiêu kinh tế cao nhất.

## 3. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện áp.

$$s = \frac{P_{Cu2}}{P_{dt}} = \frac{m_1 \cdot I_2'^2 \cdot r_2}{M \cdot \omega_1}$$

Khi điện áp giảm thì  $I_2'$  tăng để đảm bảo bảo toàn cho vấn đề thay đổi công suất.

## 4. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện trở phụ thuộc roto

## 5. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay li hợp điện động ( hay dùng )

# CHƯƠNG 20

## CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC KHÁC CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

### I. Các chế độ làm việc đặc biệt.

1. Máy phát điện không đồng bộ làm việc độc lập với lưới ( không nhận được công suất phản kháng )

$C_o$  : để điều khiển công suất phản kháng cho máy phát tự kích khi không tải.

$C_1$  : bộ tụ được bù vào tỉ lệ công suất phản kháng của tải.

$$C_o = \frac{\sqrt{3} \cdot I_M}{2 \cdot U_1} \cdot 10^6 \text{ (}\mu\text{F)}; C_1 = \frac{Q}{2 \cdot U_1^2} \text{ (}\mu\text{F)}$$

$Q$  ; Công suất phản kháng của tải.

2. Chế độ hãm

- Hãm ngược( đảo pha điện áp )
- Hãm tái sinh ( tái thế năng )
- Hãm động năng ( sau khi cắt điện )

Đưa dòng 1 chiều vào dây stato sinh ra từ thông hãm lại sức quay của roto.

### II. Các dạng khác của máy điện không đồng bộ

1. Máy dịch pha : Là roto đồng bộ không dây quấn được hoạt động theo chu trình như máy biến áp kín.

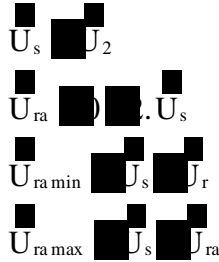
$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1 \cdot k_{dq1}}{W_2 \cdot k_{dq2}}$$

Hiệu dụng  $U_1 = \text{const}$

$U_2 = \text{const}$  ở mọi vị trí roto góc pha thay đổi theo góc lệch roto.

2. Máy điều chỉnh cảm ứng ( máy điều áp ).

3. Tức là :  $U_{ra} \quad U_s \quad U_r$   
 Nếu :



4. Máy biến tần số

$$f_2 = s f_1$$

$$s = \frac{n_{đb}}{n_{đb}}$$

$$s \geq 1 \rightarrow f \geq f_1$$

## CHƯƠNG 21

### MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ MỘT PHA

#### §21.1 ĐẠI CƯƠNG

#### § 22.2 NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC

Khi có dòng điện vào dây quấn stato từ trường đập mạch là tổng của hai từ trường quay : thuận và ngược.

$$\Psi_A : f_{2A} = \frac{p(n_1)}{60} = \frac{p \cdot n_1 \cdot (n_1)}{n_1 \cdot 60} = s \cdot f_1$$

$$\Psi_B : f_{2B} = \frac{p(n_1)}{60} = \frac{p \cdot n_1}{60} \cdot \frac{2n_1 - n_1}{n} = (2 - s) \cdot f_1$$

$s = 1$  lúc roto đứng yên hoặc lúc khởi động.

$s < 1$  đối với  $\Psi_A$ , làm việc ở chế độ động cơ điện

$s > 1$  đối với  $\Psi_B$ , làm việc ở chế độ động cơ hãm

Phương trình :  $U_1 = -E_{1A} - E_{1B} + I_1 (r_1 + j \cdot X_1)$

$E_{1A}$  : suất điện động sinh ra bởi tổng hợp từ trường thuận stato với từ trường roto.

$E_{1B}$  : suất điện động sinh ra bởi tổng hợp từ trường ngược stato với từ trường roto.



Ở mạch roto :

$$\begin{aligned} E_{2A} &= -r_{2A} \frac{dI_2}{dt} - X_{21} \frac{dI_1}{dt} \\ E_{2B} &= -r_{2B} \frac{dI_2}{dt} - X_{22} \frac{dI_2}{dt} - X_{21} \frac{dI_1}{dt} \end{aligned}$$

+ Khi  $s = 1$  thì  $E_{1B} = E_{1A} \rightarrow \Psi_A = \Psi_B$  từ trường đập mạch động cơ không quay.

+ Khi  $s < 1$  thì  $\frac{r_1}{s} < \frac{r_2}{s}$  do đó  $E_{1A} > E_{1B} \rightarrow \Psi_A > \Psi_B$

Sinh ra từ trường quay Elíp với tốc độ  $n_1$  làm động cơ quay.

### § 21.3 CÁC PHƯƠNG PHÁP MỞ ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT PHA

Nguyên lí : Tạo ra các từ trường quay lúc động cơ khởi động, từ trường quay tròn hoặc elíp.

#### 1. Động cơ khởi động bằng vành ngắn mạch

- Đơn giản, giá thành rẻ.
- Hệ số thấp, mômen khởi động yếu, phù hợp với tải gió.

#### 2. Khởi động bằng điện trở

Trong lõi thép stato đặt 2 cuộn dây lệch nhau về không gian một góc  $90^\circ$ . Cuộn dây làm việc nối trực tiếp lưới điện, cuộn dây mở máy nối với điện trở qua hệ thống công tắc ( công tắc li tâm đóng cắt theo tốc độ quay của động cơ ).

Ưu điểm : Giá thành rẻ, dùng dây quấn làm điện trở.

#### 3. Khởi động bằng điện dung.

Đây là phương pháp phổ biến nhất.

- Đặc điểm khởi động :

+  $M_{kd}$  lớn từ  $2,2 \div 2,5 M_{dm}$

+ Hiệu suất và  $\cos\varphi$  không cao do đó kích thước máy lớn, thường sử

dụng cho phụ tải yêu cầu  $M_{kd}$  lớn, giá thành cao.

- Đặc điểm làm việc :

+  $M_{kd}$  khá lớn  $1,8 \div 2,2 M_{dm}$ .

+  $\cos\varphi$  tương đối cao, hiệu suất lớn hơn hiệu suất ĐDKĐ, kích thước máy nhỏ hơn ĐDKĐ cùng công suất dùng cho phụ tải không yêu cầu  $M_{kd}$  lớn, giá thành rẻ hơn ĐDKĐ.

- ĐDLV :  $M_{kd}$  thấp, nhỏ hơn  $M_{dm}$ . Hiệu suất và  $\cos\varphi$  khá cao, kích thước máy nhỏ hơn hai loại trước chỉ thích hợp với phụ tải có momen tỉ lệ với tốc độ : quạt gió, bơm nước, giá thành rẻ nhất trong các loại động cơ một pha điện dung.

## PHẦN BỐN

### **ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ**

#### CHƯƠNG 22

#### **ĐẠI CƯƠNG VỀ MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ**

##### **§22.1 PHÂN LOẠI VÀ KẾT CẤU MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ**

###### **1. Phân loại**

Theo kết cấu :

- Máy điện đồng bộ cực ẩn : Roto chế tạo bằng thép khối, trên đó có các dây đặt dây.

Máy điện đồng bộ cực ẩn có hai cực đường kính roto nhỏ, tốc độ  $n = 3000$  vòng/phút hay dùng ở nhà máy nhiệt điện.

- Máy điện đồng bộ cực lồi :

###### **2. Kết cấu**

a. Máy cực ẩn :

Roto chế tạo bằng thép hợp kim chất lượng cao được rèn thành khối trụ và phay các rãnh đặt dây trên mặt roto, phần không phay hình thành một mặt phẳng từ đường kính roto giới hạn là 1,15m.

Để tăng công suất máy chỉ có thể kéo dài lõi thép, chiều dài lõi thép đạt 6,5m. Các vòng dây quấn của cuộn kích từ được chế tạo bằng vật liệu đồng cứng đặt trong rãnh và cách điện bằng Mika. Các thanh dẫn được nẹp chặt, thanh nẹp phi từ tính, các đầu dây được đai banug ông thép phi cực tính.

Đối với máy công suất lớn thường có một máy phát điện làm nhiệm vụ kích từ được gắn đồng trục với máy phát chính có  $f = 2f$  máy phát chính.

Stato : Lõi thép stato chế tạo bằng thép kỹ thuật điện dày 0,5 mm. Thân máy chế tạo bằng thép kết cấu hàn lại với nhau và được thiết kế chung với nắp và trục ngang ổ đỡ có thể đặt riêng hoặc ...

b. Máy cực lõi

Roto : Ghép bởi nhiều cực từ, lõi thép của các cực từ được chế tạo từ thép nguội khối hoặc ghép các lá thép mỏng lại với nhau. Các cực từ được ghép với trục và bạc đỡ qua hệ thống bulông cực từ.

Dây quấn cực từ chế tạo bằng đồng chất lượng cao và quấn thành bồi xung quanh thân các cực từ. Đối với máy phát điện công suất lớn và động cơ điện ngoài dây quấn cực từ còn có dây quấn cảm và dây quấn mở máy chế tạo dưới dạng lồng sóc đặt trên bề mặt cực. Điện trở dây quấn cảm nhỏ hơn điện trở dây quấn cảm.

Trục : chế tạo bằng thép hợp kim rèn trước khi gia công.

Stato : khác với stato máy cực ẩn, máy phát cực từ đặt đồng trục với máy phát chính.

Trục đặt thẳng đứng và bộ đỡ giá treo gọi là máy kiểu treo.

Trục đặt thẳng đứng và bộ đỡ giá dưới gọi là máy kiểu dầm.

## §22.2 HỆ THỐNG KÍCH TỪ CỦA MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Yêu cầu : động cơ được dòng điện kích từ  $I_t = \frac{U_r}{r_t}$ .

Động cơ được  $U_t$  duy trì điện áp ra của máy phát trong điều kiện làm việc bình thường.

+ Có khả năng tăng cường kích từ mạnh để giữ đồng bộ giữa máy phát và lưới khi có sự cố làm cho điện áp lưới hạ thấp do ngắn mạch từ xa.

+ Có khả năng truyền từ ( giảm nhanh dòng điện kích từ về 0 khi có sự cố ngắn mạch nội bộ) khi có :

- Điện áp triệt từ không vượt quá 5 lần điện áp kích từ định mức để đảm bảo độ bền cách điện cho dây quấn.
- Tăng gấp đôi dòng kích từ trong 1,5 giây.

Có 3 loại hệ thống kích từ : Dùng máy điện một chiều, dùng máy phát đồng bộ, dùng hệ thống chỉnh lưu. Tất cả hệ thống đều yêu cầu tự kích từ.

## CHƯƠNG 23

### TỪ TRƯỜNG TRONG MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Do dòng điện chạy trong dây quấn roto và stato sinh ra khi máy không tải, từ trường là dòng điện kích từ sinh ra. Khi roto quay từ trường quét qua roto cảm ứng dây quấn sinh ra suất điện động không tải  $E_0$ . Khi mạch ngoài nối phụ tải trong dây quấn có dòng điện  $I$ , dòng điện này sinh ra từ trường stato hay là từ trường phản ứng, nếu 3 pha thì từ trường là từ trường quay. Sự tương tác từ trường kích từ và từ trường phản ứng gọi là phản ứng phản ứng, làm ảnh hưởng nhiều hoặc ít tùy thuộc vào tính chất của tải, cấu tạo của máy.

Từ trường cực từ ( từ trường phản cảm do dòng  $i(t)$  sinh ra. Quét qua các thanh dẫn stato khi roto quay sinh ra  $E_0$ .

Khi có dòng điện (máy được đóng tải) trong dây quấn stato xuất hiện từ trường (từ trường phản ứng) –  $F_r$

Sự tương tác giữa  $F_r$  và  $F_t$  – phản ứng phản ứng làm thay đổi  $F_t$  nhiều hay ít phụ thuộc vào tính chất tải, cấu tạo máy.

$$F_o \quad F_u \quad F_t$$

Giả thiết : Mạch từ không bão hòa để xếp chồng nghiệm.  $F_t$  do dòng 1 chiều sinh ra,  $F_r$  do dòng xoay chiều sinh ra, do đó phải quy đổi.

## §23.2 TỪ TRƯỜNG DÂY QUẤN KÍCH THÍCH

Từ trường phân bố kết cấu dây quấn và cấu tạo từ :

$$B_{tm1} = k_t \cdot B_{tm}$$

$k_t$  : hệ số dạng sóng.

$$k_T = 0.95 \div 1,15 \quad \text{với máy cực từ lùi}$$

$$= 0,965 \div 1,065 \quad \text{với máy cực ản.}$$

Biết  $B_{tm1} \rightarrow M_{ud}$

$$\Psi_{t1} = 2 \cdot B_{tm1} \cdot l$$

$$\Psi_{t1} = \frac{W_t \cdot k_t \cdot i_t}{k \cdot k_{dq}} = w \cdot M_{ud} \cdot i_t = x_{ud} \cdot i_t$$

$$x_{ud} = \frac{w \cdot k_{dq} \cdot W_t \cdot k_t}{p}$$

Tùy thuộc tính chất tải, trục từ trường phản ứng làm một góc nào đó với trục cực từ.

## §23.3 TỪ TRƯỜNG PHẢN ỨNG

### 1. Phản ứng phản ứng ngang trục và dọc trục

Ngang trục: là vectơ từ trường phản ứng hợp một góc  $90^\circ$  với vectơ từ trường cực từ.

Dọc trục : Là vectơ từ trường phản ứng hợp một góc  $0^\circ$  và  $180^\circ$  với vectơ từ trường cực từ.

a. Khi tải đối xứng và thuần trở

Vị trí không gian từ trường quay phản ứng. Phản ứng có chiều trùng với trục dây quấn pha A là pha có suất điện động  $E_A$  lớn nhất.

$\Psi_A$  (từ thông xuyên qua A) đạt cực đại trước suất điện động  $E$  một góc  $90^\circ$ .

Do vậy  $E$  đạt cực đại khi cực từ quay được một góc  $90^\circ$  so với vị trí trục cực từ trùng với trục pha A là lúc từ thông xuyên qua pha A có trị số cực đại.

b. Khi tải thuần cảm.

Tải thuần cảm  $E$  vượt trước  $I$  một góc  $\psi = 90^\circ$ . Do đó khi  $\psi_{Amax}$  thì cực từ đã quay thêm  $m$

c. Tải bất kì.

### 2. Từ cảm do từ trường phản ứng và điện kháng tương ứng

Máy cực ản : có khe hở không khí đều nếu khi đó sức từ động của dây quấn phản ứng phân bố hình sin thì từ cảm phân bố dọc khe hở cũng phân bố hình sin.

$$B_{um} = \frac{F_u}{k \cdot k_{dq}} = \frac{m \sqrt{2} \cdot w \cdot k_{dq} \cdot I}{p}$$

Từ thông :

$$\Psi_{ur} = \frac{2}{p} B_{um} \frac{2}{k} \frac{m\sqrt{2}}{k} \frac{w.k_{dq}.I}{p}$$

$\Psi_{ur}$  quay đồng bộ với roto cảm ứng dây quấn phần ứng suất điện động :

$$E_{ur} = \sqrt{2} .fw.k_{dq} \cdot \Psi_{ur}$$

Điện kháng :

$$x_{ur} = \frac{E_{ur}}{I} \frac{mf}{k} \frac{w^2.k_{dq}^2}{p}$$

Máy cực lồi : khe hở không đều nên sức từ động của dây quấn phần ứng phân bố hình sin thì từ cảm phân bố dọc khe hở không khí không phân bố hình sin. Lúc đó :

$$F_u = F_{ud} + F_{uq} \quad \text{ở } \psi \text{ bất kì.}$$

$$F_{ud} = F_u \cdot \sin \frac{n\sqrt{2}}{p} \frac{w.k_{dq}}{p} I \sin \frac{n\sqrt{2}}{p} \frac{w.k_{dq}}{p} I_d = \frac{n\sqrt{2}}{p} \frac{w.k_{dq}}{p} I_d$$

$$F_{uq} = F_u \cdot \cos \psi$$

$$I_d = I \cdot \sin \psi$$

$$I_q = I \cdot \cos \psi$$

Biên độ  $F_{ud}$ ,  $F_{uq}$  trùng với trục dọc và trục ngang của cực từ.

Tuy nhiên thành phần bậc cao nhỏ nên tính toán có thể bỏ qua sóng bậc cao, tuy nhiên bậc cao chỉ xét sóng bậc 1 có biên độ :  $B_{udm1}$ ;  $B_{uqm1}$

$$K_{ud} = \frac{B_{udm1}}{B_{udm}} ; \quad K_{uq} = \frac{B_{uqm1}}{B_{uqm}}$$

k phụ thuộc hệ số mặt tích cực và phụ thuộc tỉ số  $\frac{B_{max}}{B}$ , cho trước khi thiết kế.

+ Điện kháng của máy điện cực lồi:

$$x_{ud} = \frac{E_{ud}}{I_d} \frac{mf}{n.k} \frac{w^2.k_{dq}^2}{p} .k_{ud}$$

$$x_{uq} = \frac{E_{uq}}{I_d} \frac{mf}{n.k} \frac{w^2.k_{dq}^2}{p} .k_{uq}$$

$$x_{ud} = 0,5 \dots, 5$$

$$x_{uq} = 0,3 \dots, 9$$

### 3. Quy đổi suất điện động trong máy điện đồng bộ

- Quy đổi suất điện động phần ứng : suất điện động cực từ để khi xét các đường đặc tính dùng chung các đường cong

Đối với tải đối xứng xác lập : Trong quá trình quá độ suất điện động phần ứng thay đổi theo thời gian , dây quấn stato và rôto có quan hệ với nhau như hồ cảm trong máy biến áp nên coi stato là sơ cấp , roto là thứ cấp, trong trường hợp này người ta qui đổi dây quấn từ về dây quấn phần ứng.

- Quy đổi suất điện động phần ứng về suất điện động cực từ

$$B_{tm1} = B_{um1}$$

Máy cực ẩn:

$$B_{tm1} = k_t \cdot B_{tm} = k_t \cdot \frac{F_t}{k}$$

$$B_{um1} = B_{um} \frac{k_u}{k_t} \cdot F_u$$

$$r_{u1} = \frac{F_u}{k_t} \cdot c_u \cdot F_u \cdot F_t; \quad k_u = \frac{1}{k_t}$$

Máy cực lỗi

Đọc trực :

$$B_{tm1} = c_t \cdot B_{tm} \cdot \frac{F_t}{k_t}$$

$$B_{udm1} = c_{ud} \cdot B_{udm} \cdot \frac{F_u}{k_t}$$

$$F_{ud} = F_u \cdot \frac{k_{ud}}{k_t} \cdot k_d \cdot F_t$$

$$k_d = \frac{k_{ud}}{k_t}$$

$$F_{uq} = F_{uq} \cdot \frac{k_{uq}}{k_t} \cdot k_q \cdot F_t$$

$$k_q = \frac{k_{uq}}{k_t}$$

$k_q; k_t$  : trị số quy đổi phụ thuộc dạng cực từ

## CHƯƠNG 24

# QUAN HỆ ĐIỆN TỪ TRONG MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

## §24.1 ĐẠI CƯƠNG

### §24.2 PHƯƠNG TRÌNH ĐIỆN ÁP VÀ ĐỒ THỊ VECTO

#### 1. Máy phát điện

a. Mạch từ không bão hoà

Giả sử  $0 < \psi < 90^\circ$  (tải cảm)

Máy cực ản

$$U = E_o - E_u \cdot (r_u \cdot x_u)$$

Mà

$$E_u = I \cdot x_u \cdot E_o = I \cdot x_u \cdot (r_u \cdot x_u)$$

$$E_o = I \cdot x_{db} \cdot r_u$$

Trong đó

$$x_{db} = x_u + x_{\delta}$$

$$U = E_o \cdot I \cdot x_{db} \cdot r_u$$

$$U = E_o - I \cdot x_{db} - r_u \cdot E$$

$$U = I \cdot x_u - I \cdot x_q - r_u \cdot E_o$$

Máy cực lỗi:

$$F_u = F_{ud} + F_{uq}$$

$$I_d \cdot x_{ud}$$

$$I_q \cdot x_{uq}$$

$$U = E_o - E_{ud} - E_{uq} - (r_u \cdot x_u) = E_o - I_d \cdot x_{ud} - I_q \cdot x_{uq} - r_u \cdot I \cdot x_u$$

Mà

$$I \cdot x_u = (I \cdot x_u \cdot \cos \theta) + (I \cdot x_u \cdot \sin \theta) = I_d \cdot x_u + I_q \cdot x_u$$

$$U = E_o - I_d \cdot (x_{ud} + k_d) - I_q \cdot (x_{uq} + k_q) - I \cdot r_u$$

$$E_o - I_d \cdot x_d - I_q \cdot x_q - I \cdot r_u$$

Trong đó

$$x_d = k_{ud} + x_{ud}$$

$$x_q = k_{uq} + x_{uq}$$

b) Mạch từ bão hoà : Khi mạch từ bão hoà các hệ số  $k_d$ ;  $k_q$ ;  $k_d$  khó xác định thành laapj đồ thị vector dựa vào hai đồ thị chưa bão hoà và đồ thị suất từ đồng kết hợp với đường cong không tải (đường cong từ hoá)

Đồ thị là đồ thị Pôchiê

+ Máy cực ẩn:

Từ đồ thị xác định  $E_o = E_o - U$

$E_o$ : điện áp lúc không tải

$U$ : điện áp lúc định mức

$r_u$ : độ sụt áp

+ Máy cực lồi (tài liệu)

## 2. Động cơ điện

Thường là cực lồi:

$$U = E_o - (r_u \cdot x_u) - E_{ud} - E_{uq} - (r_u \cdot x_u) = E_o - I_d \cdot x_d - I_q \cdot x_q - r_u \cdot I$$

## §24.3. GIẢN ĐỒ NĂNG LƯỢNG CỦA MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Máy phát điện:

$$P_{dt} = P_1 - (P_{co} + P_t + P_f)$$

$$P_2 = P_{dt} - (P_{cu} + P_{Fe})$$

Động cơ điện

$$P_{dt} = P_1 - (P_{cu} + P_{Fe})$$

$$P_2 = P_{dt} - (P_{co} + P_t + P_f)$$

## §24.4. ĐẶC TÍNH GÓC CỦA MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

### 1. Đặc tính góc công suất tác dụng

$P = f(\theta)$  khi  $E_o = \text{const}$ ,  $U = \text{const}$ ;  $\theta = E \cdot U$ ;

Giả thiết  $r_u = 0$ ;  $P = m \cdot U \cdot I \cdot \cos \theta$

Máy cực lồi: Nếu bỏ qua  $r_u = 0$ ;

$$I_d = \frac{E_o \cdot J \cdot \cos \theta}{x_d}$$

$$\begin{aligned}
 I_q &= \frac{U \cdot \sin \theta}{x_q} \\
 P &= m \cdot U \cdot I \cdot \cos \theta = m \cdot U \cdot I \cdot \cos(\psi - \theta) \\
 &= m \cdot U \cdot (I \cdot \cos \psi \cdot \cos \theta + I \cdot \sin \psi \cdot \sin \theta) \\
 &= m \cdot U \cdot (I_d \cdot \cos \theta + I_q \cdot \sin \theta) \\
 &= \frac{m \cdot U^2}{x_q} \cdot \sin \theta + \frac{m \cdot U^2}{2} \left( \frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta \\
 &= P_e + P_u
 \end{aligned}$$

Theo đơn vị tương đối

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{E_o \cdot U}{x_d} \cdot \sin \theta + \frac{U^2}{2} \left( \frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta \\
 P &= P_e + P_u
 \end{aligned}$$

$P_e \sim \sin \theta$  phụ thuộc  $E_o$  hay  $i_t$

$P_u \sim \sin 2\theta$  không phụ thuộc  $E_o$ ; khi  $i_t = 0$  thì  $P_u = 0$

Máy cực ản

$$\begin{aligned}
 x_d &= x_q \\
 P &= \frac{m \cdot U \cdot E_o}{x_d} \cdot \sin \theta
 \end{aligned}$$

## 2. Đặc tính góc công suất phản kháng

$$\begin{aligned}
 Q &= m \cdot U \cdot I \cdot \sin \varphi = mUI \sin(\psi - \theta); \\
 &= mU(I \sin \psi \cos \theta - \cos \psi \sin \theta) \\
 &= mU(I_d \cdot \cos \theta - I_q \cdot \sin \theta);
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Do } I_d &= \frac{E_o}{x_d} \cdot J \cdot \cos \theta & I_q &= \frac{U \cdot \sin \theta}{x_q} \\
 Q &= \frac{m \cdot U \cdot E_o}{x_d} \cdot \cos \theta - \frac{m \cdot U^2}{2} \left( \frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \cos 2\theta & & \frac{m \cdot U^2}{2} \left( \frac{1}{x_d} - \frac{1}{x_q} \right)
 \end{aligned}$$

$Q > 0$  khi và chỉ khi  $0 < \theta < 90^\circ$  khi đó máy phát công suất phản kháng;  
 Ý nghĩa: Từ đặc tính góc suy ra xu thế điều khiển công suất bằng cách thay đổi  $\theta$

## CHƯƠNG 25

# MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ LÀM VIỆC VỚI TẢI ĐỐI XỨNG

### §25.1 ĐẠI CƯƠNG

Nghiên cứu các đặc tính máy phát điện đồng bộ

1. Đặc tính không tải  $U_o = E_o = f(i_t)$  khi  $I = 0$ ,  $n = n_{dm}$ ;
2. Đặc tính ngắn mạch  $I_n = f(i_t)$  khi  $U = 0$ ,  $n = n_{dm}$ ;
3. Đặc tính ngoài  $U = f(I)$  khi  $I_t = \text{const}$ ,  $n = n_{dm}$ ,  $\cos \varphi = \text{const}$ ;
4. Đặc tính điều chỉnh  $i_t = f(I)$  khi  $U = \text{const}$ ,  $\cos \varphi = \text{const}$ ,  $n = n_{dm}$ ;
5. Đặc tính tải  $U = f(i_t)$  khi  $I = \text{const}$ ,  $\cos \varphi = \text{const}$ ;  $n = n_{dm}$ ;



## §25.2 CÁC ĐẶC TÍNH CỦA MÁY PHÁT ĐỒNG BỘ

### 1. Đặc tính không tải

$$U_o = E_o = f(i_t) \text{ khi } I = 0, n = n_{dm}$$

### 2. Đặc tính ngắn mạch

$$I_n = f(i_t) \text{ khi } U = 0, n = n_{dm}; \text{ coi } r_u = 0, \text{ tải thuần cảm thì } I_q = I \cos\psi = 0;$$

Tỷ số ngắn mạch:

$$K = \frac{I_{no}}{I_{dm}}; I_{no} = \frac{U_{dm}}{x_d}; K = \frac{U_{dm}}{x_d \cdot I_{dm}} = \frac{1}{x_d^*}$$

Do  $x_d > 1 \rightarrow k < 1$  dòng ngắn mạch xác nhỏ

Muốn cho máy làm việc ổn định  $\Delta U$  nhỏ  $\rightarrow K$  lớn  $\rightarrow$  giảm  $x_d \rightarrow$  tăng khe hở không khí  $\delta$

### 3. Đặc tính ngoài và độ thay đổi điện áp $\Delta U$

Đặc tính ngoài

$$U = f(I) \text{ khi } I_t = \text{const}, n = n_{dm}$$

$$\Delta U_{dm} \% = \frac{E_o - U_{dm}}{U_{dm}} \cdot 100$$

Tải thay đổi từ  $\cos\varphi = \cos\varphi_{dm} \rightarrow 0$  thì  $\Delta U \% = 25 \div 35\%$

### 4. Đặc tính điều chỉnh : xu hướng điều chỉnh $I_t$ để giữ $U$ không đổi

$$I_t = f(I) \text{ khi } U = \text{const}, n = n_{dm}$$

(Hệ thống điều chỉnh tự động điện áp máy phát dựa vào đặc tính điều chỉnh này.

Phần này rất quan trọng và được áp dụng nhiều trong máy phát). Xây dựng mạch tự (dựa vào KTĐT) để điều chỉnh điện áp ổn định cho máy phát.

### 5. Đặc tính tải

$U = f(i_t)$  khi  $I = \text{const}, \cos\varphi = \text{const}, n = n_{dm}$ . Mỗi  $I, \cos\varphi$  có một đường đặc tính tải  $U=f(i_t)$

## §25.3 TỔN HAO VÀ HIỆU SUẤT CỦA MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Tổn hao đồng :  $P_{Cu}$

Tổn hao sắt:  $P_{Fe}$

Tổn hao cơ :  $P_{cơ}$

Tổn hao phụ:  $P_f$

$$\text{Hiệu suất} = \frac{P_2}{P_1}$$

## CHƯƠNG 26

# MÁY PHÁT ĐIỆN LÀM VIỆC VỚI TẢI KHÔNG ĐỐI XỨNG

### §26.1 ĐẠI CƯƠNG

MFDDB thường làm việc với tải không đối xứng → điện áp không đối xứng nên làm tăng tổn hao do sóng điều hoà bậc cao nên máy nóng hoặc rung.

Phương pháp nghiên cứu: Phương pháp phân lượng đối xứng  
Không đối xứng = 3 thành phần đối xứng hợp lại đó là

- Thành phần thứ tự thuận
- Thành phần thứ tự ngược
- Thành phần thứ tự không

Giải 3 bài toán đối xứng với các thành phần đối xứng  $\Delta ABC$  là tam giác điện kháng sau đó xếp chồng nghiệm

## CHƯƠNG 27

# MÁY PHÁT ĐIỆN LÀM VIỆC SONG SONG

### §27.1 ĐẠI CƯƠNG

Giảm bớt vốn đầu tư khi có sửa chữa, đặt máy dự phòng và tận dụng được các nguồn năng lượng sẵn có trong thiên nhiên. Nâng cao các chỉ tiêu kỹ thuật trong thiết kế và vận hành.

### §27.2. GHÉP MỘT MÁY ĐIỆN VÀO LÀM VIỆC SONG SONG (HOÀ ĐỒNG BỘ)

\*Điều kiện hoà đồng bộ

Điện áp của máy phát bằng điện áp lưới  $U_F = U_L$

Tần số máy phát bằng tần số lưới  $f_F = f_L$

Thứ tự pha của máy phát và lưới giống nhau ( $A_F$  nối  $A_L$ ;  $B_F$  nối  $B_L$ ;  $C_F$  nối  $C_L$ )

Góc pha  $U_F$  bằng góc pha  $U_L$

\*Sẽ có kiểu hoà như sau

+ Đáp ứng đủ các điều kiện hoà: Hoà đồng bộ chính xác.

+ Thiếu một điều kiện nào đó: Hoà đồng bộ không chính xác.

#### 1. Hoà đồng bộ chính xác

1.1 Hoà đồng bộ bằng ánh sáng đèn - Ánh sáng đèn quay

- Kiểu nối tới

Ánh sáng đèn quang

1 : tối nhất

2 : sáng nhất

3 : sáng vừa

Đèn tượng quay

$\phi_1 = \phi_2 = \phi_3$  các đèn

sáng bằng nhau

khi  $\phi = 0$  các đèn tối

Khi một đèn tối hẳn hai đèn  
còn lại sáng bằng nhau

1.2. Hoà bằng phương pháp điện từ (cột đồng bộ)

là một mạch điện từ lắp 2 vônmet ; 2 tần số và 1 đồng hồ báo chiều hướng thay đổi góc pha

1.3 Hoà đồng bộ tự động

## CHƯƠNG I

1. Máy biến áp là thiết bị đứng yên làm việc trên nguyên lý cảm ứng điện từ dùng biến dòng xoay chiều này thành dòng xoay chiều khác có tần số không đổi.

Vai trò máy biến áp trong hệ thống điện lực : truyền tải điện năng đi xa bằng cách tăng điện áp

Kết cấu của máy biến áp : lõi thép , dây quấn , vỏ máy.

2. Trên máy biến áp thường ghi  $S_{dm}$  ;  $U_{dm}$  ;  $I_{dm}$  ;  $f_{dm}$  ;

$S_{dm}$  : biểu thị công suất toàn phần đưa ra ở dây quấn thứ cấp của máy biến áp

$U_{2dm}$  : là điện áp dây quấn thứ cấp khi máy biến áp không tải đặt vào sơ cấp là định mức

## CHƯƠNG II

1. Tổ nối dây của máy biến áp : do sự phối hợp kiểu nối dây sơ cấp so với kiểu đấu dây thứ cấp . Nó biểu thị góc lệch pha giữa các số dây sơ và thứ cấp.

\* Sự cần thiết của tổ nối dây

Tổ nối dây cho biết: + Chiều quấn dây

+ Ký hiệu các đầu dây

+ Kiểu đấu dây quấn ở sơ cấp và thứ cấp

2. Dòng từ hoá máy biến áp ( $I_0$ ): thường rất nhỏ , lúc điện áp định mức , trị số phần trăm của nó so với dòng điện định mức:

$$I_0\% = \frac{I_0}{I_{dm}} \cdot 100 \text{ thuộc } 2 \div 10;$$

Dòng từ hoá máy biến áp phụ thuộc vào các yếu tố sau:

+ Tổn hao sắt từ trong lõi thép :- Cường độ từ cảm trong trụ và gông

- Trọng lượng trụ và gông

- Số pha máy biến áp

+ Cường độ từ trường trong trụ và gông ; chiều dài trung bình của mạch từ tương ứng với trụ và gông.

+ Chiều dài của khe không khí giữa trụ và gông

+ Số khe không khí .

3. Kết cấu mạch từ khác nhau và cách đấu dây ảnh hưởng đến dòng từ hoá  $I_0$

4. Nguyên tắc tính toán mạch từ máy biến áp

$$I_0 = I_{ox} + I_{or}$$

### CHƯƠNG III

1. Tăng dòng thứ cấp thì dòng điện sơ cấp lại tăng?

$$\frac{W_1}{W_2} \frac{U_1}{U_2} \rightarrow U_1 \frac{W_1}{W_2} U_2$$

ta có  $W_1/W_2$  không đổi nên ta có  $U_2$  tăng thì  $U_1$  tăng

Lúc đó từ thông thay đổi trong máy biến áp.

2. Cách xác định tham số hoá của máy biến áp .

$$I_{or} = \frac{Q_o}{m.U_1} + \frac{q_{tt}.G_t + G_{tg}.G_g}{m.U_1} + I_o$$

$$I_{ox} = \frac{F}{\sqrt{2}w}$$

Thực chất của dòng điện không tải là dòng điện đo được khi  $I_o$  sơ cấp khi hở mạch dây quấn thứ cấp .

Thực chất của tổn hao không tải là tổn hao sắt do từ trễ và dòng điện xoáy trong lõi thép gây nên  $P_o = P_{Fe}$

Dung lượng máy biến áp nhỏ thì dòng không tải lại lớn  $S = U.I$ ;

Không tải , tăng điện áp đặt vào máy biến áp thì  $\cos\phi$  của máy biến áp thay đổi như thế nào?

+ Hệ số công suất lúc không tải

$$\cos\phi = \frac{P_o}{U_1 I_o}$$

Khi  $U_1$  tăng thì  $\cos\phi$  giảm nên không nên để máy vận hành khi không tải.

3. Cách xác định tổng trở của mạch sơ cấp và thứ cấp của máy biến áp

$$Z_1 = R_1 + jX_1; Z_2 = R_2 + jX_2;$$

+ Tổn hao ngắn mạch là gì

Là tổn hao đồng trong dây quấn sơ cấp và thứ cấp của máy biến áp

$$P_n = P_{Cu1} + P_{Cu2} + P_{ln} = I_n^2 R_1 + I_n^2 R_2 + I_n^2 R_n$$

+ Phải hạ thấp điện áp xuống khi làm ngắn mạch để cho dòng từ hoá nhỏ làm cho từ thông chính lúc ngắn mạch rất nhỏ.

Thường hạ thấp điện áp sao cho dòng điện trong đó bằng dòng định mức.

+ Nếu đặt toàn bộ điện áp định mức vào lúc ngắn mạch thì lúc này toàn bộ điện áp đặt lên tổng trở ngắn mạch rất nhỏ của máy biến áp , nên dòng ngắn mạch sẽ rất lớn :  $I_n \gg I_{dm}$  sẽ gây ra hỏng máy biến áp.

+ Trị số điện áp ngắn mạch  $U_n$  có thể xem như đại lượng đặc trưng cho điện trở và điện trở và điện kháng tản của dây quấn máy biến áp .Giá trị này được ghi trên nhãn máy.

$$4. Z_n = R_n + jX_n = \frac{U_{dm}}{I_n};$$

Để giảm  $I_n$  của máy biến áp thì phải thiết kế kích thước cuộn dây có tiết diện dây nhỏ để dễ chuyển mạch.

### CHƯƠNG IV

1. Về mặt kết cấu của dây quấn , muốn giảm  $\Delta U$  của máy biến áp ta phải thay đổi số vòng dây của máy biến áp .

2. Sự liên quan giữa các thí nghiệm không tải và ngắn mạch của máy biến áp đến việc xác định  $\Delta U$  và  $\eta$

Ta có  $J_{nx} \cos \varphi_{nx} = J_{nr} \sin \varphi_{nr}$

mà:

$$\frac{P_0}{S_{dm}} = \frac{P_n}{S_{dm} \cos \varphi_n} \Rightarrow \cos \varphi_n = \frac{P_n}{P_0}$$

3. Tổn hao trong lõi thép  $P_{Fe}$  khi có tổn hao khác tổn hao không tải  $P_0$

Xét thật chặt chẽ vì nếu không thì  $P_{Fe} = P_0$

$$P_0 = J_1 I_0 \cos \varphi_0$$

$$1 - \frac{P_{Cu} + P_{Fe}}{P_2} = \frac{P_{Cu} + P_{Fe}}{P_2} \Rightarrow P_{Fe} = P_0 - P_{Cu} \left( \frac{P_2 - P_{Cu}}{P_2} \right)$$

$$P_2 = J_2 I_2 \cos \varphi_2 = P_{Cu} + P_{Fe} \Rightarrow P_{Fe} = \frac{P_2 - P_{Cu}}{\cos \varphi_2}$$

$$P_{Fe} = \frac{P_2 - P_{Cu}}{\cos \varphi_2} = \frac{P_2 - P_{Cu}}{\frac{P_n}{P_2}}$$

$$\frac{P_{Fe}}{P_0} = \frac{P_2 - P_{Cu}}{P_0 \cos \varphi_2}$$

4. Hai máy biến áp nối Y/Y-12 và Y/Y-6 có cùng tỷ số biến đổi k và điện áp ngắn mạch  $U_n$ . Muốn chúng có thể làm việc song song với nhau.

\*Ba điều kiện để máy biến áp làm việc song song là:

- + Cùng tổ nối dây
- + Cùng hệ số biến đổi điện áp k
- + Điện áp ngắn mạch  $U_n$  là như nhau

Nên 2 máy biến áp Y/Y-12 và Y/Y-6 là chưa thỏa mãn điều kiện 1 vì thế chỉ cần nối đầu của máy 1 với cuối máy 2 và đầu máy 2 với cuối máy 1.

## CHƯƠNG V

1. Tổng trở từ hoá của thành phần thứ không  $Z_{m0}$  của tổ máy biến áp 3 pha và máy biến áp 3 pha trụ trong hệ đơn vị tương đối vào khoảng

### Bài tập chương 4

Bài 3(78). Cho một máy biến áp 3 pha nối Y/Y số liệu sau  
 $S_{dm} = 20kVA, U/U = 6/0.4kV; P = 0.6kW, U\% = 5.5$

Tính

a,  $U_n$  (V),  $U_{nr}$  (V),  $U_{nx}$  (V), (điện áp thấp bị nối ngắn mạch)

b,  $Z_n, r_n, x_n, \cos \varphi_n$ ;

c,  $\Delta U\%$  lúc hệ số tải 0.25; 0.5; 0.75; 1 và hệ số công suất  $\cos \varphi_2 = 0.8$  (tải điện cảm)

d,  $P_0 = 0.18kW$ . Tính hiệu suất của máy ở các tải nói trên;

Bài làm

a, Điện áp ngắn mạch sơ cấp:

$$u_n \% = \frac{U_n}{U_{dm}} \cdot 100 = J_{dm} \cdot 0,055 \cdot \frac{6000}{\sqrt{3}} \cdot 0,055 = 10\sqrt{3} (V)$$

$$u_{nr} \% = \frac{U_{nr}}{U_{dm}} \cdot 100 = \frac{P_n \cdot W}{10 S_{dm} \cdot kVA} = \frac{600}{10 \cdot 20} = 3$$

$$U_{nr} = J_{dm} \cdot 0,03 \cdot \frac{6000}{\sqrt{3}} = 0,03 \cdot 60\sqrt{3} (V)$$

$$U_{nx}$$

b,

$$Z_n = \frac{U_n}{I_{lf}} = \frac{U_{lf} \cdot u_n}{I_{lf}} = \frac{\frac{6000}{\sqrt{3}} \cdot 0,005}{\frac{20}{6}} = \frac{10\sqrt{3}}{20} \cdot 6 = 3\sqrt{3}$$

$$I_{lf} = \frac{S}{\sqrt{3} U_{lf}} = \frac{20000}{\sqrt{3} \cdot \frac{6000}{\sqrt{3}}} = \frac{20}{6} (A)$$

$$r_n = \frac{U_{nr}}{I_n} = \frac{P_n}{3 I_{lf}^2} = \frac{600}{3 \cdot \frac{20^2}{6^2}} = 6,33$$

$$x_n = \sqrt{z_n^2 - r_n^2} = \sqrt{33,3^2 - 6,33^2}$$

c,

$$u_n \% = u_{nr} \% \cdot \cos \varphi + u_{nx} \% \cdot \sin \varphi$$

$$0,25 = 0,5 \cdot 0,8 + u_{nx} \% \cdot 0,6$$

$$\cos \varphi = 0,8 \quad \sin \varphi = 0,6$$

$$u_{nr} \% = 3$$

$$u_{nx} \% = \frac{U_{nx}}{U_{dm}} \cdot 100$$

d, Ta có với tổn hao sắt bằng tổn hao đồng thì

$$P_0 \cos \theta_0 = P_n \cos \theta_n$$

$$\frac{P_0 \cos \theta_0}{P_n \cos \theta_n} = 100$$

0,25; 0,5; 0,75; 1;

$$P_2 = U_2 I_2 \cos \theta_2 = I_{dm} \cos \theta_2$$

$$\% \text{ } = \frac{0,18 \cdot 0,25^2 \cdot 0,6}{0,25 \cdot 20 \cdot 0,8} = 0,18 \cdot 0,25^2 \cdot 0,6$$

$$\% \text{ } = \frac{0,18 \cdot 0,5^2 \cdot 0,6}{0,5 \cdot 20 \cdot 0,8} = 0,18 \cdot 0,5^2 \cdot 0,6$$

$$\% \text{ } = \frac{0,18 \cdot 0,75^2 \cdot 0,6}{0,75 \cdot 20 \cdot 0,8} = 0,18 \cdot 0,75^2 \cdot 0,6$$


---

[www.mientayvn.com](http://www.mientayvn.com)

Dịch tiếng anh chuyên ngành khoa học tự nhiên và kĩ thuật.

Dịch các bài giảng trong chương trình học liệu mở của học viện MIT, Yale.

Tìm và dịch tài liệu phục vụ cho sinh viên làm seminar, luận văn.

Tại sao mọi thứ đều miễn phí và chuyên nghiệp ???

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT TP. HCM  
KHOA ĐIỆN  
BỘ MÔN: CƠ SỞ KỸ THUẬT ĐIỆN  
-----0-----  
GVC-ThS.NGUYỄN TRỌNG THẮNG

**GIÁO TRÌNH**

# MÁY ĐIỆN ĐẶC BIỆT



TP. HCM Tháng 5 / 2006



## CHƯƠNG 1 MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU ĐẶC BIỆT

### 1. Đại Cương

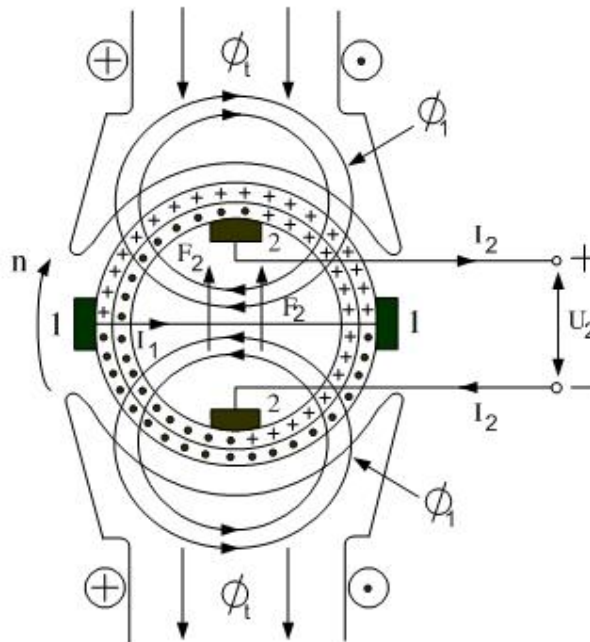
Máy điện một chiều chủ yếu được chế tạo thành động cơ hay máy phát điện, nhưng trong nhiều ngành kỹ thuật chuyên môn đặc biệt máy điện một chiều được chế tạo dưới nhiều dạng đặc biệt khác, nó được dùng trong kỹ thuật hàn, điện phân, kỹ thuật luyện kim. Trong các thiết bị cơ cấu tự động điều khiển xa, giao thông vận tải, trong thông tin liên lạc v.v...Tùy theo những lãnh vực kỹ thuật khác nhau mà thường có máy điện một chiều có những yêu cầu khác nhau. Thí dụ các máy sử dụng trong ngành tự động yêu cầu độ tin cậy cao, quán tính bé, công suất nhỏ. Trong kỹ thuật hàn, luyện kim thường yêu cầu dòng điện lớn v.v...

Trong chương này chúng ta sẽ nghiên cứu sơ lược một vài loại máy điện một chiều đặc biệt được sử dụng rộng rãi trong thực tiễn bao gồm máy điện một chiều từ trường ngang, máy phát hàn điện và một số máy nhỏ dùng trong kỹ thuật đo lường và tự động.

### 2. Máy Điện Một Chiều Từ Trường Ngang

Máy điện một chiều từ trường ngang là máy điện một chiều có vành góp, dùng từ trường phản ứng phản ứng để cảm ứng dòng điện đưa ra tải. Như vậy trong đây quần phần ứng gồm có hai dòng điện : dòng điện thứ nhất tạo ra từ trường ngang và dòng điện thứ hai đưa ra dùng được tạo nên bởi từ trường ngang đó.

Cặp chổi than 1-1 đặt trên đường TTHH và được nối với nhau, cặp chổi than 2-2 đặt lệch  $90^0$  so với cặp chổi than 1-1 và nối với đầu dây ra của máy.



**Hình 1.1** . Cấu tạo máy điện một chiều từ trường ngang.

**Nguyên lý hoạt động:**

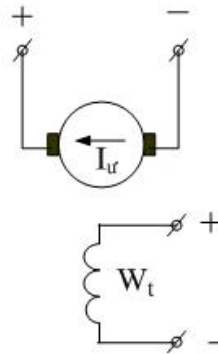
Giả sử, động cơ sơ cấp quay với tốc độ định mức  $n = n_{dm}$  và cuộn dây kích thích được cấp điện áp  $U_{kt}$ . Khi đó, trong cuộn dây này xuất hiện từ thông  $\Phi_t$ , từ thông này cảm ứng nên sức điện động  $E_1$  ở hai đầu chổi than 1-1 của dây quấn phần ứng. Vì 1-1 ngắn mạch nên gây ra dòng  $I_1$  khá lớn chảy trong dây quấn rôto, gây nên từ thông  $\Phi_1$ , dưới tác dụng của  $\Phi_1$  sẽ gây nên sđđ  $E_2$  khá lớn,  $E_2$  tạo nên điện áp  $U_2$  và cung cấp ra ngoài một dòng điện  $I_2$  nào đó.

**2.1. Máy khuếch đại điện từ ( MĐKĐ ) :**

Để không chế một đối tượng nào đó, tín hiệu có thể dẫn trực tiếp đến đối tượng điều khiển không cần qua hệ thống khuếch đại. Cũng có thể tín hiệu được qua bộ phận trung gian khuếch đại lên đưa đến đối tượng điều khiển.

Máy khuếch đại điện từ hay máy khuếch đại (MKĐ) là một trong các thiết bị trung gian nhận tín hiệu đưa đến đối tượng điều khiển nó có nhiệm vụ biến đổi một tín hiệu điện áp hay dòng điện nhỏ để không chế một công suất lớn.

Máy điện một chiều kích thích độc lập cũng có thể xem như là một mô hình của MĐKĐ, trong đó tín hiệu đầu vào là công suất kích thích  $P_t$  và tín hiệu đã được khuếch đại là công suất đưa ra  $P_{dm}$  ở đầu máy phát, nhưng vì  $P_t = (1\div 2)\% P_{dm}$ , nên hệ số khuếch đại rất nhỏ ( $k_{KĐ} = 50 \div 100$ ) nên máy phát điện kích thích độc lập không được dùng như MĐKĐ.



**Hình 1.2.** Sơ đồ nguyên lý máy điện một chiều kích từ độc lập.

Máy điện khuếch đại có  $k_{KĐ}$  rất lớn, vì có hai bậc khuếch đại :

$$k_{KĐ} = \frac{P_{ra}}{P_{vào}} = \frac{U_r \cdot I_r}{U_v \cdot I_r} = k_v \cdot k_i \tag{1.1}$$

Trong đó :

$$k_v = \frac{U_r}{U_v} : \text{hệ số KĐ điện áp.}$$

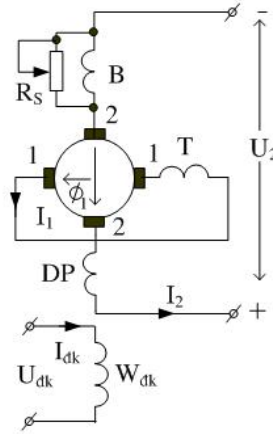
$$k_i = \frac{I_r}{I_v} : \text{hệ số KĐ dòng điện.}$$

Hiện nay có thể chế tạo MĐKĐ có  $k_{KĐ} = 10.000 \div 100.000$ . Chất lượng của MĐKĐ còn được đánh giá bởi khả năng tác động nhanh của nó, xác định bằng hằng số thời gian điện từ  $T$  của máy ( $T = L/R$ ), thông thường  $T = (0,05 \div 0,3)$  sec. Để xét cả hai yếu tố trên người ta thường dùng hệ số chất lượng :

$$k_{cl} = \frac{k_{KD}}{T} \quad (1.2)$$

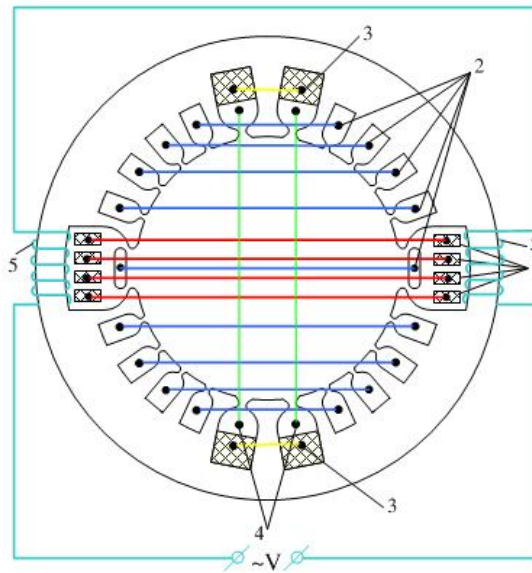
Sơ đồ của MĐKĐ được trình bày trên Hình 1.3. Nguyên lý làm việc được xét tương tự như máy đã xét ở Hình 1.1.

Ở đây s.t.đ  $F_2$  do  $I_2$  tạo ra hoàn toàn bị s.t.đ của cuộn bù B trung hoà nhờ đó công suất của tín hiệu đầu vào sẽ bé dẫn đến  $k_{KD}$  tăng. Biến trở  $R_s$  có công dụng hiệu chỉnh tác dụng của cuộn bù B. Cuộn trợ từ T cho phép hạ thấp dòng điện  $I_1$  do đó cải thiện được vấn đề đổi chiều cho chổi than 1-1. Để cải thiện đổi chiều cho cặp chổi than 2-2 người ta đặt dây quấn phụ DP theo hướng dọc ở Hình 1.4.



**Hình 1.3.** Sơ đồ nguyên lý của MĐKĐ.

Để đặt các dây quấn nói trên, lá thép của Stator có dạng như hình sau :



**Hình 1.4.** Lõi thép Stator của MĐKĐ.

1. Dây quấn điều khiển, 2. Dây quấn bù, 3. Dây quấn cực từ phụ,
4. Dây quấn trợ từ, 5. Dây quấn khử từ trở trên mạch từ stator.

*Nguyên lý làm việc của MĐKĐ*

Tín hiệu được đặt vào dây quấn kích thích gọi là cuộn điều khiển.

Như vậy công suất ở mạch vào:

$$P_{dk} = U_{dk} \cdot I_{dk}$$

Dòng điện  $I_{dk}$  sinh ra từ thông dọc trục  $P_{dk}$ ,  $P_{dk}$  gây nên sđđ  $E_1$  ở 2 đầu chổi than 1-1. Vì 1-1 ngắn mạch nên gây ra dòng  $I_1$  khá lớn chảy trong chổi than. Dòng  $I_1$  gây nên từ thông  $P_1$ , dưới tác dụng của  $P_1$  sẽ gây nên sđđ  $E_2$  khá lớn,  $E_2$  tạo nên điện áp  $U_2$  và cung cấp ra ngoài một dòng điện  $I_2$  nào đó.

$$P_{dk} = U_{dk} \cdot I_{dk} \rightarrow P_1 = U_1 \cdot I_1 \rightarrow P_2 = U_2 \cdot I_2$$

Như vậy ta đã khống chế được công suất từ  $P_{dk} \rightarrow P_2$  khá lớn.

Hệ số khuếch đại công suất :

$$k_p = \frac{P_2}{P_{dk}} = \frac{P_2}{P_1} \cdot \frac{P_1}{P_{dk}} = k_2 \cdot k_1 \quad (1.3)$$

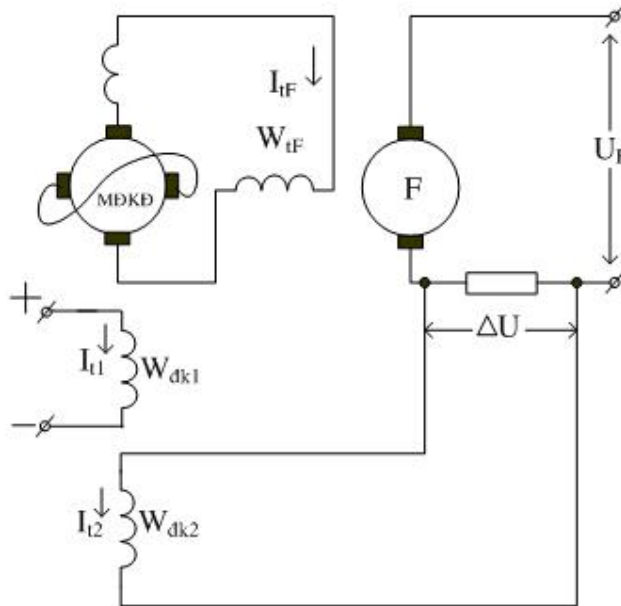
$k_p$  có thể lên đến trị số  $8000 \div 10000$ .

MĐKĐ có thể dùng để duy trì điện áp, dòng điện hay duy trì tốc độ quay của một động cơ nào đó nhanh và nhạy.

Thí dụ để duy trì điện áp của máy phát điện một chiều không đổi người ta dùng MĐKĐ để cung cấp dòng điện kích thích cho máy phát một chiều.

Lấy tín hiệu bằng cách lấy điện áp trên điện trở ra của máy phát một chiều đưa về cuộn điều khiển hai của MĐKĐ. Sức từ động của cuộn một và hai cộng nhau.

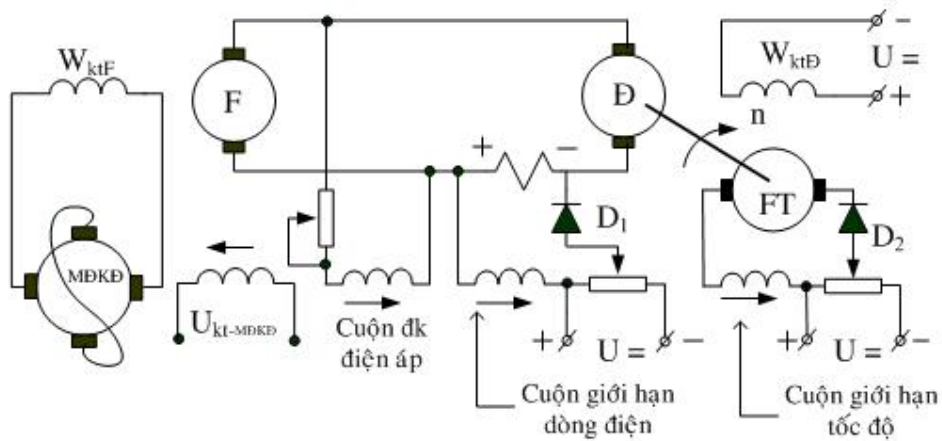
Ta đã biết, khi tải tăng thì điện áp của máy phát điện một chiều sẽ giảm do  $\varepsilon$  (phản ứng phản ứng) và điện áp rơi trên phần ứng. Để khắc phục tình trạng này người ta dùng sơ đồ sau để duy trì điện áp  $U_F$  của máy phát điện một chiều không đổi khi  $I$  tăng.



**Hình 1.5.** Sơ đồ mạch ứng dụng MĐKĐ ổn định điện áp máy phát điện.

Khi  $I$  tăng  $\rightarrow \Delta U$  tăng  $\rightarrow I_{t2}$  tăng  $\rightarrow \phi_{\Sigma} = (\phi_1 + \phi_2)$  tăng  $\rightarrow U$  MĐKĐ tăng  $\rightarrow I_{tF}$  tăng  $\rightarrow U_F$  tăng đến  $U$  ban đầu.

Hình 1.6 trình bày một ứng dụng của MĐKĐ dùng duy trì điện áp và tốc độ DC không đổi.



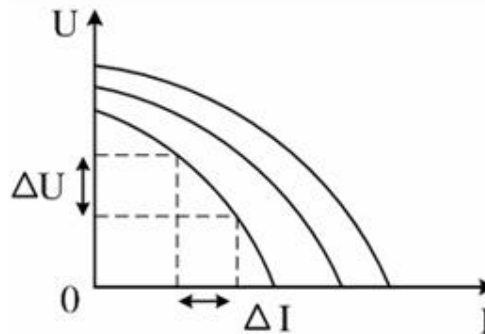
**Hình 1.6.** Sơ đồ nguyên lý mạch ứng dụng MĐKĐ.

Mạch có chức năng như sau :

$$\text{Giữ : } U_D = \text{const.}, I \leq I_{dm}, n_{dm} = \text{const.}$$

### 3. Máy Phát Điện Hàn

Muốn cho mỗi hàn có chất lượng cao, nhiệt lượng ở mỗi hàn và dòng điện sinh ra nhiệt lượng đó phải ổn định. Để đáp ứng được yêu cầu đó máy phát điện cần phải có đặc tính ngoài  $U = f(I)$  có độ dốc cao.



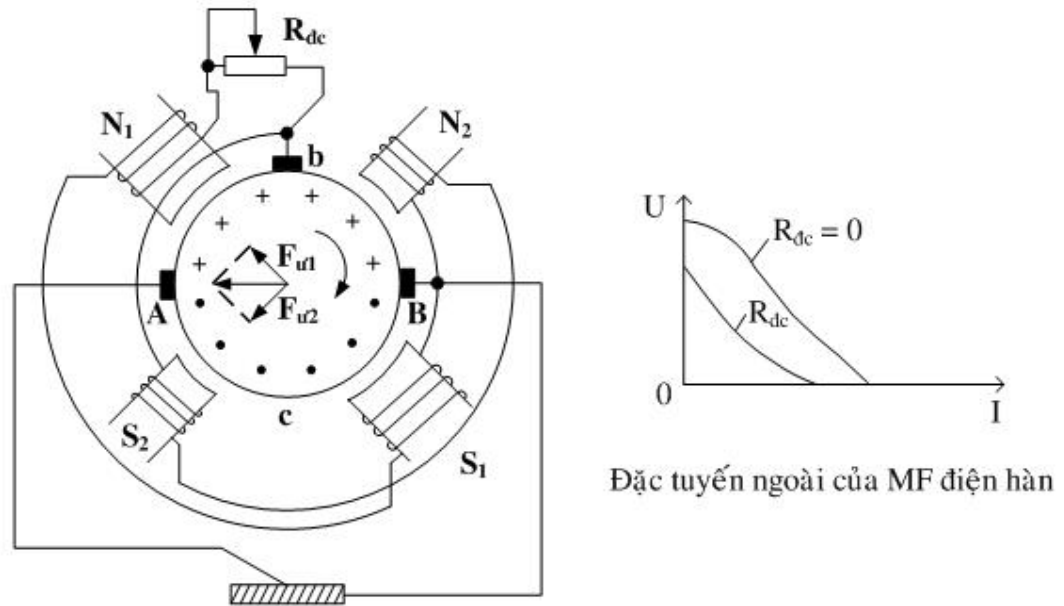
**Hình 1.7.** Đặc tính ngoài của máy phát điện hàn một chiều.

Máy phát điện hàn phải thỏa mãn các yêu cầu sau :

Duy trì được chế độ ngắn mạch khi người thợ hàn làm việc nối ngắn mạch các cực hàn ( ví dụ khi nhóm cháy hồ quang ).

Phải đảm bảo trị số dòng điện không đổi khi điện trở hồ quang thay đổi ( chiều dài hồ quang thay đổi ).

Để thực hiện được điều đó, đặc tuyến ngoài của máy phát điện phải thật dốc. Muốn có đặc tuyến trên, người ta chế tạo loại máy phát đặc biệt có sơ đồ cấu tạo như Hình 1.8.



Hình 1.8. Sơ đồ cấu tạo của máy phát hàn điện.

Máy gồm một đôi cực kép, trong đó  $N_1S_1$  thường có mạch từ không bão hoà, còn  $N_2S_2$  thì rất bão hoà.

Phần ứng của máy phát có thể xem như được chia làm 4 phần. Các phần  $Ac$  và  $Bb$  tạo nên phản ứng phản ứng khử từ đối với cặp cực từ  $N_1S_1$ , còn các phần  $Ab$  và  $Bc$  tạo nên phản ứng phản ứng trợ từ đối với các cực  $N_2S_2$ .

Như vậy khi  $I_r$  tăng từ thông các cực  $N_2S_2$  hầu như không đổi do lõi thép của nó bị bão hoà. Kết quả là từ thông tổng  $N_1N_2 - S_1S_2$  giảm nhanh làm cho điện áp đầu cực  $U_{AB}$  bị hạ thấp rất nhiều.

Chú ý rằng điện áp  $U_{AB}$  vẫn giữ không đổi khi  $I_r$  tăng vì từ thông của các cực  $N_2S_2$  không đổi.

Ứng với các trị số khác nhau của  $R_{dc}$  ta có các đặc tính ngoài khác nhau như trên Hình 1.7.

#### 4. Máy Điện Một Chiều Không Tiếp Xúc

Với sự phát triển của công nghệ bán dẫn, các nhà sản xuất máy điện đã chế tạo ra các loại máy điện một chiều không sử dụng vành góp và chổi than hay còn gọi là máy điện một chiều không tiếp xúc. Đặc điểm của loại máy điện này là làm việc tin cậy, không tạo tia lửa điện, không gây nhiễu và có tuổi thọ cao hơn so với các loại động cơ một chiều thông thường. Trong phần này sẽ trình bày loại động cơ này.

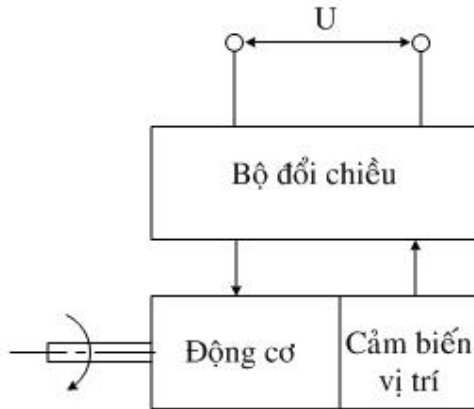
##### 4.1. Cấu tạo.

Động cơ không tiếp xúc một chiều có cấu tạo từ ba thành phần chính sau :

1. Động cơ không tiếp xúc với cuộn ứng  $m$  – pha trên stato và rôto kích thích bằng nam châm vĩnh cửu.

2. Cảm biến vị trí rôto, đặt cùng vỏ máy với động cơ, thực hiện chức năng tạo ra tín hiệu điều khiển nhằm xác định thời điểm và thứ tự đổi chiều.

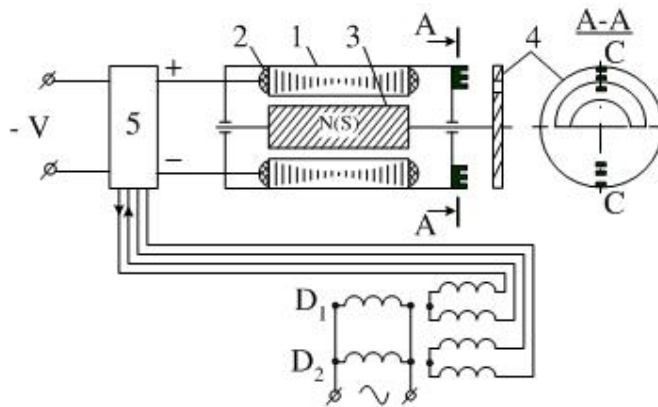
3. Bộ đổi chiều không tiếp xúc, thực hiện đổi chiều dòng điện trong cuộn ứng trên stator theo tín hiệu điều khiển của cảm biến vị trí rôto.



**Hình 1.9.** Sơ đồ cấu trúc động cơ một chiều không tiếp xúc .

#### 4.2. Nguyên lý hoạt động.

Hình 1.10 trình bày sơ đồ nguyên lý của động cơ một chiều không chổi than, có một cuộn dây trên mạch stator.



**Hình 1.10.** Sơ đồ nguyên lý động cơ một chiều không chổi than.

1. Stator của động cơ.
2. Dây quấn trên stator.
3. Rôto loại nam châm vĩnh cửu, có hai cực.
4. Đĩa sắt từ, có dạng hình tròn khuyết và được đặt trên trục rôto.
5. Bộ phận đổi chiều không chổi than được cấu tạo bằng các linh kiện điện tử thực hiện đổi chiều dòng điện của các cuộn cảm trên stator động cơ theo tín hiệu điều khiển từ cảm biến vị trí.

$D_1, D_2$  là các bộ cảm biến vị trí dạng từ trở thay đổi. Dùng xác định vị trí rôto (trục từ trường rôto) thông qua đĩa sắt từ.

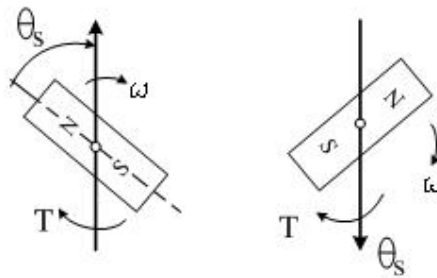
*Hoạt động*

Ở vị trí như hình vẽ, cảm biến vị trí  $D_1$  nằm trong vùng khuyết của đĩa nên tạo ra sự thay đổi từ trở trên mạch từ ở hai cuộn dây ra của cảm biến vị trí. Sự thay đổi này tạo ra tín hiệu điều khiển bộ đổi chiều. Bộ đổi chiều sẽ đổi chiều điện áp đặt lên dây quấn stato (đổi chiều từ trường stato). Cực tính điện áp trên dây quấn stato có chiều như hình vẽ.

Khi vùng khuyết của đĩa trùng với cảm biến vị trí  $D_2$ , nó sẽ tạo ra tín hiệu điều khiển bộ đổi chiều, bộ đổi chiều sẽ đảo cực tính điện áp đặt lên dây quấn stato. Chiều điện áp ngược chiều với hình vẽ.

Quá trình đổi chiều điện áp trên dây quấn stato phải đồng thời với với sự thay đổi chiều cực từ rôto. Điều này đảm bảo chiều quay của mômen không đổi trong một vòng quay.

Hình 1.11 trình bày quá trình kết hợp đổi chiều của từ trường stato và từ trường rôto.



**Hình 1.11.** Quá trình đổi chiều từ trường stato và rôto.

Khi có dòng điện qua dây quấn stato, dưới sự tác động của từ trường rôto sẽ tạo ra mômen quay.

$$M = k \Phi_s \Phi_r \text{Sin}\theta \tag{1.4}$$

với :

$k$  : hệ số máy không đổi.

$\Phi_s, \Phi_r$  : từ thông cực từ stato và rôto.

$\theta$  : góc hợp bởi trục cực từ rôto và trục từ trường stato.

Khi mạch từ chưa bão hoà biểu thức trên có thể biểu diễn dưới dạng sau :

$$M = k_m I_s \text{Sin}\theta \tag{1.5}$$

với :

$k_m$  : hệ số phụ thuộc từ trường rôto và cấu tạo stato.

$I_s$  : dòng điện qua dây quấn stato.

Từ biểu thức (1.5) ta nhận thấy :

- Mômen quay có sự dao động theo góc quay  $\theta$ .

- Ứng với vị trí góc  $\theta$  làm cho mômen quay của động cơ nhỏ hơn mômen tĩnh trên trục động cơ thì động cơ không thể quay.



Những hạn chế này có thể được khắc phục bằng cách tăng số cuộn dây quấn trên stator. Khi ấy biểu thức (1.5) có thể viết lại như sau :

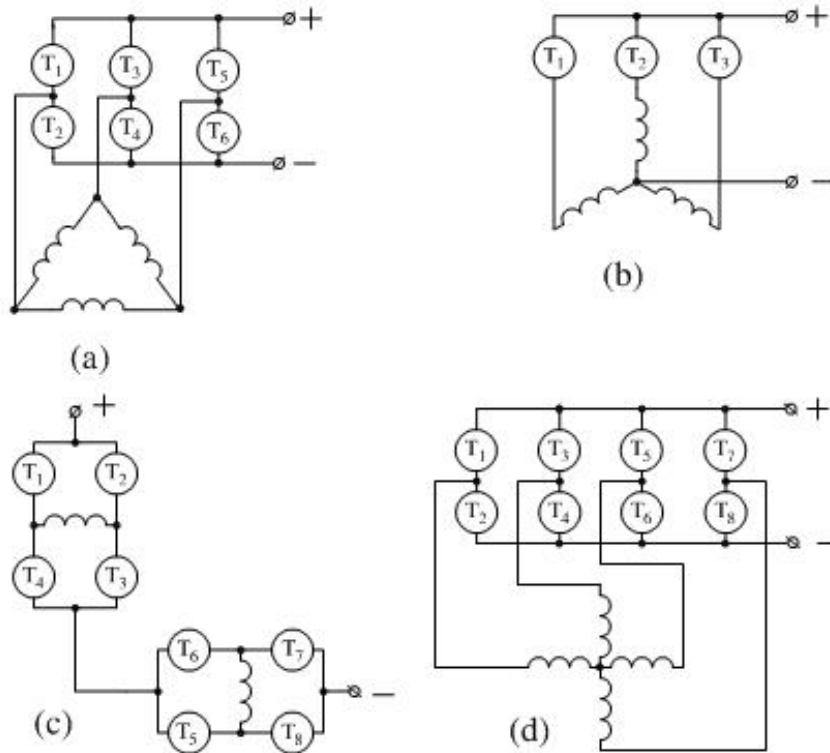
$$M = k_m I_s \frac{(\theta_c/2)}{(\sin \theta_c/2)} \cos(\theta - \theta_c/2) \quad (1.6)$$

trong đó :  $\theta_c$  là góc giữa trục 2 cuộn dây kế tiếp nhau.

Khi số cuộn dây càng lớn  $\rightarrow \theta_c$  càng bé  $\rightarrow M = \text{const}$ . Nhưng khi số pha của cuộn stator tăng dẫn đến số phân tử cảm biến tăng và mạch đảo chiều trở nên phức tạp. Nên trong thực tế số pha của dây quấn thường không vượt quá bốn.

Ngoài ra cách đấu các cuộn dây trên mạch stato cũng làm thay đổi độ lớn và độ dao động của mômen. Hình 1.12 trình bày một số cách đấu thường thấy.

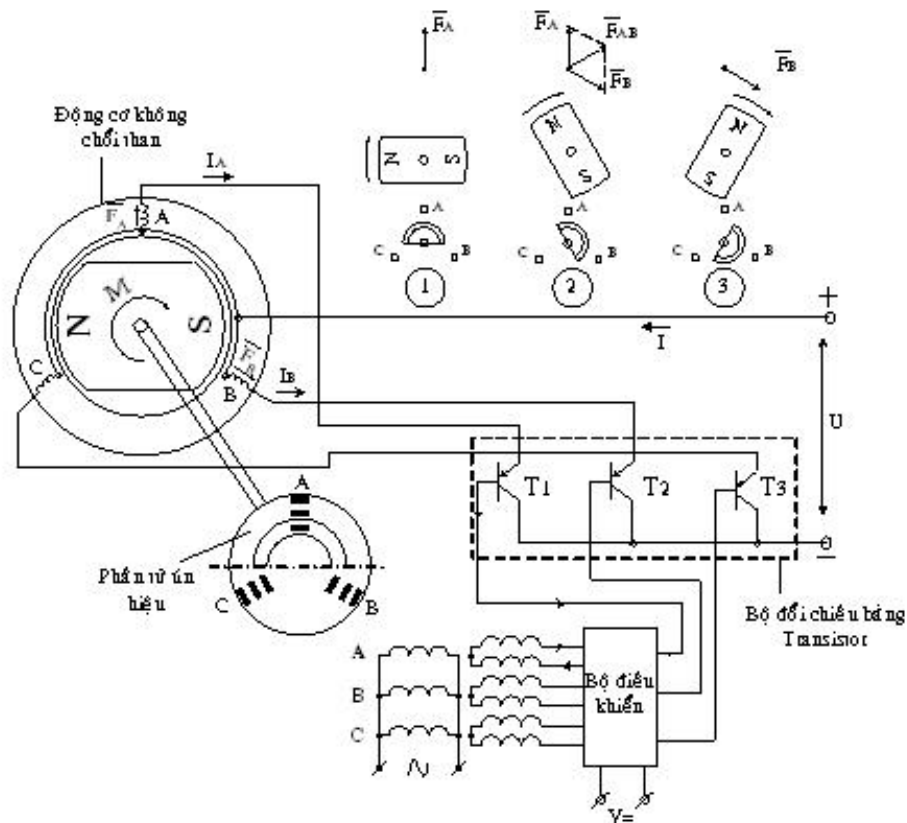
- a. đấu tam giác.
- b. đấu sao.
- c. đấu song song với nguồn.
- d. đấu nối tiếp với nguồn.



**Hình 1.12.** Sơ đồ kết nối giữa các pha động cơ không chổi than.

Trong các cách đấu trên thì đấu tam giác sẽ cho hiệu suất cao nhất, độ dao động của mômen là bé nhất. Cách đấu song song có bộ đổi chiều đơn giản nhất.

Để hiểu rõ hơn vấn đề đảo chiều khi số cuộn dây tăng. Ta phân tích nguyên lý hoạt động của động cơ có ba pha và các pha được đấu song song với nguồn.



**Hình 1.13.** Sơ đồ nguyên lý đơn giản của động cơ một chiều không chổi than với stator có ba cuộn dây được nối song song với nguồn.

Cuộn dây phản ứng đặt trên các rãnh của stator gồm có ba pha A, B, C, lệch nhau trong không gian một góc  $120^\circ$  và được nối song song với nguồn.

Phần tử tín hiệu có dạng hình tròn khuyết và được làm bằng vật liệu sắt từ. Phần tử này được đặt trên trục của động cơ.

Bộ phận đổi chiều gồm ba transistor  $T_1, T_2, T_3$ , mắc nối tiếp với các pha A, B, C của động cơ. Các transistor này làm việc ở chế độ ngắt dẫn và được điều khiển từ bộ ĐK.

Bộ điều khiển nhận tín hiệu từ cảm biến A, B, C và đưa ra tín hiệu ĐK bộ đổi chiều.

Nguyên lý hoạt động của động cơ theo Hình 1.13 như sau:

Giả sử ban đầu vị trí phần tử cảm biến tín hiệu của cảm biến vị trí nằm ở vị trí 1 Hình 1.13. Ở vị trí này chỉ có phần tử cảm biến A tác động tạo tín hiệu điều khiển mở transistor  $T_1$ . Cuộn dây A trên stator tác động tạo ra s.t.đ  $F_A$ . Nhờ sự tương tác giữa sức từ động  $F_A$  với từ thông của từ trường rôto bằng nam châm vĩnh cửu làm cho rôto quay theo chiều kim đồng hồ. Do phần tử tín hiệu của cảm biến vị trí gắn đồng trục với rôto của động cơ nên khi rôto quay thì phần tử này cũng quay theo.

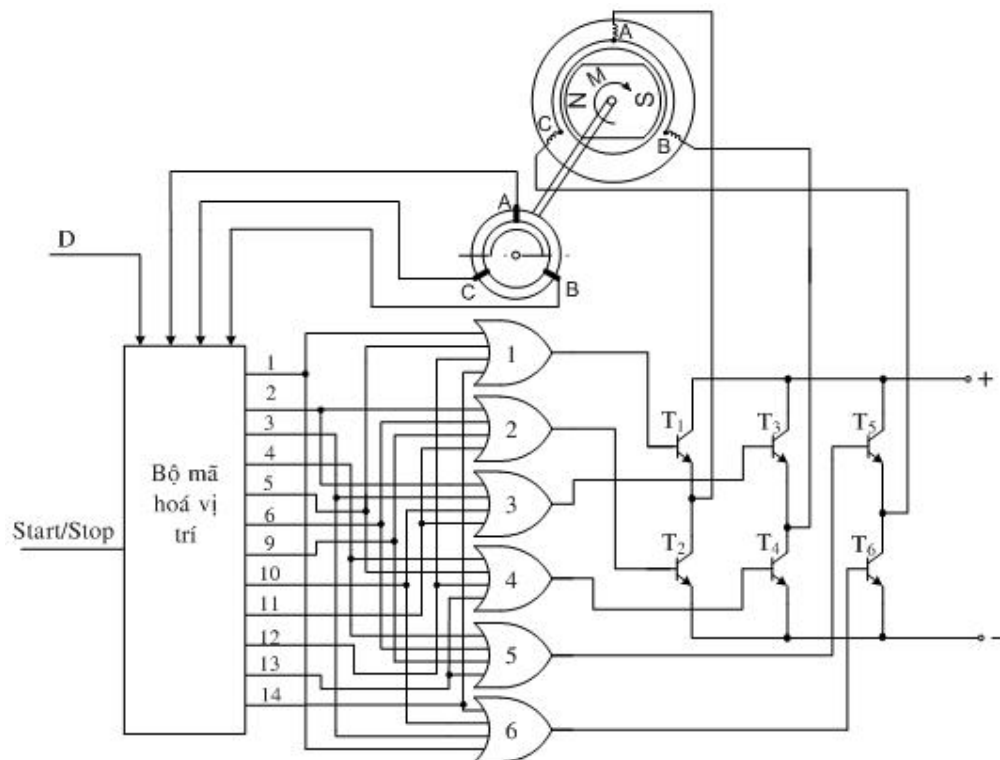
Khi góc quay của rôto lớn hơn  $30^\circ$  so với vị trí ban đầu một ít (vị trí 2 Hình 1.13). Ở vị trí này hai phần tử cảm biến A, B cùng tác động tạo tín hiệu điều khiển mở transistor  $T_1, T_2$ . Khi có thêm sức từ động  $F_B$  thì sức từ động tổng sẽ lệch đi khoảng  $60^\circ$

so với vị trí ban đầu và tác động với từ trường của rôtor nam châm vĩnh cửu làm cho rôtor động cơ tiếp tục quay theo chiều kim đồng hồ.

Khi góc quay của rôtor lớn hơn  $90^0$  so với vị trí ban đầu một ít (vị trí 3 trên Hình 1.13). Ở vị trí này chỉ có phần tử cảm biến B tác động tạo tín hiệu điều khiển mở transistor  $T_2$ , nên chỉ tồn tại stđ  $F_B$  đây cũng chính là sức từ động của dây quấn stato lúc này. Do đó, rôto của động cơ tiếp tục quay theo chiều kim đồng hồ như ban đầu. Quá trình trên cứ tiếp tục, tín hiệu điều khiển từ cảm biến vị trí được đưa vào các transistor của bộ phận đổi chiều và làm cho chúng dẫn hoặc ngưng dẫn đúng lúc.

### 4.3. Mạch điều khiển động cơ không chổi than

Hình 1.14 trình bày sơ đồ điều khiển động cơ không chổi than, có ba pha, kết nối nối sao và có đảo chiều quay.

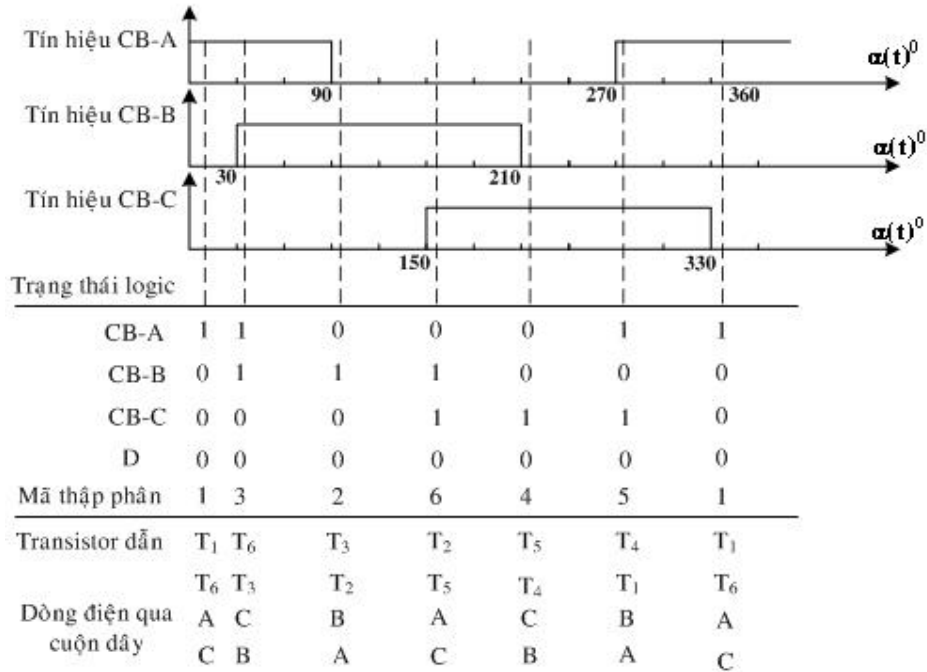


**Hình 1.14.** Sơ đồ mạch điều khiển động cơ không chổi than.

Nguyên lý hoạt động của mạch :

- Khi quay theo chiều kim đồng hồ :  $D = 0$

Trạng thái điều khiển các pha tương ứng với tín hiệu nhận được từ cảm biến vị trí được trình bày ở Hình 1.15.



**Hình 1.15.** Trình tự điều khiển các pha động cơ không chổi than khi quay theo chiều kim đồng hồ.

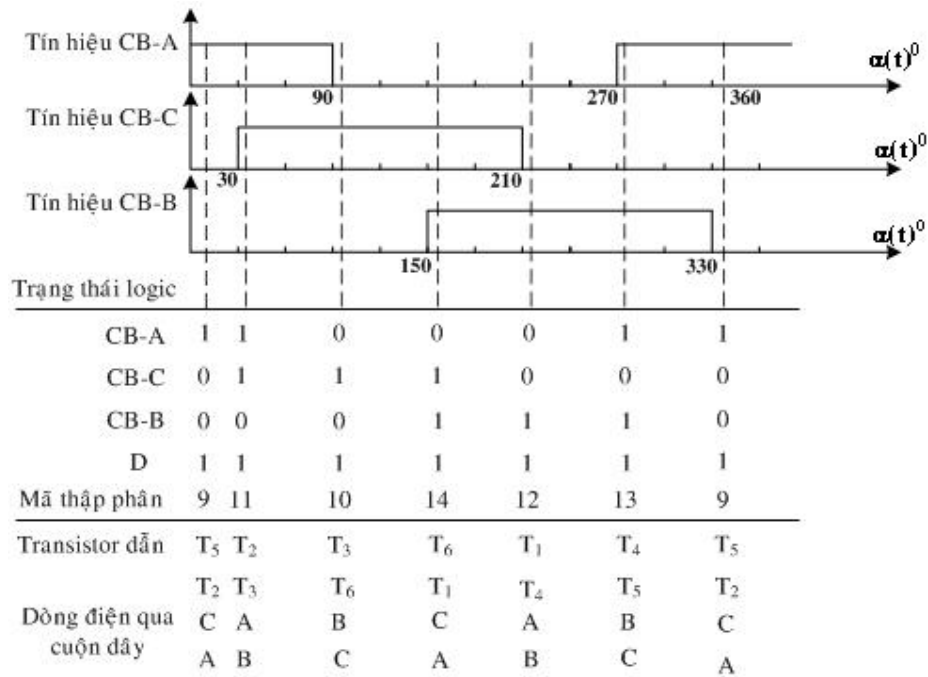
Giả sử ban đầu vị trí vùng khuyết của phần tử cảm biến tín hiệu nằm ở vị trí như Hình 1.14. Ở vị trí này chỉ có phần tử cảm biến A tác động tương ứng với trạng thái logic DCBA = 0001. Bộ mã hoá vị trí sẽ tạo tín hiệu ứng với mã 1 điều khiển mở transistor T<sub>1</sub>, T<sub>6</sub> thông qua 2 cổng or 1 và 6, khi ấy cuộn dây A và C có điện tạo ra stđ F<sub>AC</sub>. Nhờ sự tương tác giữa sức từ động F<sub>AC</sub> với từ thông của từ trường rôtor bằng nam châm vĩnh cửu làm cho rôtor quay theo chiều kim đồng hồ. Do phần tử tín hiệu của cảm biến vị trí gắn đồng trục với rôto của động cơ nên khi rôto quay thì phần tử này cũng quay theo.

Khi góc quay của rôto lớn hơn 30° so với vị trí ban đầu một ít. Ở vị trí này hai phần tử cảm biến A, B cùng tác động tương ứng với trạng thái logic DCBA = 0011. Bộ mã hoá vị trí sẽ tạo tín hiệu ứng với mã 3 điều khiển mở transistor T<sub>6</sub>, T<sub>3</sub> thông qua 2 cổng or 3 và 6, khi ấy cuộn dây B và C có điện tạo ra stđ F<sub>BC</sub> làm cho động cơ tiếp tục quay theo chiều kim đồng hồ.

Khi góc quay của rôtor lớn hơn 90°, 150°, 210°, 270°, 330° so với vị trí ban đầu một ít tương ứng với mã thập phân 2, 6, 4, 5 thì lần lượt các cặp transistor T<sub>3</sub>-T<sub>2</sub>, T<sub>2</sub>-T<sub>5</sub>, T<sub>5</sub>-T<sub>4</sub>, T<sub>4</sub>-T<sub>1</sub> dẫn làm cho các cuộn dây B-A, A-C, C-B, B-A có điện, tạo ra stđ F<sub>BA</sub>, F<sub>CA</sub>, F<sub>CB</sub>, F<sub>AB</sub> làm cho động cơ tiếp tục quay theo chiều kim đồng hồ.

- Khi quay ngược chiều kim đồng hồ :  $D = 1$

Trạng thái điều khiển các pha tương ứng với tín hiệu nhận được từ cảm biến vị trí được trình bày ở Hình 1.16.



**Hình 1.16.** Trình tự điều khiển các pha động cơ không chổi than khi quay ngược chiều kim đồng hồ.

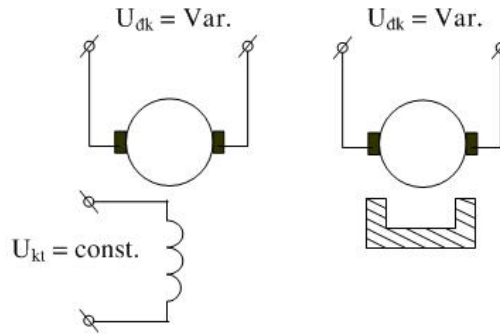
### 5. Động Cơ Chập Hành Một Chiều

Là một máy biến tín hiệu điện áp thành tốc độ quay hoặc góc chuyển dịch để đưa vào đối tượng điều khiển. Động cơ chập hành có các yêu cầu sau :

- Làm việc ổn định.
- Độ tin cậy cao, đặc tính cơ và đặc tính điều chỉnh phải tuyến tính.
- Quán tính nhỏ (rôto phải nhẹ), tác động nhanh và đồng thời mất tín hiệu phải ngừng quay ngay.
- Công suất điều khiển bé.
- Động cơ chập hành một chiều có thể có hai phương pháp điều khiển.

#### 5.1. Điều khiển phản ứng

Điện áp tín hiệu được đặt vào phần ứng, còn điện áp kích thích có thể lấy từ nguồn bên ngoài vào hoặc cũng có thể thay phần kích thích bằng một nam châm vĩnh cửu.



**Hình 1.17.** Sơ đồ nguyên lý động cơ chấp hành một chiều khi điều khiển trên phân ứng.

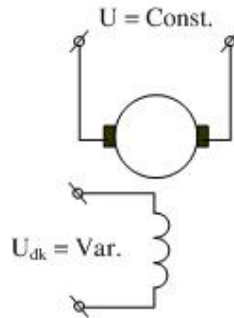
Theo phương pháp điều khiển này thì  $M = f(U_{dk})$  là những đường thẳng (vì  $M = C_M \phi_\delta I_r$  với  $\phi_\delta = \text{const} \rightarrow M = k I_r$  mà từ  $I_r$  và  $U_{dk}$  quan hệ với nhau là bậc nhất ; còn  $n = \frac{U}{C_e \cdot \phi_\delta} - \frac{I_r \cdot R_r}{C_e \cdot \phi_\delta}$  với  $\phi_\delta = \text{const} \rightarrow$  quan hệ  $n = f(U, I_r)$  là bậc nhất )

Phương pháp điều khiển này thường được dùng.

### 5.2. Điều khiển trên cực từ

Dây quấn phần ứng được đặt vào một điện áp  $U = \text{const}$ .

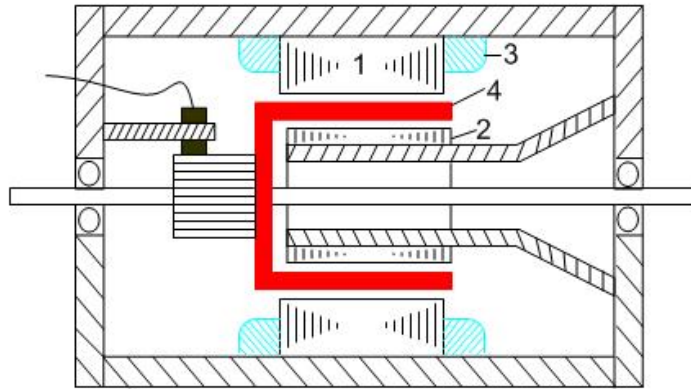
Điện áp điều khiển  $U_{dk}$  được đặt vào dây quấn kích thích. Như vậy công suất điều khiển sẽ nhỏ nhưng quan hệ  $n = f(U_{dk})$  không còn là đường thẳng nữa. (vì  $n = \frac{U - I_r \cdot R_r}{C_e \cdot \phi_\delta}$  Khi  $U_{dk}$  thay đổi  $\rightarrow \phi_\delta$  thay đổi )



**Hình 1.18.** Sơ đồ nguyên lý động cơ chấp hành một chiều khi điều khiển trên cực từ.

Để động cơ chấp hành tác động nhanh người ta chế tạo phần ứng có quán tính nhỏ dưới dạng rôto rỗng hoặc rôto dẹt hình đĩa có mạch in. Loại đầu thường chế tạo với công suất 10 ÷ 15 W. Loại sau : 100 ÷ 200 W.

**a) Loại động cơ rôto rỗng :**

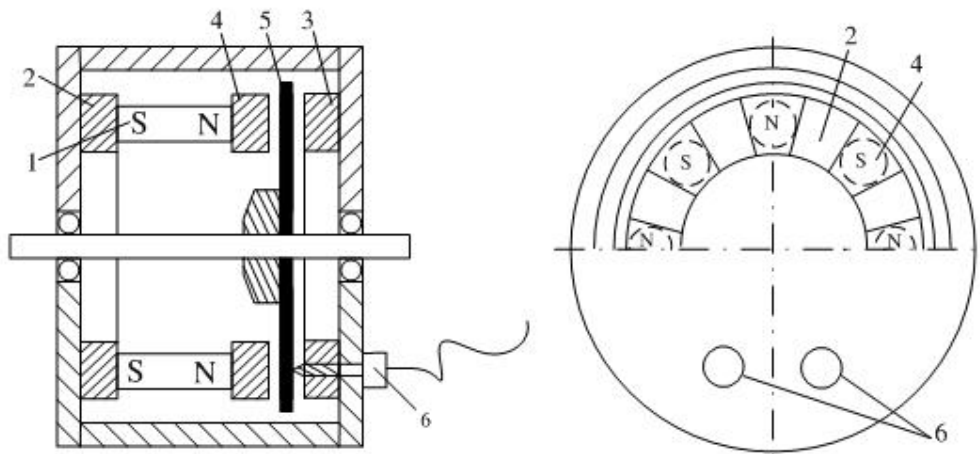


**Hình 1.19.** Cấu tạo rôto rỗng

- 1 . Cực từ, 2 . Lá thép làm mạch dẫn từ.
- 3 . Dây quấn kích thích, 4 . Phần ứng

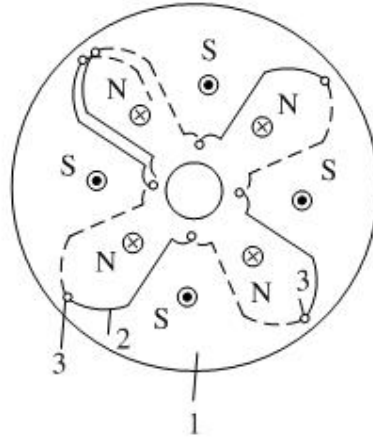
Phần ứng có dạng hình rỗng, thường làm bằng vải ép hoặc các vật liệu cách điện trên đó có dán các dây quấn phần ứng. Để lấy điện ra hay đưa vào phần ứng cũng dùng chổi than tỳ lên vành góp. Loại này có khe hở lớn nên hệ thống kích thích phải lớn, máy to hơn, nhưng tác động nhanh vì quán tính bé.

**b) Loại động cơ có rôto hình đĩa.**



**Hình 1.20.** Cấu tạo của động cơ rôto hình đĩa.

- 1. Nam châm vĩnh cửu ; 2, 3. Giá đỡ ; 4. Mặt cực từ (có dạng khối tròn) ;
- 5. Đĩa rotor ; 6. Chổi than.



**Hình 1.21.** Cấu tạo đĩa phân ứng.

1. Đĩa (được chế tạo từ vật liệu không dẫn từ).
2. Dây dẫn (được in lên mặt đĩa) .
3. Lỗ kết nối dây.

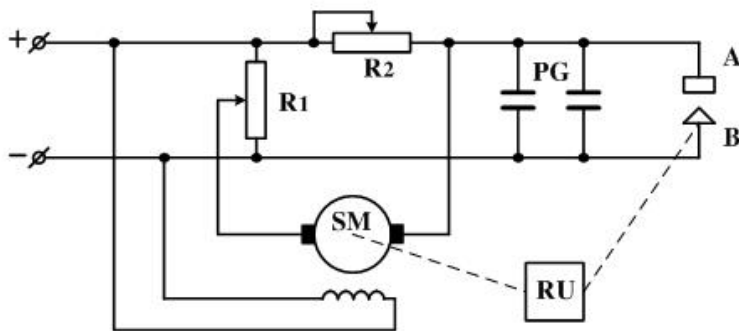
Cực từ được bố trí theo chu vi của máy và nằm về một phía. Phía bên kia là gông từ và thường các cực từ làm bằng nam châm vĩnh cửu. Đĩa phân ứng (Hình 1.21) làm bằng vật liệu nam châm cách điện không dẫn từ (bakelit) ở hai mặt bên có in các phần tử dây quấn.

Nhờ kỹ thuật mạch in và dây dẫn nên có thể tự động hoá quá trình làm dây dẫn trên mặt đĩa và vấn đề làm nguội được nâng cao. Vì thế mật độ dòng điện có thể lên đến  $30 \div 40 \text{ A/mm}^2$ . Điện có thể lấy hoặc đưa vào trực tiếp trên các dây dẫn mà không cần ổ góp. Phần ứng không có răng rãnh nên điện cảm rất nhỏ vì thế đổi chiều tốt hơn, phản ứng phần ứng bé, tổn hao phụ do từ trường đập mạch nhỏ. Máy chạy êm,  $\eta$  cao (  $60 \div 65$  ) %.

Vì đĩa quay ở giữa rãnh cực từ và gông nên khe hở lớn, do đó kích thước máy tương đối lớn. Về mặt cơ học nếu chổi than lớn quá có thể dễ làm hư hỏng các phần tử dây quấn.

**c) Ứng dụng của động cơ chấp hành một chiều:**

Hình 1.22 miêu tả một hệ thống tạo tia lửa điện trong gia công kim loại có sử dụng động cơ chấp hành một chiều.



**Hình 1.22.** Hệ thống tạo tia lửa điện để gia công kim loại.

**Nguyên lý hoạt động của hệ thống như sau:**



Khi không có tia lửa điện thì điện trở của khe hở phóng điện là rất lớn dòng điện sẽ đi từ cực dương qua điện trở  $R_2$ , qua động cơ, qua điện trở  $R_1$  rồi về cực âm. Chiều của dòng điện như trên làm cho SM quay theo hướng mà phần tử nén RU nén điện cực về phía phần tử A làm giảm độ lớn của khe hở phóng điện. Khi độ rộng của khe hở phóng điện đủ bé các tụ PG sẽ xả điện lúc này điện áp đạt đến điện áp đánh thủng, sự đánh thủng (phóng điện) xảy ra. Khi có sự phóng điện như trên thì điện trở của khe hở phóng điện giảm đột ngột dòng điện qua SM đổi chiều làm cho động cơ SM cũng đảo chiều quay, kéo theo điện cực A làm nó chuyển động hướng ra xa B. Điện trở của khe hở phóng điện lại phục hồi, chu kỳ cứ như thế lặp lại.

### 6. Máy Phát Tốc Đo Tốc Độ

Cũng là một máy phát điện một chiều có nhiệm vụ biến đổi tốc độ  $n$  sang điện áp  $U$  ( $\cong n$ ). Để có quan hệ  $U = f(n)$  là bậc nhất thì  $\phi_s$  phải = const, do đó máy thường có cực từ làm bằng nam châm vĩnh cửu. Yêu cầu đối với máy phát đo tốc độ :

Đặc tính  $U = f(n)$  phải là tuyến tính vì thế thường thiết kế với mạch từ chưa bão hoà.

Độ đập mạch của điện áp nhỏ nên số phần tử phải nhiều.

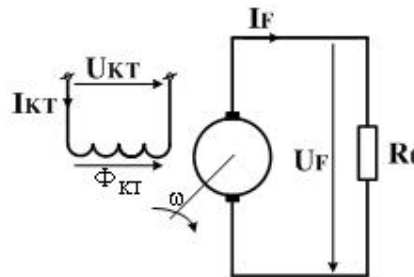
Quán tính máy phát nhỏ,  $\Delta p_{co}$ ,  $\Delta p_{phu}$  nhỏ.

Kết cấu của nó có thể làm theo loại rôto rỗng hay hình đĩa để gọn nhẹ tác động nhanh.

Để đo điện áp chính xác độ dốc của đặc tính ra phải càng dốc. Đối với các máy nhỏ cỡ 1000 v/ph thì có thể cho  $U_{ra}$  từ 5 ÷ 10 volt hoặc đối với các loại khác có thể từ 50 ÷ 100 volt. Thường có thể chế tạo công suất từ 10 ÷ 50 watt.

Loại này thường có thể dùng để chuyển tín hiệu tốc độ thành điện áp trong một số mạch tự động điều khiển.

Hình 1.23 trình bày sơ đồ máy phát tốc một chiều kích thích độc lập.



**Hình 1.23.** Sơ đồ máy phát tốc một chiều kích thích độc lập.

Điện áp ra của máy phát tốc một chiều có thể được tính từ biểu thức sau :

$$U_F = \frac{C_E \cdot \Phi \cdot n - \Delta U_{ch}}{1 + \frac{r_F}{R_t}} \quad (1.7)$$

Trong đó:

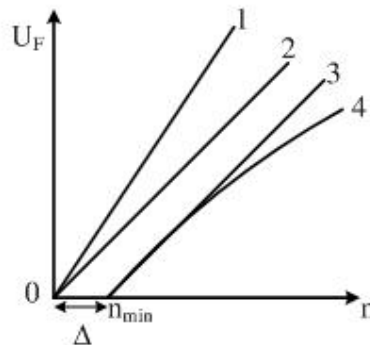
$r_F$  là điện trở cuộn ứng.

$\Delta U_{ch}$  là điện áp rơi trên chổi than.

Nếu từ thông  $\Phi$ , điện trở phản ứng  $r_F$  và điện trở tải  $R_t$  không đổi thì quan hệ  $U_F = f(n)$  là tuyến tính với hệ số khuếch đại (độ dốc)  $K$  được xác định như sau:

Khi  $C_E$ ,  $\Phi$ ,  $R_t$  càng lớn và  $r_F$  càng nhỏ thì độ dốc của điện áp ra càng lớn. Trong trường hợp máy hoạt động ở chế độ không tải ( $R_t = \infty$ ) thì độ dốc của điện áp ra là lớn nhất.

Đặc tính ra của máy phát tốc một chiều được trình bày như Hình 1.24.



**Hình 1.24.** Đặc tính ra của máy phát tốc một chiều.

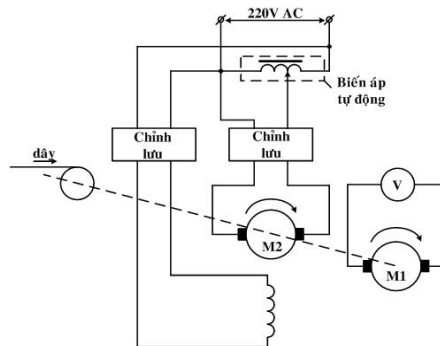
Do có điện áp rơi trên chổi than nên đặc tính ra của máy phát tốc một chiều xuất hiện vùng không nhạy  $\Delta$ .

Sự tồn tại vùng không nhạy  $\Delta$  là nhược điểm lớn nhất của máy phát tốc một chiều. Để giảm vùng không nhạy này ta cần giảm điện áp ( $\Delta U_{ch}$ ) tiếp xúc giữa chổi than và vành góp. Vì thế, chổi than thông thường được chế tạo từ hỗn hợp đồng\_ than hoặc bạc\_ than.

Ngoài ra ảnh hưởng của nhiệt độ và phản ứng phần ứng cũng làm thay đổi độ tuyến tính của đặc tuyến ra trên máy phát tốc.

### Ứng dụng của máy phát tốc một chiều:

Hình 1.25 trình bày ứng dụng của máy phát tốc một chiều trong hệ thống kiểm tra tốc độ cuộn dây wolfram.



**Hình 1.25.** Máy phát tốc một chiều trong dây chuyền sản xuất wolfram.

Dây vonfam được sử dụng rất nhiều trong thực tế như : dùng làm dây nung cho lò sưởi, cho bếp điện, tiêm của đèn dây tóc... Trong thực tế để sản xuất ra dây vonfam (thường có dạng xoắn lò xo) dạng xoắn người ta phải dùng đến một máy cuốn dây. Dây vonfam trước khi thành phẩm phải đi qua một lò nung sử dụng khí hydro trước khi được cuộn thành dạng xoắn. Tại lò này dây sẽ được nung nóng đến một nhiệt độ thích hợp theo nhà sản xuất mong muốn (bằng hoặc lớn hơn nhiệt độ khi có dòng điện chạy qua nó). Để có được dây vonfam có chất lượng tốt (tuổi thọ cao, chịu được nhiệt độ cao...) thì dây phải qua lò nung với một tốc độ thích hợp. Tốc độ này do bộ phận quán tạo nên, bộ phận này do động cơ một chiều  $M_2$  kéo. Tốc độ của  $M_2$  thay đổi khi điện áp trên hai đầu cực của nó thay đổi (điện áp thay đổi bởi biến áp tự động). Để có thể theo dõi được tốc độ quán dây người ta sử dụng một máy phát tốc một chiều  $M_1$  gắn đồng trục với động cơ  $M_2$ . Khi  $M_2$  quay kéo theo rotor của máy phát tốc quay tạo ra trên hai đầu cực máy phát tốc một điện áp  $U$  tỉ lệ với tốc độ rotor. Điện áp đó được đo bởi volt kế  $V$ , nhờ vậy người vận hành dây chuyền có thể kiểm tra được tốc độ quán và có những điều chỉnh thích hợp nếu cần.

### CÂU HỎI ÔN TẬP.

1. Trình bày cấu tạo của DC một chiều không chổi than (DC MCKCT)?
2. Trình bày những điểm giống nhau và khác nhau của bộ đổi chiều bằng cơ và bằng bộ đổi chiều bằng điện tử ?
3. Trình bày các cách kết nối các pha trong DC MCKCT, nêu ưu điểm và khuyết điểm của từng cách kết nối ?
4. Ảnh hưởng của điện cảm dây quấn stator đối với dòng điện, mômen và bộ đảo chiều điện tử như thế nào ?
5. Nguyên nhân nào tạo ra sự dao động mômen của DC MCKCT ? Nêu ra cách để làm giảm sự dao động này ?
6. Có thể làm cho mômen của DC MCKCT không đổi giống với DC 1 chiều thông thường hay không ? Vì sao ?
7. Cho DC MCKCT có điện áp làm việc 24 VDC, dòng điện 1,5 A, hằng số mômen  $K_m = 24,15 \cdot 10^{-3}$  Nm/A. Tính mômen của DC ?
8. Cho DC MCKCT có điện áp làm việc 24 VDC, hằng số sđđ  $K_E = 29,7 \cdot 10^{-3}$  volt/(vòng/phút). Tính tốc độ không tải của DC ?
9. Cho DC MCKCT có điện áp làm việc 24 VDC,  $I = 12,5$  A,  $M = 120$  Nm,  $n = 2900$  vòng/phút. Tính :
  - a) Công suất vào.
  - b) Công suất ra.
  - c) Hiệu suất %.
10. Cho DC MCKCT có các thông số sau :
  - $M_L = 1,0$  Nm. (moment tải)
  - $M_{ms} = 7,1 \cdot 10^{-2}$  Nm. (mômen ma sát)
  - $J_D = 1,7 \cdot 10^{-3}$  Kg.m<sup>2</sup>. (mômen quán tính DC)
  - $J_L = 4 \cdot 10^{-4}$  Kg.m<sup>2</sup>. (mômen quán tính tải)
  - a) Xác định gia tốc của DC khi thời gian tăng tốc (khởi động) từ  $0 \div 500$  rad/s là 0.250 s và thời gian giảm tốc (dừng) từ  $500 \div 0$  rad/s là 0.250 s.
  - b) Xác định mômen khi tăng tốc (khởi động).
  - c) Xác định mômen làm việc ( mômen quay) .
  - d) Xác định mômen khi giảm tốc (dừng).

## CHƯƠNG 2

### MÁY BIẾN ÁP ĐẶC BIỆT

#### 1. Máy Biến Áp Ba Dây Quấn

Trong hệ thống điện lực những máy biến áp có một dây quấn sơ cấp và dây quấn thứ cấp gọi là máy biến áp ba dây quấn để cung cấp điện cho các lưới điện có những điện áp khác nhau, ứng với các tỉ số biến đổi:

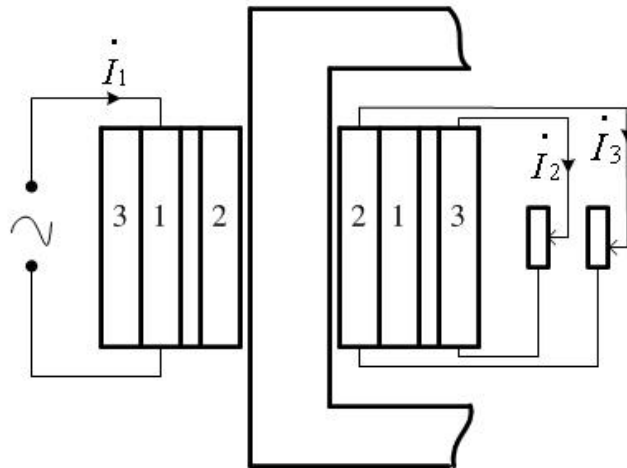
$$k_{12} = \frac{w_1}{w_2} \approx \frac{U_1}{U_2} \quad (2.1)$$

$$k_{13} = \frac{w_1}{w_3} \approx \frac{U_1}{U_3} \quad (2.2)$$

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

Người ta chế tạo máy biến áp ba dây quấn theo kiểu tổ máy biến áp ba pha hoặc máy biến áp ba pha ba trụ, ở mỗi pha đặt ba dây quấn. Các tổ nối dây tiêu chuẩn như sau:

$Y_0/Y_0/\Delta$  - 12-11 ;  $Y_0/\Delta/\Delta$  - 11-11.



**Hình 2.1.** Máy biến áp ba dây quấn.

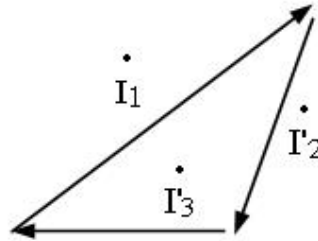
Theo quy định, công suất của ba dây quấn được chế tạo theo những tỉ lệ sau đây:

- 1) 100%, 100%, 100%.
- 2) 100%, 100%, 67%.
- 3) 100%, 67%, 100%.
- 4) 100%, 67%, 67%.

Công suất của máy biến áp ba dây quấn lấy theo công suất của dây quấn sơ cấp (có công suất lớn nhất).

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

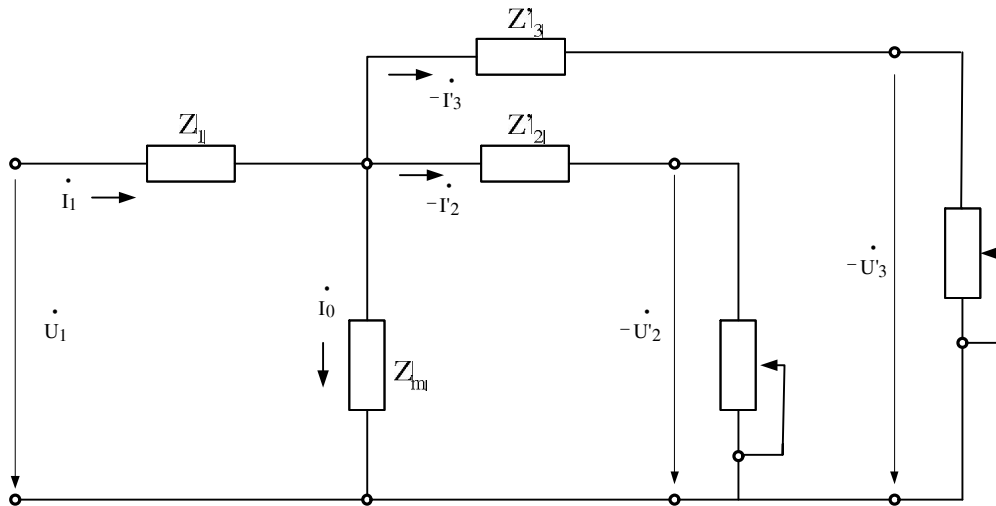
Tương tự như máy biến áp hai dây quấn dòng  $I_0$  rất nhỏ  $I_0 = (2,5 \div 3,5).I_{dm}$ , nên sau khi đã tính đổi các dây quấn 2,3 về dây quấn 1 ta có phương trình cơ bản và đồ thị vectơ dòng điện sau:



**Hình 2.2.**

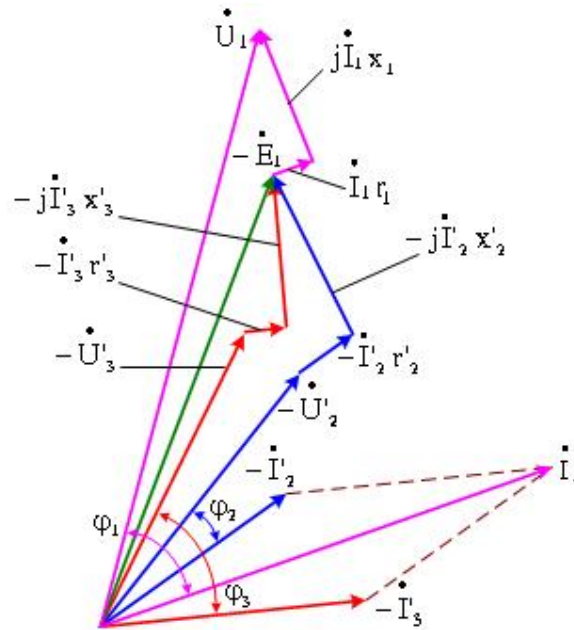
$$\begin{aligned} \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 &= \dot{I}_0 \cong 0 \\ \dot{U}_1 - \dot{I}_1 \cdot z_1 &= -(\dot{U}'_2 + \dot{I}'_2 \cdot z'_2) \\ &= -(\dot{U}'_3 + \dot{I}'_3 \cdot z'_3) \end{aligned} \tag{2.3}$$

Trong đó,  $z_1 = r_1 + j.x_1$ ;  $z'_2 = r'_2 + j.x'_2$ ;  $z'_3 = r'_3 + j.x'_3$   
 Mạch điện thay thế của máy biến áp ba dây quấn



**Hình 2.3.** Mạch điện thay thế của máy biến áp ba dây quấn

Đồ thị vectơ ứng với các phương trình cơ bản trên:



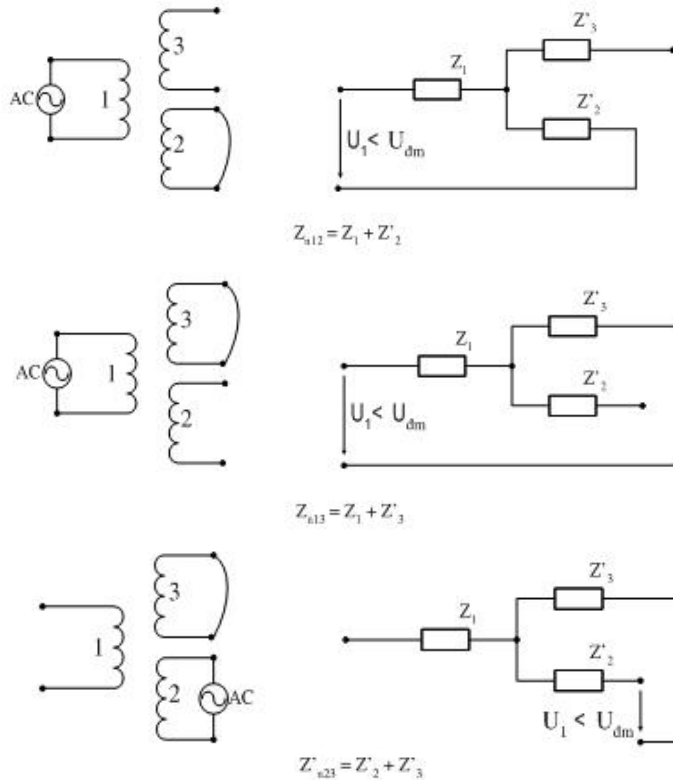
**Hình 2.4.** Đồ thị vectơ của máy biến áp ba dây quấn.

**1.2. Xác định các tham số của máy biến áp ba dây quấn**

Được xác định từ ba thí nghiệm ngắn mạch giữa các cuộn dây 1 và 2 ; 1 và 3 ; 2 và

3.

Tương tự như thí nghiệm ngắn mạch của máy biến áp hai dây quấn



**Hình 2.5.** Thí nghiệm ngắn mạch máy biến áp ba dây quấn

Ta có:

$$Z_{n12} = (r_1 + r'_2) + j(x_1 + x'_2) = r_{n12} + jx_{n12}$$

$$Z_{n13} = (r_1 + r'_3) + j(x_1 + x'_3) = r_{n13} + jx_{n13}$$

$$Z_{n23} = (r'_2 + r'_3) + j(x'_2 + x'_3) = r_{n23} + jx_{n23}$$

Từ đó ta biết được:

$$r_1 = \frac{r_{n12} + r_{n13} - r_{n23}}{2} \quad (2.4)$$

$$r'_2 = \frac{r_{n12} + r_{n23} - r_{n13}}{2} \quad (2.5)$$

$$r'_3 = \frac{r_{n13} + r_{n23} - r_{n12}}{2} \quad (2.6)$$

Tương tự ta có thể tính được  $x_1$ ,  $x'_2$  và  $x'_3$  sau:

$$x_1 = \frac{x_{n12} + x_{n13} - x_{n23}}{2} \quad (2.7)$$

$$x'_2 = \frac{x_{n12} + x_{n23} - x_{n13}}{2} \quad (2.8)$$

$$x'_3 = \frac{x_{n13} + x_{n23} - x_{n12}}{2} \quad (2.9)$$

Các thí nghiệm ngắn mạch cũng cho phép xác định được các điện áp ngắn mạch  $u_{n12}$ ,  $u_{n13}$  và  $u_{n23}$  tương ứng với các tổng trở ngắn mạch  $Z_{n12}$ ,  $Z_{n13}$  và  $Z_{n23}$ .

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

Các điện áp đầu ra  $U_2$ ,  $U_3$  thay đổi theo trị số và tính chất của tải  $I_2$ ,  $I_3$ ,  $\cos\varphi_1$ ,  $\cos\varphi_2$ . Chú ý rằng nếu tải của một dây quấn thứ cấp thay đổi thì sẽ ảnh hưởng đến điện áp của dây quấn thứ cấp kia, do đó điện áp rơi trên dây quấn sơ cấp  $\dot{I}_1 \cdot Z_1$

Độ thay đổi điện áp ở các tải  $I'_2$ ,  $I'_3$  với hệ số công suất  $\cos\varphi_2$ ,  $\cos\varphi_3$  như hình vẽ (7-3) là:

$$\begin{aligned} \Delta U_{12*} &= (U_{1dm} - U'_2) / U_{1dm} \\ &= u_{nr12*} \cos\varphi_2 + u_{nx12*} \sin\varphi_2 + u_{nr3*} \cos\varphi_3 + u_{nx3*} \sin\varphi_3 \end{aligned} \quad (2.10)$$

Trong đó:

$$u_{nr12*} = r_{n12} \cdot I'_2 / U_{1dm} \quad ; \quad u_{nx12*} = x_{n12} \cdot I'_2 / U_{1dm}$$

$$u_{nr3*} = r_1 \cdot I'_3 / U_{1dm} \quad ; \quad u_{nx3*} = x_1 \cdot I'_3 / U_{1dm}$$

Tương tự ta có biểu thức của  $\Delta U_{13*}$  cũng có dạng như sau:

$$\begin{aligned} \Delta U_{13*} &= (U_{1dm} - U'_3) / U_{1dm} \\ &= u_{nr13*} \cos\varphi_3 + u_{nx13*} \sin\varphi_3 + u_{nr2*} \cos\varphi_2 + u_{nx2*} \sin\varphi_2 \end{aligned} \quad (2.11)$$

Trong đó:

$$u_{nr13*} = r_{n13} \cdot I'_3 / U_{1dm} \quad ; \quad u_{nx13*} = x_{n13} \cdot I'_3 / U_{1dm}$$

$$u_{nr(2)*} = r_1 \cdot I'_2 / U_{1dm} \quad ; \quad u_{nx2*} = x_1 \cdot I'_2 / U_{1dm}$$

Hiệu suất của máy biến áp ba dây quấn:



$$\eta\% = \left[ 1 - \frac{P_0 + \Delta P_{Cu1} + \Delta P_{Cu2} + \Delta P_{Cu3}}{P_0 + P_2 + P_3 + \Delta P_{Cu1} + \Delta P_{Cu2} + \Delta P_{Cu3}} \right] \cdot 100$$

$$\eta\% = \left( 1 - \frac{I_0^2 \cdot r_m + I_1^2 \cdot r_1 + I_2^2 \cdot r_2 + I_3^2 \cdot r_3}{\beta_2 \cdot S_{dm2} \cdot \cos \varphi_2 + \beta_3 \cdot S_{dm3} \cdot \cos \varphi_3 + \Sigma P} \right) \cdot 100$$

$$\eta\% = \left[ 1 - \frac{P_0 + \beta_{12}^2 \cdot P_{n12} + \beta_{13}^2 \cdot P_{n13}}{\beta_{12} \cdot S_{dm2} \cdot \cos \varphi_2 + \beta_{13} \cdot S_{dm3} \cdot \cos \varphi_3 + P_0 + \beta_{12}^2 \cdot P_{n12} + \beta_{13}^2 \cdot P_{n13}} \right] \cdot 100 \quad (2.12)$$

Trong đó:  $\Sigma P = P_0 + \beta_{12}^2 \cdot P_{n12} + \beta_{13}^2 \cdot P_{n13}$  là tổng tổn hao máy biến áp.

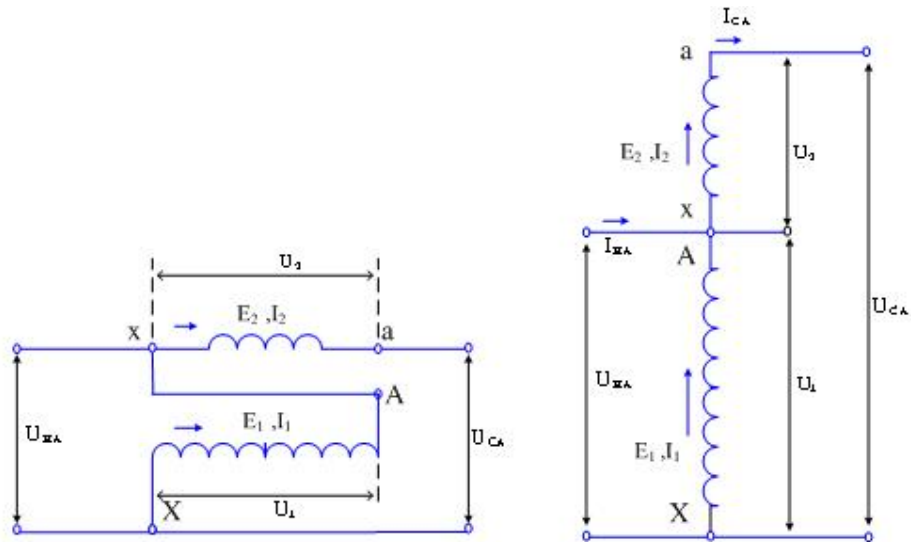
## 2. Máy Biến Áp Tự Ngẫu

Máy biến áp tự ngẫu dùng có lợi trong trường hợp hiệu của điện áp thứ cấp  $U_2$  và sơ cấp  $U_1$ . Kinh tế hơn về mặt chế tạo và tổn hao ít hơn so với máy biến áp thường.

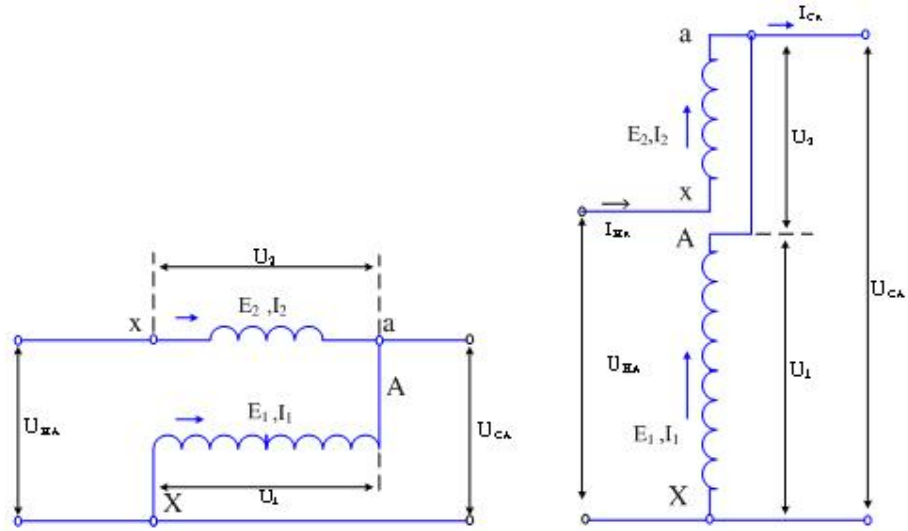
Máy biến áp tự ngẫu khác máy biến áp một dây quấn ở chỗ cả cuộn dây sơ cấp và thứ cấp chỉ dùng 1 dây quấn, hay nói khác đi dây quấn thứ cấp là một bộ phận của dây quấn sơ cấp. Dây quấn sơ cấp được nối song song với lưới, còn dây quấn thứ cấp nối trực tiếp với lưới.

Máy biến áp tự ngẫu ngoài việc liên hệ qua hồ cảm các dây quấn sơ và thứ cấp còn liên hệ trực tiếp với nhau về điện.

Các kiểu nối dây của máy biến áp tự ngẫu:



(a) Nối thuận



(b). Nối ngược

**Hình 2.6.** Sơ đồ của máy biến áp tự ngẫu một pha

\* So sánh dung lượng thiết kế  $S_{tk}$  (dung lượng truyền qua từ trường) với dung lượng truyền tải  $S_{tt}$  của máy biến áp tự ngẫu.

$$S_{tk} = E_1 \cdot I_1 = E_2 \cdot I_2$$

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{I_2}{I_1} = k$$

Thực tế lúc vận hành,  $S_{tt}$  của máy biến áp tự ngẫu bằng:

$$S_{tt} = U_{CA} \cdot I_{CA} = U_{HA} \cdot I_{HA}$$

Tỉ số biến đổi điện áp của lưới điện:

$$\frac{U_{CA}}{U_{HA}} = \frac{I_{HA}}{I_{CA}} = k'$$

Như vậy đối với hình 1-5a ta có:

$$\frac{S_{tk}}{S_{tt}} = \frac{E_2 \cdot I_2}{U_{CA} \cdot I_{CA}} = \frac{(U_{CA} - U_{HA}) \cdot I_{CA}}{U_{CA} \cdot I_{CA}} = 1 - \frac{1}{k'}$$

Và đối với hình 1-5b ta có:

$$\frac{S_{tk}}{S_{tt}} = \frac{E_2 \cdot I_2}{U_{CA} \cdot I_{CA}} = \frac{(U_{CA} - U_{HA}) \cdot I_{HA}}{U_{CA} \cdot I_{CA}} = k' - 1$$

Bảng 1-1 cho biết các trị số của  $\frac{S_{tk}}{S_{tt}}$  ứng với các trị số  $k'$  khác nhau của hai kiểu nối dây:

$k' (= \frac{U_{CA}}{U_{HA}})$	$\frac{S_{tk}}{S_{tt}}$	
	Sơ đồ nối thuận	Sơ đồ nối ngược
1	0	0
1,25	0,20	0,25
1,5	0,30	0,5
1,75	0,43	0,75
2	0,5	1
2,5	0,6	1,5
3	0,67	2
5	0,8	4

Từ đó ta thấy:

- Kiểu nối thuận ưu việt hơn vì cùng trị số  $k'$  thì  $\frac{S_{tk}}{S_{tt}}$  nhỏ hơn, do đó được dùng nhiều trên thực tế.
- $k'$  gần bằng 1 thì càng có lợi, thường máy biến áp tự ngẫu có  $k' \leq 2,5$ .
- Khi làm việc tổn hao trong máy biến áp tự ngẫu nhỏ vì:

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

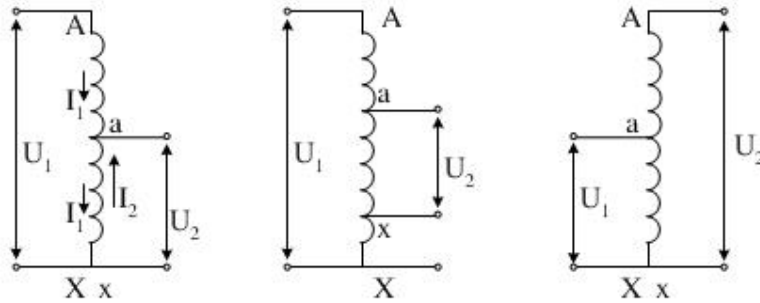
Nghĩa là giảm còn  $(1 - \frac{1}{k'})$  so với tổn hao tính theo  $S_{tk}$  hay là tổn hao của máy biến áp hai dây quấn có cùng dung lượng.

Tương tự điện áp ngắn mạch của máy biến áp tự ngẫu giảm còn  $(1 - \frac{1}{k'})$  so với  $U_n$  của máy biến áp hai dây quấn. Vì  $U_n$  nhỏ nên  $\Delta U$  của máy biến áp tự ngẫu cũng nhỏ, và dòng điện ngắn mạch sẽ tăng tương ứng.

Ngoài việc truyền tải điện năng, máy biến áp tự ngẫu còn dùng để mở máy động cơ điện không đồng bộ, dùng trong phòng thí nghiệm để thay đổi điện áp liên tục.

### Quan hệ máy biến áp tự ngẫu với máy biến áp thường

Xét sơ đồ mạch điện như sau:



**Hình 2.7.** Sơ đồ máy biến áp tự ngẫu tăng và giảm áp.

Chế độ không tải của máy biến áp tự ngẫu ( $I_2 = 0$ ) không khác máy biến áp thường vì điện áp  $U_{AX}$  đặt vào máy biến áp tự ngẫu được phân bố đều giữa các vòng dây của dây quấn sơ cấp sẽ là:

$$U_2 = U_{ax} = \frac{U_{AX}}{w_{AX}} w_{ax} = \frac{U_{AX}}{\frac{w_{AX}}{w_{ax}}} = \frac{U_{AX}}{k_a} = \frac{U_1}{k_a}$$

Trong đó,  $k_a$  là hệ số biến đổi của máy biến áp tự ngẫu

Trong trường hợp tăng áp:

$$U_2 = U_{AX} = k_a \cdot U_1$$

Khi ngắn mạch, dòng điện sơ cấp là  $I_1$  còn dòng trong dây dẫn ngắn mạch hai cực a-x là  $I_2$ .

Giả sử hai dây quấn A-X và a-x không liên hệ về điện với nhau. Nếu bỏ qua  $I$  ta có:

$$I_1 \cdot w_{AX} + I_2 \cdot w_{ax} = 0$$

Hay 
$$I_1 + \frac{1}{k_a} \cdot I_2 = 0$$

Trong máy biến áp tự ngẫu không những đi qua A-a mà đi qua cả bộ phận chung a-x, nên  $I_{ax}$  là tổng hình học của  $I_1$  và  $I_2$ .

Do đó: 
$$I_{ax} = I_1 + I_2 = -I_1(k_a - 1) = I_2(1 - \frac{1}{k_a})$$

Từ đó ta thấy  $I_{ax}$  đi qua bộ phận chung a-x ngược chiều với  $I_1$  và cùng chiều với  $I_2$ .

So sánh các thông số ngắn mạch của máy biến áp thường và tự ngẫu thì tổn hao đồng của hai máy thường:  $I_1^2 \cdot r_1 + I_2^2 \cdot r_2$

Ở máy biến áp tự ngẫu, dòng điện  $I_1$  chỉ đi qua bộ phận A-a có điện trở là:

$$r_{Aa} = r_1 \cdot \frac{w_{Aa}}{w_{AX}} = r_1 \cdot \frac{w_{AX} - w_{ax}}{w_{AX}} = r_1 \cdot (1 - \frac{1}{k_a})$$

$$\text{Do đó: } \Delta P_{Cu}(Aa) = I_1^2 \cdot r_{Aa} = I_1^2 \cdot r_1 \cdot \left(1 - \frac{1}{k_a}\right) \quad (2.13)$$

Phần a-x đóng vai trò dòng thứ cấp có dòng điện  $I_{ax}$  đi qua trị số bằng:  $\left(1 - \frac{1}{k_a}\right)$  của dòng điện  $I_2$  của máy biến áp thường.

Giả sử mật độ dòng điện như nhau thì có thể thay đổi tiết diện của phần a-x với cùng tỉ lệ trên.

$$\text{Khi đó: } \Delta P_{Cu}(ax) = I_{ax}^2 \cdot r_{ax} = I_2^2 \cdot \left(1 - \frac{1}{k_a}\right)^2 \cdot r_2 \cdot \frac{1}{1 - \frac{1}{k_a}}$$

( vì điện trở của bộ phận a-x tỉ lệ nghịch với dòng điện )

$$\text{Suy ra } \Delta P_{Cu}(ax) = I_2^2 \cdot r_2 \cdot \left(1 - \frac{1}{k_a}\right) \quad (2.14)$$

Từ (2.13) và (2.14) ta thấy rằng máy biến áp tự ngẫu có thể xem là máy biến áp thường có điện trở sơ cấp và thứ cấp nhỏ đi  $\left(1 - \frac{1}{k_a}\right)$  lần, nghĩa là:

$$r_{na} = r_n \cdot \left(1 - \frac{1}{k_a}\right)$$

Tương ứng ta có:

$$P_{na} = P_n \cdot \left(1 - \frac{1}{k_a}\right)$$

Trọng lượng của dây quấn máy biến áp tự ngẫu cũng giảm đi theo tỉ lệ đó

$$G_{Ma} = G_M \cdot \left(1 - \frac{1}{k_a}\right)$$

(vì phần A-a của máy biến áp tự ngẫu có cùng tiết diện như máy biến áp thường nhưng chiều dài nhỏ hơn  $\left(1 - \frac{1}{k_a}\right)$  lần, và bộ phận a-x có cùng chiều dài như máy biến áp thường nhưng tiết diện nhỏ hơn  $\left(1 - \frac{1}{k_a}\right)$  lần.

$$\text{Tương tự } x_{na} = x_n \cdot \left(1 - \frac{1}{k_a}\right)$$

$$\text{Do đó } u_{na} = u_n \cdot \left(1 - \frac{1}{k_a}\right)$$

Như vậy, so với máy biến áp thường các cạnh tam giác ngắn mạch nhỏ hơn  $\left(1 - \frac{1}{k_a}\right)$  lần và dòng điện ngắn mạch sẽ lớn lên tương ứng công suất đưa vào máy biến

áp tự ngẫu :  $P_1 = U_1 \cdot I_1$  truyền cho dây quấn thứ cấp gồm hai phần: một phần dưới dạng công suất điện từ  $P_{12}$  tương ứng với phần dây quấn A-a, một phần dưới dạng công suất điện  $P_d$  tương ứng với phần dây quấn dây quấn a-X do đó:

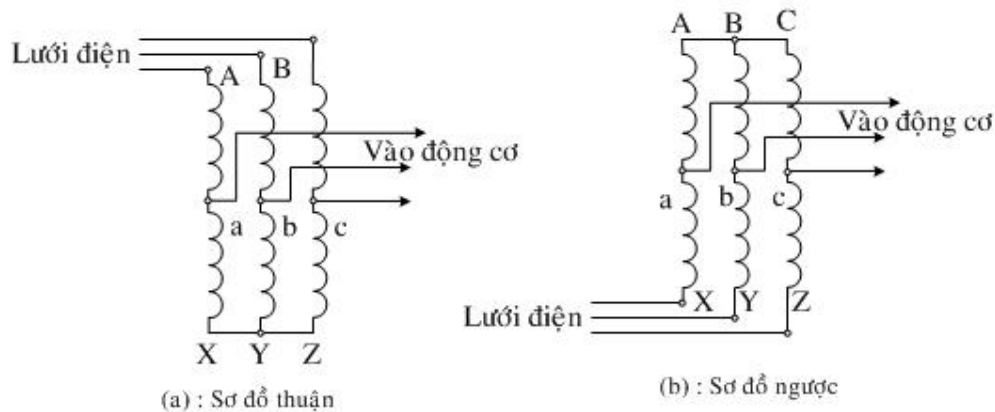
$$P_{12} = U_{Aa} \cdot I_1 = (U_1 - U_2) \cdot I_1 = P_1 \cdot \left(1 - \frac{1}{k_a}\right) \quad (2.15)$$

$$P_d = P_1 - P_{12} = P_1 \cdot \frac{1}{k_a} \quad (2.16)$$

Để có được sự làm việc của máy biến áp tự ngẫu lúc có tải ta xếp chồng hai chế độ không tải và ngắn mạch. Vì vậy đồ thị phụ tải của máy biến áp có dạng biến áp thường nhưng tương ứng với điện áp ngắn mạch  $U_{na}$  và  $\Delta P_{Cua}$  nhỏ thì  $\Delta U$  của máy biến áp tự ngẫu nhỏ hơn, còn  $\zeta_a > \zeta$  thường, từ biểu thức  $x_{na}$  và  $r_{na}$  ta thấy rằng: Khi  $k_a = 1$  tổn hao  $\Delta P_{Cua}$  và trọng lượng  $G_{Ma} = 0$ . nhưng trong trường hợp này  $a \equiv A$  suy ra điện năng chuyển sang thứ cấp không qua biến đổi.

Khi  $k_a$  lớn sự phân biệt giữa biến áp tự ngẫu và biến áp thường không còn nữa, khi  $k_a = 2$  máy biến áp tự ngẫu trở thành ít thuận lợi. Vì ở các hộ tiêu thụ do máy biến áp tự ngẫu cung cấp phải bảo vệ quá điện áp, do chỗ dây quấn CA và HA nối điện với nhau. Vì vậy thường  $k_a = 1,25 \div 2$ . Biến áp tự ngẫu được dùng để mở máy động cơ không đồng bộ và đồng bộ cũng như các đường dây truyền tải và các lưới điện phân phối.

Sau đây là hình vẽ sơ đồ thuận và ngược của máy biến áp tự ngẫu ba pha có các cách đấu để mở máy động cơ không đồng bộ ba pha.



**Hình 2.8.** Sơ đồ nối thuận và ngược máy biến áp tự ngẫu ba pha.

Theo GOST 3211-46 máy biến áp tự ngẫu phải có ba cấp điện áp thứ cấp cụ thể trong sơ đồ thuận là : 0,55 ; 0,64 ; 0,73  $U_1$  còn trong sơ đồ ngược là : 0,27 ; 0,36 ; 0,45  $U_1$

Cấp điện áp trung bình 0,64 và 0,36 và được lấy làm điện áp định mức phụ tải trong hai phút với dòng điện tương ứng với công suất ghi trên bảng máy được xem là chế độ tải định mức của máy biến áp dùng cho mở máy .

Độ phát nóng của dòng điện xác định theo phương pháp điện trở  $\leq 135^0C$ .

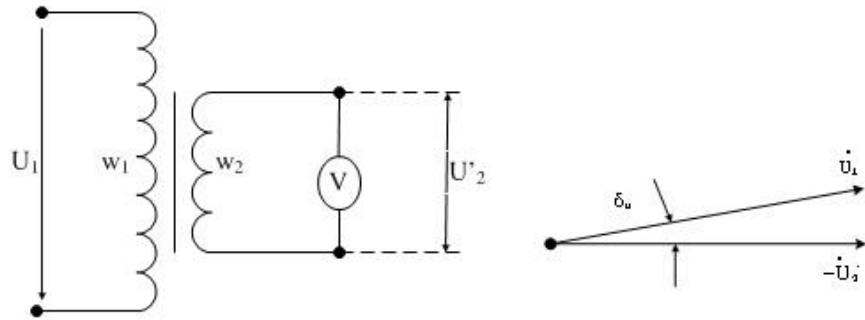
### **3. Máy Biến Áp Đo Lường**

*Gồm hai loại:*

Máy biến điện áp và máy biến dòng điện để biến đổi điện áp cao, dòng điện lớn thành những lượng nhỏ để đo được bằng dụng cụ đo tiêu chuẩn (1V ÷ 100V hoặc 1A ÷ 5A ) hoặc dùng trong mạch bảo vệ. Máy biến điện áp được chế tạo với công suất từ 25VA ÷ 1000VA và máy biến dòng từ 5V ÷ 100VA.

Máy biến điện áp có dây quấn sơ cấp nối với lưới điện và dây quấn thứ cấp nối với Volt mét hay với cuộn dây song song của Watt mét hoặc với cuộn dây của rơ le bảo vệ. Tổng trở  $Z$  của loại máy này rất lớn nên máy biến áp làm việc ở trạng thái gần như không tải, điện áp rơi trong máy rất nhỏ, do đó sai số về trị số  $\Delta U\%$  và về góc  $\delta_u$  giữa  $U_1$  và  $U_2$  đều nhỏ.

$$\Delta U\% = \frac{U_2 \cdot \frac{w_1}{w_2} - U_1}{U_1} \cdot 100 \quad (2.17)$$



**Hình 2.9.** Sơ đồ kết nối và đồ thị vectơ của MBA.

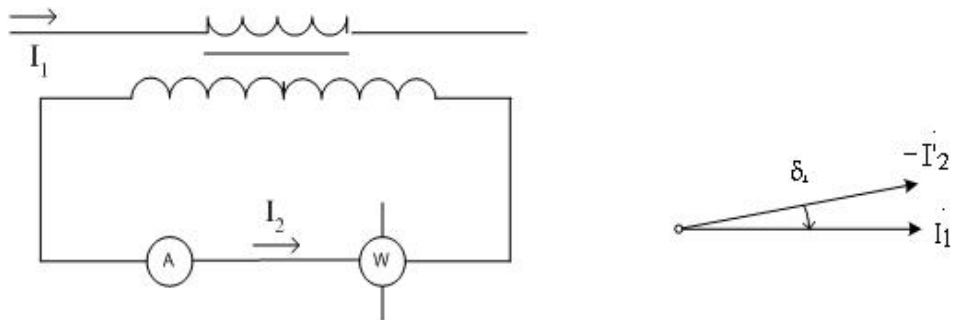
Chú ý khi sử dụng máy biến điện áp không được nối tắt mạch thứ cấp, vì như thế sẽ tương đương với nối tắt mạch sơ cấp và dẫn đến gây ra sự cố ngắn mạch ở lưới điện.

Máy biến dòng điện có dây quấn sơ cấp và nối tiếp với mạch cần đo dòng điện, dây quấn thứ cấp gồm nhiều vòng dây được nối với Ampe mét hoặc các cuộn dây nối tiếp của Watt mét hay rơ le bảo vệ.

Tổng trở  $Z$  của những dụng cụ này rất nhỏ và trạng thái làm việc của máy biến dòng là trạng thái ngắn mạch, lõi thép không bão hoà ( $\Phi = 0,8 \div 1$  wb) và  $I_0 \approx 0$ , do đó các sai số đo lường về trị số

$$\Delta i\% = \frac{I_2 \cdot \frac{w_2}{w_1} - I_1}{I_1} \cdot 100 \quad (2.18)$$

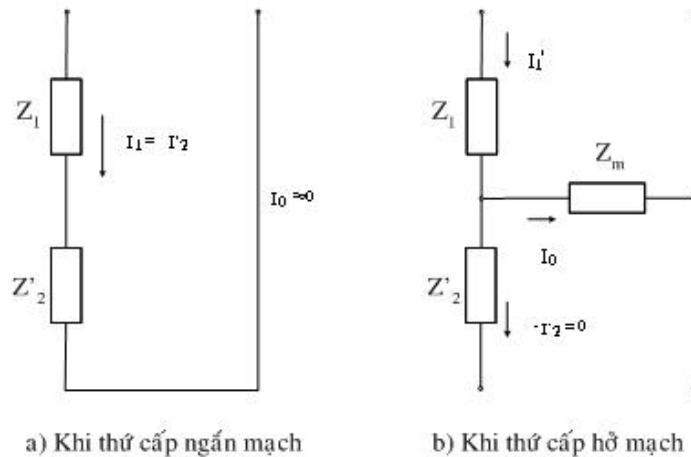
và sai số về góc  $\delta_i$  cũng nhỏ.



**Hình 2.10.** Sơ đồ kết nối và đồ thị vectơ của máy biến dòng.

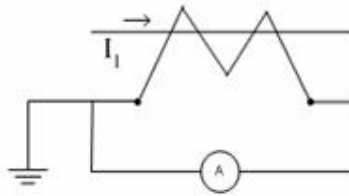
Chú ý khi sử dụng máy biến dòng không được để dây quấn thứ cấp hở mạch vì như vậy  $I_0 = I_1$  rất lớn, lõi thép bão hoà nghiêm trọng ( $\Phi = 1,4 \div 1,8$  wb) sẽ nóng

và làm cháy dây quấn. Hơn nữa khi bão hoà sẽ làm cho sức điện động tăng vọt đến điện áp ở đầu thứ cấp lên rất cao không an toàn cho người sử dụng.



**Hình 2.11.**

Để đảm bảo an toàn dây quấn thứ cấp được nối đất một đầu.

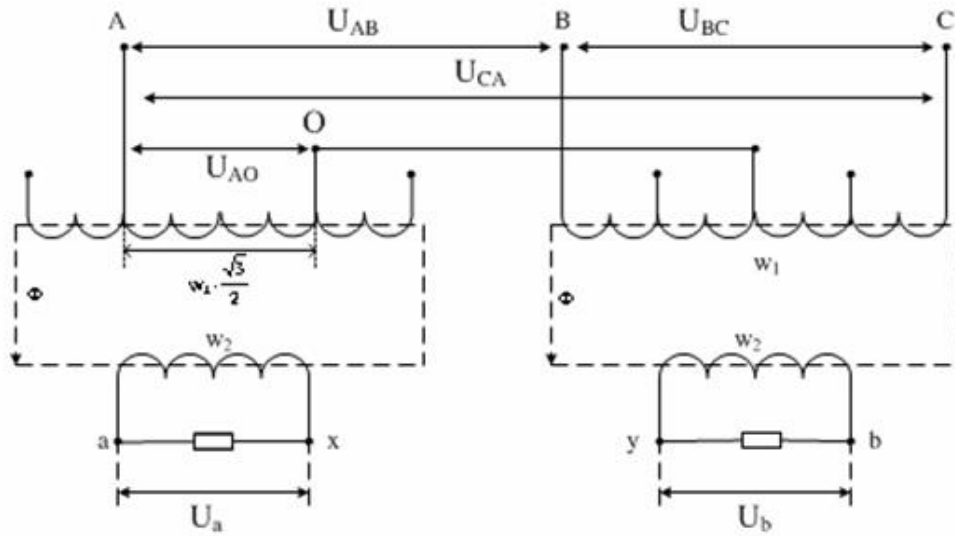


**Hình 2.12.** Sơ đồ nguyên lý.

#### 4. Máy Biến Áp Chuyển Đổi Ba Pha Sang Hai Pha (MBA SCOTT).

Hiện nay, cùng với sự phát triển của nền công nghiệp ngày càng có nhiều dây chuyền sản xuất hiện đại ra đời. Dây chuyền sản xuất càng hiện đại thì tính chuyên môn hoá càng cao đòi hỏi các thiết bị sử dụng trong dây chuyền cũng mang tính chuyên môn hoá cao. Do đó, để áp ứng các yêu cầu trên thì ngày càng có nhiều thiết bị đặc biệt chế tạo. Các thiết bị này được chế tạo chỉ để đáp ứng một vài yêu cầu đặc biệt nào đó. Máy biến áp chuyển đổi số pha là một trong các thiết bị đặc biệt đó. Máy biến áp chuyển đổi số pha từ ba pha thành hai pha hay còn gọi máy biến áp Scott là loại máy biến áp đặc biệt chuyên dùng để tạo điện áp hai pha cấp nguồn cho các động cơ hai pha. Như ta biết các động cơ điện hai pha có thể đấu nối trở để dùng điện một pha. Tuy nhiên, việc này làm cho momen mở máy của động cơ thấp không đáp ứng được yêu cầu của một số dây chuyền sản xuất. Để khắc phục hiện tượng trên chúng ta phải dùng máy biến áp chuyển đổi số pha từ ba pha sang hai pha để cung cấp nguồn điện hai pha cho động cơ hai pha. Hình 2.10. Sơ đồ nguyên lý của máy biến áp biến đổi ba pha thành hai pha.





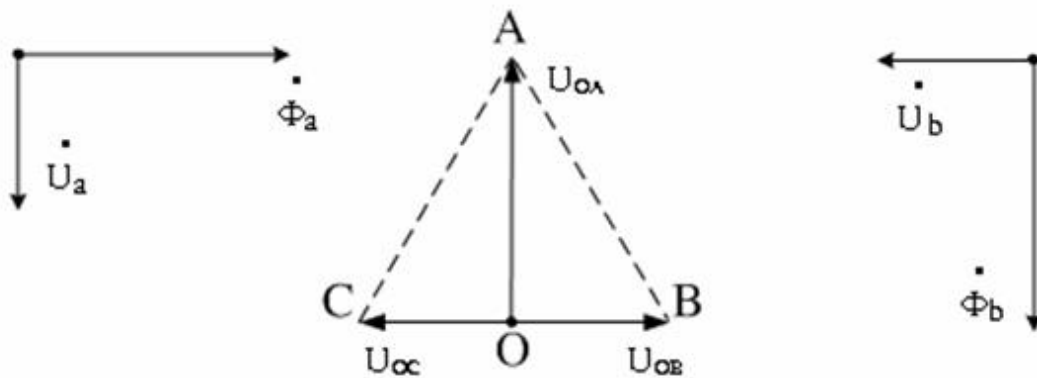
**Hình 2.13.** Sơ đồ máy biến áp biến đổi số pha

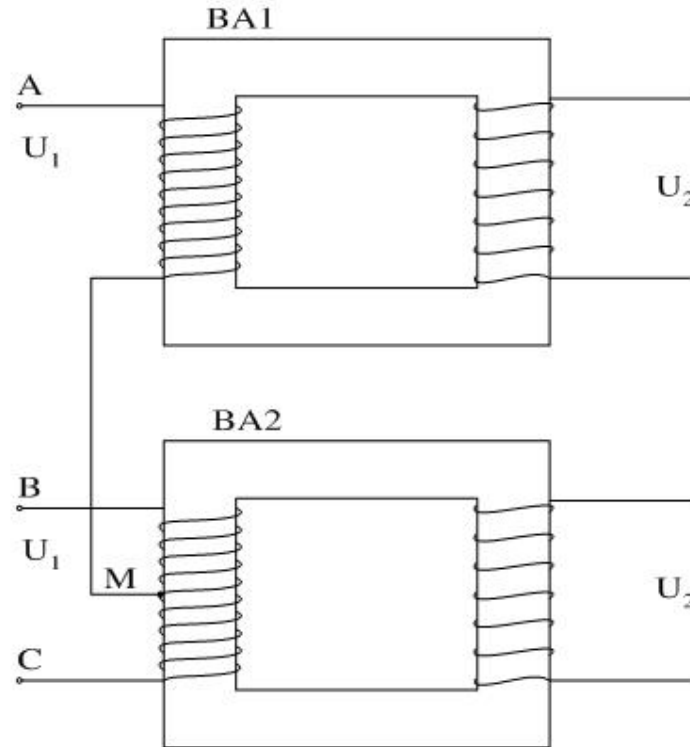
Ta có :

$$U_b = U_{BC} \cdot \frac{w_2}{w_1} = U_1 \cdot \frac{w_2}{w_1}$$

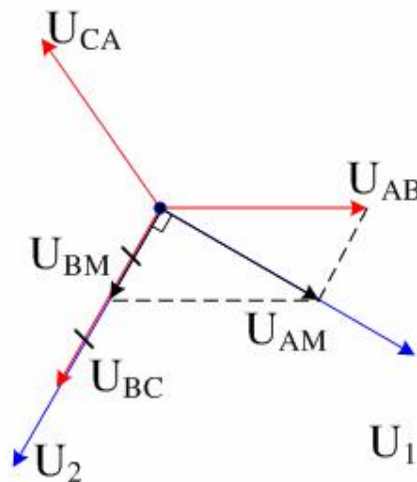
$$U_a = U_{AO} \cdot \frac{2 \cdot w_2}{\sqrt{3} \cdot w_1} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot U_1 \cdot \frac{2 \cdot w_2}{\sqrt{3} \cdot w_1} = U_1 \cdot \frac{w_2}{w_1}$$

Ta có giản đồ vectơ sau:





Hình 2.14. Sơ đồ kết nối mba Scott.

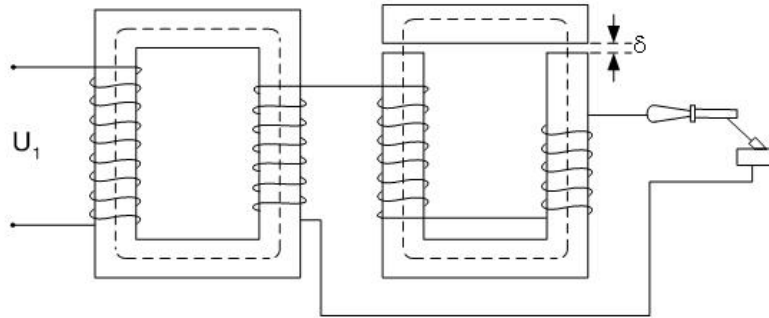


Hình 2.15. Đồ thị vectơ của mba Scott.

## 5. Máy Biến Áp Hàn

Các máy biến áp hàn được chia thành nhiều loại có cấu tạo và đặc tính khác nhau tùy theo phương pháp hàn ( hồ quang , hàn điện ...). Ở đây ta chỉ xét đến loại máy biến áp hàn hồ quang (hình 2-15). 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 điện ngắn mạch và bảo đảm cho hồ quang được ổn định. Muốn điều chỉnh dòng điện hàn cần phải có thêm một cuộn cảm phụ có điện kháng thay đổi được bằng cách thay đổi khe hở  $\delta$  của lõi thép của cuộn cảm.

Máy biến áp hàn hồ quang thường có điện áp không tải bằng  $60 \div 75V$  và điện áp ở tải định mức bằng  $20kVA$  và nếu dùng cho hàn tự động thì có thể tới hàng  $100kVA$ .



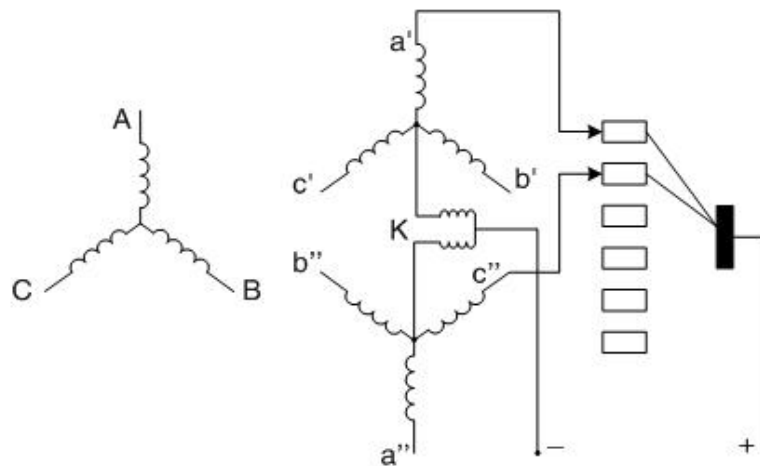
**Hình 2.15.** Máy biến áp hàn hồ quang làm việc có cuộn kháng

### 6. Máy Biến Áp Chỉnh Lưu

Máy biến áp chỉnh lưu có đặc điểm là tải của các pha không đồng thời mà luân phiên nhau theo sự làm việc của các dương cực của các bộ chỉnh lưu thyngân hoặc bán dẫn đặt ở mạch thứ cấp của máy biến áp như trên hình 2.16. Như vậy máy biến áp luôn luôn làm việc trong tình trạng không đối xứng, do đó phải chọn sơ đồ nối dây sao cho đảm bảo được điều kiện từ hoá bình thường của các trụ lõi thép và giảm nhỏ được sự đập mạch của điện áp và dòng điện chỉnh lưu.

Muốn như vậy phải tăng số pha của dây quấn thứ cấp (thường chọn số pha bằng 6) và ở phía thứ cấp có đặt thêm cuộn cảm can bằng K giữa các điểm trung tính của ba pha thuận ( $a'b'c'$ ) và ba pha ngược ( $a''b''c''$ ). Tác dụng của cuộn cảm K là làm cân bằng điện áp trong mạch của hai pha có góc lệch  $60^\circ$  làm việc song song, ví dụ như của  $a'$  và  $c''$  trên hình 2.16.

Khi hai dây quấn thứ cấp làm việc song song với nhau, bộ chỉnh lưu sáu pha làm việc tương tự như bộ chỉnh lưu ba pha và mỗi dương cực làm việc không phải trong thời gian một phần sáu mà trong một phần ba chu kỳ.



**Hình 2.16.** Sơ đồ máy biến áp chỉnh lưu

### **CÂU HỎI ÔN TẬP.**

1. Cấu tạo, nguyên lý làm việc và đặc điểm của máy biến áp ba dây quấn.
2. Vì sao trong máy biến áp ba dây quấn từ thông, sđđ và điện áp pha luôn luôn là hình sin ?
3. Nguyên lý làm việc và đặc điểm của máy biến áp tự ngẫu. So sánh máy biến áp tự ngẫu với máy biến áp hai dây quấn.
4. Cấu tạo, nguyên lý làm việc và ứng dụng của máy biến áp đo lường. Những điểm cần chú ý khi sử dụng chúng.
5. Bài tập 1: Cho 1 máy biến áp ba pha ba dây quấn  $Y_0/Y_0/\Delta$ -12-11 :  
10000/6667/10000 KVA; 121/38,5/11 KV;  $u_{n12}\% = 15$ ;  $u_{n13}\% = 10,5$  ;  $u_{n23}\% = 6$  ;  $u_{nr12}\% = 1$  ;  $u_{nr13}\% = 0,65$  ;  $u_{nr23}\% = 0,8$ .
  - a. Tính các tham số  $r_1, r'_2, r'_3$  ;  $x_1, x'_2, x'_3$  và vẽ giản đồ thay thế máy biến áp này.
  - b. Phía điện áp cao được nối với nguồn. Dây quấn điện áp trung bình có tải bằng 3000 KVA ;  $\cos\varphi_2 = 0,8$  và dây quấn điện áp thấp có tải bằng 6000 KVA,  $\cos\varphi_3 = 0,8$ . Tính  $\Delta u_{12}\%$  và  $\Delta u_{13}\%$ .
6. Bài tập 2 : Cho một máy biến áp 3 pha  $S_{dm} = 3200$  KVA , 35/6 KV , 52,5/307,5 A, Y/Y-12,  $u_n\% = 1,04$ ,  $p_{Fe} = 9,53$  KW ,  $p_{cu} = 32,5$  KW. Bây giờ đem nối lại thành máy biến áp tự ngẫu 41/35 KV. Hãy ;
  - a. Trình bày cách nối dây của máy biến áp tự ngẫu.
  - b. Tính công suất truyền tải của máy biến áp tự ngẫu, công suất của dây quấn sơ cấp và thứ cấp.
  - c. Hiệu suất của máy biến áp tự ngẫu ở tải định mức với  $\cos\varphi = 0,8$ .
  - d. Dòng điện ngắn mạch của máy biến áp tự ngẫu.

## CHƯƠNG 3: CÁC CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC VÀ CÁC DẠNG KHÁC CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ ĐẶC BIỆT

### 1. Đại Cương

Máy điện không đồng bộ ngoài chế độ làm việc chủ yếu là động cơ điện còn có thể làm việc ở chế độ máy phát và trạng thái hãm.

Máy điện không đồng bộ rôto dây quấn khi đứng yên còn dùng làm máy điều chỉnh cảm ứng, máy dịch pha v.v... Ngày nay người ta còn dùng nhiều máy điện nhỏ theo nguyên lý của máy điện không đồng bộ trong các ngành tự động. Những máy này muôn hình muôn vẻ và công dụng của nó rất rộng rãi. Vì vậy trong chương này sẽ nói qua nguyên lý làm việc của một vài loại thông dụng.

### 2. Các Chế Độ Làm Việc Đặc Biệt Của Máy Điện Không Đồng Bộ

#### 2.1. Máy phát điện không đồng bộ làm việc độc lập với lưới điện

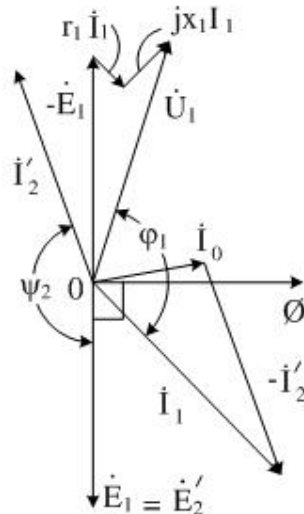
Như ta đã biết khi máy điện không đồng bộ làm việc ở hệ số trượt  $\infty < s < 0$  thì

$$\operatorname{tg}\psi_2 = \frac{x'_2}{r'_2} = \frac{sx'_2}{r'_2} < 0 \quad (3.1)$$

do đó  $90^\circ < \psi_2 < 180^\circ$  :  $\psi_2$  góc giữa  $E_2$  và  $I_2$ .

Từ đồ thị vectơ của máy phát điện không đồng bộ ta thấy  $\varphi_1 > 90^\circ$ , do đó :

$P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos\varphi_1 < 0$ , tức là máy phát công suất điện tác dụng vào lưới .



**Hình 3.1.** Đồ thị vectơ của máy điện không đồng bộ ở chế độ máy phát.

Như vậy nếu dùng một động cơ sơ cấp kéo rôto quay nhanh hơn tốc độ đồng bộ thì máy sẽ phát ra công suất điện tác dụng vào lưới. Tuy vậy, công suất phản kháng  $Q$ ,  $Q = m_1 U_1 I_1 \sin\varphi_1 > 0$  nên máy vẫn nhận công suất phản kháng từ lưới vào một mặt để cung cấp công suất phản kháng do từ thông tản trên stato và rôto gây nên. Mặt khác để tạo từ thông trong khe hở không khí của máy.

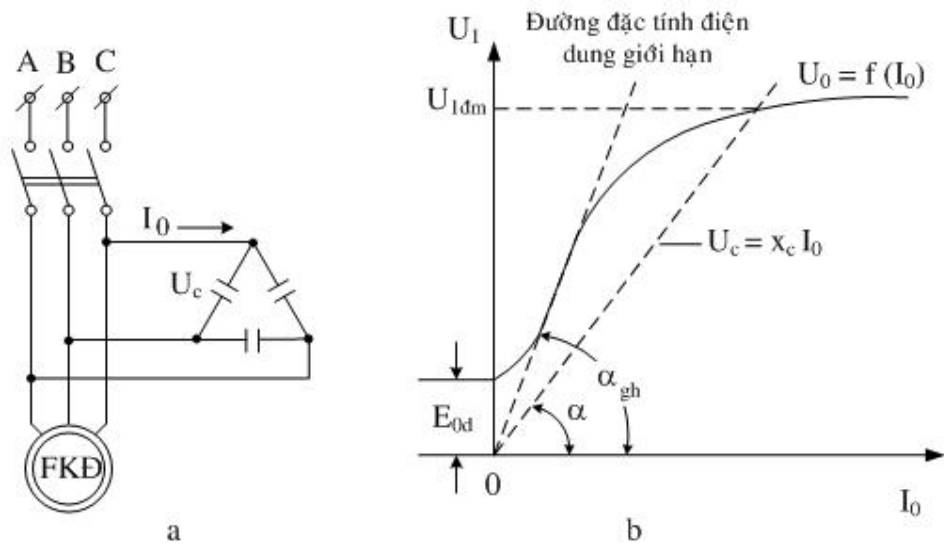
Khuyết điểm chính của máy phát không đồng bộ làm việc với lưới là tiêu thụ nhiều công suất phản kháng làm  $\cos\varphi$  của lưới kém.

Tuy nhiên máy phát không đồng bộ làm việc với lưới cũng có ưu điểm như : Vấn đề mở máy và hoà với lưới dễ dàng, hiệu suất vận hành cao vì vậy nó có thể làm nguồn điện hỗ trợ nhỏ.

Máy phát điện không đồng bộ còn có thể làm việc độc lập với lưới, quá trình tự kích để thành lập điện áp tương tự như trong máy điện 1 chiều kích thích song song.

Từ đồ thị vectơ Hình 3.1, nếu bỏ qua tổn hao thép ta thấy  $I_0$  vượt trước  $E_1$  1 góc  $90^\circ$  nghĩa là máy phải phát ra dòng điện điện dung mới có thể tự kích được. Vì vậy khi làm việc độc lập với lưới ta phải nối ở đầu cực máy một lượng điện dung  $C$  thích hợp.

Ngoài ra máy cần có từ dư, nhờ sđđ do từ dư sinh ra mà trong điện dung  $C$  có dòng điện điện dung làm cho từ thông được tăng cường. Điều kiện cuối cùng để thành lập được điện áp là có đủ điện dung để cho đường đặc tính điện dung và đường cong từ hoá của máy phát giao nhau ở điểm làm việc định mức .



**Hình 3.2.** Máy phát điện không đồng bộ tự kích.

Đường thẳng tiếp tuyến với đoạn không bão hoà của đường cong từ hoá gọi là đường đặc tính điện dung giới hạn: Hệ số góc của đường thẳng lúc đó bằng:

$$\operatorname{tg}\alpha_{gh} = \frac{U_c}{I_0} = \frac{1}{C_{gh}\omega} \quad (3.2)$$

Do đó khi không tải muốn thành lập được điện áp thì phải có :

$$\begin{aligned} \alpha &< \alpha_{gh} \\ \text{hay : } C &> C_{gh} \end{aligned} \quad (3.3)$$

Trị số điện dung ba pha cần thiết để kích từ cho máy đạt đến điện áp định mức lúc không tải có thể tính theo công thức :

$$C_0 = \frac{\sqrt{3}I_\mu}{2\pi f_1 U_1^2} 10^6 \quad (\mu F) \quad (3.4)$$

$$\Rightarrow U_1 = \sqrt{3}I_\mu \frac{1}{C\omega} = \sqrt{3} I_\mu x_c \quad (3.5)$$

Trong đó I : Dòng điện từ hoá có thể coi là dòng điện không tải  $I_0$ .

$U_1$  : Điện áp dây của máy.

$f_1$  : Tần số dòng điện phát ra.

$$f_1 = \frac{pn_1}{60} \approx \frac{pn}{60}$$

Để tiết kiệm điện dung thường đấu chúng theo cách đấu  $\Delta$  như Hình 3.2 a. Khi có tải phải luôn giữ tốc độ lên bằng  $n_{dm}$ , nếu tốc độ giảm thì  $f_1$  giảm. Đường cong từ hoá thấp xuống,  $tg \equiv 1/n$  tăng lên khiến cho điện áp giảm hoặc mất ổn định .

Khi có tải thì do điện kháng của tải và điện kháng tản từ của stato nên phải tăng thêm điện dung C để giữ  $U = \text{const}$ . Điện dung để bù vào điện kháng tản từ của dòng stato vào khoảng 25%  $C_0$ . Điện dung bù vào điện kháng của tải có thể tính theo công thức sau:

$$C_1 = \frac{Q}{2\pi f_1 U_1^2} 10^6 \quad (\mu F) \quad (3.6)$$

trong đó Q là công suất phản kháng của tải.

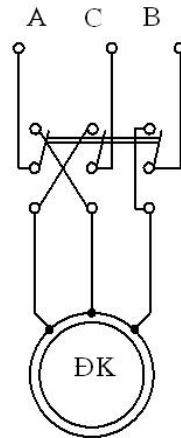
Từ đó ta thấy, trừ khi có thiết bị điều chỉnh tự động, nếu không thì khi tải thay đổi rất khó giữ U và  $f_1$  không đổi. Ở tải thuần trở thì ảnh hưởng đối với điện áp và tần số còn ít. Nếu tải có tính cảm thì ảnh hưởng đến U và  $f_1$  rất nhiều.

Do điện dung tương đối đắt nên thường hạn chế công suất của máy phát không đồng bộ thường nhỏ hơn 20 KW. Máy phát điện không đồng bộ tự kích thường là loại rôto lồng sóc và sử dụng ở những nơi yêu cầu chất lượng điện không cao lắm như trong quá trình điện khí hoá nông thôn hoặc làm nguồn điện tạm thời với công suất nhỏ.

## 2.2. Trạng thái hãm của máy điện không đồng bộ

Trong thực tế muốn động cơ ngừng quay một cách nhanh chóng và bằng phẳng khi cắt điện vào động cơ hoặc cần giảm bớt tốc độ (ở cần trục khi đưa hàng xuống) người ta dùng phương pháp hãm cơ hay điện. Ở đây chỉ giới thiệu các phương pháp hãm bằng điện.

**a. Phương pháp hãm ngược (Đổi thứ tự pha)**

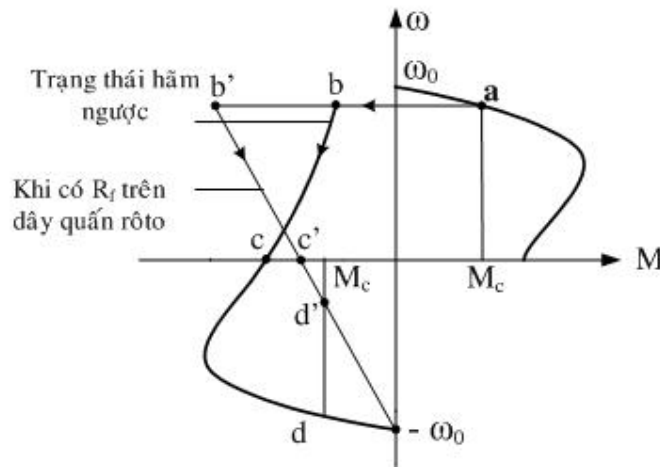


**Hình 3.3.** Hãm đổi thứ tự pha động cơ điện không đồng bộ.

Ta biết khi  $s > 1$ , rôto quay ngược với chiều từ trường quay thì động cơ điện làm việc ở chế độ hãm. Ta ứng dụng nguyên lý đó như sau:

Khi động cơ đang làm việc, rôto quay cùng chiều với từ trường quay. Sau khi cắt mạch điện, muốn rôto ngừng quay nhanh chóng ta đóng cầu dao về phía khác để đổi thứ tự pha đặt vào stato Hình 3.3. Do quán tính, rôto vẫn quay theo chiều cũ trong lúc đó từ trường đã quay ngược nên động cơ làm việc ở chế độ hãm. Mômen điện từ sinh ra ngược chiều với rôto và có tác dụng hãm nhanh chóng và bằng phẳng tốc độ quay của máy.

Để giảm dòng điện trong quá trình hãm có thể đổi nối dây quấn stato từ  $\Delta \rightarrow Y$ , hay có thể đặt thêm điện trở trong dây quấn rôto để giảm dòng điện và tăng mômen hãm. Khi rôto ngừng quay, phải cắt ngay mạch điện. Nếu không động cơ sẽ quay theo chiều ngược lại (đặc tính cơ khi hãm ngược như Hình 3.4).



**Hình 3.4.** Đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ khi hãm ngược bằng cách đảo chiều từ trường quay.



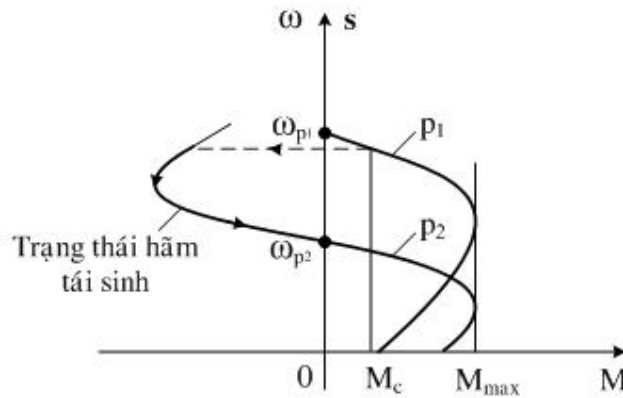
**b. Phương pháp hãm tái sinh ( đổi thành máy phát)**

Muốn thực hiện phương pháp hãm này cần đổi động cơ điện sang làm việc ở chế độ máy phát điện, tức là đổi tốc độ từ trường quay  $n_1 < n$  nhưng vẫn cùng chiều với rôto. Khi làm việc ở chế độ động cơ muốn hãm cần phải tăng số đôi cực  $p$  của máy lên, lúc đó  $n > n_1$  động cơ sẽ trở thành máy phát trả năng lượng về lưới đồng thời có mômen hãm động cơ lại. Có trường hợp không cần đổi số đôi cực như khi xe điện xuống dốc tốc độ của rôto tăng lên quá tốc độ đồng bộ như vậy động cơ cũng làm việc ở trạng thái hãm.

Để tăng mômen hãm, đôi khi người ta cho phép tăng điện áp đặt vào dây quấn stato bằng cách đổi nối từ  $Y \rightarrow \Delta$ . Khi hãm tái sinh dòng điện tác dụng trong mạch rôto âm nên mômen điện từ của động cơ cũng âm:

$$I'_{2s} = \frac{E'_2 s}{R'_2 + jx'_2 s} = \frac{E'_2 R'_2 s}{R'^2_2 + (x'_2 s)^2} - j \frac{E'_2 x'_2 s^2}{R'^2_2 + (x'_2 s)^2} \quad (3.7)$$

với :  $s = \frac{n_1 - n}{n_1}$

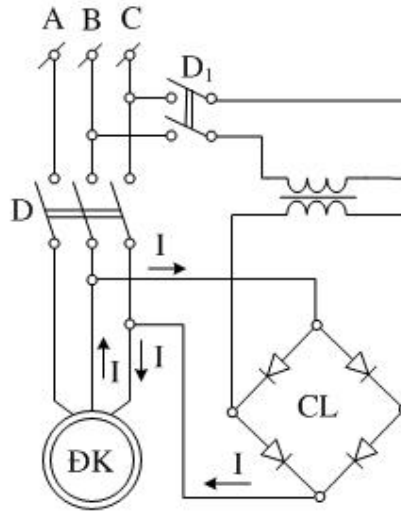


**Hình 3.5.** Đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ khi hãm tái sinh bằng cách thay đổi số đôi cực.

**c. Phương pháp hãm động năng**

Sau khi cắt điện đưa vào động cơ thì lập tức đưa điện một chiều vào dây quấn stato. Dòng điện dòng chiều vào dây quấn stato tạo thành từ trường một chiều trong máy. Do còn quán tính dây quấn rôto cảm ứng nên sđđ và dòng điện tác dụng với từ trường trên tạo thành  $M_{dt}$  chống lại chiều quay của máy. Ở loại động cơ rôto dây quấn người ta thường cho thêm điện trở phụ vào phía rôto để tăng thêm mômen hãm.

Điều chỉnh mômen hãm bằng cách điều chỉnh điện áp một chiều vào dây quấn stato. Trên thực tế quá trình hãm theo phương pháp này thường được tiến hành tự động.



**Hình 1 .6.** Hãm động năng động cơ điện không đồng bộ.

### 3. Các Dạng Khác Của Máy Điện Không Đồng Bộ

#### 3.1. Máy điều chỉnh pha (máy dịch pha)

Máy dịch pha là loại máy điện có thể tạo nên một sđđ  $E_2$  ở phía thứ cấp với một góc lệch pha tùy ý so với điện áp sơ cấp  $U_1$ .

Máy có cấu tạo giống như máy điện không đồng bộ rôto dây quấn nhưng rôto bị giữ chặt bởi một hệ thống vis vô tận làm rôto không thể quay tự do được mà chỉ có thể quay một góc nhất định theo sự điều khiển từ bên ngoài. Máy thường là loại ba pha. Theo Hình 3.7-a ta có dây quấn stato nối với lưới điện sinh ra từ trường quay. Dây quấn rôto thông qua vành trượt nối với tải.

Từ trường quay trong khe hở sinh ra sđđ trong dây quấn stato là  $E_1$  và  $E_2$  có trị số tỷ lệ với số vòng dây tác dụng của các dây quấn còn góc pha phụ thuộc vào vị trí tương đối của chúng. Vì ba pha đối xứng ta có thể nghiên cứu trên một pha.

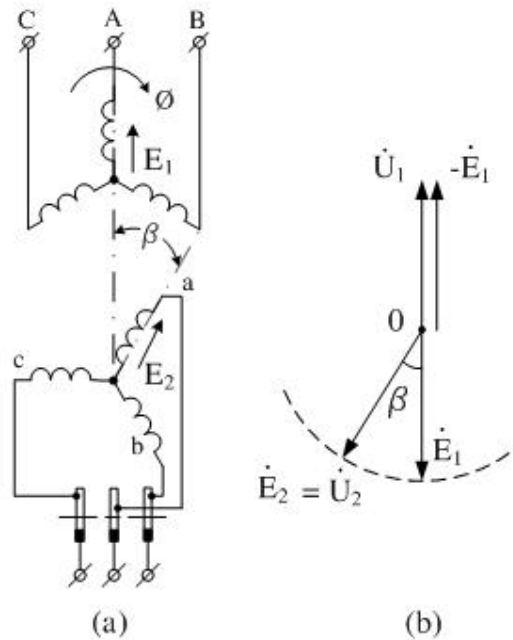
Giả sử góc giữa pha A của dây quấn stato với pha a của dây quấn rôto là  $0^\circ$ . Sau đó quay pha a đi một góc  $\beta$  theo chiều từ trường quay. Căn cứ vào mạch điện thay thế và bỏ qua điện áp rơi trên tổng trở ta có:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &\approx -\dot{E}_1 \\ \dot{U}_2 &\approx \dot{E}_2 = \frac{E_1}{k} e^{-j\beta} = \frac{E_1}{k} (\cos\beta - j \sin\beta) \end{aligned} \quad (3.8)$$

trong đó : k là tỷ số biến đổi điện áp.

Căn cứ vào phân tích trên ta thấy  $E_2 = \text{Const}$ . Chỉ thay đổi về góc pha

Máy dịch pha được dùng trong các thiết bị thí nghiệm.



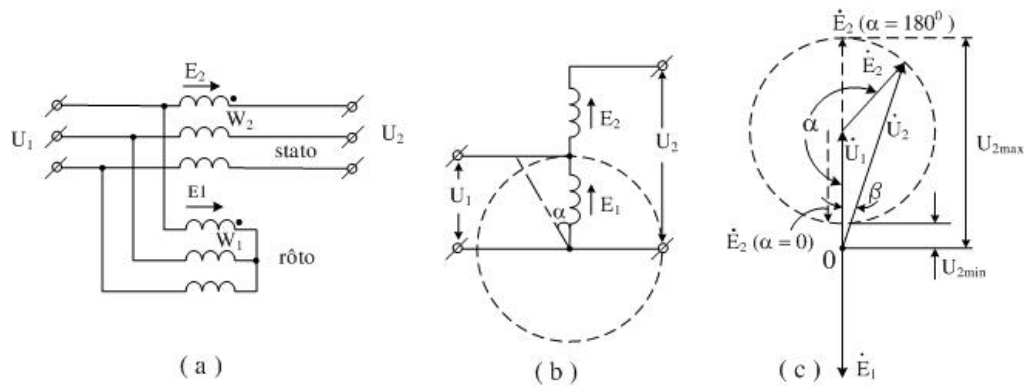
**Hình 3.7.** Sơ đồ nguyên lý và đồ thị vectơ của máy dịch pha.

**3.2. Máy điều chỉnh cảm ứng :**

Máy điều chỉnh cảm ứng là loại máy biến điện áp dựa trên nguyên lý của máy điện không đồng bộ ba pha rôto dây quấn với rôto đứng yên.

Kết cấu của máy điều chỉnh cảm ứng giống như máy dịch pha, chỉ khác là dây quấn stato và rôto ngoài sự liên hệ về từ còn liên hệ về điện như trong máy biến áp tự ngẫu hai dây quấn. Máy điều chỉnh cảm ứng có hai loại : Đơn và kép.

**a. Máy điều chỉnh cảm ứng đơn:**



**Hình 3.8.** Sơ đồ nguyên lý và đồ thị vectơ của máy điều chỉnh cảm ứng đơn.

Nghiên cứu trên một pha dây quấn ta có:

$$\begin{aligned}\dot{U}_2 &= \dot{U}_1 + \dot{E}_2 \approx \dot{U}_1 - \frac{U_1}{k} e^{-j\alpha} \\ \dot{U}_2 &= U_1 \left( 1 - \frac{1}{k} e^{-j\alpha} \right)\end{aligned}\quad (3.9)$$

$\alpha$  là góc lệch giữa  $E_2$  và  $E_1$

$$\text{Khi } \alpha = 0 \text{ thì } U_2 = U_{2\min} = U_1 \left( 1 - \frac{1}{k} \right)$$

$$\text{Khi } \alpha = 180^\circ \text{ thì } U_2 = U_{2\max} = U_1 \left( 1 + \frac{1}{k} \right)$$

Cần chú ý là khi điều chỉnh trị số của  $U_2$  thì góc pha của nó đối với  $U_1$  cũng thay đổi một ít. Ngoài ra khi máy làm việc trên rôto có mômen điện từ lớn kéo về vị trí hai dây quấn stato và rôto trùng trục nên phải có bộ phận hãm giữ không cho rôto quay. Để khắc phục khuyết điểm này ta dùng máy điều chỉnh cảm ứng kép.

### **b. Máy điều chỉnh cảm ứng kép**

Gồm hai máy điều chỉnh cảm ứng đơn ghép lại, hai rôto được nối chặt với nhau về cơ khí. Dây quấn được nối theo sơ đồ nguyên lý như Hình 3.9-a.

Theo hình vẽ ta thấy thứ tự pha của hai máy ngược nhau từ trường quay ngược nhau nên góc pha giữa  $E_2$  với  $E_1$  trong hai máy bao giờ cũng ngược nhau dù rôto quay theo chiều nào.

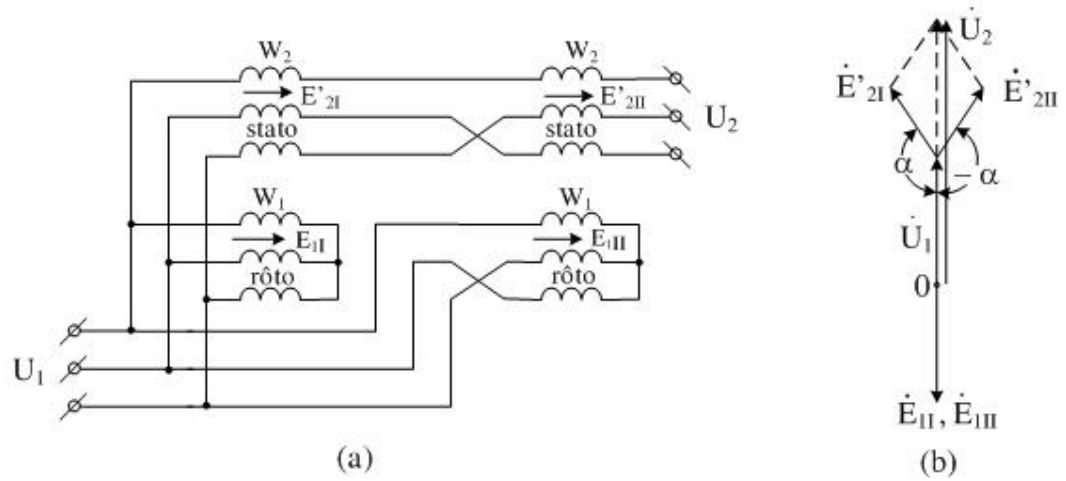
Theo đồ thị vectơ ở Hình 3.9-b ta có điện áp đầu ra bằng:

$$\begin{aligned}\dot{U}_2 &= \dot{U}_1 + \dot{E}'_{2I} + \dot{E}''_{2II} \\ &= \dot{U}_1 - \frac{U_1}{k} e^{j\alpha} + \frac{U_1}{k} e^{-j\alpha} \\ &= \dot{U}_1 \left[ 1 - \frac{1}{k} (e^{j\alpha} + e^{-j\alpha}) \right]\end{aligned}\quad (3.10)$$

$$\text{Khi } \alpha = 0 \text{ ta có : } U_2 = U_{2\min} = U_1 \left( 1 - \frac{2}{k} \right)$$

$$\text{Khi } \alpha = 180^\circ \text{ ta có : } U_2 = U_{2\max} = U_1 \left( 1 + \frac{2}{k} \right)$$

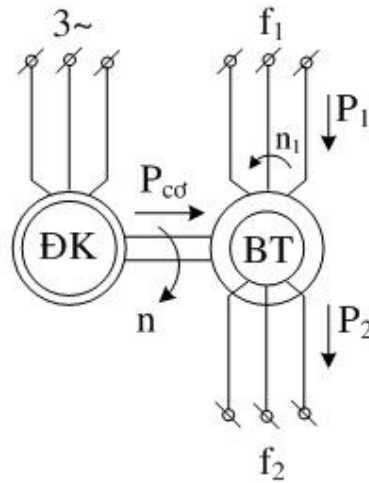
Góc pha  $U_2$  luôn luôn trùng pha với  $U_1$ , còn  $M_{dt}$  sinh ra ở hai máy điều chỉnh cảm ứng đơn bằng nhau và ngược chiều nên trên trục máy không chịu mômen nào cả.



**Hình 3.9.** Sơ đồ nguyên lý và đồ thị vectơ của máy điều chỉnh cảm ứng kép.

### 3.3. Máy biến đổi tần số

Máy điện không đồng bộ rôto dây quấn có thể dùng làm máy biến đổi tần số từ  $f_1$  sang tần số  $f_2$ . Ví dụ ta nghiên cứu trường hợp  $f_2 > f_1$ . Sơ đồ nguyên lý ở Hình 3.10.



**Hình 3.10.** Sơ đồ máy biến đổi tần số.

Dây quấn stato được nối với lưới điện có tần số  $f_1$ , rôto được một động cơ sơ cấp ĐK kéo quay ngược với chiều từ trường quay. Do đó tần số của sđđ cảm ứng ở dây quấn rôto bằng :

$$f_2 = s f_1$$

$$\text{với } s = \frac{n_1 + n}{n_1} > 1$$

$$n_1 = \frac{60f_1}{p} \text{ là tốc độ đồng bộ của từ trường quay.}$$

Ở máy biến đổi tần số dây quấn rôto nhận năng lượng từ 2 phía. Một phần từ phía stato chuyển qua nhờ từ trường quay, một phần từ động cơ sơ cấp ĐK truyền qua theo trục của rôto .

$$P_2 = m_2 s E_2 I_2 \cos \psi_2$$

Trong đó  $m_2$  và  $E_2$  là số pha và Sđđ của rôto khi đứng yên.

CS điện từ chuyển từ stato sang roto bằng :

$$P_{dt} = m_2 E_2 I_2 \cos \psi_2 \quad (3.11)$$

Khi  $s > 1$  thì  $P_2 > P_{dt}$  : Máy lấy công suất từ trục động cơ sơ cấp ĐK vào và công suất cơ đó bằng:

$$\begin{aligned} P_{co} &= P_2 - P_{dt} \\ &= m_2 (s - 1) E_2 I_2 \cos \psi_2 \end{aligned} \quad (3.12)$$

Máy biến đổi tần số thường dùng để cung cấp dòng điện tần số  $f_2$  từ 100÷200Hz dùng trong công nghiệp.

Ta có :

$$s = \frac{n_1 + n}{n_1} = \frac{\frac{f_1}{p_{BT}} + \frac{f_1}{p_D}}{\frac{f_1}{p_{BT}}} = \frac{p_D + p_{BT}}{p_{BT}} \quad (3.13)$$

Trong đó :  $p_{BT}$  và  $p_D$  : Số đôi cực của máy biến tần và của động cơ.

$$\begin{aligned} \text{Ví dụ : } \left. \begin{array}{l} p_D = 1 \\ p_{BT} = 2 \end{array} \right\} s = 3 & \quad f_2 = 3f_1 = 150 \text{ Hz} \\ \left. \begin{array}{l} p_D = 1 \\ p_{BT} = 3 \end{array} \right\} s = 4 & \quad f_2 = 4f_1 = 200 \text{ Hz} \end{aligned}$$

### 3.4. Máy điện không đồng bộ làm việc trong hệ tự đồng bộ (Selsyn)

Máy điện không đồng bộ làm việc trong hệ tự đồng bộ gồm nhiều máy đặt cách nhau và chỉ nối với nhau bằng điện. Khi 1 trong những máy đó quay đi một góc (gọi là máy phát) thì những máy khác (máy thu) cũng quay 1 góc như vậy. Hệ thống này thường dùng trong kỹ thuật khống chế và đo lường. Những máy điện này thường thuộc loại ba pha và một pha và có thể làm việc ở nhiều chế độ : Chi thị, vi sai, biến áp.

#### a. Hệ Tự Đồng Bộ 3 Pha ( Selsyn 3 pha)

Hệ tự đồng bộ ba pha đơn giản nhất là gồm hai máy điện không đồng bộ rôto dây quấn. Dây quấn stato của chúng được nối với lưới điện còn dây quấn rôto được nối với nhau theo đúng thứ tự ph. Như vậy nếu ở hai máy vị trí của rôto đối với stato giống nhau thì sđđ  $E_2$  trong mạch rôto của chúng sẽ ngược nhau và dòng điện  $I_2$  sẽ bằng 0.

Gọi F là máy phát tín hiệu và T là máy thu tín hiệu thì khi có tín hiệu tác động vào máy phát F làm quay roto của nó đi 1 góc thì các Sđđ  $E_{2F}$  và  $E_{2T}$  sẽ có góc lệch và do đó trong mạch rôto sẽ có dòng điện  $I_2$ .

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_{2F} - E_{2T} \cdot e^{\pm j\theta}}{Z_{2F} - Z_{2T}} \quad (3.14)$$

(+) khi rôto F quay cùng chiều với  $U'_F$  ( $E_{2T}$  vượt trước  $E_{2F}$ )

(-) Khi rô to F quay ngược chiều với  $U'_F$

Trong đó :  $Z_{2F}$  và  $Z_{2T}$  : Tổng trở rôto của máy phát (F) và máy thu (T)

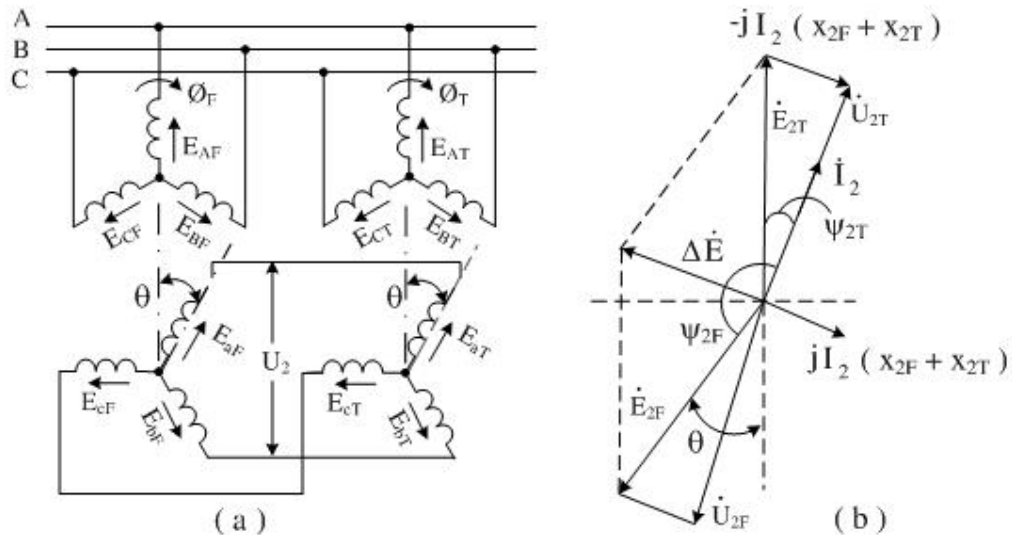
Từ đồ thị vectơ Hình 3.11-b ta thấy thành phần tác dụng của  $I_2$  cùng chiều với  $E_{2T}$  do đó  $M_T$  sẽ làm quay rôto của máy T đi 1 góc . Trái lại thành phần tác dụng của  $I_2$  ngược chiều với  $E_{2F}$  nên sẽ có mômen  $M_F$  kéo rôto của máy F trở về vị trí  $\theta = 0$ .

Hoặc có thể giải thích như sau:

- góc  $\psi_{2F} \approx 180^\circ$ ,  $\cos \psi_2 < 0 \rightarrow M_F < 0$  ( M hãm ) : kéo rôto máy F trở về vị trí 0

- góc  $\psi_{2T} \approx 0$ ,  $\cos \psi_2 > 0 \rightarrow M_T > 0$  ( M quay ) : kéo rôto của máy T đi 1 góc .

Hệ thống hai máy trên sẽ làm việc cân bằng khi góc lệch ở hai máy F và T bằng nhau. Vì vậy khi giữ rôto của máy F ở góc thì rôto của máy T cũng sẽ quay một góc đúng bằng . Sự liên lạc như thế còn gọi là sự liên lạc kiểu trực điện.



**Hình 3.11.** Sơ đồ nguyên lý và đồ thị vectơ của selsyn ba pha.

**b. Hệ tự đồng bộ 1 pha ( selsyn 1 pha)**

Stato của hai máy F và T chỉ có một pha nối với lưới điện chung, còn rôto của hai máy vẫn là dây quấn ba pha và nối với nhau theo đúng thứ tự pha .

Khi cho dòng điện một pha vào dây quấn stato thì trong khe hở sinh ra từ trường đập mạch và có thể phân thành hai từ trường quay ngược chiều nhau là  $U'_A$  và  $U'_B$  và ta coi như có hai hệ thống đồng bộ ba pha hợp lại. Như vậy có thể dùng nguyên lý làm việc của hệ ba pha tìm ra mômen từng phần và mômen tổng.

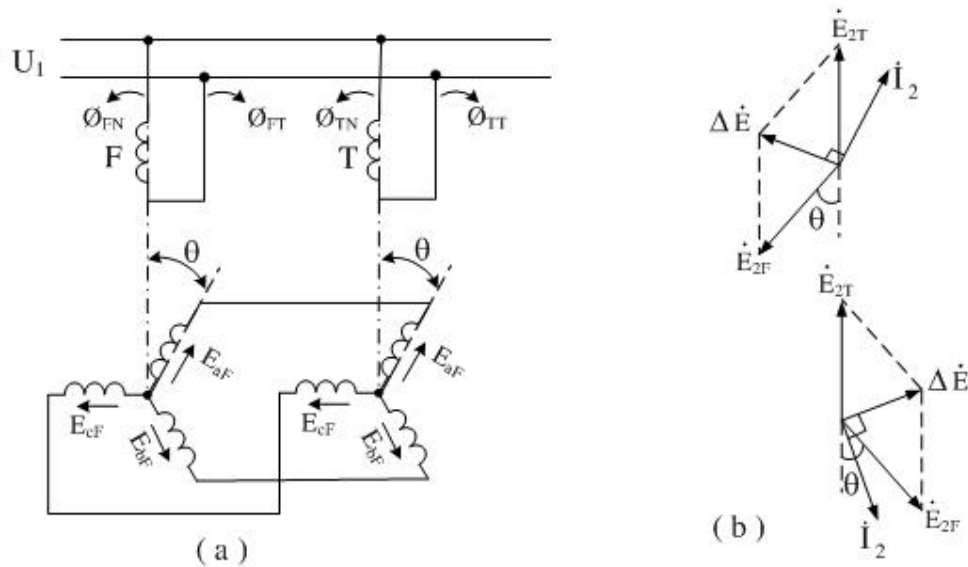
Quay rôto của máy F theo chiều của  $U'_{AF}$  một góc . Đối với từ trường quay thuận  $U'_{AF}$  và  $U'_{AT}$  thì giống như hệ ba pha  $M_{AF}$  và  $M_{AT}$  có khuynh hướng kéo hai rôto

trở về cùng một vị trí. Đối với từ trường quay ngược  $U_{BF}$  và  $U_{BT}$  cũng vậy. Vì vậy mômen do hai từ trường quay sinh ra trên mỗi máy cùng chiều nên trị số tuyệt đối của chúng là tổng của hai momen của từng phân lượng từ trường làm trục quay. Như vậy nếu quay roto của máy F đi một góc thì roto máy T cũng quay đi một góc.

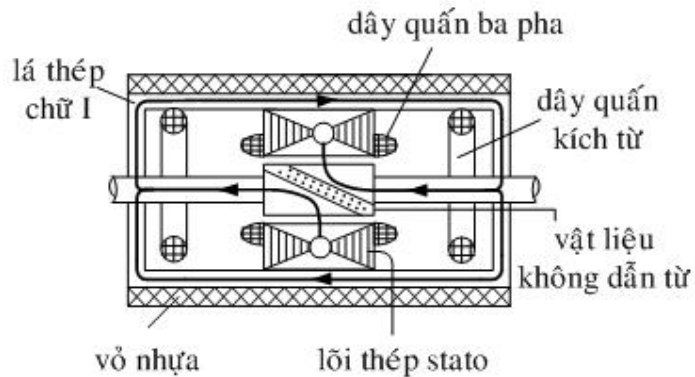
Thường đặt dây quấn sơ cấp một pha trên roto còn dây quấn thứ cấp ba pha lắp trên stato như vậy giảm đi được một vành trượt. Để có đặc tính mômen tốt, dây quấn một pha thường đặt trên cực lồi.

Ngày nay người ta đã chế tạo những selsyn một pha không vành trượt.

Hệ tự đồng bộ ngày nay được áp dụng rộng rãi trong ngành tự động hoá và điều khiển.



**Hình 3.12.** Sơ đồ nguyên lý và đồ thị vectơ của selsyn một pha.



**Hình 3.13.** Cấu tạo selsyn một pha.



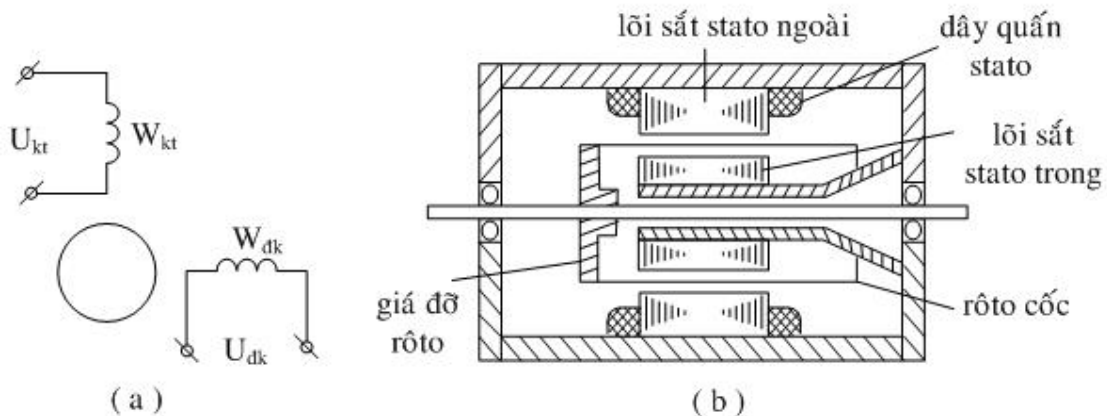
### 3.5. Động cơ chấp hành không đồng bộ ( AC ServoMotor)

Để điều khiển một đối tượng nào đó, tín hiệu điều khiển ít khi dẫn trực tiếp đến mà thường qua khâu trung gian nào đó. Thí dụ muốn biến tín hiệu điện áp thành tín hiệu cơ học tác động vào đối tượng điều khiển thì người ta dùng khâu trung gian là động cơ chấp hành. Động cơ này cần thỏa mãn các yêu cầu chính:

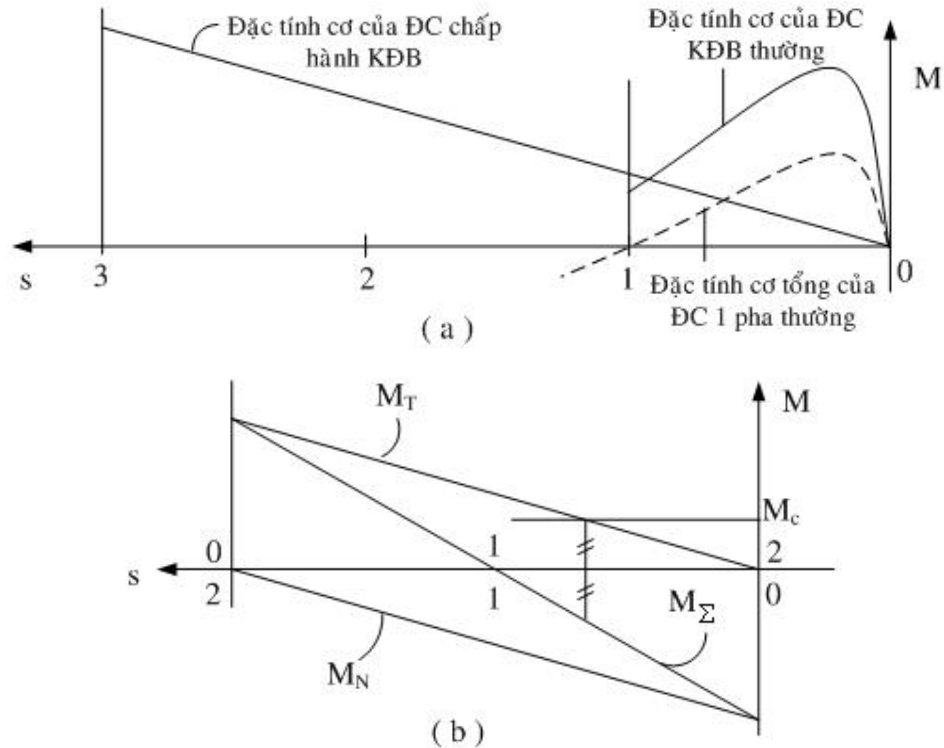
- Độ nhạy cao, quán tính bé, nghĩa là phải quay hoặc dừng tức khắc khi có hoặc mất tín hiệu điều khiển mà không nhờ một cơ cấu hãm .
- Mômen mở máy lớn, động cơ làm việc ổn định .
- Đặc tính cơ tuyến tính, phạm vi điều chỉnh tốc độ rộng.
- Công suất điều khiển nhỏ.

Động cơ chấp hành không đồng bộ là loại động cơ không đồng bộ hai pha công suất bé (0,1 ÷ 300W). Máy có kết cấu như sau: Stato ghép bằng lá thép kỹ thuật điện có hai cuộn dây đặt lệch nhau  $90^0$

Trong đó một cuộn  $W_{kt}$  làm nhiệm vụ kích thích, cuộn  $W_{dk}$  làm nhiệm vụ điều khiển , hai cuộn này được đặt vào hai điện áp lệch nhau  $90^0$  thời gian. Nguồn kích thích lấy ở lưới điện xoay chiều , nguồn điều khiển lấy ở tín hiệu ĐK có nhiều loại điều khiển : Điều khiển biên độ , điều khiển pha, điều khiển hỗn hợp ( cả biên độ và pha) . Tổng quát từ trường quay có thể là ellip do tính bất đối xứng của điện áp hoặc pha ( pha nhỏ hơn  $90^0$  ). Khi có tín hiệu điều khiển trong khe hở sẽ hình thành từ trường quay và động cơ làm việc với đặc tính mômen thuận (đặc tính cơ thông thường). Khi mất tín hiệu điều khiển, trong dây quấn stato chỉ còn nguồn điện một pha ( $U_{kt}$ ), từ trường đập mạch do dòng điện một pha sinh ra được phân thành hai từ trường quay thuận và ngược, tương ứng ta có hai đặc tính cơ thuận và ngược, đặc tính cơ tổng  $M_{\Sigma}$  sẽ tạo ra một mômen ngược với mômen thuận (là đặc tính cơ thông thường của động cơ không đồng bộ khi có cả hai điện áp kích thích và điều khiển) làm rôto đứng lại ( Hình 3.15-b)



**Hình 3.14.** Sơ đồ nguyên lý và cấu tạo động cơ chấp hành không đồng bộ.



**Hình 3.15** Đặc tính cơ của động cơ chấp hành không đồng bộ.

Để máy làm việc ổn định và đặc tính cơ tuyến tính thì rôto phải được chế tạo với điện trở rất lớn để  $s_m = 3 \div 4$ , với  $s_m$  lớn như vậy nó mới chống được hiện tượng tự quay nữa ( còn đối với động cơ một pha thông thường vì điện trở rôto bé nên đặc tính cơ có dạng như Hình 3.15-a, khi rôto đã quay ta ngắt mạch khởi động thì động cơ vẫn tiếp tục quay).

Động cơ chấp hành không đồng bộ có kết cấu tương tự như động cơ không đồng bộ thường rôto lồng sóc nhưng phải được chế tạo với độ chính xác cao, quán tính bé. Thông thường hay làm theo kiểu rôto rỗng ( hình cốc ) cấu tạo như Hình 3.14-b.

Stato gồm hai phần : Ngoài và trong , stato ngoài gồm các lá thép kĩ thuật điện ghép lại với nhau, gồm có răng rãnh để đặt dây quấn kích thích và dây quấn điều khiển. Stato trong gồm các lá thép ghép lại không có răng rãnh chỉ dùng làm mạch dẫn từ. Rôto rỗng thường làm bằng vật không dẫn từ như nhôm hay duralumin được bắt lên trên trục bằng vành đỡ và quay ở giữa khe hở stato. Ngoài ra rôto có thể làm bằng hợp kim đồng nhôm có điện trở suất cao hoặc làm bằng sắt, hay bằng vải ép trên mặt ngoài tráng vật liệu dẫn điện .

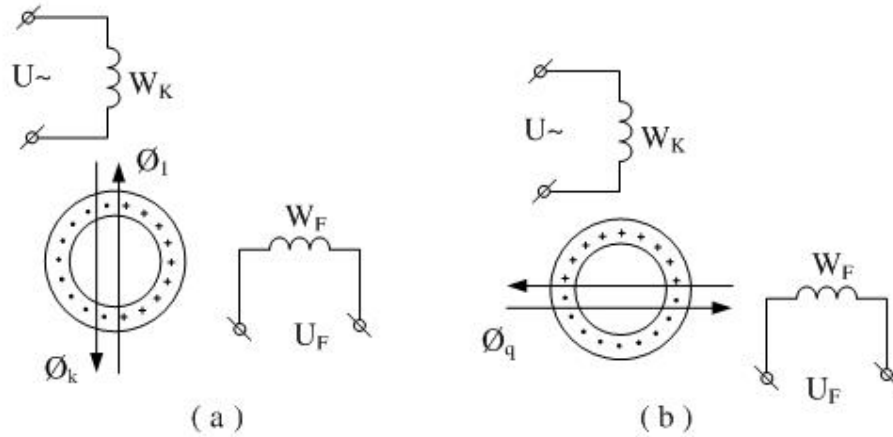
Do khe hở không khí lớn ( $\delta = 0,3 \div 1,4 \text{ mm}$ ) nên  $I_0$  lớn,  $\cos\varphi$  thấp, hiệu suất thấp, trọng lượng lớn (vì  $\delta$  lớn nên muốn  $\Phi$  cao phải tăng  $stđ F = I W \rightarrow W$  tăng) (hình 1-14-b)

### 3.6. Máy phát tốc độ không đồng bộ

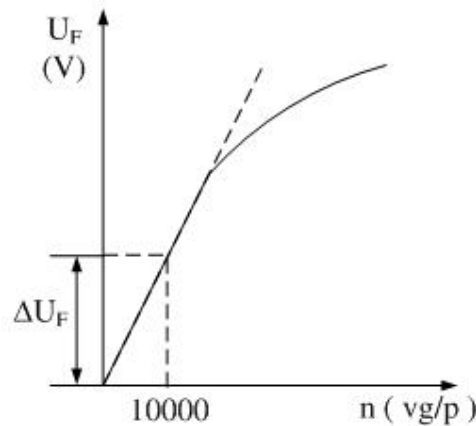
Làm nhiệm vụ biến đổi tín hiệu cơ sang tín hiệu điện ( thường là tốc độ quay của trục biến đổi thành tín hiệu điện áp) để đo tốc độ của động cơ hoặc biến đổi các tín hiệu (gia tốc, ổn định) trong các cơ cấu tự động. Trong các loại máy phát tốc độ xoay chiều, máy phát tốc độ không đồng bộ có ưu điểm là tần số của điện áp ra không

phụ thuộc vào tốc độ, điều này rất thuận tiện cho việc sử dụng các dụng cụ đo điện áp ở đầu ra.

Máy phát tốc độ không đồng bộ có cấu tạo giống động cơ chấp hành không đồng bộ rôto rỗng.



**Hình 3.16.** Nguyên lý làm việc của máy phát tốc độ.



**Hình 3.17.** Quan hệ  $U_F = f(n)$

$W_k$  là cuộn dây kích thích,  $W_F$  là cuộn dây phát.

Khi cho dòng điện xoay chiều một pha tần số  $f_1$  vào dây quấn  $W_k$ , trong máy xuất hiện một từ trường đập mạch  $\Phi_k$  với tần số  $f_1$  có phương trùng với trục dây quấn  $W_k$  trong hình trụ rôto rỗng đang đứng yên xuất hiện sđđ và dòng điện xoay chiều với tần số  $f_1$  như máy biến áp, chiều của từ trường  $U_1$  do dòng điện đó sinh ra được vẽ ở Hình 3.6a.

Khi  $n = 0$ : Do trục của dây quấn  $W_F$  thẳng góc với trục  $W_k$  tức là thẳng góc với phương  $O_k$  và  $U_1$  nên  $E_F = 0$

Khi rôto quay  $n \neq 0$  trong rôto sẽ cảm ứng thêm một sđđ quay  $e_q$  do từ trường  $O_k$  quét qua rôto.  $e_q \equiv n$ , dòng điện  $I_q$  do  $e_q$  sinh ra có chiều như Hình 3.16-b

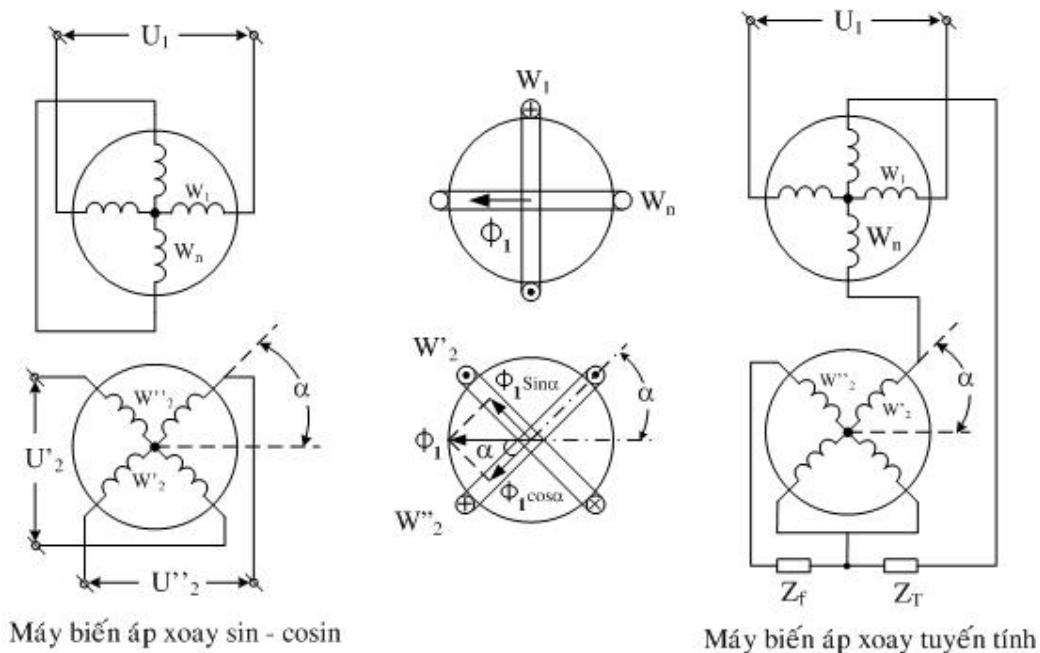
Vì  $O_k$  và  $U_1$  đập mạch với tần số  $f_1$  nên  $e_q$  và  $I_q$  cũng biến đổi với tần số  $f_1$ , dòng điện  $I_q$  tạo ra từ trường  $O_q$  đập mạch với tần số  $f_1$  qua cuộn dây  $W_F$  làm cảm ứng trong đó một sđđ xoay chiều  $e_F$  có tần số  $f_1$ , trị số  $E_q$  tỷ lệ với tốc độ  $n$ . Quan hệ  $U_F = f(n)$  được vẽ trên Hình 3.17.

Trên thực tế, khi máy phát tốc độ có tải, phản ứng của dòng điện trong rôto gây nên sự biến dạng của từ trường và sự thay đổi các thông số của máy. Hiện tượng này gây nên sai số về trị số và làm mất tính chất tuyến tính của  $U_F = f(n)$  nhất là ở tốc độ cao. Vì vậy máy thường dùng để đo tốc độ trong phạm vi  $8000 \div 10000$  v/ph với  $\Delta U_F = 5 \div 10$  V.

### 3.7. Máy biến áp xoay

Máy biến áp xoay là thiết bị điện làm việc theo nguyên lý cảm ứng điện từ, có thể cho ra một điện áp thay đổi theo góc xoay của rôto. Cấu tạo giống động cơ không đồng bộ rôto dây quấn dạng công suất nhỏ. Trên stato và rôto có đặt dây quấn hai pha đối xứng lệch nhau trong không gian  $90^\circ$  điện.

Điện áp đầu ra trên rôto máy biến áp xoay có thể tỷ lệ với sin, cosin hoặc với bản thân góc xoay của rôto, do đó người ta phân làm máy biến áp xoay sin-cosin và máy biến áp xoay tuyến tính. Sơ đồ nguyên lý như Hình 3.18.



**Hình 3.18.** Sơ đồ nguyên lý máy biến áp xoay sin – cosin và máy biến áp xoay tuyến tính.

Đặt điện áp xoay chiều  $U_1$  vào dây quấn stato  $W_1$

$$u_1 = U_{1\max} \sin t = \sqrt{2} U_1 \sin t \quad (3.15)$$

Khi xoay rôto đi 1 góc  $\alpha$ , điện áp đầu ra ở dạng dây quấn thứ cấp  $W'_2$  và  $W''_2$  là :

$$\begin{aligned} u'_2 &= \sqrt{2} k_1 U_1 \sin \alpha \sin t \\ &= \sqrt{2} U'_2 \sin t \end{aligned} \quad (3.16)$$

$$\begin{aligned} u''_2 &= \sqrt{2} k_1 U_1 \cos \alpha \sin t \\ &= \sqrt{2} U''_2 \sin t \end{aligned} \quad (3.17)$$

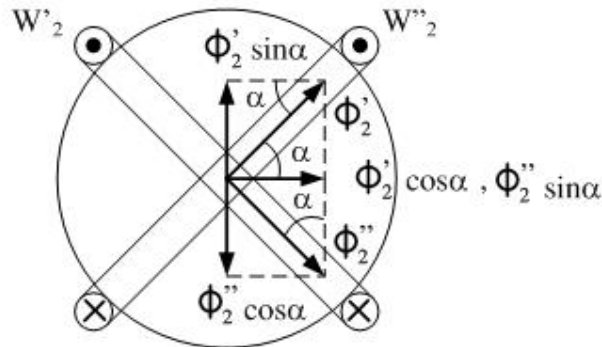
Trong đó :  $k_1 = \frac{k_{dq2} W_2}{k_{dq1} W_1}$

$$U'_2 = k_1 U_1 \sin \alpha \quad (3.18)$$

$$U''_2 = k_1 U_1 \cos \alpha \quad (3.19)$$

Từ đó ta thấy trị số hiệu dụng của điện áp đưa ra  $U'_2$  và  $U''_2$  tỷ lệ với  $\sin$  và  $\cos$ .

Khi mba xoay có tải, dòng điện  $i'_2$  và  $i''_2$  trong hai dây quấn  $W'_2$  và  $W''_2$  tạo nên từ trường  $\Phi'_2$  và  $\Phi''_2$  có thể chia các từ thông đó thành hai thành phần dọc và ngang trục của từ trường dây quấn sơ cấp  $\Phi_1$  là  $\Phi'_2 \cos \alpha$ ,  $\Phi'_2 \sin \alpha$ ,  $\Phi''_2 \cos \alpha$ ,  $\Phi''_2 \sin \alpha$ . Từ trường ngang trục  $\Phi''_2 \cos \alpha$  và  $\Phi'_2 \sin \alpha$  làm cho từ trường tổng bị méo đi và quan hệ hình sin của sđđ đối với góc  $\alpha$  bị phá hủy. Để triệt tiêu thành phần này trên stato ta đặt dây quấn ngắn mạch  $W_n$  vuông góc với dây quấn  $W_1$ . Dòng điện trong dây quấn  $W_n$  sẽ sinh ra từ trường bù thành phần từ trường ngang trục  $\Phi''_2 \cos \alpha$  và  $\Phi'_2 \sin \alpha$ , do đó có thể giảm sai số đến mức tối thiểu.



**Hình 3.19.** Nguyên lý làm việc của máy biến áp sin – cosin.

Nếu đầu dây quấn của mba xoay theo Hình 3.18-c ta có máy biến áp xoay tuyến tính.

Khi góc  $\alpha$  trong khoảng  $0 < \alpha < 65^\circ$  điện áp ở đầu cuối hai dây quấn nối tiếp  $W'_2$  và  $W_n$  tỷ lệ thuận với góc xoay  $\alpha$ . Còn dây quấn  $W''_2$  ở rôto nối kín mạch với tổng trở  $Z_f$  dùng để bù từ trường ngang trục.

Máy biến áp xoay ngày nay có sai số  $\leq 5\%$ , trong trường hợp đặc biệt có thể làm cho sai số  $\leq 0,05 \div 0,07\%$ . Công suất của mba xoay thường trong khoảng vài volt ampe với  $U = 115V$  và  $f = 50Hz \div 400 \div 2500 Hz$ .

MBA xoay được dùng trong các máy tính, các hệ tự động và các sơ đồ hệ thống quay trong trạm radar, v.v...

### CÂU HỎI ÔN TẬP.

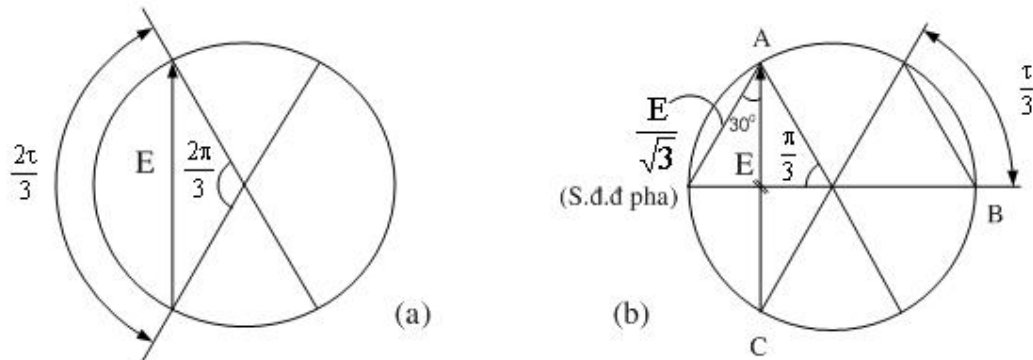
- 1) Nêu ưu điểm và nhược điểm chính của MĐ KĐB khi làm việc ở chế độ máy phát ?
- 2) Điều kiện để MĐ KĐB làm việc độc lập với lưới điện ?
- 3) Đường đặc tính điện dung giới hạn được xác định như thế nào ?
- 4) Viết biểu thức xác định hệ số góc của đường đặc tính điện dung giới hạn ?
- 5) Những hạn chế của MĐ KĐB khi làm việc độc lập với lưới điện?
- 6) Trị số điện dung cần thiết để kích từ cho máy phát KĐB đạt đến điện áp định mức lúc không tải ?
- 7) Để tiết kiệm điện dung thì các bộ tụ được đấu như thế nào ?
- 8) Khi máy phát KĐB làm việc có tải nếu tốc độ máy giảm thì điện áp ra sẽ thay đổi như thế nào ?
- 9) Khi có tải để giữ điện áp ra của máy phát KĐB không đổi thì giá trị điện dung C tăng hay giảm và được tính như thế nào ?
- 10) Để giảm dòng điện trong quá trình hãm ngược ta có thể thực hiện bằng cách nào?
- 11) Nêu các phương pháp hãm điện đối với động cơ điện KĐB ?
- 12) Để tăng mômen hãm trong trường hợp hãm tái sinh ta có thể thực hiện bằng cách nào ?
- 13) Chức năng của máy điều chỉnh pha hay máy dịch pha ?
- 14) Điểm khác nhau về cấu tạo của ĐC KĐB với máy dịch pha ?

## CHƯƠNG 4

### Máy điện đồng bộ đặc biệt

#### 1. Máy phát điện đồng bộ một pha

Dây quấn phần ứng là dây quấn một pha quấn với  $\frac{2}{3} \tau$ . Để sức điện động là Sin thì bề rộng phần quấn dây của một cực so với  $\frac{1}{2}$  chu vi rôto là  $\frac{2}{3} \tau$ . Do đó dây quấn của một pha phải có bước dây là  $\frac{2}{3} \tau$ .



Hình 4.1. (a) Sđđ của máy phát điện đồng bộ 1 pha.

(b) Sđđ của máy phát điện đồng bộ 3 pha.

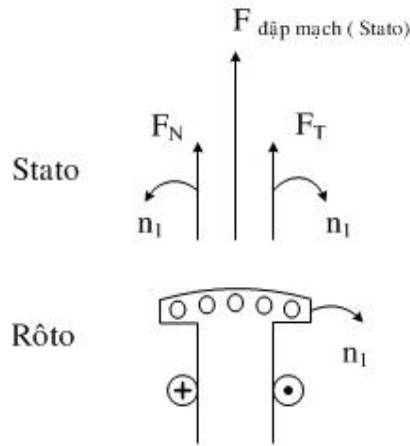
So sánh công suất của hai loại máy phát một pha và ba pha :

$$P(1\sim) = E.I$$

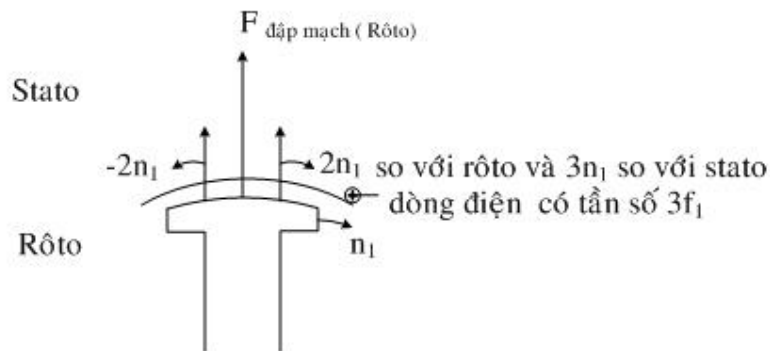
$$P(3\sim) = 3 \cdot \frac{E}{\sqrt{3}} \cdot I$$

$$\frac{P(3\sim)}{P(1\sim)} = 1,73 \quad (4.1)$$

Dòng điện xoay chiều chạy trong dây quấn phần ứng sẽ sinh ra từ trường đập mạch với tần số của dòng điện. Từ trường đập mạch này có thể xem là tổng hợp của hai từ trường quay thuận và ngược. Từ trường quay thuận có tốc độ đồng bộ với từ trường cực từ và quan hệ điện từ giữa hai từ trường đó hoàn toàn giống như máy điện đồng bộ ba pha. Từ trường quay nghịch có tốc độ  $2n_1$  so với rôto và sẽ cảm ứng trong dây quấn rôto các dòng điện có tần số  $2f_1$ . Các dòng điện này sẽ sinh ra từ trường làm yếu từ trường quay ngược sinh ra chúng. Nếu trên rôto đặt dây quấn cản thì từ trường quay nghịch sẽ giảm nhiều, nếu không có dây quấn cản chỉ có dây quấn kích từ thì từ trường quay nghịch chỉ bị giảm ở hướng dọc trục còn vẫn mạnh ở hướng ngang trục. Ngoài ra dòng điện tần số  $2f_1$  ở dây quấn rôto làm tăng tổn hao ở rôto và sẽ sinh ra từ trường đập mạch, và được phân thành hai thành phần thuận và nghịch quay với tốc độ  $2n_1$  so với rôto. Thành phần thuận sẽ sinh ra trong dây quấn stato một dòng điện có tần số  $3f_1$  làm cho tổn hao phụ trong dây quấn stato tăng lên. Vì vậy trong máy điện đồng bộ một pha luôn luôn có đặt dây quấn cản để giảm nhỏ từ trường ngược.



**Hình 4.2.** Tác dụng của từ trường stator.



**Hình 4.3.** Tác dụng của từ trường rotor.

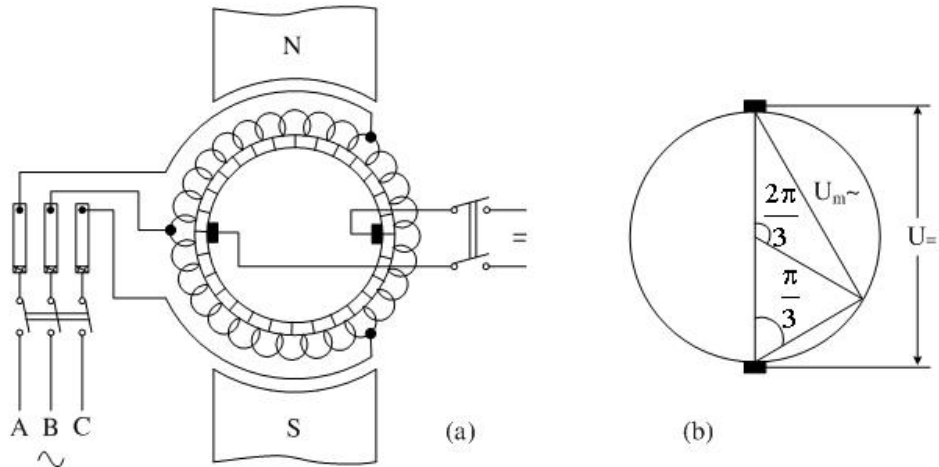
Đồ thị vectơ của máy điện đồng bộ một pha tương tự như máy điện đồng bộ ba pha. Tuy nhiên điện áp rơi trong máy một pha lớn hơn máy ba pha vì điện kháng tản từ  $x_{\sigma U}$  của nó lớn hơn do ảnh hưởng của từ trường ngược.

## 2. Máy biến đổi một phần ứng.

Là loại máy điện quay dùng để biến đổi dòng điện xoay chiều AC sang dòng điện một chiều DC hoặc ngược lại. Sự biến đổi đó được thực hiện dựa trên cơ sở cấu tạo của máy điện một chiều.



Vì s.đ.đ cảm ứng trên dây quấn phần ứng là dòng điện xoay chiều và có thể biểu thị bằng đa giác sức điện động, nên ở m điểm cách đều dây quấn đó s. đ.đ sẽ lệch pha nhau một góc  $\frac{2\pi}{m}$ . Nối m vành trượt với m điểm đó thì từ các chổi than tiếp xúc với các vành trượt đó ta sẽ được s.đ.đ m pha.



**Hình 4.4.** Cấu tạo của máy biến đổi một phần ứng.

- Nếu máy dùng biến đổi điện xoay chiều sang điện một chiều, thì đối với nguồn xoay chiều máy làm việc như động cơ đồng bộ, và đối với lưới một chiều máy làm việc như máy phát điện một chiều. Trước kia loại máy này dùng cung cấp điện một chiều cho xe điện và các tuyến đường sắt dùng đầu máy điện.

- Nếu dùng để biến đổi điện một chiều sang điện xoay chiều thì đối với nguồn một chiều máy làm việc như động cơ điện một chiều và đối với lưới xoay chiều máy làm việc như máy phát đồng bộ.

- Nếu dùng động cơ sơ cấp kéo máy và lấy dòng điện một chiều do máy biến đổi phát ra để kích thích cho nó và từ vành trượt lấy ra điện xoay chiều thì ta được máy phát điện đồng bộ tự kích thích biến đổi cơ năng sang điện năng xoay chiều.

Tỷ lệ giữa  $U_{\sim}$  và  $U_{=}$  :

Dựa vào đồ thị Hình 4.4 - b với  $m = 3$  ta có :

$$U_{m\sim} = 2 \frac{U_{=}}{2} \sin \frac{\pi}{3}$$

$$\text{hay } U_{\sim} = \frac{U_{=}}{\sqrt{2}} \sin \frac{\pi}{3} = 0,612 U_{=} \quad (4.2)$$

Do tỷ lệ giữa  $U_{\sim}$  và  $U_{=}$  như trên nên nếu  $U_{\sim}$  là tiêu chuẩn thì  $U_{=}$  là không tiêu chuẩn và ngược lại.

Vì máy biến đổi một phần ứng đồng thời làm việc ở hai chế độ máy phát và động cơ nên dòng điện trong dây quấn phần ứng là hiệu số  $I_{\sim}$  và  $I_{=}$ , do đó tổn hao trong dây quấn phần ứng nhỏ hơn tổn hao tương ứng của máy điện một chiều. Nếu số pha m lớn tổn hao đó càng nhỏ.

Có thể mở máy theo phương pháp mở máy không đồng bộ của động cơ đồng bộ nếu có đặt dây quấn mở máy ở mặt cực. Hoặc có thể mở máy như động cơ một chiều sau đó hoà đồng bộ với lưới điện xoay chiều tức là cho máy làm việc ở chế độ động cơ

một chiều và điều chỉnh  $U, f$  của hệ thống ba pha để hoà với lưới sau đó tắt nguồn một chiều cung cấp cho nó.

**3. Động cơ điện phản kháng :**

Là loại máy điện đồng bộ không có dây quấn kích từ, nguyên lý làm việc dựa vào sự khác nhau giữa từ trở dọc trục  $x_d$  và ngang trục  $x_q$ . Vì như ta đã biết :

Công suất điện từ của máy điện đồng bộ gồm hai phần :

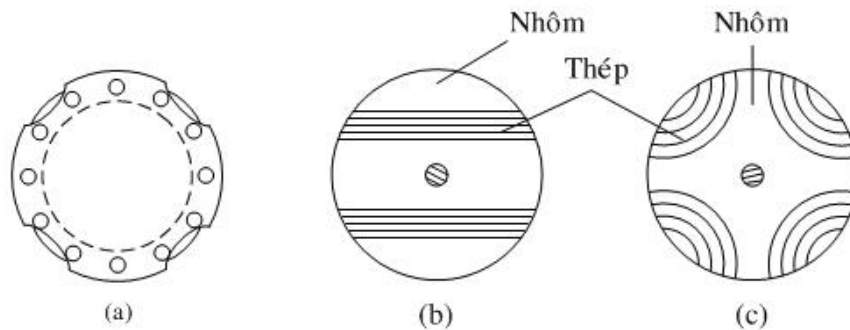
$$P_{dt} = P_c + P_p$$

Khi không có nguồn kích từ thì  $P_c = 0$ , lúc đó lợi dụng công suất điện từ phụ  $P_p$  để tạo ra mômen.

$$P_p = \frac{mU^2}{2} \left( \frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta \tag{4.3}$$

Để thực hiện được  $x_d \neq x_q$  rôto của máy được chế tạo như Hình 4.5 với cấu tạo như trên Hình 4.5 a, rôto được ghép bằng những lá thép tròn có những chỗ khuyết để tăng khe hở giữa các cực và do đó tăng từ trở của mạch từ hướng ngang trục, trên rôto có đặt dây quấn mở máy kiểu lồng sóc để mở máy. Ở Hình 4.5 b – c, rôto được chế tạo bằng cách đổ nhôm vào các tập lá thép, ở đây nhôm có tác dụng của dây quấn mở máy.

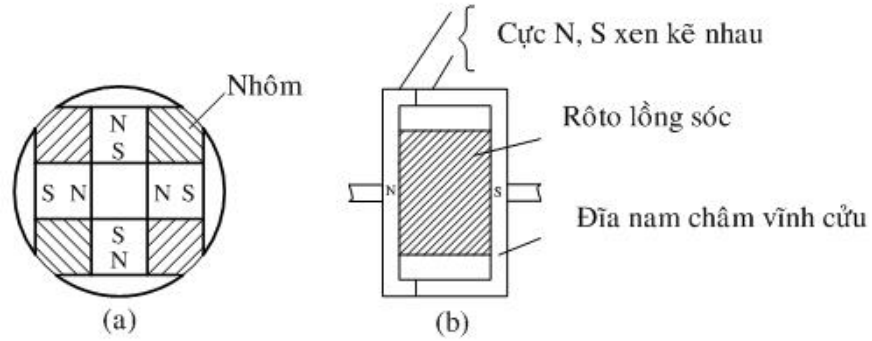
Do không có dây quấn kích từ nên động cơ phải lấy dòng điện từ mạng điện và có  $\cos\varphi$  thấp ( do cấu tạo rôto nên dòng điện từ hoá lớn để tạo nên từ thông cần thiết qua mạch từ có từ trở lớn ). Trọng lượng động cơ phản kháng thường gấp 2, 3 lần trọng lượng động cơ không đồng bộ cùng công suất. Thường các động cơ phản kháng được chế tạo với công suất  $50 \div 100$  W.



**Hình 4.5.** Cấu tạo rôto của động cơ điện phản kháng.

**4. Động cơ kiểu nam châm vĩnh cửu.**

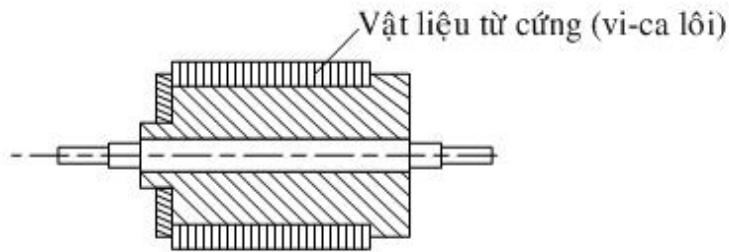
Ở loại động cơ này cực từ tạo bởi nam châm vĩnh cửu bằng hợp kim đặc biệt có độ từ dư rất lớn ( $0,5 \div 1,5$  T). Cực từ có dạng cực lõi và đặt ở rôto khoảng cách giữa các cực có đổ nhôm kín và toàn bộ rôto là một khối trụ (Hình 4.6 a). Nếu dùng làm động cơ điện thì cần đặt dây quấn mở máy kiểu lồng sóc. Vì khó gia công rãnh trên hợp kim nam châm nên thường chế tạo lồng sóc như động cơ không đồng bộ và đặt hai đĩa nam châm ở hai đầu. (Hình 4.6 b) với kết cấu như vậy sẽ tốn vật liệu hơn và thường chế tạo với công suất :  $30 \div 40$  W. Trong trường hợp dùng như máy phát không có dây quấn mở máy, công suất có thể lên tới  $5 \div 10$  KW đôi khi đến 100KW.



**Hình 4.6.** Cấu tạo động cơ nam châm vĩnh cửu.

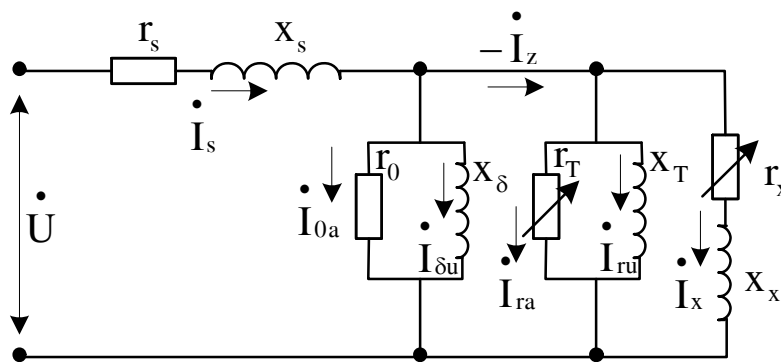
**5. Động cơ từ trễ :**

Là động cơ mà mômen quay của nó sinh ra do hiện tượng từ trễ khi từ hoá vật liệu của rôto. Dây quấn stato ( 3 pha hay 1 pha có kèm tụ điện ) có nhiệm vụ tạo nên từ trường quay. Vật liệu chế tạo rôto là hợp kim từ cứng có chu trình từ trễ rộng như vi-ca-lô-i, Alni còn thép kỹ thuật điện có vòng từ trễ hẹp . Vì loại hợp kim từ này đắt nên rôto thường được chế tạo lắp ghép, chỉ dùng vật liệu từ cứng ở mặt ngoài ( Hình 4.7 ) , khe hở không khí giữa stato và rôto được chế tạo bé nhất để có thể giảm dòng điện từ hoá.



**Hình 4.7.** Rotor của động cơ từ trễ.

Sơ đồ mạch điện thay thế của động cơ từ trễ:



**Hình 4.8.** Sơ đồ mạch điện thay thế của động cơ từ trễ.

Sơ đồ mạch điện thay thế của động cơ từ trễ bao gồm các phần: sơ cấp, từ hoá và thứ cấp (Hình 4.8).

Phần sơ cấp bao gồm điện trở của dây quấn stator  $r_s$ , điện kháng tản của dây quấn stator  $x_s$ .

Phần từ hoá (nhánh song song thứ nhất từ trái sang) biểu thị ảnh hưởng của từ trở khe hở không khí  $x$  và điện trở  $r_0$  – đặc trưng cho tổn hao trong lõi thép stator.

Nhánh song song thứ hai biểu thị ảnh hưởng của phần từ trễ tác dụng của rotor. Tổn hao trong điện trở của nó  $r_T$  bằng công suất cơ do mômen từ trễ tạo nên cộng với tổn hao do từ trễ của rotor (ở chế độ động không đồng bộ). Điện trở  $r_T$  phụ thuộc vào tải của động cơ. Điện kháng  $x_T$  đặc trưng cho độ dẫn từ của rotor.

Nhánh song song thứ ba phản ánh ảnh hưởng của dòng điện xoáy trong rotor. Điện trở  $r_x$  phụ thuộc vào hệ số trượt  $s$ , đặc trưng cho tổn hao do dòng xoáy và công suất cơ do momen của dòng xoáy tạo nên. Điện kháng  $x_x$  là điện kháng tản của dòng xoáy quy đổi về cuộn stator. Ở chế độ đồng bộ:  $x_x = 0$ ,  $r_x = \infty$  nên nhánh này hở mạch.

*Nguyên lý làm việc:*

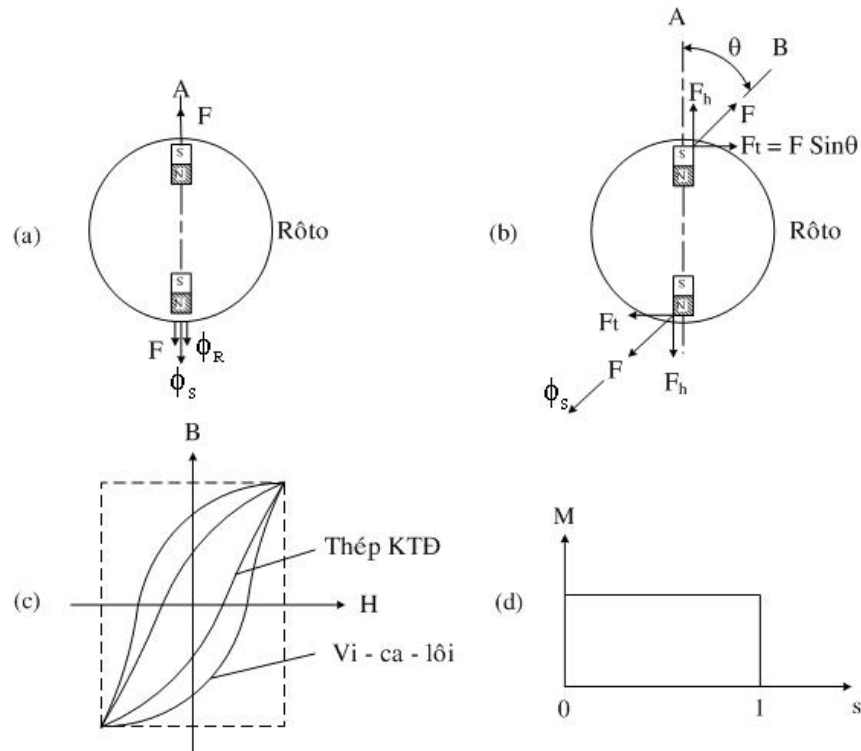
Xét thời điểm khi từ trường quay  $\vec{O}_S$  của stato ở vị trí A ( hình 4.9 a ) rôto bị từ hoá và các nam châm phân tử sẽ được sắp xếp định hướng theo chiều của từ trường. Tác dụng hỗ tương giữa  $\vec{O}_S$  của stato và  $\vec{O}_R$  của các nam châm phân tử sẽ tạo nên lực hướng kính  $F$  theo phương từ trường stato và do đó không tạo nên được mômen quay.

Ở thời điểm tiếp theo là vị trí B của từ trường quay  $\vec{O}_S$ , các nam châm phân tử sẽ quay theo về vị trí mới này, nhưng do sự ma sát của các phân tử ở vật liệu có vòng từ trễ rộng các nam châm phân tử sẽ không xoay kịp cùng với  $\vec{O}_S$  và phải chậm sau một góc lệch  $\theta$  nào đó. Lực hỗ tương  $F$  lúc này ngoài thành phần hướng kính còn thành phần tiếp tuyến  $F_t = F \sin\theta$  có tác dụng kéo các nam châm phân tử và do đó tạo nên mômen từ trễ tỷ lệ với tích vector của hai vector không gian  $\vec{O}_S$  và  $\vec{O}_R$ .

$$M_t = k [ \vec{O}_S \vec{O}_R ] = k O_S O_R \sin\theta \quad (4.4)$$

Trong đó  $k$  là hệ số phụ thuộc vào thông số của máy.

Có thể tăng  $M_t$  bằng cách sử dụng vật liệu có vòng từ trễ lớn hơn, lý tưởng là loại có vòng từ trễ hình chữ nhật. ( Hình 4.9 c )



**Hình 4.9.** c. Đặc tuyến thép kỹ thuật Vi-ca-lô

d. Đặc tuyến momen của ĐC đồng bộ từ trễ.

Trị số  $O_S$  và  $O_R$  không phụ thuộc vào tốc độ quay của rôto, góc không gian  $\theta$  cũng không phụ thuộc vào tốc độ quay và  $\theta$  được xác định bởi lực kháng từ của vật liệu ở rôto. Do đó ở phụ tải xác định,  $\theta = \text{const}$  chỉ rõ sự quay đồng bộ của rôto đối với từ trường quay stato  $O_S$ , và động cơ từ trễ là loại động cơ đồng bộ.

Do  $O_S$ ,  $O_R$  và  $\theta$  không phụ thuộc vào tốc độ quay của rôto nên đặc tính  $M = f(s)$  của động cơ từ trễ là đường thẳng song song trục hoành ( Hình 4.9 d ).

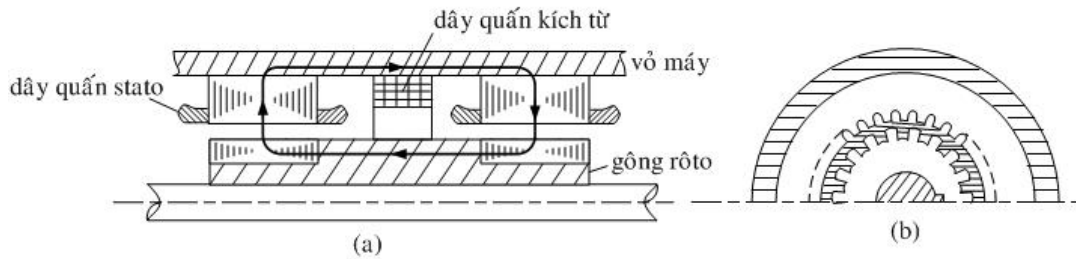
Ở trường hợp động cơ  $O_S$  vượt trước  $O_R$  và  $\theta$  là âm. ( $\theta < 0$ ) : ĐC

Ở trường hợp máy phát  $O_S$  chậm sau  $O_R$  và là dương ( $\theta > 0$ ) : MF

So với động cơ phản kháng, động cơ từ trễ có ưu điểm hơn vì không cần dây quấn mở máy đặt ở rôto, kích thước máy nhỏ,  $\cos \varphi$  cao hơn ( vì  $R'_2$  và  $I_0$  bé ). Công suất của động cơ có thể đến  $300 \div 400$  watt.

### 6. Máy phát cảm ứng tần số cao

Trong sản xuất, một số thiết bị dùng trong luyện kim, vô tuyến điện, hàn... dùng dòng điện xoay chiều một pha hoặc ba pha tần số cao (  $400 \div 3000$  Hz ). Biện pháp tăng p hay n trong máy phát đồng bộ bị hạn chế do cấu tạo máy hoặc sức bền vật liệu không cho phép. Trong trường hợp này phải dùng máy phát cảm ứng tần số cao gây ra bởi sóng điều hoà răng của từ trường đập mạch.



**Hình 4.10.** Cấu tạo máy phát cảm ứng tần số cao.

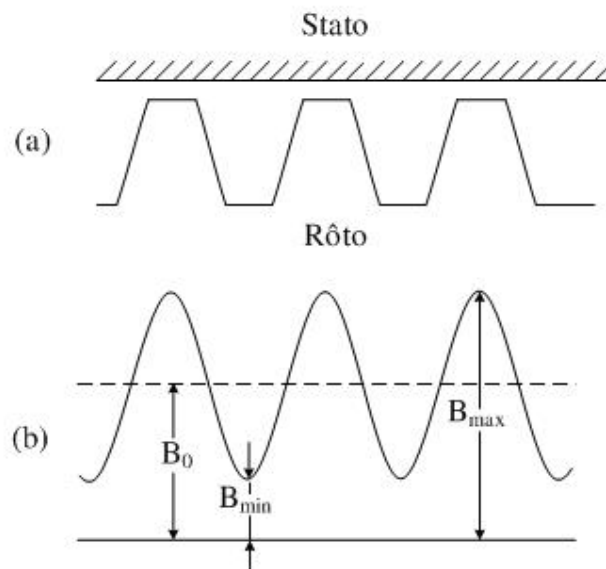
Stato ghép bằng lá thép kỹ thuật điện, phía trong có răng rãnh để đặt dây quấn phần ứng, giữa hai ngăn stato đặt dây quấn kích từ mang dòng điện một chiều.

Rôto thường là thép khối hoặc thép lá ghép trên răng từ có răng rãnh không có dây quấn. Khi cho dòng điện một chiều vào dây quấn kích từ từ trường sẽ đi như hình vẽ, đường sức từ sẽ đi từ lõi rôto vào stato thứ nhất khép kín qua vỏ máy về stato thứ hai để trở về lõi rôto, trên mỗi bề mặt của stato hay rôto chỉ có một cực tính nên ta gọi là loại cực tính đồng nhất. Khi rôto quay từ trường đó đập mạch và được xem như tổng của hai thành phần : thành phần  $B_0$  có trị số không đổi và không chuyển động so với stato do đó không sinh ra sức điện động cảm ứng trên dây quấn stato, thành phần thứ hai phân bố hình Sin có biên độ  $\frac{B_{\max} - B_{\min}}{2}$  và chuyển động cùng với rôto sẽ cảm ứng trong dây quấn phần ứng sức điện động có tần số :

$$F_2 = Z_2 n$$

Trong đó  $Z_2$  : số răng của rôto.

$n_2$  : tốc độ quay ( v/sec).



**Hình 4.11.** Từ trường ở khe hở của MF cảm ứng tần số cao.

### 7. Động cơ bước

Động cơ bước là loại động cơ được dùng để biến đổi các lệnh cho dưới dạng xung điện thành sự dịch chuyển dứt khoát về góc hay đường thẳng – như là bước từng bước mà không cần cảm biến phản hồi.

Động cơ làm việc phải có kèm theo bộ đổi chiều điện tử dùng để chuyển đổi các cuộn dây điều khiển của động cơ bước với thứ tự và tần số tùy theo lệnh đã cho. Góc quay tổng hợp của rotor động cơ bước tương ứng chính xác với số lần chuyển đổi các cuộn dây điều khiển, chiều quay phụ thuộc theo thứ tự chuyển đổi, tốc độ quay phụ thuộc tần số chuyển đổi. Như vậy trong trường hợp tổng quát có thể xem động cơ bước với bộ điều khiển đổi chiều điện tử như là một hệ thống điều chỉnh tần số của động cơ đồng bộ với khả năng định vị trí góc xoay rotor, tức là bằng cách thay đổi tần số cho đến không.

Động cơ bước được sử dụng nhiều trong các hệ thống điều khiển tự động, thí dụ trong các máy công cụ điều khiển theo chương trình, trong các thiết bị của kỹ thuật máy tính... Trong các hệ thống trên, động cơ bước được sử dụng hoặc để thực hiện sự truyền động theo chương trình điều khiển các cơ cấu thừa hành như nhiệm vụ động cơ chấp hành, hoặc như là một phần tử phụ biến đổi các mã xung thành tín hiệu điều chế cho một hệ thống nào đó.

Với nhiệm vụ và chức năng nói trên, động cơ bước đòi hỏi những yêu cầu riêng về kỹ thuật, ngoài những yêu cầu chung :

- Có bước chuyển dịch bé.
- Moment đồng bộ hoá đủ lớn đảm bảo được sai số góc nhỏ nhất khi thực hiện bước di chuyển.
- Không tích lũy sai số khi tăng số bước.
- Tác động nhanh.
- Làm việc bảo đảm khi có cuộn dây điều khiển ít nhất.
- Động cơ và cả bộ điều khiển đổi chiều có cấu tạo đơn giản.

Tùy theo cấu tạo, động cơ bước có những loại như :

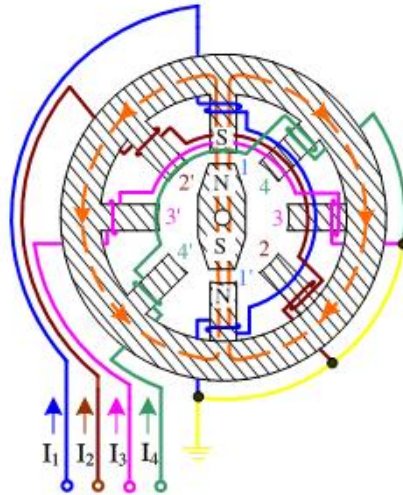
- Chỉ thị hay động lực.
- Thuận nghịch hay không thuận nghịch.
- Có một stator hay nhiều stator.
- Có một hay nhiều cuộn dây điều khiển (quần tập trung hoặc quần rải).
- Rotor phản kháng (không có dây quấn) và rotor tác dụng (có dây quấn kích thích hoặc nam châm vĩnh cửu).
- Rotor hình đĩa hay rotor mạch in.
- Bước dịch chuyển xoay hay dịch chuyển thẳng trực tiếp...

### **7.1. Động cơ bước nam châm vĩnh cửu (Permanent magnet stepper motor)**

Cấu trúc tiêu biểu của động cơ bước nam châm vĩnh cửu được trình bày ở Hình 4.12. Đây là động cơ 4 pha, mỗi pha quấn trên 2 cực stator. Stator trong thiết kế này phải có 8 cực. Rotor bằng nam châm vĩnh cửu có trục thẳng hàng với cực stator 1-1'. Nó được giữ ở vị trí này, khi đặt dòng điện  $I_1$  vào pha 1 thì cực stator 1 được từ hoá như cực nam, còn cực stator 1' được từ hoá như cực bắc. Chú ý chiều dây quấn để tạo ra dạng từ hoá này. Đặt dòng điện  $I_4$  vào pha 4, cực từ hoá 4-4' hình thành ( $I_1$  được cắt ra). Khi đó lực từ hoá tác động tương hỗ với từ trường rotor sinh ra moment đồng bộ xoay rotor 1 góc  $45^0$ , theo chiều kim đồng hồ, để cực bắc rotor đến cực stator 4. Lần lượt đưa dòng điện  $I_3, I_2$  (mỗi pha 1 lần) vào pha 3, pha 2. Khi đó rotor xoay theo

chiều kim đồng hồ mỗi bước  $45^0$ . Để rotor xoay tiếp lần lượt đưa  $I_1, I_4, I_3, I_2$  vào pha 1, 4, 3, 2 nhưng chiều dòng điện đổi lại. Như vậy nguồn điều khiển là loại đổi cực. Sau mỗi lần xoay  $180^0$ , dòng điện điều khiển đổi chiều.

Như vậy trình tự điều khiển cho động cơ tiến theo chiều kim đồng hồ là 1-4-3-2. Để cho động cơ tiến ngược chiều kim đồng hồ trình tự điều khiển phải được đảo ngược lại 1-2-3-4.



**Hình 4.12** : Cấu trúc động cơ bước nam châm vĩnh cửu.

Các thông số tính toán :

$Z_R$  : Số răng Rotor.

$Z_S$  : Số răng Stator.

$m$  : Số pha.

$$t_R = \frac{360^0}{Z_R} : \text{Bước răng Rotor (độ)}.$$

$$t_S = \frac{360^0}{Z_S} : \text{Bước răng Stator (độ)}.$$

$$\theta_S = \frac{t_r}{m} = \frac{360^0}{m.Z_R} = |t_r - t_s| \text{ (độ/bước)}.$$

$$R_S = \frac{360^0}{\theta_S} = Z_R.m : \text{Số bước / vòng (bước/vòng)}.$$

$$X = \frac{Z_S}{m} : \text{Số răng stator trên pha}.$$

Nếu tần số xung điều khiển là  $f$  và động cơ dịch chuyển 1 bước tương ứng với 1 xung thì tốc độ động cơ được tính :

$$n = \frac{60f}{R_S} = \frac{60f}{Z_R.m} = \frac{\theta_S f}{6} \text{ (vòng/phút)}.$$

**Thí dụ** : Tính các thông số  $t_R, t_S, \theta_S, R_S$  đối với động cơ ở hình 1 :



Bước răng rotor của động cơ là:

$$t_r = \frac{360^0}{Z_R} = \frac{360^0}{2} = 180^0$$

Bước răng stator của động cơ là:

$$t_s = \frac{360^0}{Z_S} = \frac{360^0}{8} = 45^0$$

Mỗi bước động cơ quay

$$\theta_s = \frac{360^0}{m.Z_R} = \frac{360^0}{4.2} = 45^0$$

Số bước động cơ quay trong một vòng

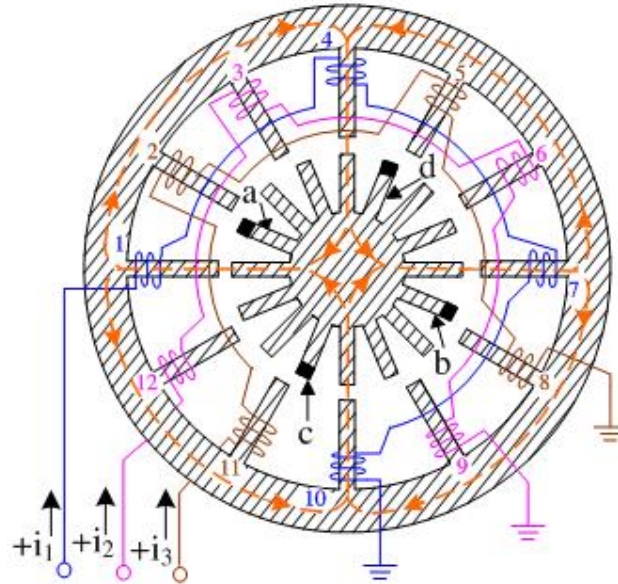
$$R_S = Z_R.m = 2.4 = 8 \text{ bước/vòng}$$

## 7.2. Động cơ bước từ trở biến đổi 1 tầng (single stack variable – reluctance stepper motor)

Cấu tạo của động cơ này được trình bày ở Hình 4.13. Rotor và stator được chế tạo bằng vật liệu từ. Động cơ có 3 pha, mỗi pha được quấn trên 4 cực hay răng của stator. Ví dụ pha 1 được quấn trên cực 1, 4, 7, 10 của stator. Stator có 12 răng và rotor có 16 răng. Cực ngược cực tính được quấn theo chiều ngược lại để tạo sự cân bằng giữa từ thông vào và ra khỏi rotor. Giả sử dòng điện  $I_1$  đặt vào pha 1 và 4 răng rotor đối đỉnh với răng 1, 4, 7, 10 của stator. Từ thông đi vào rotor từ răng stator 4, 10, và ra khỏi rotor qua răng 1, 7, từ thông khép kín qua khung stator, có thể thấy rằng đỉnh răng stator 4 là cực bắc và đỉnh răng đối đỉnh với răng stator 4 là cực nam (cảm ứng). Sự phân cực này phải tồn tại để cho phép từ thông lớn nhất qua khe hở giữa hai răng đối đỉnh. Tương tự cho 2 pha còn lại.

Để rotor tiến 1 bước theo chiều kim đồng hồ thì 3 pha được quấn trên răng stator 2, 5, 8, 11 được đặt dòng điện  $I_3$  vào và dòng điện  $I_1$  được cắt. Bây giờ do đường sức chọn đường đi có từ dẫn lớn nhất hay từ trở bé nhất nên xuất hiện moment phản kháng kéo răng rotor gần răng stator 2, 5, 8, 11 nhất vào vị trí đối đỉnh. Đó là các răng rotor a, d, b, c, đối đỉnh với các răng tương ứng 2, 5, 8, 11 của stator. Kết quả rotor ở một vị trí cân bằng mới. Nếu dòng điện  $I_2$  tiếp theo đưa vào pha 2,  $I_3$  bị cắt thì rotor sẽ bước thêm 1 bước nữa theo chiều kim đồng hồ.

Như vậy trình tự 1-3-2-1 cho rotor động cơ tiến theo chiều kim đồng hồ. Muốn rotor quay ngược lại trình tự kích thích là 1-2-3-1. Nguồn kích thích là loại đơn cực.



**Hình 4.13** : Cấu tạo động cơ bước từ trở biến đổi, 1 tầng (3 pha).

Góc bước của rotor  $\theta_s$  được xác định như sau :

$Z_R$  : Số răng Rotor.

$Z_S$  : Số răng Stator.

$m$  : Số pha.

$$t_r = \frac{360^0}{Z_R} : \text{Bước răng Rotor (độ)}.$$

$$t_s = \frac{360^0}{Z_S} : \text{Bước răng Stator (độ)}.$$

$$\theta_s = \frac{t_r}{m} = \frac{360^0}{m \cdot Z_R} = |t_r - t_s| \text{ (độ/bước)}.$$

$$R_s = \frac{360^0}{\theta_s} = Z_R \cdot m : \text{Số bước / vòng : (bước/vòng)}.$$

$$X = \frac{R_s}{m(m \pm 1)} = \frac{Z_R}{m \pm 1} = \frac{Z_s}{m} : \text{Số răng stator trên 1 pha}.$$

$$n = \frac{60f}{R_s} = \frac{60f}{Z_R \cdot m} = \frac{\theta_s f}{6} : \text{Tốc độ (vòng/phút)}.$$

**Thí dụ** : Tính các thông số  $t_r$ ,  $t_s$ ,  $\theta_s$ ,  $R_s$  đối với động cơ ở Hình 4.13 :

Bước răng rotor của động cơ là:

$$t_r = \frac{360^0}{Z_R} = \frac{360^0}{16} = 22.5^0$$

Bước răng stator của động cơ là:

$$t_s = \frac{360^0}{Z_S} = \frac{360^0}{12} = 30^0$$

Mỗi bước động cơ quay

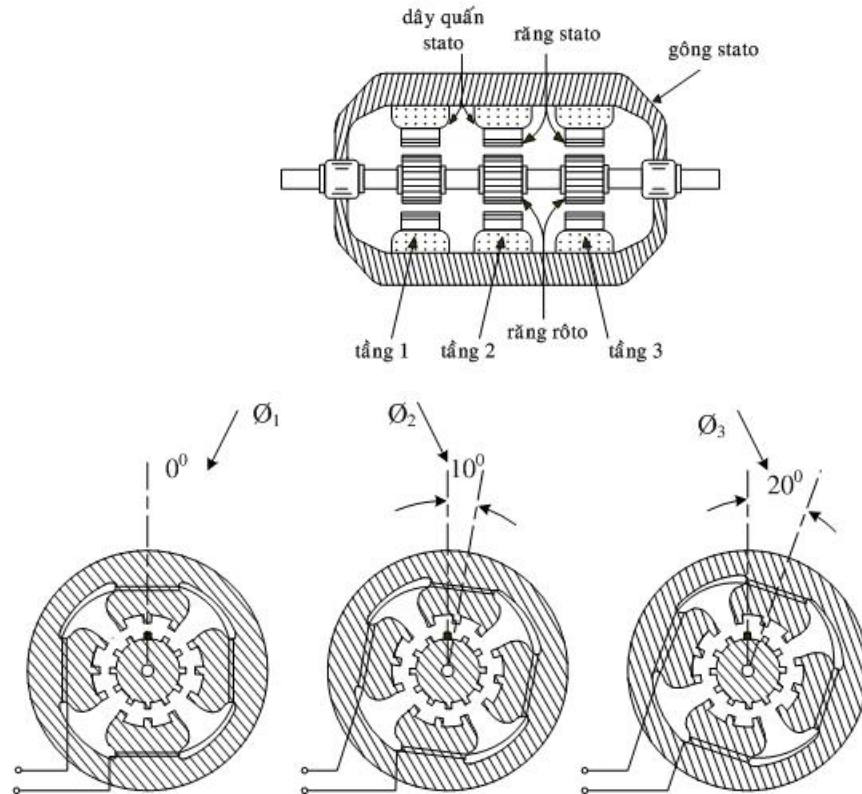
$$\theta_s = \frac{360^0}{m.Z_R} = \frac{360^0}{3.16} = 7.5^0$$

Số bước động cơ quay trong một vòng

$$R_S = Z_R.m = 16.3 = 48 \text{ bước/vòng}$$

**7.3. Động cơ bước từ trở biến đổi nhiều tầng :** (Multistack variable – reluctance stepper motor)

Động cơ bước từ trở biến đổi có thể có nhiều tầng. Thông thường là 2, 3, 4 hay nhiều tầng hơn nữa. Một tầng được xem như 1 pha. Hình 4.14 trình bày cấu tạo của động cơ bước từ trở biến đổi 3 pha (3 tầng). Stator của mỗi tầng có 4 cực, mỗi cực có 3 răng. Trong mỗi tầng số răng rotor và stator giống nhau. Răng của 3 rotor có vị trí đặt giống nhau nhưng răng của stator đặt lệch nhau 1/3 bước răng. Theo hình 3 răng rotor và stator tầng 1 đối đỉnh, răng rotor và stator tầng 3 lệch nhau  $10^0$  (cấu tạo stator tầng 2 xoay 1 góc  $10^0$  so với stator tầng 1), tương tự răng rotor và stator tầng 3 lệch nhau  $20^0$  (stator xoay 1 góc  $20^0$  đối với stator tầng 1 hay 1 góc  $10^0$  đối với stator tầng 2). Răng của 3 rotor nằm trên cùng trục và thẳng hàng.



**Hình 4.14 :** Cấu tạo động cơ bước từ trở biến đổi, 3 tầng (3 pha).

$$Z_R = Z_S = 12, \theta_i = \theta_s = 10^0.$$

Góc lệch của 2 tầng kề nhau  $\theta_i$ , xác định như sau :

$$\theta_i = \frac{t_r}{m} = \frac{360^0}{Z_R \cdot m} = \theta_s \text{ (độ)}$$

Trong đó :

$$t_r : \text{bước răng của rotor, } t_r = \frac{360^0}{Z_R}$$

$Z_R$  : Số răng của rotor cũng như stator.

$m$  : số pha hay số tầng.

Trong trường hợp trên  $Z_R = 12$ ,  $m = 3$ , do đó  $\theta_i = 10^0$ .

*Nguyên lý làm việc của động cơ như sau:*

Giả sử ban đầu đặt dòng điện điều khiển vào tầng 1 thì răng rotor và stator của tầng 1 đối đỉnh (do từ thông chọn đường đi có từ trở bé nhất). Lúc này răng rotor và stator tầng 2 lệch nhau  $10^0$ , răng rotor và stator tầng 3 lệch nhau  $20^0$ . Đặt dòng điện điều khiển vào tầng 2, dòng điện điều khiển tầng 1 được cắt. Rotor bước 1 góc  $10^0$  để răng rotor và stator tầng 2 đối đỉnh. Lúc này răng rotor và stator tầng 3 lệch nhau  $10^0$ . Tiếp tục đặt dòng điện điều khiển vào tầng 3, dòng điện điều khiển tầng 2 được cắt. Rotor bước thêm 1 góc  $10^0$  để răng rotor và stator tầng 3 đối đỉnh. Lúc này răng rotor và stator tầng 1 lệch nhau  $10^0$ . Tiếp tục đặt dòng điện điều khiển vào tầng 1, quá trình lặp lại. Kết quả rotor tiến theo chiều kim đồng hồ với trình tự điều khiển 1-2-3-1.

Tổng quát, trục động cơ sẽ tiến 1 bước răng  $t_r$  trong  $m$  bước. Muốn trục động cơ bước theo chiều ngược lại trình tự điều khiển được đảo lại 1-3-2-1. Nguồn điều khiển là đơn cực. Muốn có góc bước nhỏ hơn có thể sử dụng, phương thức điều khiển như ở động cơ xung.

Ví dụ phương pháp điều khiển 6 nhịp hay 6 kỳ.

- Nhịp 1 : kích thích tầng 1.
- Nhịp 2 : kích thích tầng 1 và 2.
- Nhịp 3 : kích thích tầng 2.
- Nhịp 4 : kích thích tầng 2 và 3.
- Nhịp 5 : kích thích tầng 3.
- Nhịp 6 : kích thích tầng 3 và 1.

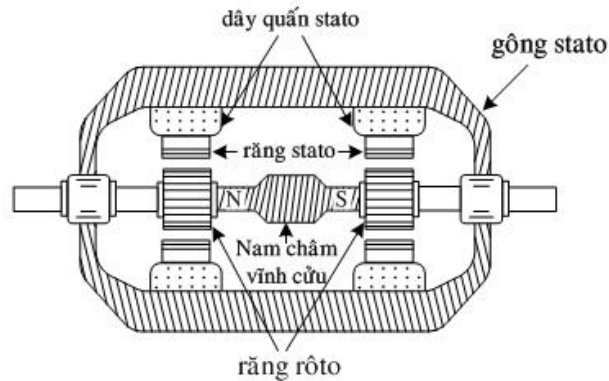
Lập lại quá trình trên, rotor bước theo chiều kim đồng hồ. Mỗi nhịp rotor bước 1 góc  $5^0$ . Phương thức điều khiển này gọi là phương thức điều khiển nửa bước, ở đây có sự kích thích 1 pha và 2 pha. Phương thức này góc bước bằng 1 nửa góc bước thông thường.

Quá trình tóm tắt như sau :

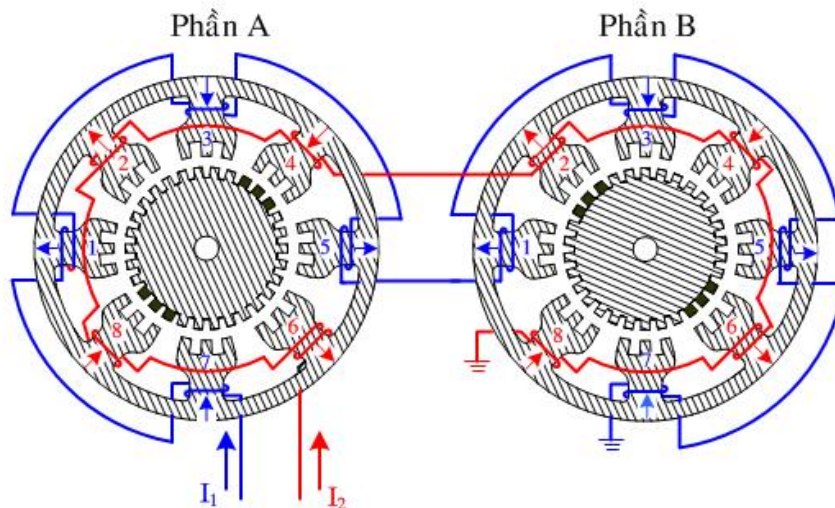
Nhịp điều khiển	Dòng điện đặt vào cuộn điều khiển	Góc xoay rotor
1	S1	0 <sup>0</sup>
2	S1 và S2	5 <sup>0</sup>
3	S2	10 <sup>0</sup>
4	S2 và S3	15 <sup>0</sup>
5	S3	20 <sup>0</sup>
6	S3 và S1	25 <sup>0</sup>
7	S1	30 <sup>0</sup>

#### 7.4. Động cơ bước hỗn hợp (Hybrid Stepper Motor).

Động cơ bước hỗn hợp có đặc tính của động cơ bước nam châm vĩnh cửu và động cơ bước từ trở biến đổi. Cấu tạo tiêu biểu của của động cơ này (Hình 4.15) gồm có hai phần. Mỗi phần gồm có răng rotor và các cực stator (cũng như răng) có dây quấn trên nó. Cấu tạo chi tiết của stator và rotor của mỗi phần được trình bày ở Hình 4.16.



Hình 4.15. Cấu tạo động cơ bước hỗn hợp.



Hình 4.16. Cấu tạo chi tiết của stator và rotor.

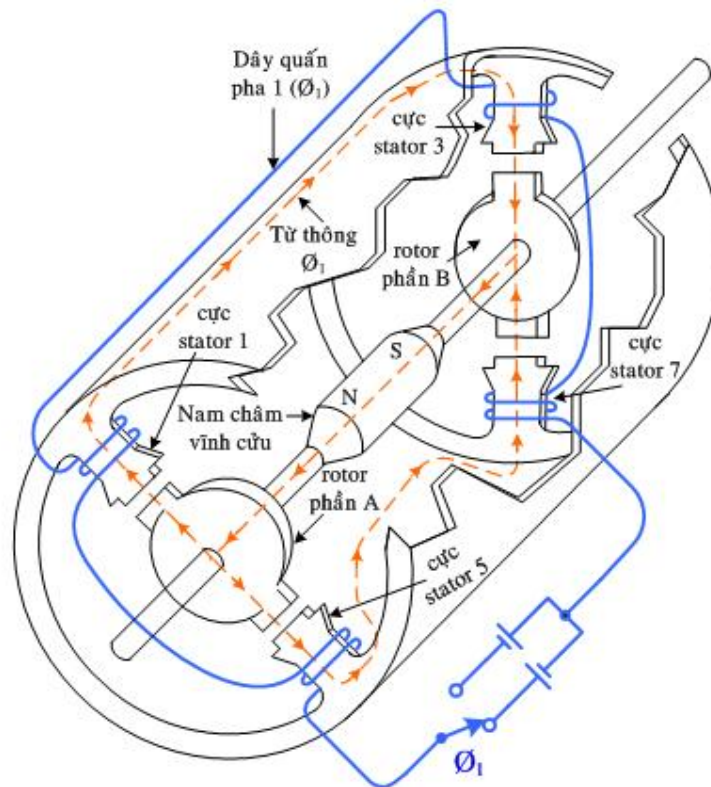
$$Z_r = 30, Z_s = 24, \theta_1 = \frac{1}{2} t_r = 6^0, \theta_s = \frac{1}{2} \theta_1 = 3^0.$$

Số răng trên stator và rotor của mỗi phần là khác nhau. Phần A và B có cấu tạo giống nhau. Tuy nhiên, răng stator của mỗi phần được đặt thẳng hàng nhau và răng rotor của 2 phần được đặt lệch nhau  $\frac{1}{2}$  bước răng rotor. Trong thiết kế này bước răng rotor  $t_r = 360/30 = 12^\circ$ . Vì thế rotor của 2 phần đặt lệch nhau 1 góc  $6^\circ$  ( $\theta_i = \frac{t_r}{2}$ ).

Các dây quấn pha trên stator được bố trí xen kẽ nhau trên các cực của 2 phần. Pha 1 được quấn trên các cực stator 1, 3, 5, 7 của phần A và trên các cực 2, 4, 6, 8 trên các cực của phần B. Pha 2 được bố trí trên các cực 2, 4, 6, 8 trên mỗi phần.

Nam châm vĩnh cửu giữa 2 phần (có trục trùng với trục rotor) sẽ từ hoá rotor phần A như cực bắc và rotor của phần B như cực nam, còn các cực của stator được từ hoá bởi dòng điện trên các dây quấn pha. Chiều của từ thông qua các cực từ stator được xác định dựa vào chiều từ hoá trên các cực đó tức phụ thuộc vào chiều dòng điện trên các dây quấn pha.

Khi đặt dòng điện  $I_1$  có chiều như hình 5 vào pha 1. Các răng rotor của phần A sẽ đối đỉnh với các răng stator của cực 1, 5 và các răng rotor của phần B sẽ đối đỉnh với các răng stator của cực 3 và 7. Chiều đi của từ thông trong mạch có chiều như hình 6 : từ thông từ cực bắc của nam châm vĩnh cửu đi vào rotor của phần A và rời khỏi rotor qua các cực stator 1, 5, sau đó đi qua gông stator rồi đi vào rotor của phần B qua các cực stator 3, 7, cuối cùng từ thông khép kín qua cực từ nam của nam châm vĩnh cửu. Với chiều đi của từ thông như trên thì từ trường trên nam châm vĩnh cửu sẽ được tăng cường (moment tăng).



**Hình 4.17.** Chiều từ thông trên mạch từ khi pha 1 được cấp nguồn.

Nhiệm vụ	$D_1$ $I_1$	$D_2$ $I_2$	Từ thông đi ra phần A ở cực :	Từ thông đi vào phần B ở cực :	Phần A	Phần B
1	+		1, 5	3, 7		
2		-	4, 8	2, 6		
3	-		3, 7	1, 5		
4		+	2, 6	4, 8		
	+		1, 5	3, 7		

**Hình 4.18.** Trình tự điều khiển 4 nhịp của động cơ bước hỗn hợp.

Để động cơ tiến 1 bước theo chiều kim đồng hồ thì dòng điện  $I_2$  được đặt vào pha 2 ( $I_1$  được ngắt ra). Khi ấy các răng rotor màu đen sẽ đối đỉnh với các răng stator

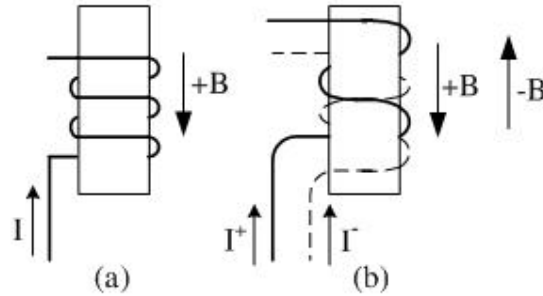
ở cực 4, 8 của phần A và cực 2, 6 của phần B. Với dòng điện  $I_2$  như trên thì các cực 4, 8 và 2, 6 được từ hoá có chiều khác với chiều từ hoá được tạo bởi dòng điện  $I_1$ . Để khắc phục điều này ta phải đảo chiều  $I_1$  để chiều từ hoá được tạo ra cùng chiều nhau. Trình tự điều khiển 4 nhip được trình bày như Hình 4.18. Để động cơ quay theo chiều kim đồng hồ thì trình tự điều khiển là  $1^+, 2^-, 1^-, 2^+, 1^+$ . Để động cơ quay theo chiều ngược lại trình tự phải đảo lại. Khi trục động cơ quay được một bước răng rotor trong 4 nhip thì góc bước bằng  $\frac{1}{4} t_r$  hoặc có thể được tính theo biểu thức sau :

$$\theta_s = \frac{t_r}{4} = \frac{360}{4Z_r} = \frac{90}{Z_r}$$

$$= |t_s - t_r|$$

Như đã trình bày ở phần trên để đảm bảo chiều từ thông theo yêu cầu điều khiển thì dòng điện điều khiển trên các pha phải là loại lưỡng cực. Vì vậy cần phải có 2 nguồn điều khiển riêng biệt (điều khiển lưỡng cực). Trong thực tế do điều khiển bằng 2 nguồn riêng biệt không kinh tế nên thường sử dụng điều khiển bằng 1 nguồn (điều khiển đơn cực).

Sự khác nhau giữa điều khiển đơn cực và lưỡng cực là ở các bộ dây quấn trên các cực từ stator. Nếu dây quấn trên các cực từ stator là loại đơn cực (chỉ có một cuộn dây được quấn trên một cực từ) thì nguồn điều khiển phải là loại lưỡng cực. Ngược lại nếu dây quấn trên các cực từ stator là loại lưỡng cực (có 2 cuộn dây được quấn trên một cực từ và có chiều ngược nhau) thì nguồn điều khiển là loại đơn cực. Hình 4.19 a-b trình bày dây quấn loại đơn cực và lưỡng cực.

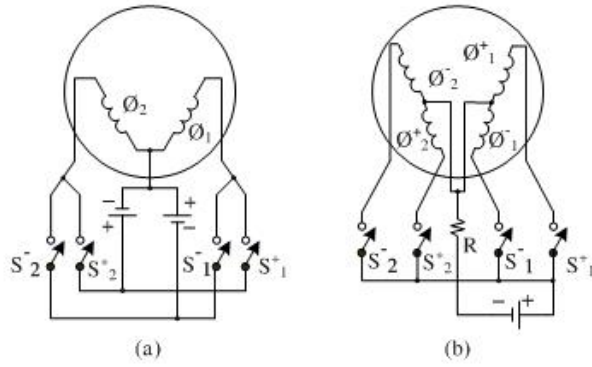


**Hình 4.19.** Cấu tạo cuộn dây dạng đơn cực và lưỡng cực.

Trở lại với động cơ ở Hình 4.16 nhưng nguồn điều khiển là loại đơn cực và vì thế các dây quấn trên các cực từ stator được thay bằng loại dây quấn có 2 cực tính (như ở Hình 4.19-b). Khi ấy từ thông  $P_1$  sẽ được thay bằng 2 từ thông  $P_1^+$  và  $P_1^-$ , với  $P_1^+$  có chiều như  $P_1$  (chiều như hình vẽ) và  $P_1^-$  có chiều ngược lại. Với cách thay đổi như trên ta đã tạo được 4 pha, các pha này được kích thích bằng 1 nguồn duy nhất.

Hình 4.20 trình bày sơ đồ chuyển mạch nguồn đơn cực và lưỡng cực (4.20a-b) cùng với trình tự điều khiển động cơ theo chiều kim đồng hồ. Để động cơ quay theo chiều ngược lại thì trình tự điều khiển phải đảo lại.





Nhịp	$S_1^+$	$S_1^-$	$S_2^+$	$S_2^-$
1	X			
2				X
3		X		
4			X	
1	X			

Nhịp	$S_1^+$	$S_1^-$	$S_2^+$	$S_2^-$
1	X			X
2		X		X
3		X	X	
4	X		X	
1	X			X

(c)

(d)

Nhịp	$S_1^+$	$S_1^-$	$S_2^+$	$S_2^-$
1	X			X
2				X
3		X		X
4		X		
5		X	X	
6			X	
7	X		X	
8	X			
1	X			X

(e)

Hình 4.20

- a. Nguồn điều khiển đơn cực.
- b. Nguồn điều khiển lưỡng cực.
- c. Trình tự điều khiển bước đủ với 1 pha được kích thích.
- d. Trình tự điều khiển bước đủ với 2 pha được kích thích đồng thời.
- e. Trình tự điều khiển nửa bước là sự kết hợp trình tự điều khiển c và d.

## 7.5. Điều khiển động cơ bước

### a. Điều khiển tốc độ quay của động cơ bước

Động cơ bước có thể quay với bất kỳ tốc độ nào trong dải từ 0 vòng/phút đến giá trị cực đại cho phép.

Do tính chất đặc biệt, động cơ bước có thể dừng đột ngột ở bất kỳ vị trí nào trong độ phân giải của góc bước khi đang quay với bất kỳ tốc độ nào trong dải cho phép. Vì vậy động cơ ít khi được dùng cho các thiết bị cần quay với tốc độ đều (trường hợp này ta sử dụng các loại động cơ khác đơn giản hơn) mà nó được sử dụng chủ yếu để điều khiển thích nghi, nghĩa là tốc độ quay biến đổi liên tục, thậm chí động cơ phải dừng và đứng yên ở vị trí bám sát.

Với lẽ đó, vận tốc quay của động cơ bước thường luôn được hiểu là vận tốc trung bình.

Giả sử trong thời gian  $t$  (giây) ta thực hiện  $n$  lần dịch bước (mỗi lần dịch một bước) thì tần số dịch bước là  $f = n/t$ .

Giả sử góc bước của động cơ là  $\theta^0$  thì để đạt được một vòng quay ta phải cho động cơ quay  $360^0/\theta^0$  bước quay.

Vận tốc trung bình  $V$  của động cơ bước trong thời gian  $t$  giây là:

$$V = \frac{n}{t} \cdot \frac{\theta}{360} = f \cdot \frac{\theta}{360} \quad (\text{vòng/giây})$$

$$\text{Hay } V = f \cdot \frac{\theta}{60} \quad (\text{vòng/giây})$$

Việc điều khiển vận tốc động cơ bước được thực hiện bằng cách thay đổi tần số dịch bước  $f$ . Lưu ý rằng tần số dịch bước  $f$  trong trường hợp tổng quát không đồng nhất với tần số các xung điều khiển, mà là tổ hợp của sự biến đổi của sự biến đổi các trạng thái của các xung điện điều khiển đó. Vì vậy việc điều khiển này thường được thực hiện bởi các bộ vi xử lý. Nhìn vào đồ thị mômen – vận tốc của động cơ bước thường ta có thể thấy rằng vận tốc dưới 5 vòng/giây (300vòng/phút), động cơ còn giữ được mômen cực đại; trên vận tốc này mômen của động cơ sẽ bị giảm dần theo chiều tăng vận tốc. Do đó việc lựa chọn tải trọng và vận tốc quay cực đại phải được tính toán trước khi thiết kế hệ truyền động sử dụng động cơ bước.

Một yếu tố rất quan trọng đối với động cơ bước là vận tốc tức thời, vận tốc này phải nhỏ hơn vận tốc quay cực đại đã được tính toán với một tải trọng cho trước.

Gọi  $T_{cb}$  là thời gian giữa hai lần chuyển bước liên tiếp, từ công thức (28) ta tính được vận tốc tức thời  $V_t$  :

$$V_t = \frac{\theta}{360 \cdot T_{cb}} \quad (\text{vòng/giây})$$

Thời gian  $T_{cb}$  không nhất thiết phải cố định nhưng phải đảm bảo điều kiện:

$$T_{cb} > \frac{\theta}{360 \cdot V_{\max}}$$

Ví dụ với  $\theta = 1,8^0$ ,  $V_{\max} = 15$  vòng/giây (9000 vòng/phút)

Thì  $T_{cb} > 0,33$  ms, cũng có nghĩa là tần số chuyển bước  $f < 3$  kHz.

**b.Điều khiển chiều quay của động cơ bước**

Chiều quay của động cơ một chiều có thể thay đổi bằng cách đảo chiều dòng điện cấp vào.

Đối với động cơ bước, chiều quay nhìn chung không đồng nhất với chiều dòng điện cấp cho các cuộn dây mà nó phụ thuộc thứ tự chuyển dịch các bước. Chẳng hạn, rotor đang vị trí bước thứ  $n$ ; nếu ta cấp điện sao cho nó chuyển sang vị trí bước thứ  $(n+1)$  thì động cơ quay phải; nếu ta cấp điện sao cho rotor chuyển sang vị trí bước thứ  $(n-1)$  thì động cơ quay trái. Bộ tạo xung điều khiển sẽ thực hiện việc này.

Chiều quay của động cơ bước được xác định bằng thứ tự chuyển dịch các trạng thái cấp điện của các cuộn dây stator. Đối với động cơ hai pha, nếu điều khiển cả bước có 4 trạng thái cấp điện; nếu điều khiển nửa bước, sẽ có 8 trạng thái cấp điện.

Đối với động cơ 4 pha, nếu cấp xung 1 cực thì cũng có 4 và 8 trạng thái cấp điện vào các cuộn dây cho hai trường hợp điều khiển cả bước và nửa bước. Bảng 1 nêu các trạng thái cấp điện theo cách đơn giản nhất cho 4 cuộn dây pha.

Bảng 1. Trạng thái cấp điện các pha của động cơ 4 pha.

Trạng thái Cuộn dây	1	2	3	4	5	6	7	8
Cuộn 1	1	1	0	0	0	0	0	1
Cuộn 2	0	1	1	1	0	0	0	0
Cuộn 3	0	0	0	1	1	1	0	0
Cuộn 4	0	0	0	0	0	1	1	1

Trong bảng: tương ứng với các cột trạng thái, ô nào đánh số 1 là cuộn dây đó được cấp xung điện 1 cực, ô nào đánh số 0 là cuộn dây đó không được cấp điện.

Nếu điều khiển cả bước thì chỉ có 4 trạng thái: 1, 3, 5 và 7 hoặc 2, 4, 6 và 8.

Nếu điều khiển nửa bước có cả 8 trạng thái trên.

Khi đã xác định cách cấp điện như trên, trong lúc hoạt động, động cơ bước chỉ có thể ở 8 trạng thái ổn định đó, ngoài ra không còn trạng thái ổn định nào khác. Mỗi lần dịch chuyển trạng thái cấp điện sang trạng thái liền kề thì động cơ dịch chuyển một bước (bước đủ hay bước nửa).

Nếu chiều dịch chuyển từ trái sang phải thì động cơ quay phải, ngược lại nếu chiều dịch chuyển từ phải sang trái thì động cơ quay trái.

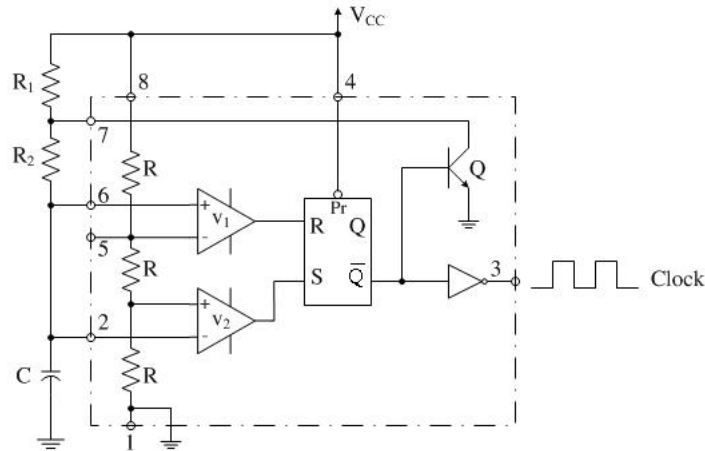
Từ bảng 1 có thể đưa ra một chú ý hết sức quan trọng: trong quá trình hoạt động (quay hay giữ ) thì ít nhất một cuộn dây pha phải được cấp điện. Nếu tất cả các cuộn dây không được cấp điện (ở trạng thái turn-of) thì rotor sẽ quay trơn, có nghĩa là nếu tải gây ra mômen quay thì rotor động cơ sẽ bị quay bởi lực bên ngoài. Ngược lại muốn dùng lực ngoài để thay đổi vị trí tải thì phải đưa động cơ về trạng thái turn-of. Tầm quan trọng của chú ý này còn nằm ở chỗ: hệ truyền động động cơ bước sẽ không hoạt động đúng được nếu ta điều khiển nó luôn ở hai trạng thái turn-of và dịch bước, mà phải điều khiển ở hai chế độ giữ và dịch bước, có nghĩa là bắt buộc phải cấp điện cho cuộn dây pha kể cả khi hệ dừng và lúc hệ chuyển động. Vấn đề cốt lõi của việc điều khiển động cơ bước là cấp điện lúc động cơ dừng-giữ. Do đó sẽ là sai lầm lớn nếu ta chỉ cấp xung điều khiển lúc động cơ quay còn dừng thì không cấp xung điều khiển.

### 7.6. Mạch điều khiển động cơ bước

#### • Mạch tạo xung

Sử dụng mạch dao động đơn ổn dùng vi mạch IC 555.

Sơ đồ mạch điện như Hình 4.21

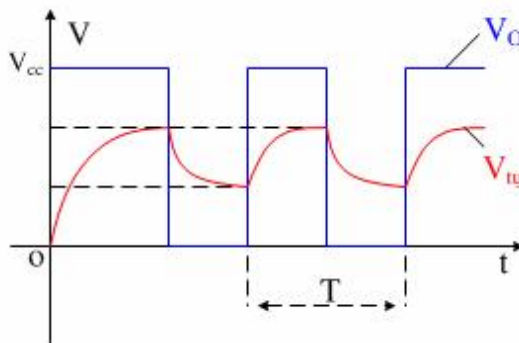


**Hình 4.21.** Sơ đồ nguyên lý của IC 555

Điện áp cấp từ 3÷18V, dòng ngõ ra lên đến 200 mA (loại BJT), 100 mA (loại CMOS).

Các chân của vi mạch được trình bày như hình vẽ trên gồm 8 chân.

Ta có dạng sóng ngõ vào và ngõ ra của IC555 như Hình 4.22



**Hình 4.22.** Giải đồ sóng của ngõ ra IC555.

Khi tụ C nạp với hằng số thời gian là  $\sigma_{\text{nạp}}$

$$\sigma_{\text{nạp}} = (R_1 + R_2) \cdot C$$

Thời gian nạp  $t_{\text{nạp}} = 0,69 \cdot \sigma_{\text{nạp}}$

Khi tụ C xả với hằng số thời gian là  $\sigma_{\text{xả}}$

$$\sigma_{\text{xả}} = R_2 \cdot C$$

Thời gian xả  $t_{\text{xả}} = 0,69 \cdot \sigma_{\text{xả}}$

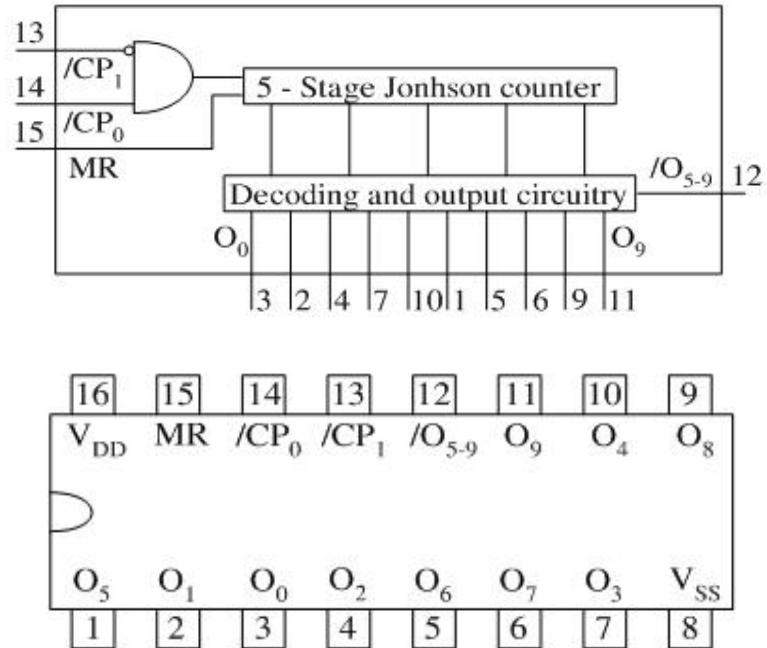
Vậy chu kỳ xung và tần số là:

$$T = t_{\text{nạp}} + t_{\text{xả}} = 0,69 \cdot (\sigma_{\text{nạp}} + \sigma_{\text{xả}})$$

$$\text{Suy ra tần số : } f = \frac{1}{T}$$

#### • Vi mạch giải mã IC 4017

Sơ đồ các chân của IC 4017 được trình bày như Hình 4.33



**Hình 4.33.** Sơ đồ chức năng và chân của IC 4017

Trong đó các ngõ ra từ  $O_0$  đến  $O_9$  (tương ứng chân 3-2-4-7-10-1-5-6-9-11).

Chân 13 cấp xung clock (tích cực ở mức thấp)

Chân 14 cấp xung clock (tích cực ở mức cao)

Chân 15 là chân master reset, tích cực ở mức cao.

Chân 12 là cờ carry ngõ ra tích cực mức thấp.

Đặc điểm của IC 4017 là khi ta cấp nguồn  $V_{cc}$  cho IC hoạt động nhưng chưa có xung clock ngõ vào thì các ngõ ra đều ở mức “0” (các ngõ từ  $O_0$  đến  $O_9$ ). Nhưng khi có xung clock cấp vào thì ngõ ra của IC tại mỗi thời điểm cho ra một ngõ ở mức cao “1”, còn lại thì ở mức “0”. Cứ có xung cấp vào thì lần lượt các ngõ ra từ  $O_0$  đến  $O_9$  sẽ cho lên mức “1”.

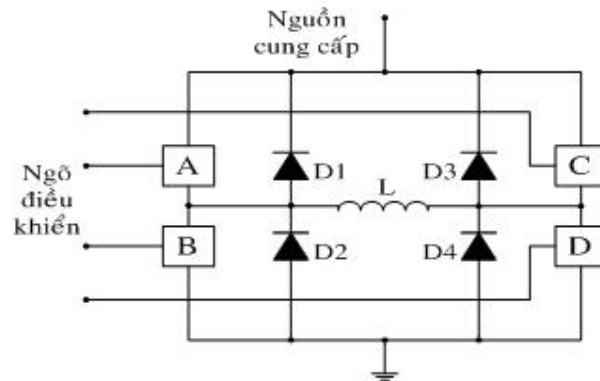
Cờ carry sẽ chuyển trạng thái từ mức “0” xuống mức “1” khi các ngõ ra dịch từ  $O_0$  đến  $O_9$  và bắt đầu đếm lại.

Bảng trạng thái như sau:

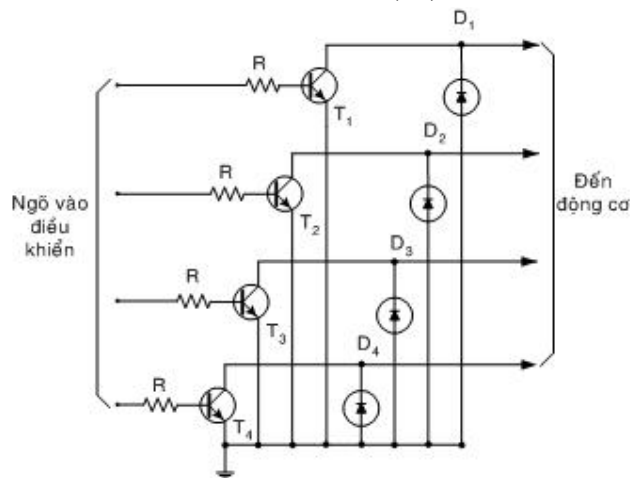
MR	CP <sub>0</sub>	/CP <sub>1</sub>	Hoạt động ngõ ra
H	X	X	O <sub>0</sub> = /O <sub>5,9</sub> = H; O <sub>1</sub> đến O <sub>9</sub> = L
L	H	Xung cạnh xuống	Đếm
L	Xung cạnh lên	L	Đếm
L	L	X	Không thay đổi
L	X	H	Không thay đổi
L	H	Xung cạnh lên	Không thay đổi
L	Xung cạnh xuống	L	Không thay đổi

Trong đó: H là mức cao  
L là mức thấp  
X là tùy định.

• Bộ chuyển mạch điện tử



(a)



(b)

**Hình 4.34.** Bộ chuyển mạch điện tử.

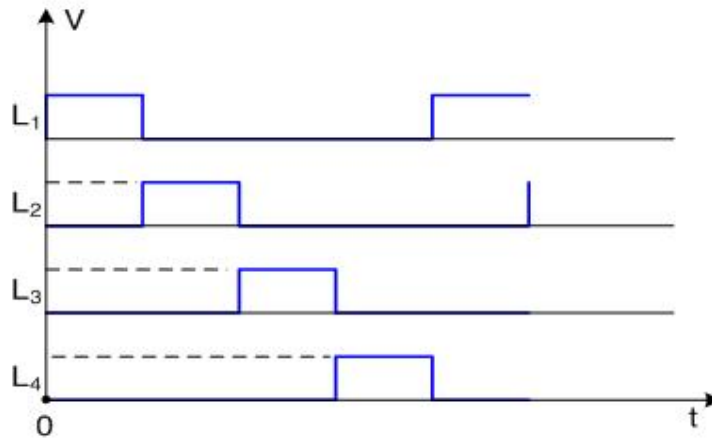
Các khối A, B, C, D là các khoá đóng mở, dùng để đảo chiều dòng điện. Các khoá điện này hoạt động theo từng cặp AD, BC và được điều khiển thông qua bộ vi mạch điều khiển.

Các khối hình vuông được ký hiệu là các bộ điều khiển có nhiệm vụ đóng mở thích hợp các công tắc để cung cấp dòng điện cho động cơ quay theo chiều thích hợp. Bộ điều khiển này thông thường là các máy tính hay thiết bị điều khiển có thể lập trình với các phần mềm.

**a. Điều khiển bước đủ**

Giới thiệu mạch điều khiển động cơ bước bốn pha ( $L_1, L_2, L_3, L_4$ ) như sau.

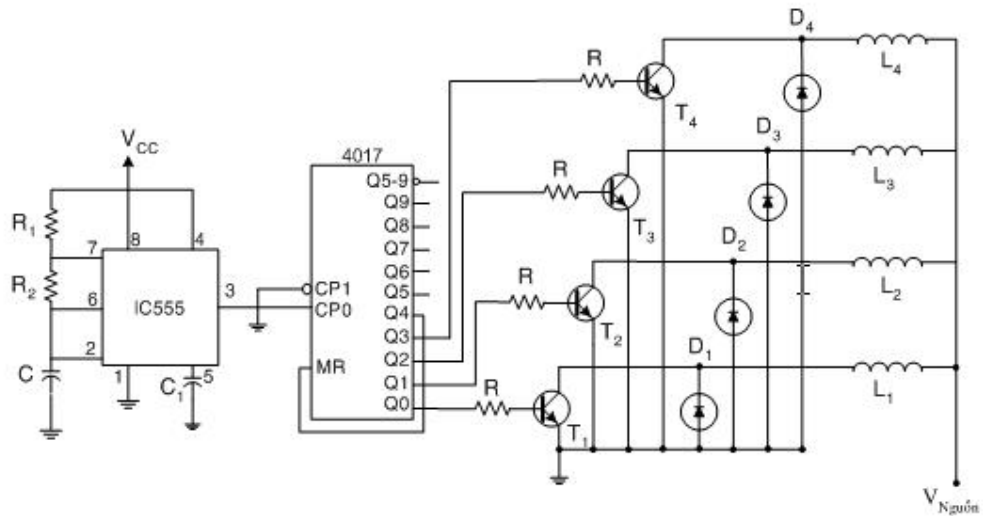
- Giảm đồ xung điều khiển động cơ bước:



- Bảng trạng thái điều khiển động cơ bước:

Xung clock	$L_1$	$L_2$	$L_3$	$L_4$
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1
5	1	0	0	0

- Mạch điện điều khiển dùng vi mạch số.



**Hình 4.35.** Mạch điện điều khiển bước đủ động cơ bước 4 pha.

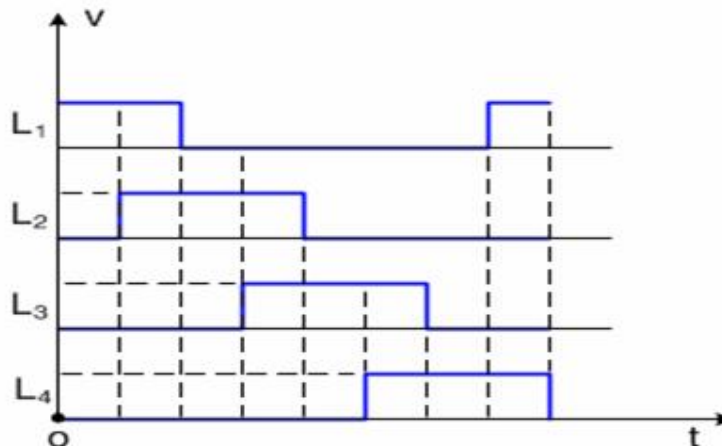
Hoạt động của mạch điều khiển.

Khi IC555 cung cấp xung clock vào IC4017 thì ngay xung đầu tiên thì ngõ ra Q0 sẽ xuất ra mức 1 còn các ngõ khác thì ở mức 0. Q0 kích cho transistor T<sub>1</sub> dẫn và đồng thời điều khiển cuộn dây L<sub>1</sub> của động cơ hoạt động. Tiếp tục xung clock thứ hai thì Q2 xuất ra mức 1 và tương tự transistor T<sub>2</sub> dẫn và đồng thời cuộn dây L<sub>2</sub> của động cơ hoạt động. Giả sử như lúc đầu khi L<sub>1</sub> có điện thì rotor ở vị trí 1 khi cuộn dây thứ 2 có điện, L<sub>1</sub> ngắt điện thì rotor sẽ quay được một góc .

Và tương tự như trên khi có xung clock cấp vào thì lần lượt ngõ ra xuất ra mức 1 thứ tự từ Q0 đến Q3 và lặp lại, động cơ sẽ dịch góc quay thứ tự từ L<sub>1</sub> đến L<sub>4</sub>.

**b. Điều khiển nửa bước**

- Giản đồ xung điều khiển nửa bước.

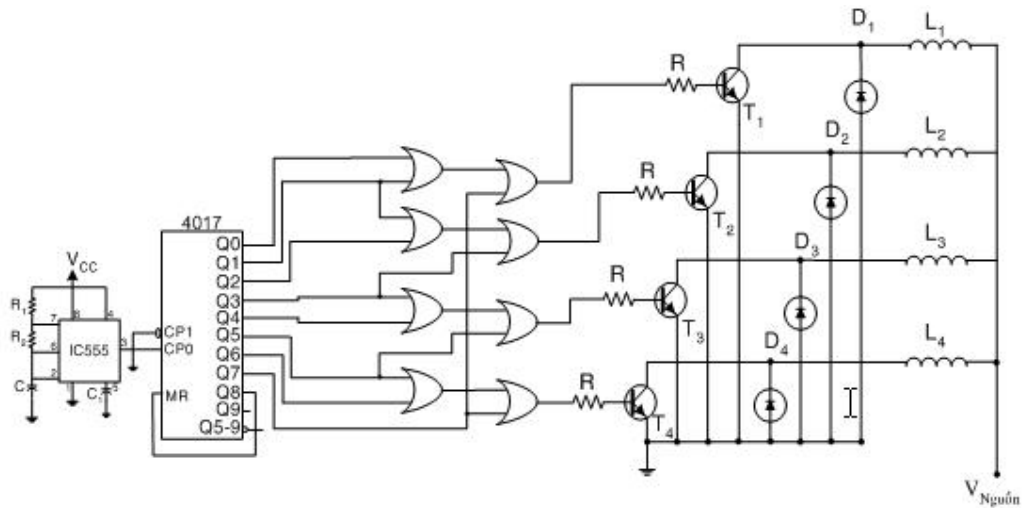




- Bảng trạng thái điều khiển.

Xung clock	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>
1	1	0	0	0
2	1	1	0	0
3	0	1	0	0
4	0	1	1	0
5	0	0	1	0
6	0	0	1	1
7	0	0	0	1
8	1	0	0	1
9	1	0		0

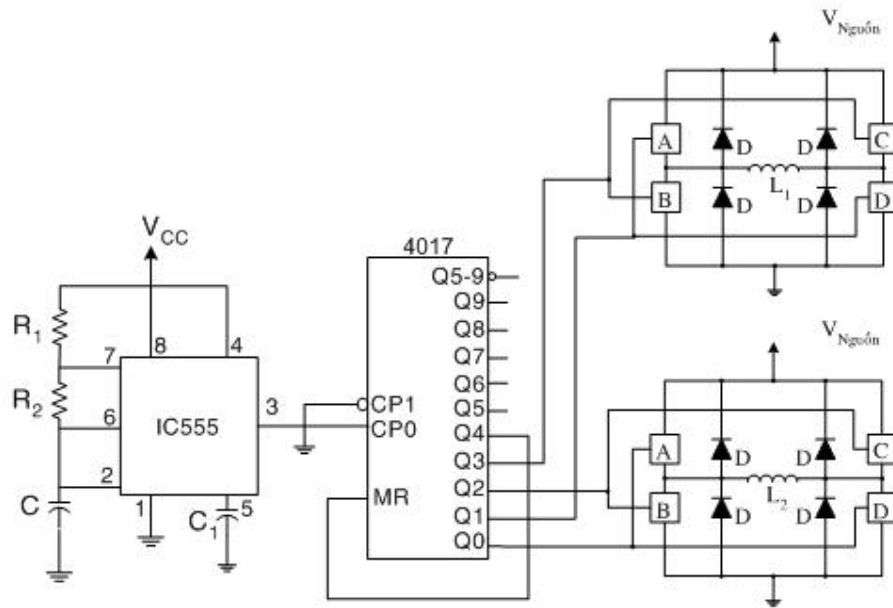
- Mạch điều khiển dùng vi mạch số.



**Hình 4.36.** Mạch điều khiển nửa bước động cơ bước 4 pha.

Về hoạt động của mạch giống như bảng trạng thái. Lúc này động cơ bước sẽ dịch góc bước nhỏ hơn bước đủ.

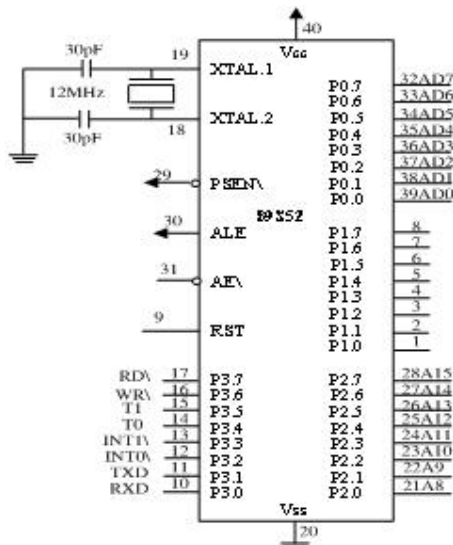
Nếu động cơ bước trên mỗi pha quấn trên hai cực của stator thì lúc này mạch điều khiển phải dùng bộ chuyển đổi mạch như hình 14-a như trên. Mạch điện có thể như sau:



**Hình 4.37.** Mạch điện điều khiển động cơ bước 2 pha (mỗi pha quấn trên hai cực của stator).

Điều khiển động cơ bước có nhiều cách điều khiển nhưng điều khiển thuận lợi và có cấu hình gọn nhẹ nhất trong điều khiển này là sử dụng Microcontroller. Như Microcontroller 89C51, 89S52,....

Giới thiệu vi điều khiển 89S52



**Hình 4.38.** Sơ đồ chân 89S52

## CÂU HỎI ÔN TẬP.

### 1. Động cơ bước NC vĩnh cửu.

1. Trình bày đặc điểm cấu tạo của ĐC bước NC vĩnh cửu ?
2. Tại sao nguồn điều khiển ĐC bước NC vĩnh cửu là nguồn có 2 cực tính ?
3. Có thể điều khiển ĐC bước NC vĩnh cửu với nguồn một cực không ?
4. ĐC bước NC vĩnh cửu góc bước phụ thuộc vào các yếu tố nào ?
5. ĐC bước NC vĩnh cửu có thể làm việc ở chế độ nửa bước không ?
6. Đối với ĐC bước NC vĩnh cửu để giảm bước quay có thể thực hiện bằng cách nào?
7. Rotor ĐC bước NC vĩnh cửu là loại cực lồi hay cực ẩn ?
8. Rotor ĐC bước NC vĩnh cửu được làm từ vật liệu gì ?
9. Đối với ĐC bước NC vĩnh cửu các pha có thể được kích thích như thế nào?
10. Nếu số răng stator tăng 2 lần (số pha không đổi) thì góc bước sẽ thay đổi như thế nào?
11. Động cơ bước NC vĩnh cửu có :  $Z_R = 2$ ,  $Z_S = 8$ ,  $m = 4$  thì góc bước bằng bao nhiêu?
12. Động cơ bước NC vĩnh cửu có :  $Z_R = 2$ ,  $Z_S = 8$ ,  $m = 4$  thì số cực stator trong 1 pha bằng bao nhiêu?

### 2. Động cơ bước từ trở biến đổi 1 tầng.

1. Trình bày đặc điểm cấu tạo của ĐC bước từ trở biến đổi 1 tầng ?
2. Đối với ĐC bước từ trở biến đổi 1 tầng các pha có thể được kích thích đồng thời không ? Tại sao ?
3. Nguồn điều khiển ĐC bước từ trở biến đổi 1 tầng là loại đơn cực hay lưỡng cực ?
4. Điểm khác nhau giữa ĐC bước từ trở biến đổi 1 tầng với ĐC bước NC vĩnh cửu là gì ?
5. Rotor động cơ bước từ trở biến đổi 1 tầng được làm từ vật liệu gì ?
6. Góc bước của ĐC bước từ trở biến đổi 1 tầng  $\theta_S$  có thể tính bằng biểu thức nào ?
7. Số bước trên vòng của ĐC bước từ trở biến đổi 1 tầng  $R_s$  có thể được tính bằng biểu thức nào ?
8. Dẫn ra biểu thức biểu diễn mối quan hệ giữa  $X$ ,  $R_s$ ,  $N_p$ .
9. Viết biểu thức xác định tốc độ ĐC bước từ trở biến đổi 1 tầng .
10. Các pha của ĐC bước từ trở biến đổi 1 tầng có thể được kích thích độc lập hay riêng lẻ ?
11. ĐC bước từ trở biến đổi 1 tầng có  $m = 3$ ,  $Z_R = 16$ ,  $Z_S = 12$  thì góc bước  $\theta_S$  bằng bao nhiêu ?
12. ĐC bước từ trở biến đổi 1 tầng có  $m = 3$ ,  $Z_R = 16$ ,  $Z_S = 12$  thì bước răng rotor và stator là bao nhiêu ?

### 3. Động cơ bước từ trở biến đổi nhiều tầng.

1. Trình bày đặc điểm cấu tạo của ĐC bước từ trở biến đổi nhiều tầng ?
2. Hãy nêu những điểm giống và khác nhau của ĐC bước từ trở biến đổi 1 tầng và nhiều tầng.
3. Góc lệch giữa các tầng trong ĐC bước từ trở biến đổi nhiều tầng là bao nhiêu ?
4. Nguồn điều khiển ĐC bước từ trở biến đổi nhiều tầng là loại đơn cực hay lưỡng cực ?
5. Rotor và stator ĐC bước từ trở biến đổi nhiều tầng được làm từ vật liệu gì ?
6. Cấu tạo răng stator và rotor các tầng của ĐC bước từ trở biến đổi nhiều tầng giống nhau hay khác nhau ?
7. Vị trí stator các tầng của ĐC bước từ trở biến đổi nhiều tầng được bố trí như thế nào ?
8. Vị trí rotor các tầng của ĐC bước từ trở biến đổi nhiều tầng được bố trí như thế nào ?
9. Các tầng (pha) của ĐC bước từ trở biến đổi nhiều tầng có thể làm việc độc lập hay riêng lẻ ?
10. Xác định góc lệch giữa các tầng của ĐC bước từ trở biến đổi nhiều tầng khi :  $Z_R = 12$  ,  $Z_S = 12$ ,  $m = 3$ .

### 4. Động cơ bước hỗn hợp

1. Trình bày đặc điểm cấu tạo của ĐC bước hỗn hợp ?
2. Hãy nêu những điểm giống và khác nhau của ĐC bước từ trở biến đổi nhiều tầng và ĐC bước hỗn hợp.
3. Góc lệch rotor giữa 2 tầng liên tiếp được xác định như thế nào ?
4. Nguồn ĐK ĐC bước hỗn hợp tùy thuộc yếu tố nào ?
5. Rotor và stator ĐC hỗn hợp được làm từ vật liệu gì ?
6. Cấu tạo răng stator và rotor các tầng của ĐC bước hỗn hợp giống nhau hay khác nhau ?
7. Vị trí stator các tầng của ĐC bước hỗn hợp được bố trí như thế nào ?
8. Vị trí rotor các tầng của ĐC bước hỗn hợp được bố trí như thế nào ?
9. Góc lệch rotor  $\theta_i$  giữa 2 tầng của ĐC bước hỗn hợp được tính bằng biểu thức nào ?
10. Các pha của ĐC bước hỗn hợp có thể làm việc đồng thời hay riêng lẻ ?
11. Nguồn điều khiển ĐC bước hỗn hợp là đơn cực hay lưỡng cực ?
12. Xác định góc lệch rotor giữa các tầng của ĐC bước hỗn hợp khi :  $Z_R = 30$ ,  $Z_S = 24$ ,  $m = 2$ .

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT TP. HCM**  
**KHOA ĐIỆN**  
**BỘ MÔN: CƠ SỞ KỸ THUẬT ĐIỆN**  
-----0-----  
**GVC-ThS. NGUYỄN TRỌNG THẮNG**

**GIÁO TRÌNH**

# **MÁY ĐIỆN II**



TP. HCM Tháng 5/ 2006

## LỜI NÓI ĐẦU

Giáo trình MÁY ĐIỆN II là một cuốn sách trong bộ GIÁO TRÌNH MÁY ĐIỆN gồm 2 tập nhằm giúp sinh viên bậc đại học hoặc cao đẳng ngành Điện Công Nghiệp, Điện Tự Động của trường Đại Học Sư Phạm Kỹ Thuật TP.HCM làm tài liệu học tập, hoặc có thể dùng làm tài liệu tham khảo cho sinh viên ngành Công nghệ Điện- Điện tử, Công nghệ Điện tử – Viễn thông và các ngành khác liên quan đến lĩnh vực điện – điện tử.

Giáo trình máy điện trình bày những lý thuyết cơ bản về: cấu tạo; nguyên lý làm việc; các quan hệ điện từ; các đặc tính cũng như các hiện tượng vật lý xảy ra trong: Máy điện một chiều; Máy biến áp; Máy điện không đồng bộ; Máy điện đồng bộ và các loại máy điện đặc biệt.

Toàn bộ giáo trình máy điện được chia làm 2 tập:

Tập I gồm 2 phần: Máy điện một chiều và Máy điện một chiều đặc biệt.

Máy biến áp và các loại máy biến áp đặc biệt.

Tập II gồm 3 phần: Những vấn đề lý luận chung của các máy điện xoay chiều.

Máy điện không đồng bộ và các dạng khác của Máy điện không đồng bộ.

Máy điện đồng bộ và các loại máy điện đồng bộ đặc biệt.

Để giúp sinh viên dễ dàng tiếp thu kiến thức môn học, giáo trình trình bày nội dung một cách ngắn gọn, cơ bản. Ở mỗi chương có ví dụ minh họa, câu hỏi và bài tập để sinh viên có thể hiểu sâu hơn những vấn đề mình đã học.

Tác giả

(Email: [t\\_nguyentrong@yahoo.com](mailto:t_nguyentrong@yahoo.com))

## MỤC LỤC

	Trang
<b>Phần III: Các vấn đề lý luận chung của các máy điện xoay chiều</b>	
Chương 1: Sức điện động của dây quấn máy điện xoay chiều	2
Chương 2: Dây quấn phần ứng máy điện xoay chiều	11
Chương 3: Sức từ động của dây quấn máy điện xoay chiều	30
<b>Phần IV: Máy điện không đồng bộ (MĐKĐB)</b>	47
Chương 1: Đại cương về MĐKĐB	48
Chương 2: Các quan hệ điện từ trong MĐKĐB	54
Chương 3: Mở máy và điều chỉnh tốc độ động cơ không đồng bộ	77
Chương 4: Máy điện không đồng bộ đặc biệt	90
<b>Phần V: Máy điện đồng bộ (MĐĐB)</b>	101
Chương 1: Đại cương về MĐĐB	102
Chương II: Các quan hệ điện từ trong MĐĐB	106
Chương III: Máy phát điện và động cơ điện đồng bộ	116
Chương IV: Máy điện đồng bộ đặc biệt	135

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- 1- Vũ Gia Hanh, Trần Khánh Hà, Phan Tử Thụ, Nguyễn Văn Sáu, Máy điện I,II . NXB khoa học và kỹ thuật - 1998 .
- 2- Nguyễn Trọng Thắng, Nguyễn Thế Kiệt, Công nghệ chế tạo và tính toán sửa chữa Máy điện , NXB Giáo dục, 1995 .
- 3- A.E. Fitzgerald, Charles kingsley . Electrical Machines. Mc. Graw - Hill, 1990 .
- 4- Jimmie J. Cathey . Electric machines Analysis and Design Applying Matlab . Mc. Graw - Hill - 2001 .
- 5- E.V.Armensky, G.B.Falk, Fractional Horsepower Electrical machines, Mir Publishers, Moscow, 1985.
- 6- Mohamed E. El-Hawary, Principle of Electric Machines with Power Electronic Applications, Prentice-Hall, 1986.
- 7- M.Kostenko, L.Piotrovsky, Electrical machines, vol.1,2, Mir Publishers Moscow, 1974.
- 8- Stephen J. Chapman, Electric machinery and Power System fundamental, Mc Graw Hill, 2002.



**PHẦN III**  
**CÁC VẤN ĐỀ LÝ LUẬN**  
**CHUNG CỦA**  
**MÁY ĐIỆN XOAY CHIỀU**

*Bản quyền thuộc về Trường ĐH Sư phạm Kỹ thuật TP. HCM*

# CHƯƠNG I: SỨC ĐIỆN ĐỘNG CỦA DÂY QUẤN

## MÁY ĐIỆN XOAY CHIỀU

### § 1.1. ĐẠI CƯƠNG

Sức điện động (s.đ.đ) xoay chiều có 3 đặc tính cơ bản:

- Độ lớn.
- Tần số.
- Dạng đường cong.

Thường người ta mong muốn có được s.đ.đ của máy điện dùng trong các thiết bị điện khác nhau có dạng hình sin. Đặc biệt đối với máy phát điện các sóng điều hòa bậc cao không những có tác hại đối với các máy phát điện mà còn cả đối với phụ tải làm tăng tổn thất cũng như làm xuất hiện quá điện áp trên các đoạn khác nhau của đường dây. Trong chương này chúng ta nghiên cứu s.đ.đ của dây quấn và các biện pháp làm giảm hoặc triệt tiêu s.đ.đ bậc cao đưa dạng sóng về hình sin.

### § 1.2. SỨC ĐIỆN ĐỘNG CẢM ỨNG TRONG DÂY QUẤN

#### 1. Sức điện động cảm ứng trong dây quấn do từ trường cơ bản:

##### a) Sức điện động của một thanh dẫn:

Đặt 1 thanh dẫn trong stator và những cực từ của rotor song song với trục máy điện (h1-1). Khởi động máy và cho quay với tốc độ  $n = C^{tc} = \text{const}$  khi đó trị số tức thời của s.đ.đ cảm ứng trong thanh dẫn là:

$$e_{td} = B_x \cdot l \cdot v \quad (\text{V})$$

với  $B_x = B_m \sin \omega t$  (T),  $B_x$  là từ cảm nơi thanh dẫn quét qua.

$$v = \frac{\pi D n}{60} = \frac{2 \tau p n}{60} = 2 \tau f \quad (\text{m/sec}).$$

$v$ : Vận tốc dài của thanh dẫn.

$D$ : Đường kính phần ứng.

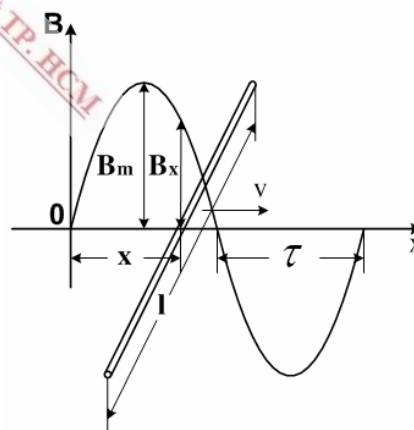
Với:  $\tau = \frac{\pi D}{2p}$  (m)

$l$ : Chiều dài của thanh dẫn nằm trong từ trường.

$$e_{td} = l \cdot v \cdot B_m \sin \omega t = l \cdot \tau \cdot \pi \cdot f \cdot \frac{2}{\pi} B_m \sin \omega t$$

Với  $\Phi = B_{tb} l \tau$  là từ thông trung bình tương ứng với một bước cực.

$$B_{tb} = \frac{2}{\pi} B_m$$



Hình 1.1 Chuyển động tương đối của thanh dẫn trong từ trường tương đối hình sin.

Ta có :  $e_{td} = \pi\Phi f \sin \omega t = E_{td} \sin \omega t$

Trị số hiệu dụng là:  $E_{td} = \frac{\pi}{\sqrt{2}} \Phi f = 2,22\Phi f$  (1 - 1)

**b) Sđđ của một vòng dây và của một bối dây:**

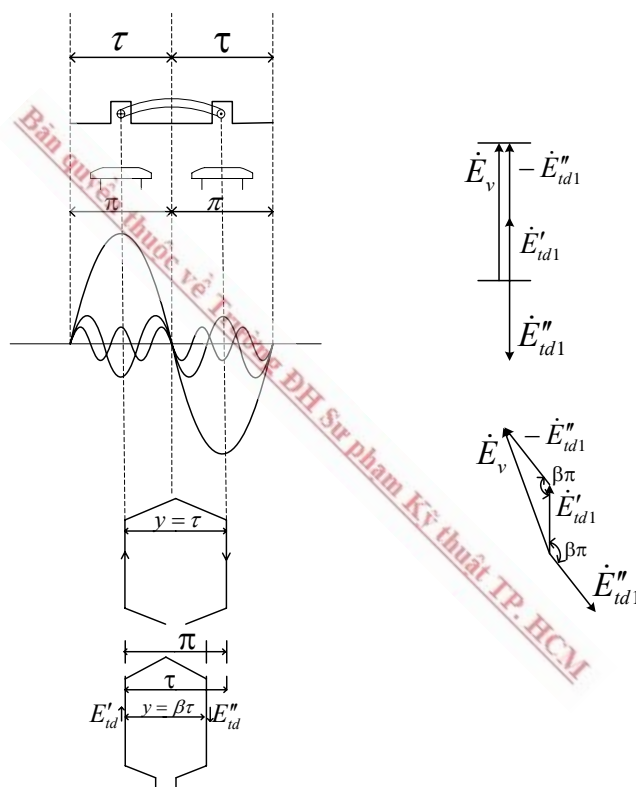
❖ Sđđ của một vòng dây:

+ Trường hợp bước đủ:

Nếu vòng dây có 2 thanh dẫn 1 và 2 đặt cách nhau 1 khoảng là  $y = \tau$  (dây quấn bước đủ) và gọi sđđ trong thanh dẫn 1 là  $E_1$ , trong thanh dẫn 2 là  $E_2$  thì s.đ.đ của một vòng dây bước đủ là:

$$E_v = |E_1| + |E_2| = 2E_{td}$$

$$= 2 \times 2,22\Phi f = 4,44\Phi f$$



Hình 1.2 Sức điện động của một vòng dây

+ Trường hợp bước ngắn:

**a) 1' 1''**

Ta kí hiệu  $\beta$  là bước tương đối của dây quấn và  $\tau = \frac{Z}{2p}$  (rãnh)

$$\beta = \frac{y}{\tau}, \beta\pi = \frac{y}{\tau} \pi$$

**N S**

Thì:  $E_v = 2E_{td} \sin \frac{\beta\pi}{2} = 4,44\Phi f \sin \frac{\beta\pi}{2}$

Đặt:  $k_n = \sin \frac{\beta\pi}{2}$  là hệ số bước ngắn của dây quấn thì:

$$E_v = 4,44\Phi f k_n$$

❖ Sđđ của một phần tử (bối dây)

Nếu một bối dây có  $W_s$  vòng thì s.đ.đ của một bối dây là:

$$E_s = 4,44W_s \Phi f k_n \tag{1-3}$$

c) Sức điện động của 1 nhóm bối dây:

Ta tính s.đ.đ của 1 nhóm bối dây có q bối dây dưới 1 cực:  $q = \frac{Z}{2mp}$ .

**Thí dụ:** hình 1.3:  $q = 4$

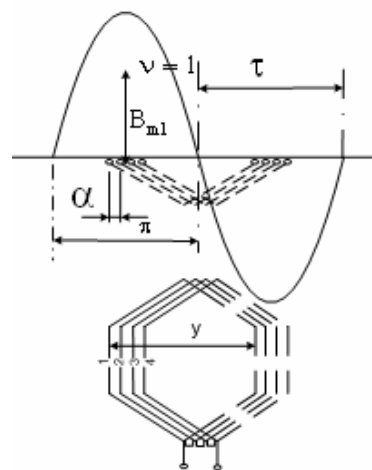
Góc độ điện giữa 2 rãnh kề nhau là:

$$\alpha_d = \frac{2\pi}{Z/p} = \frac{p \cdot 360^\circ}{Z}$$

Trong đó  $Z/p$  là số rãnh dưới một đôi cực ( $Z/2p$  là số rãnh dưới một mặt cực). Giả sử số rãnh dưới 1 mặt cực là  $\tau = \frac{Z}{2p} = 6$  thì

$\alpha_d = 30^\circ$  và nếu tại thời điểm đang xét bối dây 1 nằm trên đường trung tính hình học thì trị số tức thời của sđđ cảm ứng trong các bối dây 1, 2, 3, 4 là:

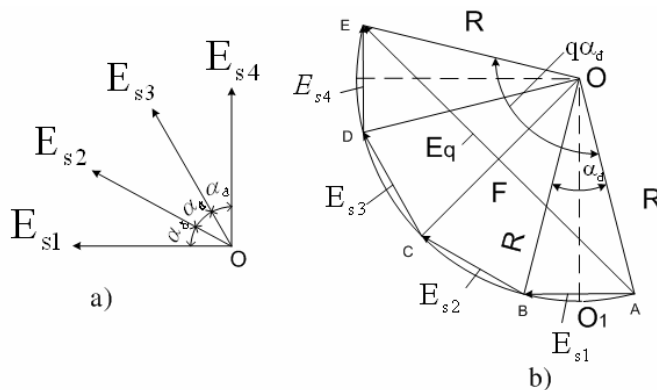
$$\begin{aligned} E_{s1} &= E_{sm} \sin 0^\circ \\ E_{s2} &= E_{sm} \sin \alpha_d = E_{sm} \sin 30^\circ \\ E_{s3} &= E_{sm} \sin 2\alpha_d = E_{sm} \sin 60^\circ \\ E_{s4} &= E_{sm} \sin 3\alpha_d = E_{sm} \sin 90^\circ \end{aligned}$$



Hình 1.3 Nhóm bối dây  $q = 4$

$E_{sm}$ : biên độ sđđ/phần tử.

Ta có thể biểu diễn  $\vec{q}$  lệch nhau 1 góc  $\alpha$  như h1-4 ( $q$ : số rãnh của 1 pha dưới một cực). Mỗi một vector biểu diễn trị số biên độ hay trị số hiệu dụng của s.đ.đ  $E_s$  của một bối dây với những tỉ lệ tương ứng (h1-4a). Những vector gần nhau lệch nhau 1 góc  $\alpha_d = 30^\circ$ . Tổng hình học của 4 vector hình thành đa giác ABCDE (h1-4b) là vector AE biểu diễn trị số hiệu dụng tổng của s.đ.đ  $E_q$ .



Hình 1.4 Sức điện động của một vòng dây

Để tính  $E_q$  ta vẽ đường tròn ngoại tiếp với đa giác ABCDE có bán kính R. Cuối cùng ta tính được:

$$E_q = q E_s k_r \quad (1-4)$$

Trong đó:  $k_r = \frac{E_q}{qE_s} = \frac{\text{Tổng hình học các s.đ.đ}}{\text{Tổng số học các s.đ.đ}}$

$$= \frac{2R \sin \frac{q\alpha_d}{2}}{q2R \sin \frac{\alpha_d}{2}} = \frac{\sin \frac{q\alpha_d}{2}}{q \sin \frac{\alpha_d}{2}} : \text{hệ số quấn rải của dây quấn.}$$

Chứng minh:

$$\text{Ta có } \dot{E}_q = \dot{E}_{s1} + \dot{E}_{s2} + \dot{E}_{s3} + \dot{E}_{s4}$$

Về mặt trị số  $E_q = AE = 2AF = 2R \sin \frac{q\alpha_d}{2}$ .

Tính R theo  $E_q$ , xét tam giác  $OO_1A$  ta có:  $E_s = 2R \sin \frac{\alpha_d}{2} \Rightarrow R = \frac{E_s}{2 \sin \frac{\alpha_d}{2}}$

$$\Rightarrow E_q = 2 \frac{E_s \sin q \frac{\alpha_d}{2}}{2 \sin \frac{\alpha_d}{2}} = \frac{qE_s \sin q \frac{\alpha_d}{2}}{q \sin \frac{\alpha_d}{2}} = qE_s K_r$$

$$\Rightarrow E_q = 4,44 w_s q \Phi f k_n k_r \quad (1-5)$$

Đặt  $k_{dq} = k_n k_r$ : là hệ số dây quấn.

$$\Rightarrow E_q = 4,44 w_s q \Phi f k_{dq} \quad (1-6)$$

#### d) Sức điện động của dây quấn 1 pha:

Một pha có n nhóm bố trí dây có vị trí giống nhau trong từ trường các cực từ nên sđđ của chúng có thể cộng số học với nhau:

$$\begin{aligned} \Rightarrow E_f &= 4,44 n q w_s \Phi f k_{dq} \\ &= 4,44 w \Phi f k_{dq} \end{aligned}$$

Trong đó:  $w = n.q.w_s$  là số vòng dây nối tiếp của 1 pha.

## 2. Sức điện động của dây quấn do từ trường bậc cao:

Giả thiết rằng đường cong cường độ tự cảm đối xứng với trục hoành (vì tính chất đối xứng với trục hoành nên đường cong chỉ chứa các sóng hài lẻ) cũng như đối với trục cực. Trong trường hợp này, đường cong cường độ tự cảm bao gồm sóng điều hoà bậc nhất hay sóng điều hoà cơ bản và vô số sóng điều hoà bậc cao

$\nu = 3, 5, 7, \dots$ , nghĩa là  $\nu = 2k \pm 1$ . Trong đó sóng điều hoà bậc 1 có biên độ  $B_{m1}$  và bước cực  $\tau$  tương ứng với số đôi cực p. Những sóng điều hoà bậc cao có biên

độ  $B_{m3}, B_{m5}, B_{mv}$  và những bước cực  $\frac{\tau}{3}, \frac{\tau}{5}, \frac{\tau}{v}$  tương ứng với số đôi cực  $3p, 5p, \dots$ ,  
vp. Tần số  $f_v = \nu f_1$ .

Từ đó từ thông tương ứng là:

$$\Phi_1 = \tau.l.B_{tb1} = \frac{2}{\pi} \tau.l.B_{m1}$$

$$\Phi_3 = \frac{\tau}{3}.l.B_{tb3} = \frac{2}{\pi} \frac{\tau}{3}.l.B_{m3}$$

...

$$\Phi_v = \frac{\tau}{v}.l.B_{tbv} = \frac{2}{\pi} \frac{\tau}{v}.l.B_{mv}$$

Các sức điện động:  $E_{td1} = \frac{\pi}{\sqrt{2}} \Phi_1.f_1 = \frac{\pi}{\sqrt{2}} \tau.l.B_{tb1}.f_1 = \sqrt{2}.\tau.l.B_{m1}.f_1$

$$E_{td3} = \frac{\pi}{\sqrt{2}} \Phi_3.f_3 = \frac{\pi}{\sqrt{2}} \frac{\tau}{3}.l.\frac{2}{\pi} B_{m3}.3f_1 = \sqrt{2}.\tau.l.B_{m3}.f_1$$

$$E_{tdv} = \frac{\pi}{\sqrt{2}} \Phi_v.f_v = \sqrt{2}.\tau.l.B_{mv}.f_1$$

Sức điện động hiệu dụng tổng của thanh dẫn:

$$\begin{aligned} E_{td} &= \sqrt{E_{td1}^2 + E_{td3}^2 + \dots + E_{tdv}^2} \\ &= E_{td1} \sqrt{1 + \left(\frac{E_{td3}}{E_{td1}}\right)^2 + \dots + \left(\frac{E_{tdv}}{E_{td1}}\right)^2} \\ &= E_{td1} \sqrt{1 + \left(\frac{B_{m3}}{B_{m1}}\right)^2 + \dots + \left(\frac{B_{mv}}{B_{m1}}\right)^2} \\ &= E_{td1} \sqrt{1 + k_{B3}^2 + \dots + k_{Bv}^2} \\ &= \frac{\pi}{2} \cdot \Phi_1 \cdot f_1 \sqrt{1 + k_{B3}^2 + k_{Bv}^2} \end{aligned}$$

Những hệ số:  $k_{B3} = \frac{B_{m3}}{B_{m1}}, \dots, k_{Bv} = \frac{B_{mv}}{B_{m1}}$  là tỉ số giữa biên độ từ cảm sóng bậc

cao và biên độ từ cảm sóng hài cơ bản.

Mặt khác từ thông tổng của mỗi cực từ được biểu diễn bằng tổng đại số sau:

$$\begin{aligned} \Phi &= \Phi_1 \pm \Phi_3 \pm \Phi_5 \pm \dots \pm \Phi_v \\ &= \Phi_1 \left( 1 \pm \frac{\Phi_3}{\Phi_1} \pm \frac{\Phi_5}{\Phi_1} \pm \dots \pm \frac{\Phi_v}{\Phi_1} \right) \\ &= \Phi_1 \left( 1 \pm \frac{B_{m3}}{3B_{m1}} \pm \frac{B_{m5}}{5B_{m1}} \pm \dots \pm \frac{B_{mv}}{\nu B_{m1}} \right) \\ &= \Phi_1 \left( 1 \pm \frac{1}{3} k_{B3} \pm \frac{1}{5} k_{B5} \pm \dots \pm \frac{1}{\nu} k_{Bv} \right) \end{aligned}$$

Từ đó ta có: 
$$E_{td} = \frac{\pi}{\sqrt{2}} \Phi \cdot f_1 \frac{\sqrt{1 + k_{B3}^2 + \dots + k_{Bv}^2}}{1 \pm \frac{1}{3} k_{B3} \pm \dots \pm \frac{1}{v} k_{Bv}}$$

+ Biểu thức tổng quát của sức điện động:

Hiện nay dây quấn phần ứng máy điện xoay chiều được dùng nhiều nhất là loại dây quấn rải 2 lớp bước ngắn nên ta có:

Đối với sóng điều hoà bậc 1:

$$E_1 = \pi \sqrt{2} \cdot w \cdot k_{n1} \cdot k_{r1} \cdot \Phi_1 \cdot f_1 = 2 \sqrt{2} \cdot \tau \cdot l \cdot w \cdot k_{dq1} \cdot f_1 \cdot B_{m1} \quad (1)$$

Đối với sóng điều hoà bậc v:

$$E_v = \pi \sqrt{2} \cdot w \cdot k_{nv} \cdot k_{rv} \cdot \Phi_v \cdot f_v = 2 \sqrt{2} \cdot \tau \cdot l \cdot w \cdot k_{dqv} \cdot f_v \cdot B_{mv} \quad (2)$$

Ở đây,  $k_{dq1} = k_{n1} \cdot k_{r1}, \dots, k_{dqv} = k_{nv} \cdot k_{rv}$  là hệ số dây quấn cho sóng điều hoà bậc 1, ..., bậc v. Khi đó sức điện động tổng của dây quấn là:

$$E_{td} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} w \cdot k_{dq1} \cdot \Phi \cdot f_1 \frac{\sqrt{1 + (k_{B3} \cdot k_3)^2 + \dots + (k_{Bv} \cdot k_v)^2}}{1 \pm \frac{1}{3} k_{B3} \pm \dots \pm \frac{1}{v} k_{Bv}}$$

Trong đó:  $k_3 = \frac{k_{dq3}}{k_{dq1}}, \dots, k_v = \frac{k_{dqv}}{k_{dq1}}$  là trị số tương đối của hệ số dây quấn cho sóng điều hoà bậc cao.

### § 1.3. CÁC PHƯƠNG PHÁP CẢI THIỆN DẠNG SÓNG SỨC ĐIỆN ĐỘNG.

#### 1. Chế tạo mặt cực từ của máy phát điện đồng bộ theo quy luật.

Nguyên nhân khiến cho dạng sóng sđđ không sin là do sự phân bố của từ trường khác hình sin. Thông thường B phân bố hình thang, muốn sđđ là hình sin thì cực từ phải gọt vát 2 đầu theo hình dạng và kích thước thích hợp. Thường người ta chế tạo mặt cực từ theo quy luật:

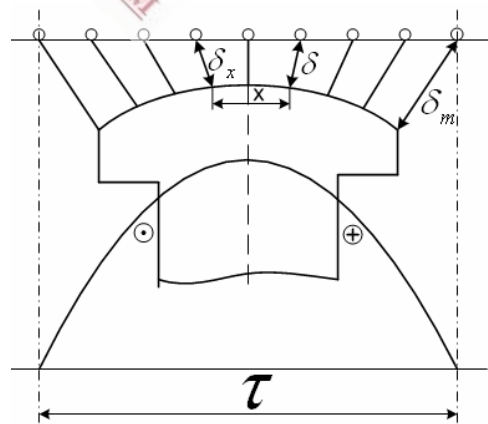
$$\delta_x = \frac{\delta}{\cos\left(\frac{\pi}{\tau} x\right)}$$

$\delta$ : là khe hở nhỏ nhất giữa mặt cực;

$$\delta_{max} = (1,5 \div 2,6) \delta$$

$$\text{với } b = (0,65 \div 0,75) \tau$$

Tuy nhiên biện pháp trên chưa cho được kết quả mong muốn. Vì vậy cần làm giảm hoặc triệt tiêu các sức điện động bậc cao bằng các cách sau:



## 2. Rút ngắn bước dây quấn:

Khi quấn bước đủ  $y = \tau$  biết  $k_{nv} = \pm 1$ , nghĩa là tất cả các sóng hài bậc cao đều tồn tại. Để cho các sđđ bậc cao bị triệt tiêu người ta phải chọn  $\beta$  thế nào đó để

$$k_{nv} = 0 \quad \text{Mà } k_{nv} = \sin v\beta \frac{\pi}{2} \text{ nếu chọn } \beta = 1 - \frac{1}{v}$$

$$\Rightarrow k_{nv} = \sin \left[ \left( 1 - \frac{1}{v} \right) v \cdot \frac{\pi}{2} \right] = \sin \left[ (v-1) \frac{\pi}{2} \right]$$

Khi  $v = 5 \Rightarrow k_{n5} = 0 \Rightarrow E_5 = 0$  tương ứng với  $\beta = \frac{4}{5}$ .

Khi  $v = 7 \Rightarrow k_{n7} = 0 \Rightarrow E_7 = 0$  tương ứng với  $\beta = \frac{6}{7}$ .

Nghĩa là ta rút ngắn bước dây quấn đi  $\frac{1}{5}\tau$  và  $\frac{1}{7}\tau$  thì  $E_5$  và  $E_7 = 0$ . Rõ ràng là biện pháp này không đồng thời triệt tiêu được tất cả các s.đ.đ bậc cao nên người ta chọn bước dây quấn sao giảm được các sức điện động bậc cao mạnh bậc 5, 7. Trong trường hợp đó thường rút ngắn bớt đi  $\frac{1}{6}\tau$ . Lúc đó  $\beta = (0,8 \div 0,86)$  tùy theo từng máy.

## 3. Quấn rải:

Khi  $q = 1$  thì  $k_{rv} = \pm 1$ , tức là tất cả các sóng bậc cao đều tồn tại.

Khi  $q > 1$  và  $q$  càng tăng thì  $k_{rv}$  càng giảm, song  $k_{rv}$  sẽ lập lại trị số ban đầu sau 1 số sóng bậc cao nào đó theo những chu kì tương ứng. Một số sóng bậc cao có  $k_{rv} = k_{r1}$  được gọi là sóng điều hoà tăng ( $v = v_z$  với  $v_z = 2mqk \pm 1$  và  $k = 1, 2, 3\dots$ ). Tóm lại phương án này chỉ cải thiện dạng sóng được phân nào.

## 4. Rãnh chéo:

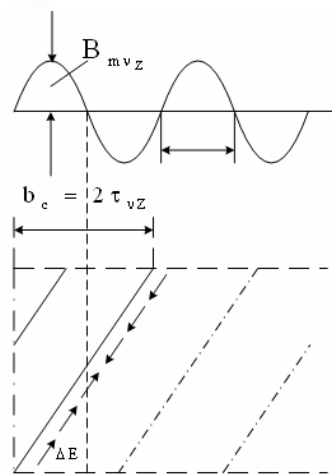
Tác dụng của nó để khử sóng điều hoà răng. Từ hình vẽ ta thấy sức điện động có từ cảm  $B_{mv_z}$  cảm ứng trong thanh dẫn có chiều ngược nhau và bị triệt tiêu. Bước rãnh chéo cần phải chọn

$$b_c = 2\tau_{vz} = 2 \frac{\tau}{v_z}$$

$$b_c = \frac{2p\tau}{z \pm p}$$

(với  $k = 1$  thì  $v_z = \frac{z}{p} \pm 1$ )

Trong thực tế, thường chọn  $b_c = \frac{2p\tau}{z}$  là các sóng điều hoà răng đã giảm nhỏ đi nhiều.



Hình 1.5 Trường hợp rãnh chéo 1 bước răng  $\Delta E_{vz} = 0$



**Câu hỏi:**

1. Vì sao yêu cầu sức điện động của máy điện xoay chiều phải có dạng hình sin. Làm thế nào để đảm bảo yêu cầu đó?
2. Hãy xác định biểu thức sức điện động của dây quấn 1 pha khi từ trường không hình sin?
3. Các biện pháp để cải thiện dạng sóng sức điện động và hiệu lực của các biện pháp đó?
4. Khi dùng rãnh chéo thì trị số sức điện động do từ trường cơ bản của dây quấn thay đổi như thế nào?

**Thí dụ:**

1. Cho 1 máy phát điện có  $p = 2$ , đường kính trong của Stator  $D = 0.7m$  từ cảm trung bình  $B_{tb1} = 0,6T$ , chiều dài tính toán của Stator  $l = 1,3m$ . Cho biết  $B_{tb3} = 0,325B_{tb1}$ ;  $B_{tb5} = 0,15B_{tb1}$ . Hãy tính sức điện động  $E_1, E_3, E_5$  và sức điện động tổng  $E_{td}$  của 1 thanh dẫn (bỏ qua các sóng bậc cao hơn 5),  $f = 50Hz$ .  
 Đáp số:  $E_1 = 47,6V$ ;  $E_3 = 15,5V$ ;  $E_5 = 7,1V$ ;  $E = 50,6V$ .

**Giải:**

1. Ta có: Biểu thức tổng quát của sức điện động:

$$E_v = \pi\sqrt{2} \cdot w \cdot k_{nv} \cdot k_{rv} \cdot \Phi_v \cdot f_v = 2\sqrt{2} \cdot \tau \cdot l \cdot w \cdot k_{dqv} \cdot f_1 \cdot B_{mv}$$

Đối với sóng điều hoà bậc 1:

$$E_1 = \pi\sqrt{2} \cdot w \cdot k_{n1} \cdot k_{r1} \cdot \Phi_1 \cdot f_1 = 2\sqrt{2} \cdot \tau \cdot l \cdot w \cdot k_{dq1} \cdot f_1 \cdot B_{m1}$$

Thanh dẫn:  $E_1 = \sqrt{2}\tau \cdot l \cdot B_{m1} \cdot f_1$

Với  $\tau = \frac{\pi D}{2p} = \frac{\pi \cdot 0,7}{2 \cdot 2} = 0,55$

$$B_{m1} = \frac{\pi}{2} B_{tb1}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow E_1 &= \sqrt{2} \cdot \frac{\pi D}{2p} \cdot l \cdot \frac{\pi}{2} B_{tb1} \cdot f_1 \\ &= \sqrt{2} \cdot \frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{0,7}{2} \cdot 1,3 \cdot 0,6 \cdot 50 \\ &= 47,63(V) \end{aligned}$$

Tương tự:  $E_3 = \sqrt{2}\tau \cdot l \cdot B_{m3} \cdot f_3 = 0,325E_1 = 15,5(V)$

$E_5 = \sqrt{2}\tau \cdot l \cdot B_{m5} \cdot f_5 = 0,15E_1 = 7,14(V)$

Sức điện động tổng của 1 thanh dẫn:

$$\begin{aligned} E_{td} &= E_1 \sqrt{1 + k_{B3}^2 + k_{B5}^2} \\ &= 47,63 \sqrt{1 + 0,325^2 + 0,15^2} = 50,6(V) \end{aligned}$$

**Bài tập:**

**1.1.** Tính hệ số dây quấn  $k_{dq}$  của dây quấn hai lớp có  $q = 2$ ;  $p = 2$ ;  $z = 24$ ;  
 $\beta = \frac{5}{6}$ . Biết rằng mỗi bội dây có  $w_s = 5$  vòng và sức điện động của thanh dẫn  $E_{td}$   
 $= 5V$ . Hãy tính sức điện động của mỗi nhóm và s.đ.đ của mỗi pha của dây quấn đó.

Đáp số:  $E_q = 93,3V$ ,  $E_f = 93,3V$ .

**1.2.** Cho 1 máy phát điện ba pha 6000kW; 6300V; 3000 vòng/phút;  $f = 50Hz$ ;  
 $\cos\varphi = 0,8$ ; đường kính trong stator  $D = 0,7m$ ; chiều dài stator  $l = 1,35m$ ;  $B_{tb} =$   
 $0,4890T$ ;  $z = 36$ ; dây quấn 2 lớp;  $y = 13$ ; số vòng dây nối tiếp trong một pha  $W =$   
 $24$ . Hãy tính sức điện động pha của máy.

Đáp số:  $E_f = 3353,67V$ .

Bản quyền thuộc về Trường ĐH Sư phạm Kỹ thuật TP. HCM

## CHƯƠNG II: DÂY QUẤN PHẦN ỨNG MÁY ĐIỆN XOAY CHIỀU

### § 2.1 ĐẠI CƯƠNG

Dây quấn máy điện xoay chiều có nhiệm vụ cảm ứng được sức điện động (s.đ.đ) nhất định đồng thời cũng tham gia vào việc tạo nên từ trường cần thiết cho sự biến đổi năng lượng điện từ trong máy.

Kết cấu của dây quấn phải đảm bảo các yêu cầu kỹ thuật sau:

- + Tiết kiệm dây quấn (phần đầu nối).
- + Bền về cơ, nhiệt, điện.
- + Chế tạo đơn giản, lắp ráp, sửa chữa dễ dàng.

Phân loại dây quấn:

- + Theo số pha:  $m = 1, 2, 3$ .
- + Theo số rãnh của một pha dưới mỗi cực cực  $q$ .
- + Theo lớp: 1 lớp, 2 lớp.
- + Theo hình dạng phần đầu nối: dây quấn đồng khuôn, đồng tâm, xếp, sóng .v.v.v...

Thường thì số rãnh của 1 pha dưới một cực  $q$  là số nguyên nhưng trong một số trường hợp cần thiết  $q$  có thể là phân số. Dây quấn máy điện xoay chiều có thể đặt trong rãnh thành 1 lớp hoặc 2 lớp và tương ứng là dây quấn 1 lớp và 2 lớp. Trong thực tế rất nhiều loại dây quấn, trong phần này ta đề cập đến 1, 2 loại phổ biến thường gặp và mỗi loại chỉ nêu phương pháp phân tích và sơ đồ nối dây.

### § 2.2. DÂY QUẤN 3 PHA CÓ $q$ LÀ SỐ NGUYÊN

#### 1. Dây quấn 1 lớp:

Thường được dùng cho các động cơ điện có công suất  $< 7\text{kW}$ . Trong mỗi rãnh chỉ đặt 1 cạnh tác dụng nên số bố dây  $S = Z/2$ .

**Thí dụ:** Vẽ sơ đồ khai triển dây quấn kiểu đồng khuôn tập trung 1 lớp,  $Z = 24$ ,  $2p = 4$ .

- *Trình tự xây dựng sơ đồ dây quấn 1 lớp với  $q$  là số nguyên:*
- Xác định góc độ điện giữa 2 rãnh liên tiếp:

$$\alpha_d = \frac{p \cdot 360^\circ}{Z} = \frac{2 \cdot 360^\circ}{24} = 30^\circ$$

Nên cạnh tác dụng từ 1 đến 12 dưới đôi cực thứ nhất làm thành hình sao s.đ.đ có 12 tia như hình 2 -1a. Do vị trí các cạnh 13 đến 24 dưới đôi cực thứ 2 hoàn toàn giống vị trí của các cạnh 1 đến 12 dưới đôi cực thứ nhất nên s.đ.đ của chúng được biểu thị bằng hình sao s.đ.đ trùng với hình sao s.đ.đ thứ nhất.

- Số rãnh của 1 pha dưới 1 cực:

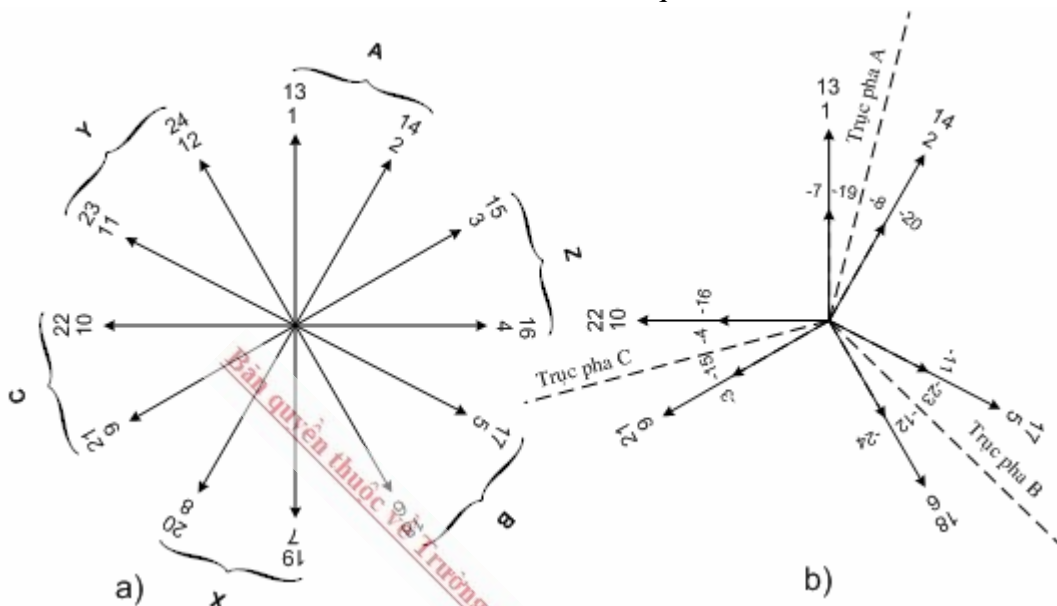
$$q = \frac{Z}{2mp} = \frac{24}{2 \cdot 3 \cdot 2} = 2$$

- Số phần tử dây quấn:

$$S = \frac{Z}{2} = \frac{24}{2} = 12$$

- Số phần tử dây quấn trong một pha:  $S_{fa} = \frac{S}{m} = \frac{12}{3} = 4$

- Số nhóm bố trí dây trong một pha:  $n = \frac{S}{mq} = \frac{12}{3 \cdot 2} = 2$



Hình 2.1 Hình sao sức điện động 12 tia

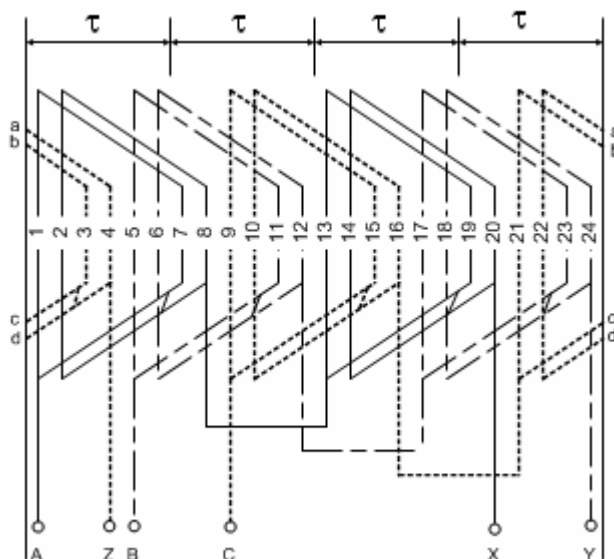
So sánh với số đôi cực  $2p$  ta suy ra dây quấn đầu cực giả.

- Pha A cách pha B là  $120^0$  điện tương đương với:

$$\frac{120^0}{\alpha_d} = \frac{120^0}{30^0} = 4 \text{ rãnh.}$$

- Bước dây quấn  $y = \tau = 6$ .

- Giải đồ khai triển dây quấn:



Hình 2.2 Sơ đồ khai triển dây quấn 3 pha 1 lớp đồng khuôn tập trung với  $Z = 24$ ;  $2p = 4$ ;  $q = 2$ .

## 2. Dây quấn 2 lớp:

Là loại dây quấn mà trong mỗi rãnh đặt 2 cạnh tác dụng, nên số phần tử bằng số rãnh của lõi thép  $\Rightarrow S = Z$ , so với dây quấn 1 lớp dây quấn 2 lớp có những ưu điểm sau:

- Loại này có thể thực hiện được bước ngắn làm giảm sức điện động bậc cao, cải thiện được dạng sóng sức điện động, đặc tính làm việc của máy tốt hơn.

- Đầu nối của các bối dây chắc chắn, gọn, ít choán chỗ, tránh được phần đầu nối chạm vào nắp máy.

Tuy nhiên việc lồng dây cũng như sửa chữa gặp nhiều khó khăn hơn trong dây quấn 1 lớp.

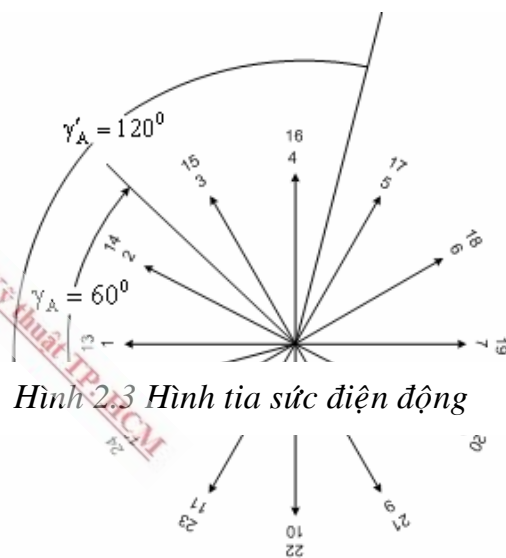
Có 2 kiểu dây quấn: Quấn xếp và quấn sóng, đa số dùng dây quấn xếp. Dây quấn sóng chỉ dùng với rotor dây quấn của động cơ điện không đồng bộ.

### a) Dây quấn xếp:

**Thí dụ:** Vẽ sơ đồ khai triển dây quấn xếp 3 pha, 2 lớp với  $Z = 24$ ,  $2p = 4$ .

- *Trình tự xây dựng sơ đồ dây quấn xếp 3 pha 2 lớp với  $q$  là số nguyên:*

1. *Vẽ hình tia sức điện động.*



Hình 2.3 Hình tia sức điện động

$$\alpha_d = \frac{p.360^\circ}{Z} = \frac{2.360^\circ}{24} = 30^\circ$$

$$\tau = \frac{Z}{2p} : \text{bước cực}$$

$$\beta = \frac{y}{\tau} : \text{hệ số rút ngắn bước dây}$$

y: bước dây

- Số rãnh của 1 pha dưới 1 bước cực:

$$q = \frac{Z}{2mp} = \frac{24}{2.3.2} = 2$$

- Số phần tử dây quấn:  $S = Z = 24$

- Số phần tử trong 1 pha:  $S_{\text{pha}} = \frac{S}{m} = \frac{24}{3} = 8$

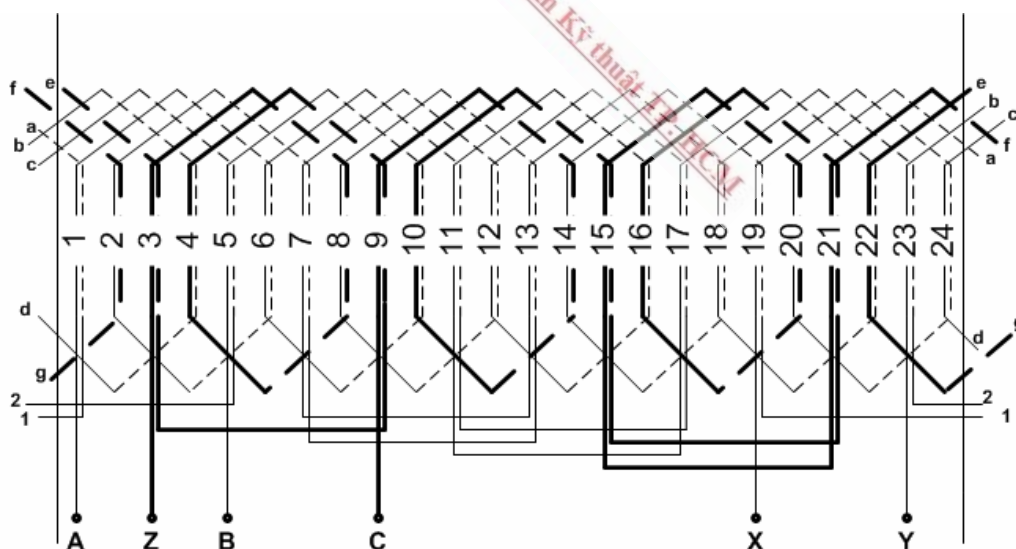
- Số nhóm bố dây trong 1 pha:

$$n = \frac{S}{m.q} = \frac{24}{3.2} = 4$$

$n = 2p \Rightarrow$  đấu cực thật (c - c, đ - đ)

2. *Bước dây quấn*: Quấn bước ngắn  $y = \beta.\tau = 5 \Rightarrow \tau = \frac{y}{\beta} = \frac{5.6}{5} = 6$

AA	ZZ	BB	XX	CC	yy	AA	ZZ	BB	XX	CC	yy	
A	ZZ	BB	XX	CC	yy	AA	ZZ	BB	XX	CC	yy	A



Hình 2.4 Dây quấn xếp 2 lớp với  $Z = 24, 2p = 2, q = 5, \beta = 5/6$ .

**Cách vẽ:** Đầu tiên ta phân bố cuộn dây theo vùng pha với  $q = 2$  cho mỗi vùng. Nếu rãnh 1 và 2 thuộc vùng pha A thì vùng pha B phải đặt ở rãnh 5, 6 vì pha B cần phải dịch chuyển so với pha A là  $120^\circ$  tức 4 rãnh ( $1 + 4 = 5, 2 + 4 = 6$ ).

Pha C cũng dịch chuyển tương đối với pha B và chiếm các rãnh ( $5 + 4 = 9$ ,  $6 + 4 = 10$ ). Còn khoảng rãnh từ 13...24 cũng được phân bố xen kẽ các pha A, B, C với cùng 1 quy luật như vậy (pha A: 13, 14, pha B: 17, 18, pha C: 21, 22). Như vậy một nửa vùng pha và lớp trên đã được phân bố, còn các vùng pha khác cũng được phân bố theo các pha A, B, C và được kí hiệu tương ứng X, Y, Z. Lúc này vùng X thuộc pha A dịch chuyển so với vùng A là  $t = 6$  tức là ở các rãnh ( $1 + 6 = 7$ ,  $2 + 6 = 8$ ,  $13 + 6 = 19$ ,  $14 + 6 = 20$ ). Tương tự vùng Y thuộc pha B ở các rãnh ( $5 + 6 = 11$ ,  $6 + 6 = 12$ ,  $17 + 6 = 23$ ,  $18 + 6 = 24$ ). Còn vùng Z thuộc pha C ở các rãnh ( $9 - 6 = 3$ ,  $10 - 6 = 4$ ,  $21 - 6 = 15$ ,  $22 - 6 = 16$ ). Sự khác nhau ở các vùng pha A, B, C và X, Y, Z là sức điện động ở các cạnh tương ứng của nó.

### b) Dây quấn sóng:

*Trình tự xây dựng sơ đồ dây quấn sóng hai lớp:*

*Bước 1:* Lấy số liệu Z, 2p. Suy ra  $\tau$  và kiểm tra lại các điều kiện Z và  $\tau$ .

*Bước 2:* Chọn bước quấn dây tổng hợp y

$$y = \frac{(Z \pm b)}{p}$$

- ❖ Khi  $Z = np$  (n là số nguyên) chọn  $b = 0$ . Trường hợp này tương ứng với Z là bội số của p.
- ❖ Khi số cạnh tác dụng trong rãnh là 2 hay là bội số của 2 (4, 6, 8,...) ta thường chọn  $b = 1$ .
- ❖ Khi trong một rãnh chỉ có một cạnh tác dụng, ta chọn  $b = 2$ .

*Bước 3:* Gọi N là tổng số cạnh tác dụng của bộ dây quấn.

- Nếu  $(N/6)$  là số chẵn thì một nhánh trong một pha có  $(N/6)$  cạnh tác dụng.
- Nếu  $(N/6)$  là số lẻ thì một nhánh trong một pha có  $(\frac{N}{6} - 1)$  cạnh tác dụng, nhánh còn lại có  $(\frac{N}{6} + 1)$  cạnh tác dụng.

*Bước 4:* Lập bảng số xác định cách quấn dây, bảng số thiết lập như sau:

- Chia bảng dây quấn thành 2p cột.
- Lần lượt ghi lớp trên, lớp dưới, lớp trên, lớp dưới, ... vào đầu mỗi cột biểu thị cho cạnh tác dụng trên và dưới của mỗi bố dây. Sau đó, ghi số thứ tự rãnh vào mỗi ô. Gọi  $y_1$  là bước bố dây và bước  $y_2$  tính như sau:

$$y_2 = y - y_1.$$

Ta ghi số sau cách số trước một bước  $y_1$ , rồi  $y_2$ .

- Mỗi khi ghi hết một dòng, trước khi viết ô đầu của dòng tiếp theo, ta xem mạch có bị khép kín sớm hay không. Nếu có sự khép kín mạch sớm thì phải tăng hay giảm bước  $y_2$  một đơn vị.
- Nếu sơ đồ quấn dùng cho stator thì phải tiến hành biện pháp vừa nêu bình thường ở trên, ngược lại nếu dây quấn dùng cho rotor ta phải chú ý cách đặt đầu dây vào mỗi pha ở các số rãnh  $1; \left(1 + \frac{Z}{3}\right);$  và  $\left(1 + \frac{2Z}{3}\right)$  vào vị trí ô thích hợp đứng đầu mỗi nhánh (trừ trường hợp 2p là bội số của 3).

- Lập bảng số qui định đầu dây, suy ra số thanh nối chuyển hướng trong mỗi pha.

**Bước 5:** Thực hiện sơ đồ khai triển dây quấn. Nên vẽ các thanh chuyển hướng và các đầu vào ra của mỗi nhóm bố trí trước tiên.

Hình dạng của bảng số xác định các nhóm của các pha được mô tả trong hình vẽ sau.

Bảng xác định cách đấu các pha:

Lớp trên	Lớp dưới	Lớp trên	Lớp dưới	...	Lớp trên	Lớp dưới

**2p cột**

Nhóm bố trí dây	Pha	Đầu		
		Vào	Ra	CH
	A			
	C			
	B			
	A			

CH: Chuyển hướng

Tổng số hàng của bảng xác định cách đấu cho bố trí dây gồm  $\frac{Z.U_r}{2p}$  hàng, với

$U_r$ : là số cạnh tác dụng trong một rãnh.

**Chú ý:** Cũng như dây quấn xếp, dây quấn sóng bước ngắn cũng làm cho đặc tính điện của máy tốt hơn.

**Thí dụ:** Dây quấn sóng 3 pha, 2 lớp có  $Z = 24, 2p = 4$ .

Bước tổng hợp:

$$y = \frac{Z}{p} = \frac{24}{2} = 12$$

Chọn bước bố trí dây  $y_1$  là bước ngắn, với  $y_1 = 5$

Bước dây  $y_2 = 12 - 5 = 7$ .

Số rãnh của 1 pha dưới 1 cực:

$$q = \frac{Z}{2mp} = \frac{24}{3 \cdot 4} = 2$$

Số phần tử  $S = Z = 24$ .

• Bảng xác định cách đấu các pha:

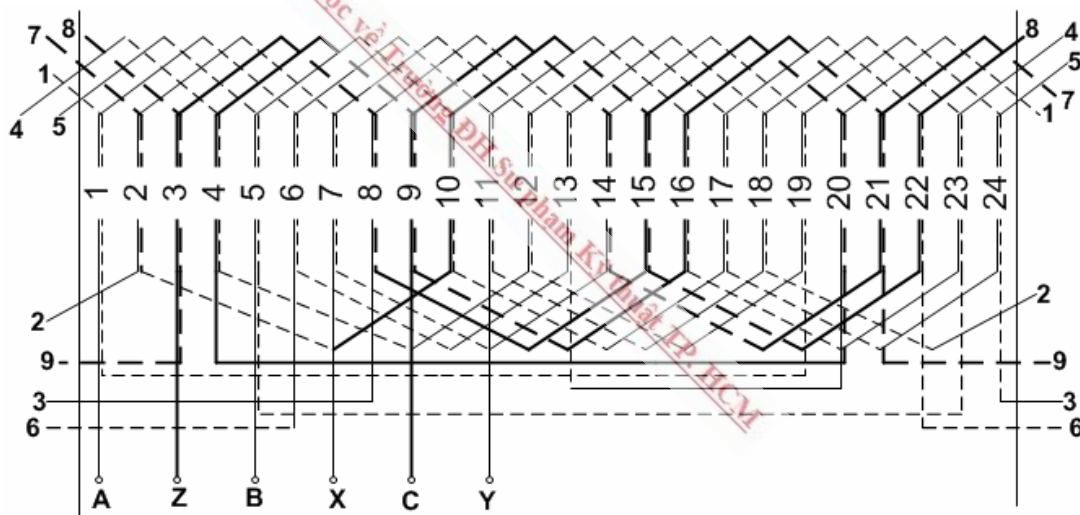
Bảng có 4 cột tương ứng với 4 cực. Số hàng =  $\frac{24 \cdot 2}{4} = 12$  (hàng)

$+(y_2 + 1)$



Lớp trên	Lớp dưới	Lớp trên	Lớp dưới
1 +y <sub>1</sub>	6' +y <sub>2</sub>	13 +y <sub>1</sub>	18'
2	7'	14	19'
3	8'	15	2'
4	9'	16	21'
5	10'	17	22'
6	11'	18	23'
7	12'	19	24'
8	13'	20	1'
9	14'	21	2'
10	15'	22	3'
11	16'	23	4'
12	17'	24	5'

} Nhóm 1  
 } Pha A.  
 } Nhóm 2.  
 } Pha C.  
 } Nhóm 3  
 } Pha B  
 } Nhóm 4  
 } Pha A  
 } Nhóm 5  
 } Pha C  
 } Nhóm 6  
 } Pha B



Hình 2.5 Dây quấn sóng 2 lớp với  $Z = 24$ ,  $2p = 4$ ,  $q = 2$ ,  $\beta = 5/6$

### § 2.3. DÂY QUẤN 3 PHA CÓ Q LÀ PHÂN SỐ

Ta có 2 phương pháp bố trí dây quấn (khi q là phân số) đó là phương pháp bố trí theo Clement và phương pháp bố trí theo Py δ o.

- ❖ Đối với phương pháp Clement, ta có thể bố trí dây quấn theo dạng 1 lớp hay 2 lớp. Tuy nhiên dạng 2 lớp chỉ là biến dạng suy ra từ kết cấu 1 lớp. Và phương pháp Clement sẽ không sử dụng được stator hay rotor có số rãnh lẻ, vì lúc đó dây quấn 1 lớp không bố trí được nên cũng không tìm ra được dạng dây quấn 2 lớp.
- ❖ Phương pháp bố trí theo Py δ o chỉ thích hợp cho dây quấn 2 lớp với Z chẵn hay lẻ đều được.

#### Trình tự xây dựng sơ đồ dây quấn 1 lớp, q phân số theo Clement:

*Bước 1:*

Xác định Z. 2p, sau đó tính ra:  $\tau, q, \alpha_d$ .

Viết q dưới dạng sau:

$$q = b + \frac{c}{d}$$

Trong đó b, c, d là số nguyên ( $c < d$  và  $c/d$  là phân số tối giản không rút gọn được).

*Bước 2:* Lập bảng số xác định phân bố rãnh cho 3 pha.

- Bảng số thành lập gồm 3 cột (tương ứng 3 pha A, B, C) số hàng của bảng luôn luôn bằng 2p.
- Sau khi kẻ xong bảng, ta điền các giá trị vào các ô chứa trong bảng (tổng số ô trong bảng là 6p ô).

Giá trị của mỗi ô xác định như sau:

⚡ Nếu  $\left(\frac{c}{d}\right) < 0,5$ : ta ghi giá trị b cho mỗi ô trong bảng.

⚡ Nếu  $\left(\frac{c}{d}\right) > 0,5$ : ta ghi giá trị (b + 1) cho mỗi ô trong bảng.

⚡ Nếu  $\left(\frac{c}{d}\right) = 0,5$ : ta ghi giá trị b hay (b + 1) cho mỗi ô trong bảng.

*Bước 3:* Bảng số thành lập trong bước 2 là bảng phân bố rãnh cho mỗi pha trên mỗi khoảng bước cực. Nếu cộng tổng số các giá trị ghi cho các ô trong bảng, giá trị này có thể:

- Nhỏ hơn tổng số rãnh thực Z của động cơ, nếu mỗi ô ghi giá trị b.
- Lớn hơn tổng số rãnh Z của động cơ, nếu mỗi ô ghi giá trị (b + 1).

Như vậy trong bước 3 ta điều chỉnh các giá trị ghi theo bảng 2 để có phân bố rãnh đúng theo tổng số rãnh thực Z đang có trên stator.

Phương pháp tăng hay giảm số rãnh phân bố trong bảng phân bố rãnh ở bước 2 được thực hiện như sau:

- Từ ô đầu tiên ta đánh dấu \*, sau đó bắt đầu đếm từ trái sang phải, từ trên xuống dưới một khoảng cách bằng đúng số cực  $2p$ , dừng lại tại ô nào đánh tại ô đó; tiếp tục thực hiện phép đánh dấu bằng phương pháp này cho đến khi về đúng ô mở đầu.
- Trên cùng một cột ngay hàng bên dưới của các ô vừa được đánh dấu, ta đánh dấu tiếp. Thông thường, với phương pháp trên mỗi lần đánh dấu trên bảng ta có 6 hay bội số của 6 ô được đánh dấu.
- Tại các ô đã đánh dấu ta điều chỉnh giá trị ghi trong mỗi ô theo qui tắc sau:
  - Nếu trị số ghi trong ô là  $b$  ta chỉnh thành  $(b + 1)$ .
  - Nếu trị số ghi trong ô là  $(b + 1)$  ta chỉnh thành  $b$ .

**Bước 4:** Căn cứ theo giá trị trong bảng phân bố theo Clement vừa hiệu chỉnh ta xác định phân bố rãnh cho mỗi pha trên mỗi bước cực.

Sau đó, tùy theo dạng sơ đồ dây quấn 1 lớp muốn thực hiện ta vẽ sơ đồ (phương pháp vẽ sơ đồ lúc này thực hiện tương tự như đã thực hiện ở dây quấn 1 lớp  $q$  nguyên).

**Thí dụ:** Vẽ sơ đồ khai triển dây quấn cho động cơ 3 pha có  $Z = 30$ ,  $2p = 4$ .

Ta có:  $\tau = \frac{Z}{2p} = \frac{30}{4} = 7,5$

$$q = \frac{Z}{2pm} = \frac{30}{4.3} = \frac{5}{2} = 2 + \frac{1}{2}$$

Vậy  $b = 2$ ,  $c = 1$ ,  $d = 1$ .

**Lập bảng phân bố:**

A	C	B
2*	2	2
2*	2*	2
2	2*	2*
2	2	2*

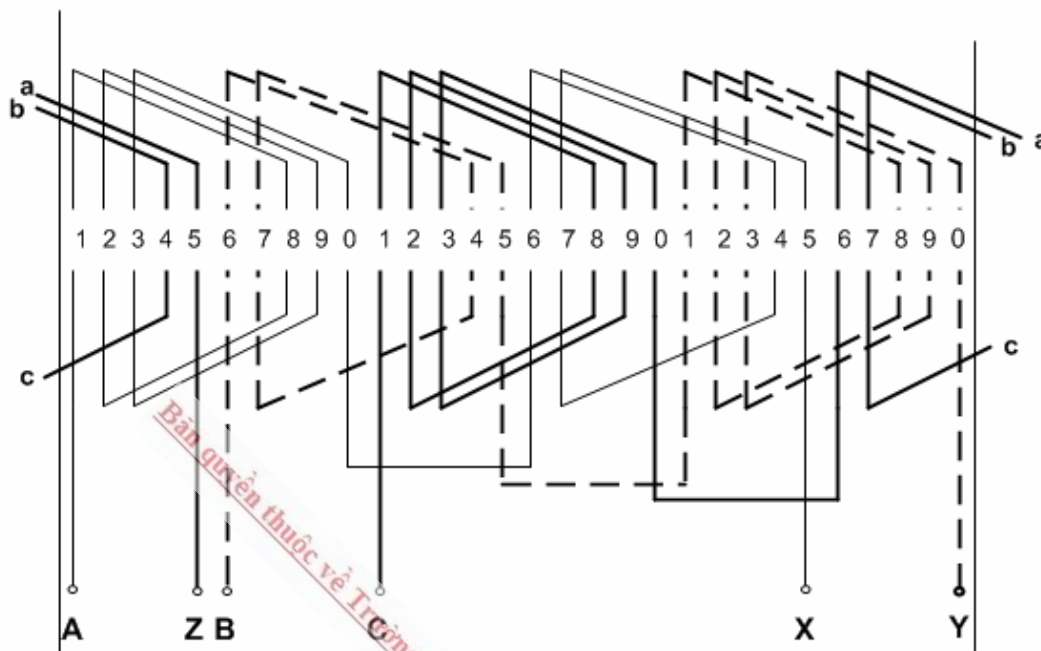
A	C	B
3	2	2
3	3	2
2	3	3
2	2	3

### Trình tự xây dựng sơ đồ dây quấn theo $P\gamma\delta o$ .

Bước 1: Xác định  $Z, 2p$ , sau đó tính ra:  $\tau, q, \alpha_d$ .

Viết  $q$  dưới dạng sau:

$$q = b + \frac{c}{d}$$



Hình 2.6 Dây quấn 1 lớp đồng khuôn tập trung, đầu vào 2 pha liên tiếp lệch  $120^\circ$   
( $Z = 30; 2p = 4$ ; Phân bố theo Clement).

Trong đó  $b, c, d$  là số nguyên ( $c < d$  và  $c/d$  là phân số tối giản).

Bước 2: Căn cứ các giá trị  $b, c, d$  ta lập nhóm số thứ tự theo qui tắc sau:

- ✚ Viết con số có giá trị bằng  $(b + 1)$  thành  $c$  lần.
- ✚ Viết con số có giá trị bằng  $b$  thành  $(d - c)$  lần.

Sau đó, tính tổng các số hạng của nhóm số thứ tự vừa lập, một cách tổng quát ta xác định như sau:

$$\left( \begin{array}{l} \text{Tổng các số hạng} \\ \text{của nhóm số thứ tự} \end{array} \right) = (b + 1)c + b(d - c) = bc + c + bd - bc$$

Xác định tỉ số  $M$  được định nghĩa là:

$$M = \frac{Z}{c + bd}$$

$$\text{Vì } q = b + \frac{c}{d} = \frac{bd + c}{d}$$

$$\text{Hay } qd = bd + c$$

$$\text{Vậy } M = \frac{Z}{qd} = \frac{Z}{d \left( \frac{\tau}{3} \right)} = \frac{3Z}{d \left( \frac{Z}{2p} \right)} = \frac{3 \cdot 2p}{d}$$

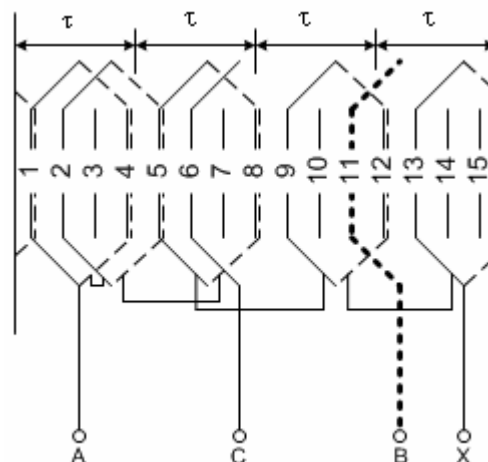
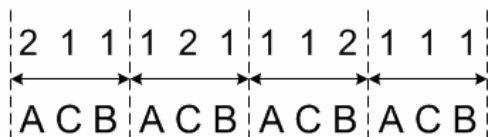
Theo Pyđo, M chính là số lần viết lặp lại nhóm số thứ tự và chuỗi số tuần hoàn tìm được bằng cách viết M lần nhóm số thứ tự xác định xác định phân bố rãnh cho mỗi pha dây quấn trên stator.

**Bước 3:** Chọn y và theo phân bố rãnh định ở bước 2 ta vẽ sơ đồ dây quấn 2 lớp.

**Thí dụ:** Dây quấn 3 pha với q là phân số,  $Z = 15, 2p = 4$ .

$$q = \frac{Z}{2mp} = \frac{15}{12} = 1 + \frac{1}{4}$$

Tức là  $b = 1, c = 1$  và  $d = 4$  và  $q = bd + c = 4 + 1 = 5$  là số rãnh đương lượng (đẳng trị) của 1 pha dưới 1 cực.



Bước cực 1:

Rãnh	1	2	3	4
Pha	A	A	C	B

Bước cực 2:

Rãnh	5	6	7	8
Pha	A	C	C	B

Bước cực 3:

Rãnh	9	10	11	12
Pha	A	C	B	B

Bước cực 4:

Rãnh	13	14	15
Pha	A	C	B

Hình 2.7 Dây quấn 3 pha 2 lớp với  $Z = 15, 2p = 4, q = 1 + \frac{1}{4}$ , phân bố theo pyđo

- Bước cực:  $\tau = m.q = 3.(1 + \frac{1}{4}) = (3 + \frac{3}{4})$  (tính bằng số rãnh)

Chúng ta có thể lấy bước rãnh  $y = 3$ .

Khi đó:  $\beta = \frac{y}{\tau} = \frac{3}{3 + \frac{3}{4}} = \frac{4}{5} = 0,8$

Trong trường hợp này ta có  $d = 4$  nhóm bố dây phân bố trên 4 cực, phải có  $d - c = 4 - 1 = 3$  nhóm có  $b = 1$  bố dây, phải có  $c = 1$  nhóm có  $b + 1 = 1 + 1 = 2$  bố dây.

$$\alpha_d = \frac{p.360}{Z} = \frac{2.360}{15} = 48^\circ$$

## § 2.4. DÂY QUẤN NGẮN MẠCH KIỂU LỒNG SÓC

Dây quấn ngắn mạch kiểu lồng sóc được tạo bởi các thanh dẫn bằng đồng đặt trong rãnh, 2 đầu hàn với 2 đầu ngắn mạch cũng bằng đồng. Các thanh dẫn và vòng ngắn mạch nói trên cũng có thể được đúc bằng nhôm.

Sức điện động của các thanh dẫn kế tiếp lệch pha 1 góc pha  $\alpha_d = \frac{2\pi \cdot p}{z}$  và có thể biểu thị thành hình sao sức điện động có  $z/t$  vector, trong đó  $t$  là ước số chung lớn nhất của  $z$  và  $p$ . Ở trường hợp dây quấn lồng sóc mỗi vector sức điện động ứng với 1 pha và như vậy số pha  $m = \frac{z}{t}$  và nếu có  $t$  hình sao sức điện động trùng nhau thì mỗi pha có  $t$  thanh dẫn ghép song song. Trên thực tế, lúc tính để đơn giản thường xem như mỗi thanh dẫn ứng với 1 pha và như vậy  $m = z$ , số vòng dây của 1 pha  $w = 1/2$  và các hệ số bước ngắn, hệ số quấn rải đối với tất cả các sóng điều hoà  $k_{nv} = k_{rv} = 1$ .

Sơ đồ mạch điện của dây quấn lồng sóc như hình 2-8a.

Trong đó:

+  $r_t$  là điện trở thanh dẫn

+  $r_v$  là điện trở từng đoạn giữa 2 thanh dẫn của vành ngắn mạch.

Để xem dây quấn  $m$  pha đầu hình sao và bị nối ngắn mạch, ta thay thế mạch điện thực nói trên bằng mạch điện tương đương (hình 2-8b) dựa trên cơ sở tổn hao trên điện trở của 2 mạch điện đó phải bằng nhau.

Đối với 1 nút bất kỳ, thí dụ nút 2 ta có:

$$i_{12} = i_{v23} - i_{v12}$$

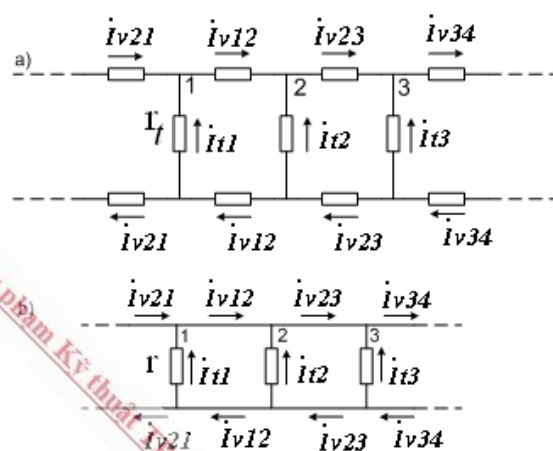
Do dòng điện trong các đoạn chia của vành ngắn mạch cũng lệch pha nhau góc  $\alpha$  như trên hình (2-9) nên:

$$I_t = 2I_v \sin \frac{\alpha}{2} = 2I_v \sin \frac{p\pi}{z}$$

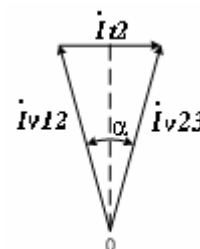
và 
$$I_v = \frac{I_t}{2 \sin \frac{p\pi}{z}}$$

Vì tổn hao trên điện trở của mạch điện thực và mạch điện thay thế của cuộn dây phải bằng nhau, nghĩa là:

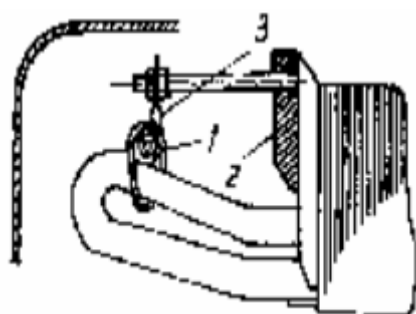
$$Z I_t^2 r_t + 2 Z I_v^2 r_v = Z I_t^2 r$$



Hình 2.8 Sơ đồ mạch điện thực (a) và tương đương (b).



Hình 2.9 Quan hệ dòng điện trong thanh dẫn và dòng điện trong vòng



nên kết hợp với  $l_v$  suy ra được điện trở mỗi pha của dây quấn:

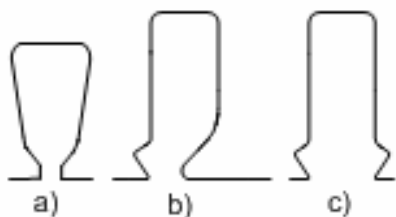
$$r = r_t + \frac{r_v}{2 \sin^2 \frac{p\pi}{z}}$$

Hình 2.10 Rãnh nửa kín (a), rãnh nửa hở (b) và rãnh hở của máy điện xoay chiều.

### § 2.5. CÁCH THỰC HIỆN DÂY QUẤN MÁY ĐIỆN XOAY CHIỀU

Dây quấn máy điện xoay chiều được đặt trên các rãnh trên stator hoặc rotor. Các rãnh này có thể có miệng rãnh nửa kín, nửa hở và hở như trên hình 2.9.

Rãnh nửa kín thường được dùng cho dây quấn stator của máy công suất tới 100kW và điện áp đến 650V. Cách điện rãnh thường dày khoảng (0,35 ÷ 0,65)mm và gồm những phần tử nhiều vòng tiết diện tròn với đường kính (2,2 ÷ 2,5)mm. Khi lồng dây phải cho từng một hoặc hai vòng dây qua miệng rãnh. Rãnh nửa hở thường được dùng cho các máy có công suất lớn từ (300 ÷ 400)kW ở tốc độ 1500vg/ph và đến 650V. Ở



Hình 2.11 Cấu định phân đầu nối của dây quấn rotor.

1. Vòng thép
2. Vành ép thép.
3. Bulong

trường hợp này, bố dây (hay phần tử) được chia làm 2 nửa bố theo chiều rộng của rãnh, các nửa bố đó gồm nhiều vòng dây tiết diện chữ nhật quấn theo khuôn định hình. Các nửa bố dây được bọc vải và khi lồng dây cho cả nửa bố qua miệng rãnh. Rãnh hở thường dùng với các loại máy có công suất lớn, điện áp cao. Trong trường hợp này dây quấn được chế tạo từ dây dẫn có tiết diện hình chữ nhật và các bố được cách điện trước khi đặt vào rãnh.

Sau khi lồng dây vào rãnh, miệng rãnh được nẹp kín bằng các thanh nẹp bằng vật liệu cách điện như tre, gỗ đã được xử lý

gêtinắc, textôlit,... và như vậy tác dụng của bố dây được ép chặt trong rãnh. Nếu dây quấn được đặt ở rotor thì phần đầu nối của nó được đai chặt bằng dây thép để tránh bị tung ra do lực li tâm khi rotor quay. Ở các máy điện công suất lớn, để tránh các lực điện từ rất mạnh lúc xảy ra ngắn mạch làm hỏng phần đầu nối dây quấn Stator, bộ phận này được buộc chặt vào các vòng thép có bulông bắt vào thân máy như hình (2-11).

## § 2.6. DÂY QUẤN 1 PHA.

### 1. Khái niệm

Trong phần ứng stator động cơ 1 hay 2 pha, ta thường bố trí hai dây quấn lệch pha không gian  $90^0$ , và tạo dòng điện qua 2 bộ dây này lệch pha thời gian  $90^0$  (hay gần  $90^0$ ) để tạo ra một từ trường quay tròn khởi động cho động cơ. Nếu pha phụ được cắt khỏi nguồn điện khi tốc độ quay rotor đạt được khoảng 75% tốc độ đồng bộ, động cơ ở dạng 1 pha.

Tương tự như dây quấn stator động cơ 3 pha, dây quấn stator động cơ 1 pha cũng được phân loại thành các dạng:

- Dây quấn 1 lớp đồng khuôn hay đồng tâm.
- Dây quấn 2 lớp.
- Dây quấn sin; hình dạng nhóm bố dây quấn sin giống như nhóm bố dây đồng tâm, nhưng số vòng của mỗi bố trong nhóm bố dây quấn sin không bằng nhau (chênh lệch số vòng giữa mỗi bố dây quấn sin trong 1 nhóm tuân theo 1 tỉ lệ định trước).

Đặc điểm của dây quấn động cơ 1 pha thường không có dạng q phân số như trong dây quấn động cơ 3 pha. Do đó, tổng số rãnh stator phải phân bố theo tỉ lệ định trước cho pha chính và pha phụ.

Thông thường, nếu gọi  $Q_A$ : Tổng số rãnh phân bố cho pha chính.

$Q_B$ : Tổng số rãnh phân bố cho pha phụ.

Ta có tỉ lệ phân bố như sau:

- $Q_A = 3Q_B$
- $Q_A = 2Q_B$
- $Q_A = Q_B$

Phân bố tỉ lệ này chỉ dùng cho trường hợp dây quấn ở dạng 1 lớp hay 2 lớp.

#### ◆ Các công thức và kí hiệu hay dùng cho dây quấn 1 lớp hay 2 lớp:

Gọi  $q_A$  : Số rãnh phân bố cho pha chính trên một bước cực từ.

$q_B$  : Số rãnh phân bố cho pha phụ trên một bước cực từ.

Với các định nghĩa trên, ta có quan hệ sau:

$$Q_A + Q_B = Z \quad (2-1)$$

$$q_A = \frac{Q_A}{2p} \quad (2-2)$$

$$q_B = \frac{Q_B}{2p} \quad (2-3)$$



$$q_A + q_B = \tau \quad (2-4)$$

Tùy theo loại động cơ 1 pha hay 2 pha, khi dùng dây quấn 1 hay 2 lớp ta có thể chọn phân bố:

- ❖  $Q_A = 2Q_B$  hay  $Q_A = Q_B$  khi động cơ ở dạng 2 pha dùng tụ thường trực.
- ❖  $Q_A = 3Q_B$  hay  $Q_A = 2Q_B$  khi động cơ ở dạng 1 pha dùng pha phụ khởi động hay dùng tụ khởi động.

Tuy nhiên, với 1 kết cấu stator, tương ứng với 1 số rãnh stator  $Z$  có trước và với 1 giá trị  $2p$  yêu cầu ta không thể chọn một trong các phân bố trên tùy ý mà phải có điều kiện để cho  $q_A$  và  $q_B$  không phải ở dạng phân số.

Các yêu cầu điều kiện được xác định như sau:

◆ **Điều kiện sử dụng phân bố  $Q_A = Q_B$ :**

Muốn dùng phân bố  $Q_A = Q_B = \frac{Z}{2}$  cho dây quấn stator, ta cần có  $q_A$  và  $q_B$  là các số nguyên.

Khi  $q_A = q_B = \frac{\tau}{2}$  nguyên  $\Leftrightarrow \tau$  là bội số của 2.

Tóm lại:

Muốn sử dụng phân bố  $Q_A = Q_B$  ta cần có điều kiện  $\tau$  là bội số của 2.

◆ **Điều kiện sử dụng phân bố  $Q_A = 2Q_B$ :**

Khi  $Q_A = 2Q_B$  ta có  $Q_A = \frac{2Z}{3}$  và  $Q_B = \frac{Z}{3}$

Muốn  $q_A$  và  $q_B$  là các số nguyên  $\Leftrightarrow q_A = \frac{2\tau}{3}$  nguyên và  $q_B = \frac{\tau}{3}$  nguyên

$\Leftrightarrow \tau$  là bội số của 3.

Tóm lại:

Muốn sử dụng phân bố  $Q_A = 2Q_B$  ta cần có điều kiện  $\tau$  là bội số của 3.

Tương tự, khi xét phân bố  $Q_A = 3Q_B$ , ta suy ra điều kiện như sau:

Muốn sử dụng phân bố  $Q_A = 3Q_B$  ta cần có điều kiện  $\tau$  là bội số của 4.

## 2. Trình tự xây dựng sơ đồ khai triển dây quấn 1 lớp:

Tương tự như ở trường hợp động cơ 3 pha, ta cũng tiến hành tuần tự theo các bước sau đây:

*Bước 1:* Xác định  $Z$  và  $2p$ , sau đó tính ra các giá trị  $\tau$  và  $\alpha_d$ , ta có:

$$\tau = \frac{Z}{2p} \text{ và } \alpha_d = \frac{180^\circ}{\tau}$$

Tùy theo  $\tau$  là bội số của 2, 3 hay 4, chọn phân bố rãnh cho pha chính và pha phụ. Tính  $q_A$  và  $q_B$ .

**Bước 2:** Phân bố rãnh cho pha chính và pha phụ theo  $\tau$ ,  $q_A$  và  $q_B$ .

(phương pháp thực hiện tương tự như trong trường hợp động cơ 3 pha).

**Bước 3:** Tùy theo dạng dây quấn cần vẽ, ta tạo đầu nối cho các nhóm bố dây, vẽ cho pha chính rồi pha phụ.

Một điều khác biệt cho dây quấn của động cơ 3 pha so với 1 pha là đầu vào pha phụ so với pha chính không cần lệch pha  $90^0$  điện. Việc xét lệch pha không gian giữa pha chính và pha phụ được xét theo phương pháp khác.

**Thí dụ 1:** Xây dựng các sơ đồ khai triển dây quấn 1 lớp cho stator động cơ 1 pha có  $Z = 36$  và  $2p = 4$ .

**Giải:**

**Bước 1:** Với  $Z = 36$  và  $2p = 4$ , ta tính được:

- Bước cực  $\tau = 9$  rãnh/bước cực, vậy  $\tau$  có giá trị lẻ và là bội số của 3, do đó chỉ có thể dùng phân bố  $Q_A = 2Q_B$ .

$$Q_A = \frac{2}{3}Z = 24 \text{ rãnh/pha chính.}$$

Vậy

$$Q_B = \frac{1}{3}Z = 12 \text{ rãnh/pha phụ.}$$

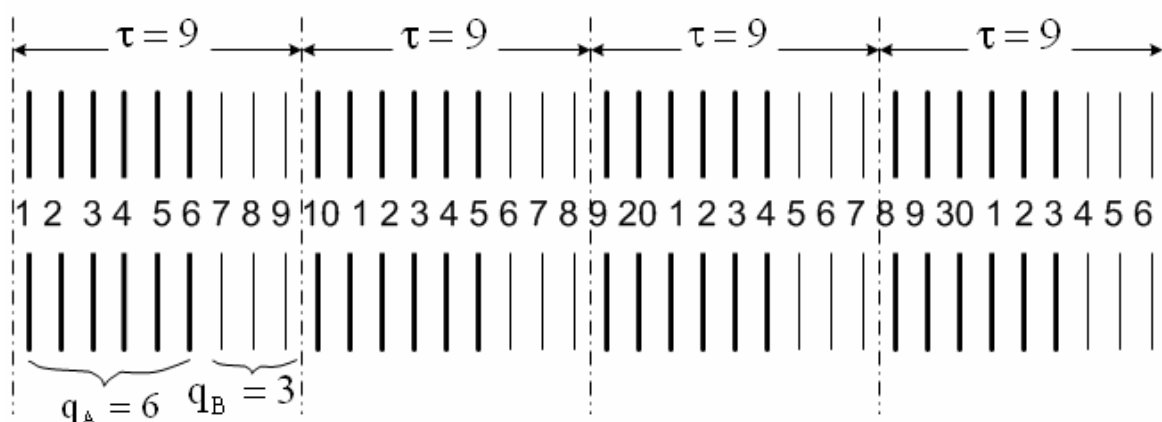
- Số rãnh phân bố cho pha chính trên 1 bước cực  $q_A = 6$  rãnh/pha chính/bước cực.  
Số rãnh phân bố cho pha phụ trên 1 bước cực  $q_B = 3$  rãnh/pha phụ/bước cực.
- Góc lệch điện giữa 2 rãnh liên tiếp  $\alpha_d = \frac{180}{\tau} = 20^0$  điện.

**Bước 2:** Phân bố rãnh cho pha chính và pha phụ.

Căn cứ theo các giá trị  $\tau$ ,  $q_A$  và  $q_B$  ta phân bố rãnh cho stator dây quấn 1 lớp như sau (hình 2-12).

**Bước 3:** Xây dựng sơ đồ khai triển dây quấn 1 lớp.

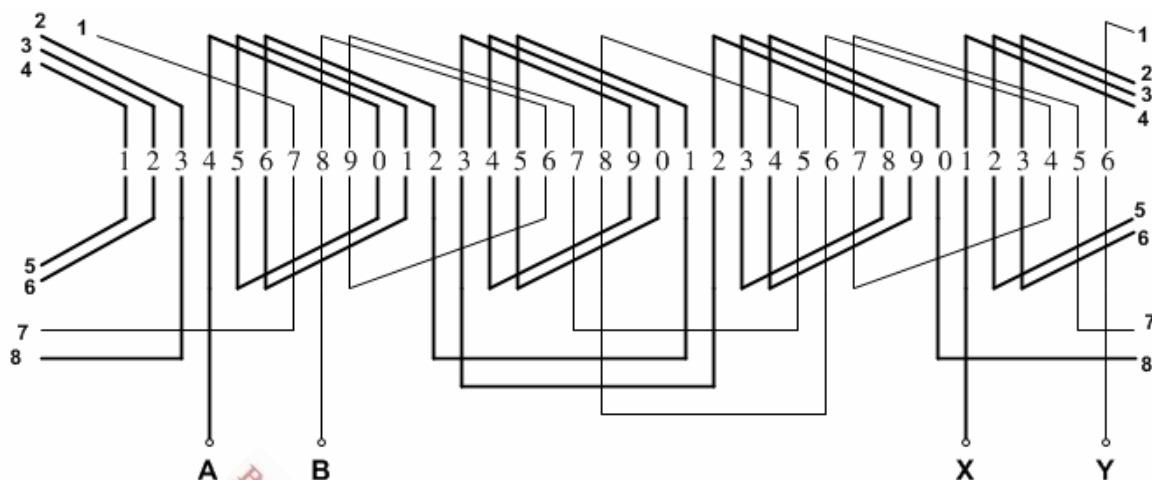
Áp dụng phép vẽ đầu nối tạo các nhóm bố dây như trong trường hợp dây quấn stator động cơ 3 pha, ta có:



Hình 2.12 Phân bố rãnh cho pha chính và pha phụ

$$Z = 36, 2p = 4, Q_A = 2Q_B$$

Trong hình 2.13, dây quấn 1 lớp dạng đồng khuôn phân tán đơn giản.  
 Trong đó, ta kí hiệu các đầu pha chính là A, X và pha phụ là B, Y.



Hình 2.13 Sơ đồ khai triển dây quấn 1 lớp, dạng đồng khuôn phân tán đơn giản  $Q_A = 2Q_B$ ,  $Z = 36$ ,  $2p = 4$ .

### 3. Trình tự xây dựng sơ đồ dây quấn 2 lớp:

**Bước 1:** Xác định các tham số  $Z$  và  $2p$ . Từ đó tính các tham số:

- Bước cực từ  $\tau$ , căn cứ theo giá trị chẵn hay lẻ của  $\tau$  chọn phân bố rãnh cho pha chính và pha phụ. Tính  $Q_A$ ,  $Q_B$  suy ra  $q_A$  và  $q_B$ .
- Chọn bước bố trí dây  $y$ , với  $y_{\min} \leq y \leq (\tau - 1)$

Trong đó  $y_{\min} = \frac{2}{3}\tau$

- Tính  $\alpha_d$ : Góc lệch điện giữa 2 rãnh liên tiếp.

**Bước 2:**

- Căn cứ theo  $\tau$ ,  $q_A$ ,  $q_B$  ta xác định phân bố rãnh cho pha chính và pha phụ.
- Phân bố này xác định vị trí cho các cạnh tác dụng trên của các bố trí dây trong dây quấn 2 lớp.

**Bước 3:**

- Tuỳ theo giá trị  $y$  ta vẽ lần lượt từng nhóm bố trí dây cho pha chính và pha phụ.
- Vẽ hoàn chỉnh pha chính rồi pha phụ.
- Kiểm tra cực tính tạo bởi bộ dây và góc lệch pha vị trí cho 2 pha chính và phụ.

**Thí dụ 2:** Vẽ sơ đồ dây quấn 2 lớp cho stator động cơ 1 pha có  $Z = 36$  và  $2p = 4$ .

**Giải:**

**Bước 1:** Với  $Z = 36$  và  $2p = 4$ , ta tính được:

Bước cực  $\tau = 9$  rãnh/bước cực, vậy  $\tau$  có giá trị lẻ và là bội số của 3, do đó chỉ có thể dùng phân bố  $Q_A = 2Q_B$ .

$$Q_A = \frac{2}{3}Z = 24 \text{ rãnh/pha chính.}$$

Vậy

$$Q_B = \frac{1}{3}Z = 12 \text{ rãnh/pha phụ.}$$

Số rãnh phân bố cho pha chính trên 1 bước cực  $q_A = 6$  rãnh/pha chính/bước cực.

Số rãnh phân bố cho pha phụ trên 1 bước cực  $q_B = 3$  rãnh/pha phụ/bước cực.

Góc lệch điện giữa 2 rãnh liên tiếp  $\alpha_d = \frac{180}{\tau} = 20^\circ$  điện.

**Bước 2:** Phân bố rãnh cho pha chính và pha phụ.

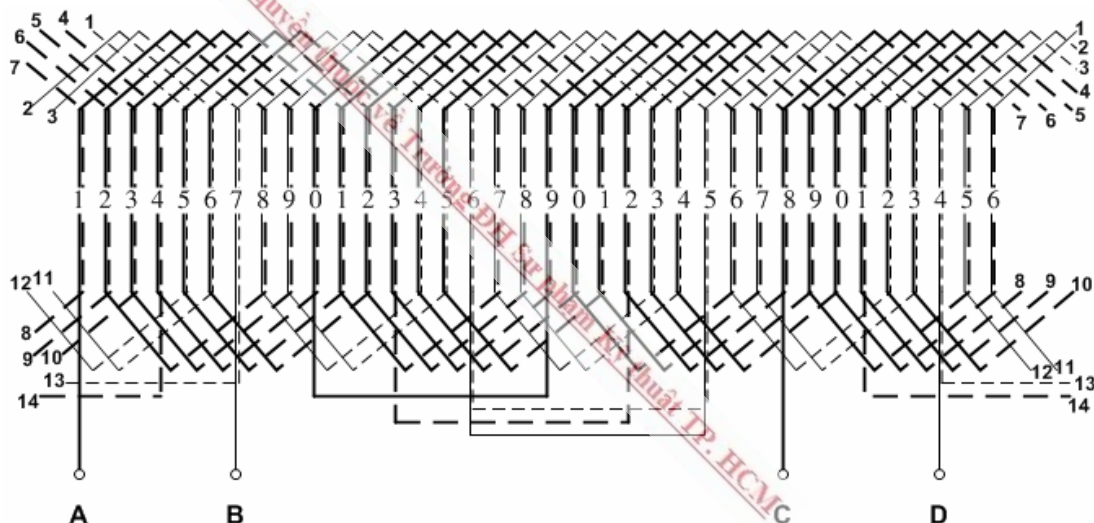
Trong đó  $y_{\min} = \frac{2}{3}\tau = \frac{2}{3}.9 = 6$  rãnh.

$$\tau - 1 = 9 - 1 = 8 \text{ rãnh.}$$

Vậy bước bố trí dây  $y$  chọn trong khoảng  $6 \leq y \leq 8$ .

Giả sử ta chọn  $y = 7$  rãnh.

**Bước 3:** Ta có sơ đồ khai triển dây quấn 2 lớp theo hình 2.14.



Hình 2.14 Sơ đồ dây quấn 2 lớp,  $y = 7$ ,  $Z = 36$ ,  $2p = 4$ ,  $Q_A = 2Q_B$ .

### Câu hỏi:

1. Nguyên tắc quấn dây của dây quấn 3 pha 1 lớp và 2 lớp với  $q$  là số nguyên?
2. Nguyên tắc quấn dây của dây quấn 3 pha 2 lớp với  $q$  là phân số? Ý nghĩa của dây quấn này đối với việc cải thiện dạng sóng sức điện động của dây quấn stator? Phạm vi ứng dụng của nó?
3. Vì sao dây quấn 1 pha chỉ đặt trong  $2/3$  số rãnh của các cực?

### Bài tập:

- 2.1. Dây quấn 3 pha của máy điện xoay chiều có các số liệu sau:  $z = 24$ ,  $2p = 2$ ,  $q = 4$ . Vẽ giản đồ khai triển dây quấn đồng khuôn phân tán đơn giản.
- 2.2. Vẽ giản đồ khai triển dây quấn xếp 3 pha 2 lớp với các số liệu sau:  $z = 36$ ,

$$2p = 4, \beta = 7/9.$$

**2.3.** Vẽ giản đồ khai triển của dây quấn sóng 3 pha 2 lớp với các số liệu sau:

$$Z = 36, 2p = 4$$

*Bản quyền thuộc về Trường ĐH Sư phạm Kỹ thuật TP. HCM*

## CHƯƠNG III: SỨC TỪ ĐỘNG CỦA DÂY QUẤN MÁY ĐIỆN

### XOAY CHIỀU

#### § 3.1. ĐẠI CƯƠNG

Dòng điện chảy trong dây quấn của các máy điện quay tạo ra sức từ động (s.t.đ) của dây quấn và sinh ra từ trường bao quanh dây quấn đó. Để việc nghiên cứu tính toán được dễ dàng người ta thường chia và xét từ trường của dây quấn của máy điện quay ở ba vùng không gian: từ trường ở khe hở giữa stator và rotor, từ trường ở rãnh và từ trường ở phần đầu nối. Trong chương này ta chỉ xét từ trường ở khe hở. Với giả thiết rằng khe hở  $\delta$  là đều và từ trở của lõi thép stator và rotor trên mạch từ không đáng kể, (hệ số dẫn từ  $\mu_{Fe} = \infty$ ), thì sự phân bố từ trường ở khe hở cũng là sự phân bố s.t.đ của dây quấn. Nói chung s.t.đ ở khe hở phụ thuộc vào kiểu dây quấn là tập trung hay quấn rải và vào dòng điện. Khi dòng điện là một chiều thì s.t.đ khe hở là không đổi nếu từ dẫn khe hở không đổi và là đập mạch nếu từ dẫn khe hở thay đổi. Nếu dòng điện là xoay chiều một pha, s.t.đ là đập mạch. Dòng điện xoay chiều m pha (với  $m \neq 1$ ) đối xứng sẽ sinh ra s.t.đ quay tròn; còn dòng điện xoay chiều m pha không đối xứng sẽ sinh ra s.t.đ quay elip.

Để thuận tiện cho việc phân tích s.t.đ của dây quấn máy điện xoay chiều ta cần nhắc lại các khái niệm về s.t.đ đập mạch, s.t.đ quay và quan hệ giữa các s.t.đ đó.

#### ❖ S.t.đ đập mạch.

Biểu thức toán học của s.t.đ đập mạch có thể viết như sau:

$$F = F_m \sin \omega t \cos \alpha \quad (3-1)$$

trong đó  $\alpha$  là góc không gian.

Trong biểu thức trên nếu cho  $t = \text{const}$  thì:

$$F = F_{m1} \cos \alpha = f(\alpha),$$

trong đó  $F_{m1} = F_m \sin \omega t$  là biên độ tức thời của s.t.đ đập mạch và lúc đó sự phân bố của  $F$  là hình sin trong không gian.

Khi  $\alpha = \text{const}$  nghĩa là ở một vị trí cố định bất kỳ, thì:

$$F = F_{m2} \sin \omega t$$

trong đó  $F_{m2} = F_m \cos \alpha$  và trị số của  $F$  ở vị trí đó biến đổi tuần hoàn theo thời gian.

Từ những nhận xét đó ta thấy rằng s.t.đ đập mạch chính là một sóng đứng, trong trường hợp đơn giản này phân bố hình sin trong không gian và biến đổi hình sin theo thời gian (hình 3-1a).

Ta có thể biểu thị s.t.đ đập mạch ở vị trí không gian  $\alpha = 0$  bằng một vector có độ dài thay đổi theo  $t$  như trên hình 3-1b.

#### ❖ S.t.đ quay tròn.

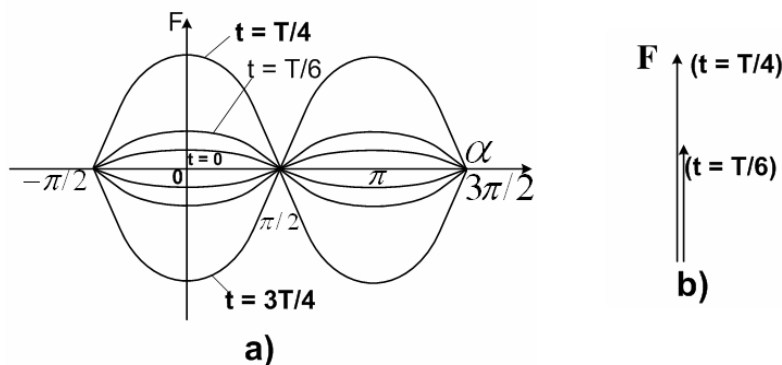
Biểu thức toán học của s.t.đ quay tròn với biên độ không đổi có dạng:

$$F = F_m \sin(\omega t \pm \alpha) \quad (3-2)$$

Thật vậy, giả sử ta xét một điểm bất kỳ tùy ý của sóng s.t.đ có trị số không đổi thì:

$$\sin(\omega t \pm \alpha) = \text{const}$$

hay là  $\omega t \pm \alpha = \text{const}$



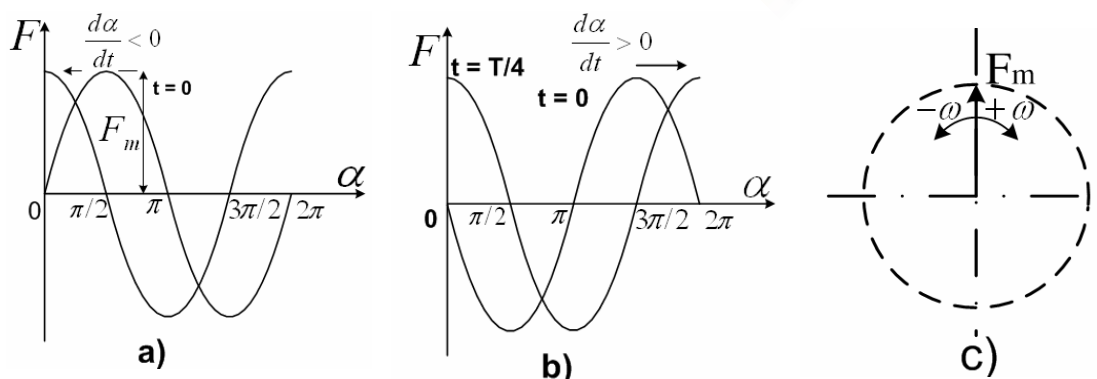
Hình 3.1 a. S.t.đ đập mạch ở các thời điểm khác nhau; b. Vector s.t.đ đập mạch ở  $\alpha = 0$

Lấy vi phân biểu thức đó theo thời gian ta có:

$$\frac{d\alpha}{dt} = \pm \omega \quad (3-3)$$

Đạo hàm của  $\alpha$  theo  $t$  theo biểu thức (3-3) chính là tốc độ góc quay biểu thị bằng rad/s,  $\frac{d\alpha}{dt} < 0$  ứng với sóng quay ngược [dấu “+” trong biểu thức (3-2)].

Hình 3-2a và b cho thấy vị trí của các sóng quay thuận và ngược ở các thời điểm khác nhau.



Hình 3.2 Vị trí của sóng quay ngược (a) và quay thuận (b) ở thời điểm  $t = 0$  và  $t = T/4$ ; (c) biểu thị s.t.đ quay bằng vector quay.

S.t.đ quay tròn có thể biểu thị bằng một vector có độ lớn  $F_m$  không đổi quay với tốc độ góc  $+\omega$  và  $-\omega$ , mút vector đó vẽ thành một hình tròn như trên hình 3-2c. Để thấy rõ quan hệ giữa các s.t.đ đập mạch và s.t.đ quay trước hết chú ý rằng:

$$F_m \sin \omega t \cos \alpha = \frac{1}{2} F_m \sin(\omega t - \alpha) + \frac{1}{2} F_m \sin(\omega t + \alpha) =$$

$$= F_1 + F_2 \quad (3-4a)$$

nghĩa là s.t.đ đập mạch là tổng của hai s.t.đ quay:  $F_1$  quay thuận với tốc độ  $+\omega$  và  $F_2$  quay ngược với tốc độ  $-\omega$ . Biên độ của các s.t.đ quay đó bằng một nửa của s.t.đ đập mạch. Hình 3-3 biểu thị vector s.t.đ đập mạch  $F$  tổng của hai vector s.t.đ quay  $F_1$  và  $F_2$  ở các thời điểm  $t = \frac{T}{4}$  và  $t = \frac{5T}{12}$ .

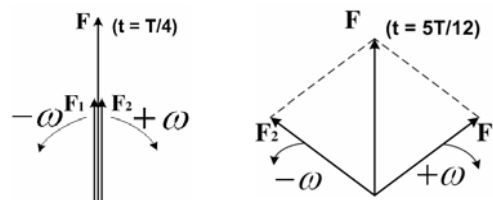
Mặc khác từ biểu thức:

$$F_m \sin(\omega t \pm \alpha) = F_m \sin \omega t \cos \alpha \pm F_m \cos \omega t \sin \alpha$$

$$= F_m \sin \omega t \cos \alpha \mp F_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \cos(\alpha - \frac{\pi}{2}) \quad (3-4b)$$

ta cũng thấy rằng s.t.đ quay tròn là tổng hợp của hai s.t.đ đập mạch khác pha nhau về thời gian là  $\frac{\pi}{2}$  và lệch nhau trong không gian một góc  $\frac{\pi}{2}$ .

❖ **Sức từ động quay elip:** Khi hai s.t.đ đập mạch (của dây quấn hai pha) lệch nhau trong không gian góc  $\frac{\pi}{2}$  nhưng lệch pha nhau về thời gian góc  $\beta \neq \frac{\pi}{2}$ :



Hình 3.3 S.t.đ đập mạch, tổng của 2 s.t.đ quay tròn thuận và ngược.

$$F = F_m \sin \omega t \cos \alpha + F_m \sin(\omega t - \beta) \cos(\alpha - \frac{\pi}{2}) \quad (3-5)$$

hoặc có biên độ khác nhau:

$$F = F_m \sin \omega t \cos \alpha + F_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \cos(\alpha - \frac{\pi}{2}) \quad (3-6)$$

hoặc khi hai s.t.đ đập mạch có biên độ bằng nhau, lệch pha nhau  $\frac{\pi}{2}$  về thời gian

nhưng lệch nhau trong không gian góc  $\gamma \neq \frac{\pi}{2}$ :

$$F = F_m \sin \omega t \cos \alpha + F_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \cos(\alpha - \gamma) \quad (3-7)$$

thì s.t.đ tổng hợp  $F$  của chúng ở cả ba trường hợp trên đều có thể biểu thị bằng một vector quay mà mút vector vẽ thành hình elip. Từ trường quay trong máy là từ trường elip.

Trước hết xét tổng hợp của hai s.t.đ đập mạch theo (3-6):

$$F = F_m \sin \omega t \cos \alpha + F_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \cos(\alpha - \frac{\pi}{2})$$



Phân tích mỗi s.t.đ đập mạch của biểu thức trên thành hai s.t.đ quay tròn theo biểu thức (3-4a), với chú ý rằng  $\sin(\omega t + \alpha - \pi) = -\sin(\omega t + \pi)$  ta có:

$$F = \frac{F_m + F'_m}{2} \sin(\omega t - \alpha) + \frac{F_m - F'_m}{2} \sin(\omega t + \alpha) = F_1 \sin(\omega t - \alpha) + F_2 \sin(\omega t + \alpha) \quad (3-8)$$

Vậy s.t.đ  $F$  là tổng hợp của hai s.t.đ có biên độ khác nhau quay theo hai chiều thuận và ngược với cùng một tốc độ, được biểu thị bằng một vector quay  $F$  mà mút của vector vẽ thành hình elip như trên hình 3-4. Trục lớn  $a$  và trục nhỏ  $b$  của từ trường elip có giá trị bằng:

$$a = 2(F_1 + F_2) = 2F_m$$

$$\text{(ứng với } \alpha = 0, \omega t = \frac{\pi}{2} \text{)}$$

$$b = 2(F_1 - F_2) = 2F'_m$$

Cũng chứng minh tương tự như trên đối với trường hợp hai s.t.đ đập mạch lệch pha nhau về thời gian góc

$\beta \neq \frac{\pi}{2}$ , theo hình (3-5) ta có:

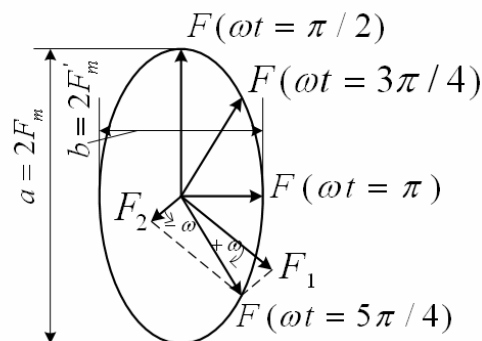
$$F = F_m \sin \omega t \cos \alpha + F_m \sin(\omega t - \beta) \cos(\alpha - \frac{\pi}{2})$$

$$= F_1 \sin(\omega t - \alpha') + F_2 \sin(\omega t + \alpha - \beta) \quad (3-9)$$

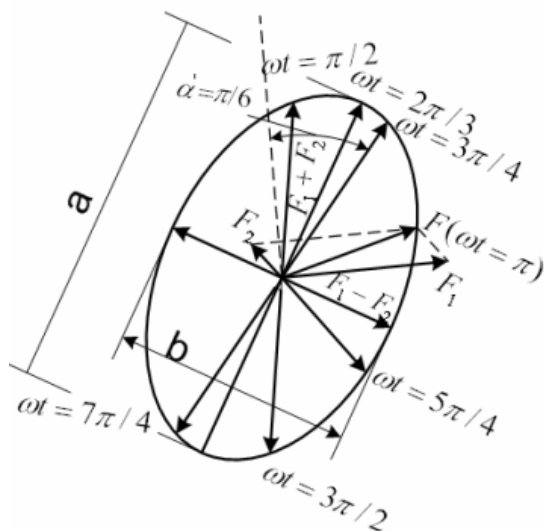
trong đó:  $F_1 = F_m \cos \beta'$ ;  $F_2 = F_m \sin(-\beta')$

$$\text{với } \beta' = \frac{\beta}{2} - \frac{\pi}{4}; \quad \alpha' = \alpha + \frac{\beta}{2} - \frac{\pi}{4}$$

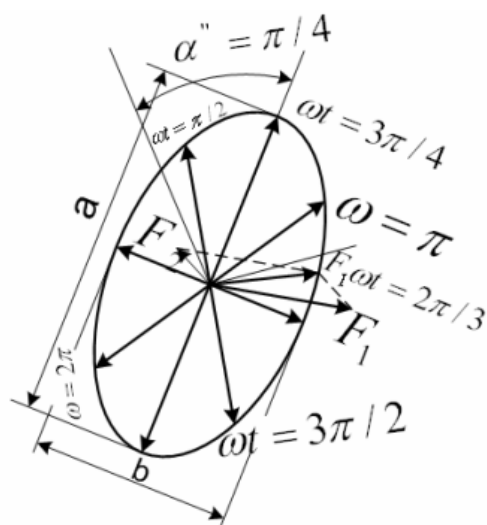
S.t.đ tổng  $F$  ở trường hợp này cũng biểu thị được bằng một vector quay mà mút của vector vẽ thành hình elip có trục lớn  $a = 2(F_1 + F_2)$  ứng với khi  $(\omega t - \alpha') = (\omega t + \alpha - \beta) = \frac{\pi}{2}$  hay là  $\alpha' = \frac{\beta}{2}$  và  $\omega t = \frac{\pi + \beta}{2}$ . Từ trường elip khi hai s.t.đ lệch pha nhau về thời gian góc  $\beta = \frac{\pi}{3}$  được trình bày trên hình 3-5.



Hình 3.4 Từ trường elip theo biểu thức (3-6),  $F_m \neq F'_m$



Hình 3.5 Từ trường elip theo biểu thức (3-5), khi  $\beta = \frac{\pi}{3}$



Hình 3.6 Từ trường elip theo biểu thức (3-7), khi  $\gamma = \frac{\pi}{4}$

Khi hai s.t.đ đập mạch lệch pha nhau trong không gian góc  $\gamma \neq \frac{\pi}{2}$  theo (3-7)

ta có:

$$F = F_m \sin \omega t \cos \alpha + F_m \sin \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right) \cos \left( \alpha - \gamma \right)$$

$$= F_1 \sin \left( \omega t - \alpha' \right) + F_2 \sin \left( \omega t + \alpha' - \frac{\pi}{2} \right), \quad (3-10)$$

trong đó:  $F_1 = F_m \cos \gamma'$   
 $F_2 = F_m \sin \gamma'$

với  $\gamma' = \frac{\pi}{4} - \frac{\gamma}{2}$        $\alpha' = \alpha + \frac{\pi}{4} - \frac{\gamma}{2}$

Ở trường hợp này S.t.đ F cũng là s.t.đ elip. Trục lớn của hình elip là  $a = 2(F_1 + F_2)$  ứng với khi  $\alpha'' = \frac{\pi}{4}$  và  $\omega t = \frac{3\pi}{4}$

Từ trường elip do hai s.t.đ đập mạch lệch nhau trong không gian góc  $\gamma = \frac{\pi}{4}$  được trình bày trên hình 3-6.

Như sẽ thấy ở phần sau của chương này, s.t.đ elip còn được hình thành trong dây quấn nhiều pha khi dòng điện trong các pha không đối xứng. Các thành phần thứ tự thuận và thứ tự ngược của dòng không đối xứng sẽ sinh ra các từ trường quay thuận  $F_1$  và từ trường quay ngược  $F_2$  với cùng một tốc độ. Tổng hợp của  $F_1$  và  $F_2$  sẽ tạo ra từ trường elip.

### § 3.2. SỨC TỪ ĐỘNG CỦA DÂY QUẤN 1 PHA.

Để nghiên cứu sức từ động của dây quấn 1 pha, trước hết ta xét s.t.đ của 1 phần tử sau đó đến s.t.đ của dây quấn 1 lớp gồm có q phần tử và cuối cùng là s.t.đ của 1 pha 2 lớp bước ngắn.

#### 1. Sức từ động của 1 phần tử:

Giả sử ta có 1 phần tử gồm  $W_s$  vòng dây bước đủ ( $y=\tau$ ) đặt ở stator của 1 máy điện như trên hình 3-15a. Khi trong phần tử có dòng điện  $i = I\sqrt{2} \sin \omega.t$  thì các đường sức của từ trường do phần tử có dòng điện  $i$  sinh ra sẽ phân bố như các đường nét chấm.

Theo định luật toàn dòng điện, dọc theo 1 đường sức từ khép kín bất kỳ ta có thể viết:

$$\oint Hdl = i.w_s \quad (3-11)$$

Trong đó  $H$  là cường độ từ trường dọc theo đường sức từ.

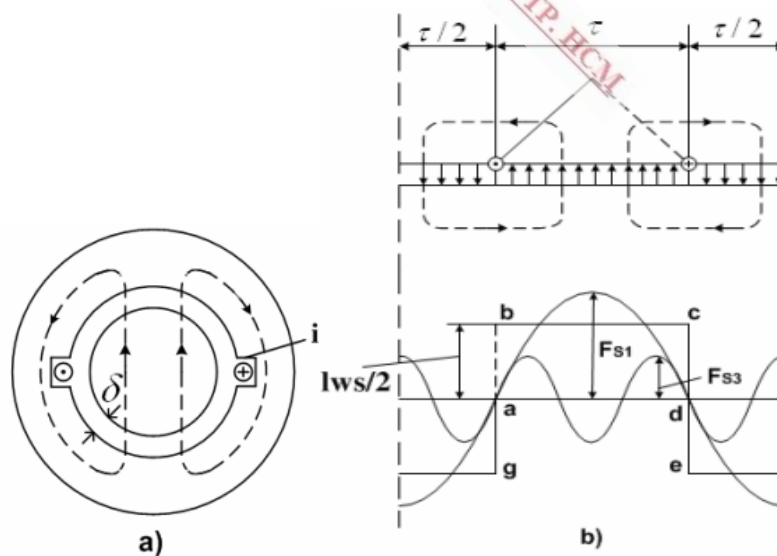
Từ trở của thép rất nhỏ ( $\mu_{Fe} = \infty$ ) nên  $H_{Fe} = 0$  và sức từ động  $i.w_s$  được xem như chỉ cần thiết để sinh ra từ thông đi qua 2 lần khe hở không khí  $\delta$  :

$$H.2\delta = i.w_s \quad (3-12)$$

Như vậy sức từ động ứng với 1 khe không khí bằng:

$$F_s = \frac{1}{2} i.w_s \quad (3-13)$$

Vì  $i = \sqrt{2}I \sin \omega.t$  nên sức từ động  $F_s$  phân bố dọc khe hở theo dạng hình chữ nhật có độ cao  $r$  thay đổi về trị số và dấu theo dòng điện xoay chiều  $i$ .



Hình 3.7 Đường sức từ do dòng điện  $i$  trong phần tử bước đủ sinh ra (a) và đường biểu thị s.t.đ dọc khe hở của máy (b).

Sức từ động phân bố hình chữ nhật trong không gian và biến đổi hình sin theo thời gian đó có thể phân tích theo dãy Fourier thành các sóng điều hòa bậc 1, 3, 5, 7,... với góc toạ độ được chọn như ở trên hình (3-15b) ta có:

$$F_s = F_{s1} \cos \alpha + F_{s3} \cos 3\alpha + \dots + F_{sv} \cos v\alpha + \dots = \sum_{v=1,3,5} F_{sv} \cos v\alpha \quad (3-14)$$

Trong đó:

$$F_{sv} = \frac{2}{\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} F_s \cos v\alpha \cdot d\alpha = \frac{2}{v\pi} F_s \sin v \frac{\pi}{2} \quad (3-15)$$

$$\Rightarrow F_s = \sum F_{smv} \cos v\alpha \sin \omega t \quad (3-16)$$

$$F_{smv} = \frac{2\sqrt{2}}{v\pi} I \cdot w_s \sin v \frac{\pi}{2} = \pm \frac{2\sqrt{2}}{v\pi} I \cdot w_s = \pm 0,9 \frac{I \cdot w_s}{v} \quad (3-17)$$

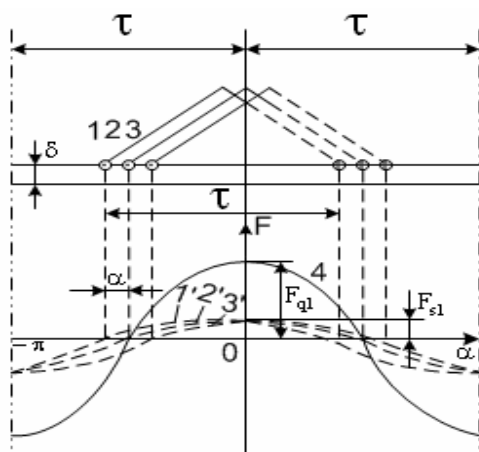
$\left\{ \begin{array}{l} "+" \text{ khi } v = 1,5,9,\dots \\ "-" \text{ khi } v = 3,7,11,\dots \end{array} \right.$

Ta thấy rằng sức từ động của 1 phần tử trong có dòng điện xoay chiều là tổng hợp của  $v$  sóng đập mạch phân bố hình sin trong không gian và biến đổi hình sin theo thời gian.

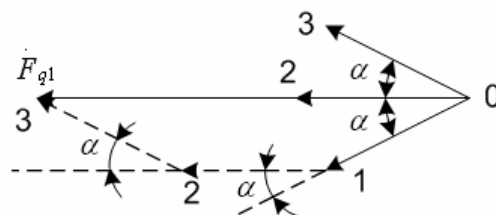
## 2. Sức từ động của dây quấn 1 lớp bước đủ:

Ta xét sức từ động của dây quấn 1 lớp có  $q = 3$  phần tử, mỗi phần tử có  $w_s$  vòng dây như hình (3-8). Sức từ động của dây quấn đó là tổng của ba phần tử phân bố hình chữ nhật và lệch nhau góc không gian  $\alpha = \frac{2\pi \cdot p}{Z}$ . Nếu đem phân tích 3 sóng chữ nhật đó theo cấp số Fourier thì tổng của 3 sóng đó cũng chính là tổng của tất cả các sóng điều hoà của chúng.

Dưới đây ta sẽ cộng các sóng điều hoà cùng bậc của các sức từ động của 3 phần tử, cuối cùng lấy tổng của các sức từ động hợp thành ứng với tất cả các bậc  $v$  để có sức từ động tổng của dây quấn đó.



Hình 3.8 Sức từ động của dây quấn 1 lớp bước đủ có  $q = 3$



Hình 3.9 Cộng s.t.đ của 3 phần tử

Với  $v=1$  ta có 3 sóng sức từ động hình sin cơ bản 1', 2', 3' lệch nhau về không gian góc  $\alpha$  và có thể biểu thị được bằng 3 vector lệch nhau góc không gian  $\alpha$  như trên hình (3-9). Tổng của 3 sóng sức từ động hình sin đó cũng là 1 sóng hình sin (đường 4) và là sóng sức từ động cơ bản của nhóm 3 phần tử đó. Biên độ của nó có trị số bằng độ dài của vector tổng của các vector 1, 2 và 3 trên hình 3-9.

Đối với sức từ động tổng của nhóm phần tử ta có sức từ động cơ bản của nhóm q phần tử:

$$F_{q1} = qk_{r1} \cdot F_{sm1} \quad (3-18)$$

Với sóng bậc  $v$  thì góc lệch giữa các sóng từ động bậc  $v$  và  $v.\alpha$  và vector sức từ động tổng bậc  $v$  có biên độ:

$$F_{qv} = qk_{rv} F_{smv} \quad (3-19)$$

Như vậy sức từ động của dây quấn 1 lớp bước đủ có thể biểu thị như sau:

$$F_q = \sum_{v=1,3,5} qF_{smv} k_{rv} \cos v\alpha \cdot \sin \omega t \quad (3-20)$$

### 3. Sức từ động của dây quấn 1 pha 2 lớp bước ngắn:

Sức từ động của dây quấn 2 lớp bước ngắn có thể được xem như tổng sức từ động của 2 dây quấn 1 lớp bước đủ một đặt ở lớp trên và một đặt ở lớp dưới nhưng lệch nhau góc điện  $\alpha$  như trên hình 3-18.

Đối với sóng cơ bản ( $v=1$ ) góc lệch  $\gamma = (1-\beta)\pi$  trong đó  $\beta = \frac{y}{\tau}$  nên có:

$$F_{r1} = 2F_{q1} \cos(1-\beta) \frac{\pi}{2} = 2F_{q1} k_{n1} \quad (3-21)$$

Tương tự như vậy đối với sóng bậc  $v$ :

$$F_{rv} = 2F_{qv} \cos(1-\beta) \frac{\pi}{2} = 2F_{qv} k_{nv} \quad (3-22)$$

Kết quả là sức từ động của dây quấn 1 pha 2 lớp bước ngắn có thể biểu thị dưới dạng:

$$F_f = \sum_{v=1,3,5} 2qk_{rv} k_{nv} F_{smv} \cos v\alpha \cdot \sin \omega t \quad (3-23)$$

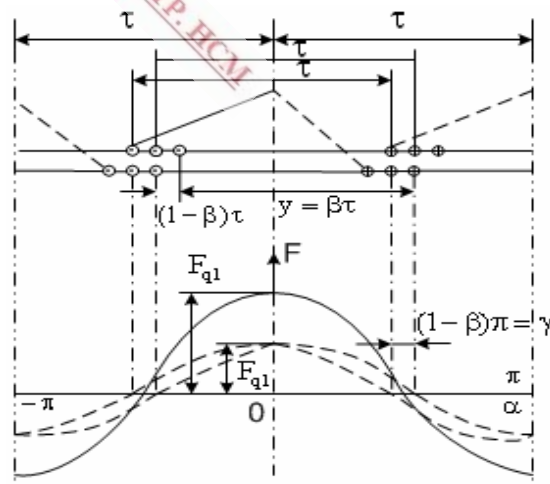
Thay trị số của  $F_{smv}$  và chú ý rằng trong dây quấn 2 lớp số vòng dây của 1 pha

$W = 2pq.w_s$  nên ta có thể viết:

$$F_f = \sum_{v=1,3,5} F_{fv} \cos v\alpha \cdot \sin \omega t \quad (3-24)$$

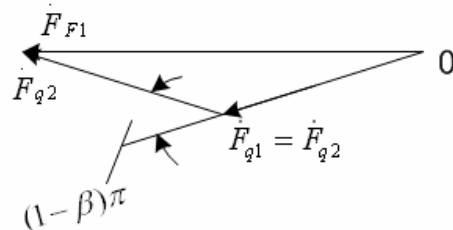
Trong đó:

$$F_f = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{wk_{dqv}}{vp} I = 0,9 \frac{wk_{dqv}}{vp} I \quad (3-25)$$



Hình 3.10 Sức từ động cơ bản ( $v=1$ ) của dây quấn 1 pha 2 lớp bước ngắn

Do đó sức từ động của dây quấn 1 pha là tổng hợp của 1 dãy các sóng đập mạch, nghĩa là phân bố hình sin trong không gian và biến đổi hình sin theo thời gian với tần số của dòng điện chảy trong dây quấn đó.



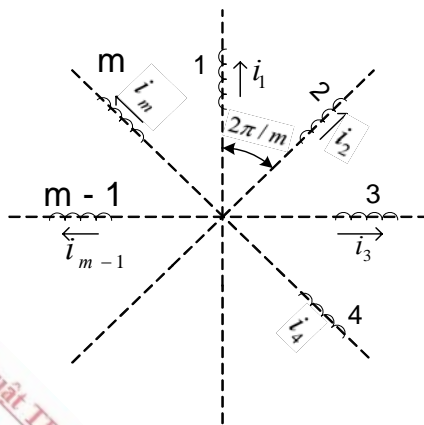
Hình 3.11 Cộng s.t.đ cơ bản (v = 1) của 2 lớp dây quấn 1 pha trên hình 3.10

### § 3.3. SỨC TỪ ĐỘNG CỦA DÂY QUẤN M PHA

Ta hãy xét tổng quát sức từ động của dây quấn m pha rồi từ đó suy ra sức từ động của dây quấn 3 pha (m = 3) và sức từ động của dây quấn 2 pha (m = 2).

Giả sử cho dây quấn m pha đặt lệch nhau về không gian góc điện  $\frac{2\pi}{m}$  (hình 3-20) trong đó có dòng điện m pha đối xứng lệch nhau về thời gian góc  $\frac{2\pi}{m}$ .

$$\left. \begin{aligned} i_1 &= \sqrt{2}I \sin \omega t \\ i_2 &= \sqrt{2}I \sin \left( \omega t - \frac{2\pi}{m} \right) \\ &\dots \\ i_m &= \sqrt{2}I \sin \left[ \omega t - (m-1) \frac{2\pi}{m} \right] \end{aligned} \right\} \quad (3-26)$$



Hình 3.12 Dây quấn m pha

Như đã biết sức từ động của mỗi pha là một sức từ động đập mạch và được biểu thị như sau:

$$\left\{ \begin{aligned} F_1 &= \sum_{v=1,3,5} F_{fv} \sin \omega t \cdot \cos v\alpha \\ F_2 &= \sum_{v=1,3,5} F_{fv} \sin \left( \omega t - \frac{2\pi}{m} \right) \cos v \left( \alpha - \frac{2\pi}{m} \right) \\ &\dots \\ F_m &= \sum_{v=1,3,5,\dots} F_{fv} \sin \left[ \omega t - (m-1) \frac{2\pi}{m} \right] \cos v \left[ \alpha - (m-1) \frac{2\pi}{m} \right] \end{aligned} \right. \quad (3-27)$$

Để có sức từ động của dây quấn m pha ta lấy tổng của m sức từ động đập mạch đó. Muốn cho sự phân tích được dễ dàng, ta có thể phân tích sức từ động bậc v của mỗi pha thành 2 sức từ động quay thuận và ngược. Như vậy sức từ

động của dây quấn m pha sẽ là tổng của tất cả các sức từ động quay thuận và sức từ động quay ngược đó.

Ta có:

$$\begin{aligned}
 F_1 &= F_{fv} \sin \omega t \cos v\alpha = \frac{F_{fv}}{2} \sin(\omega t - v\alpha) + \frac{F_{fv}}{2} \sin(\omega t + v\alpha) \\
 F_2 &= F_{fv} \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{m}\right) \cos\left(\alpha - \frac{2\pi}{m}\right) = \\
 &= \frac{F_{fv}}{2} \sin\left[\left(\omega t - v\alpha\right) + (v-1)\frac{2\pi}{m}\right] + \frac{F_{fv}}{2} \sin\left[\left(\omega t + v\alpha\right) + (v+1)\frac{2\pi}{m}\right] \\
 F_m &= F_{fv} \sin\left[\omega t - (m-1)\frac{2\pi}{m}\right] \cos v\left[\alpha - (m-1)\frac{2\pi}{m}\right] = \\
 &= \frac{F_{fv}}{2} \sin\left[\left(\omega t - v\alpha\right) + (m-1)(v-1)\frac{2\pi}{m}\right] + \\
 &\quad \frac{F_{fv}}{2} \sin\left[\left(\omega t + v\alpha\right) - (m-1)(v+1)\frac{2\pi}{m}\right]
 \end{aligned} \tag{3-28}$$

Trong đó:  $v = 1, 3, 5, \dots$  có thể chia thành 3 nhóm như sau:

$$\left. \begin{aligned}
 1. v &= mk \\
 2. v &= 2mk + 1 \\
 3. v &= 2mk - 1
 \end{aligned} \right\} \tag{3-29}$$

Trước hết ta hãy xét tổng của các sức điện động quay thuận, tức là tổng của các số hạng thứ nhất ở vế phải của các biểu thức trên. Các sức từ động quay thuận đó có thể viết như sau:

$$\left. \begin{aligned}
 F_{1vl} &= \frac{F_{fv}}{2} \sin(\omega t - v\alpha) \\
 F_{2vl} &= \frac{F_{fv}}{2} \sin\left[\left(\omega t - v\alpha\right) + (v-1)\frac{2\pi}{m}\right] \\
 \dots \\
 F_{mvl} &= \frac{F_{fv}}{2} \sin\left[\left(\omega t - v\alpha\right) + (m-1)(v-1)\frac{2\pi}{m}\right]
 \end{aligned} \right\} \tag{3-30}$$

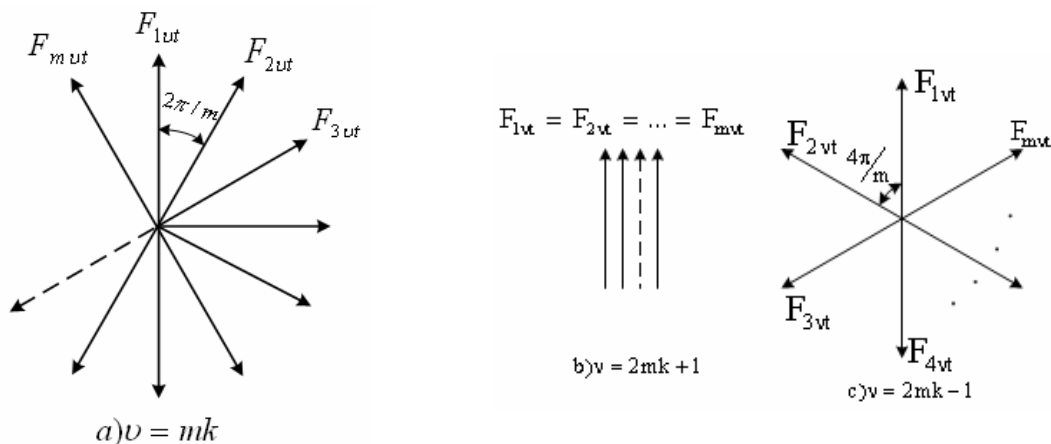
Tổng của chúng là tổng của những sóng quay hình sin lệch nhau góc  $(v-1)\frac{2\pi}{m}$  trong đó  $v$  có trị số xác định như sau:

➤ **Với nhóm**  $v = mk$  :

$$(v-1)\frac{2\pi}{m} = (mk-1)\frac{2\pi}{m} = 2k\pi - \frac{2\pi}{m}$$

Ta thấy với mỗi trị số của  $m, k$  sức từ động đó là những sóng hình sin quay với cùng tốc độ, các vector tương ứng với các sóng sin đó lệch nhau góc  $\frac{2\pi}{m}$  làm thành một hình sao đối xứng (hình 3-13a) do đó tổng của chúng bằng không.

➤ **Với nhóm**  $v = 2mk + 1$  ta có:  $(v-1)\frac{2\pi}{m} = 4\pi k$



Hình 3-13. Cộng các s.t.đ bậc  $v$  của các pha.

Các sức từ động tương ứng với mỗi trị số của  $k$  là những sức từ động quay thuận trùng pha nhau (hình 3-21b) do đó tổng của chúng bằng:

$$F_t = \sum_{v=2mk+1}^m \frac{m}{2} F_{fv} \sin(\omega t - v\alpha) \quad (3-31)$$

➤ Với nhóm  $v = 2mk - 1$ :

$$(v-1) \frac{2\pi}{m} = 4\pi k - \frac{4\pi}{m}$$

Các sức từ động tương ứng với mỗi trị số của  $k$  là những sức từ động quay với cùng tốc độ và lệch nhau  $\frac{4\pi}{m}$  (hình 3-13c) do đó tổng của chúng bằng không.

Tương tự như vậy xét tổng của các sức từ động quay ngược tức là tổng của các số hạng thứ hai ở vế phải của biểu thức trên ta sẽ thấy tổng của các sức từ động có  $v = mk$  và  $v = 2mk + 1$  bằng không. Riêng nhóm sức từ động ứng với  $v = 2mk - 1$  trùng pha nhau nên tổng của chúng là:

$$F_{ng} = \sum_{v=2mk-1}^m \frac{m}{2} F_{fv} \sin(\omega t + v\alpha) \quad (3-32)$$

Như vậy sức từ động của dây quấn  $m$  pha, ta có thể viết gộp lại cho tổng của các sóng quay thuận và quay ngược như sau:

$$F_{(m)} = \sum_{v=2mk \pm 1}^m \frac{m}{2} F_{fv} \sin(\omega t \mp v\alpha) \quad (3-33)$$

Trong đó:

$$\frac{m}{2} F_{fv} = 0,45m \frac{wk_{dqv}}{vp} I \quad (3-34)$$

$$\text{Tốc độ quay của sức từ động quay bậc } v \text{ là } w_v = \pm \frac{w}{v} \text{ hay là } n_v = \pm \frac{n}{v}. \quad (3-35)$$

Điều đó có thể chứng minh bằng cách lấy đạo hàm theo  $t$  của biểu thức  $\omega t \pm v\alpha = \text{const}$  để cho sức từ động bậc  $v$  đó luôn có giá trị không đổi khi quay.



Đối với dây quấn 3 pha ta thay  $m = 3$  lúc đó sức từ động dây quấn ba pha như sau:

$$F_{(3)} = \sum_{v=6k \pm 1} \frac{3}{2} F_{fv} \sin(\omega t \mp v\alpha) \quad (3-36)$$

Trong đó:

$$\frac{3}{2} F_{fv} = 1,35 \frac{wk_{dqv}}{vp} I \quad (3-37)$$

Ta có thể kết luận rằng sức từ động của dây quấn ba pha là tổng của các sức từ động bậc  $v = 6k + 1 = 1, 7, 13, \dots$  quay thuận và các sức từ động bậc  $v = 6k - 1 = 5, 11, 17, \dots$  quay ngược. Biên độ của sức từ động quay bậc  $v$  bằng  $3/2$  lần biên độ của sức từ động một pha bậc  $v$  và tốc độ quay của sức từ động bậc  $v$  là  $n_v = \frac{n}{v}$ .

Đối với dây quấn hai pha đặt lệch nhau trong không gian góc điện  $\frac{\pi}{2}$  thì thay  $m = 2$  vào ta được:

$$F_{(2)} = \sum_{v=4k \pm 1} F_{fv} \sin(\omega t \mp v\alpha) \quad (3-38)$$

Trong đó:  $F_{fv} = 0,9 \frac{wk_{dqv}}{vp} I$

Nghĩa là sức từ động của dây quấn hai pha là tổng của các sức từ động  $v = 4k + 1$  quay thuận và các sức từ động bậc  $v = 4k - 1$  quay ngược. Biên độ của sức từ động quay bậc  $v$  bằng biên độ của sức từ động một pha bậc  $v$ , tốc độ quay của sức từ động bậc  $v$  là  $n_v = \frac{n}{v}$

**Chú thích:**

Khi dòng điện  $m$  pha trong dây quấn  $m$  pha là không đối xứng thì ta có thể phân tích dòng không đối xứng đó thành dòng điện  $m$  pha thứ tự thuận  $I_1$ , dòng điện  $m$  pha thứ tự ngược  $I_2$  và dòng điện  $m$  pha thứ tự không  $I_0$  theo phương pháp các thành phần đối xứng.

Thành phần dòng điện đối xứng thứ tự thuận  $I_{11}, I_{21}, \dots, I_{m1}$  sẽ sinh ra sức từ động của dây quấn  $m$  pha:

$$F_{1(m)} = \sum_{v=2mk \pm 1} \frac{m}{2} F_{fv} \sin(\omega t \mp v\alpha) \quad (3-39)$$

Trong đó:

$$\frac{m}{2} F_{fv} = 0,45m \frac{wk_{dqv}}{vp} I_1$$

Thành phần dòng điện đối xứng thứ tự ngược  $I_{12}, I_{22}, \dots, I_{m2}$  sẽ sinh ra sức từ động của dây quấn  $m$  pha:

$$F_{2(m)} = \sum_{v=2mk \pm 1} \frac{m}{2} F_{fv} \sin(\omega t \pm v\alpha) \quad (3-40)$$

Trong đó:

$$\frac{m}{2} F_{2fv} = 0,45m \frac{wk_{dqv}}{vp} I_2$$

Thành phần dòng điện thứ tự không:

$$i_{01} = i_{02} = i_{03} = \dots = i_{0m} = \sqrt{2} I_0 \sin \omega t.$$

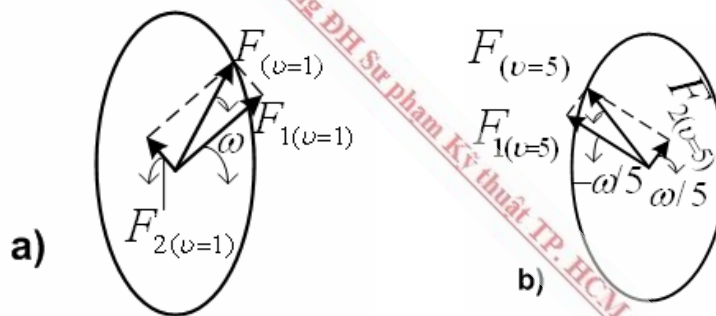
sinh ra trong dây quấn m pha các sức từ động đập mạch cùng pha về thời gian và lệch nhau trong không gian  $\frac{2\pi}{m}$ :

$$\left. \begin{aligned} F_{01} &= F_{0fv} \sin \omega t \cos v\alpha \\ F_{02} &= F_{0fv} \sin \omega t \cos v \left[ \alpha - \frac{2\pi}{m} \right] \\ &\dots \\ F_{0m} &= F_{0fv} \sin \omega t \cos v \left[ \alpha - (m-1) \frac{2\pi}{m} \right] \end{aligned} \right\} \quad (3-41)$$

Với  $v = mk$ , các sức từ động đập mạch do dòng thứ tự không ở m pha lệch nhau  $2k\pi$  trong không gian và cộng số học với nhau.

$$F_{0(m)} = \sum F_{0fv} \sin \omega t \cos v\alpha \quad (3-42)$$

Trong đó:  $F_{0fv} = 0,9m \frac{wk_{dqv}}{vp} I_0$



Hình 3.14. S.t.đ elip của dây quấn 3 pha ở tải không đối xứng. a) Bậc  $v=1$  và b) Bậc  $v=5$

Với  $v = 2mk \pm 1$  các sức từ động đập mạch do dòng thứ tự không ở m pha hình thành hệ vector lệch nhau góc không gian  $\frac{2\pi}{m}$  và có tổng bằng không.

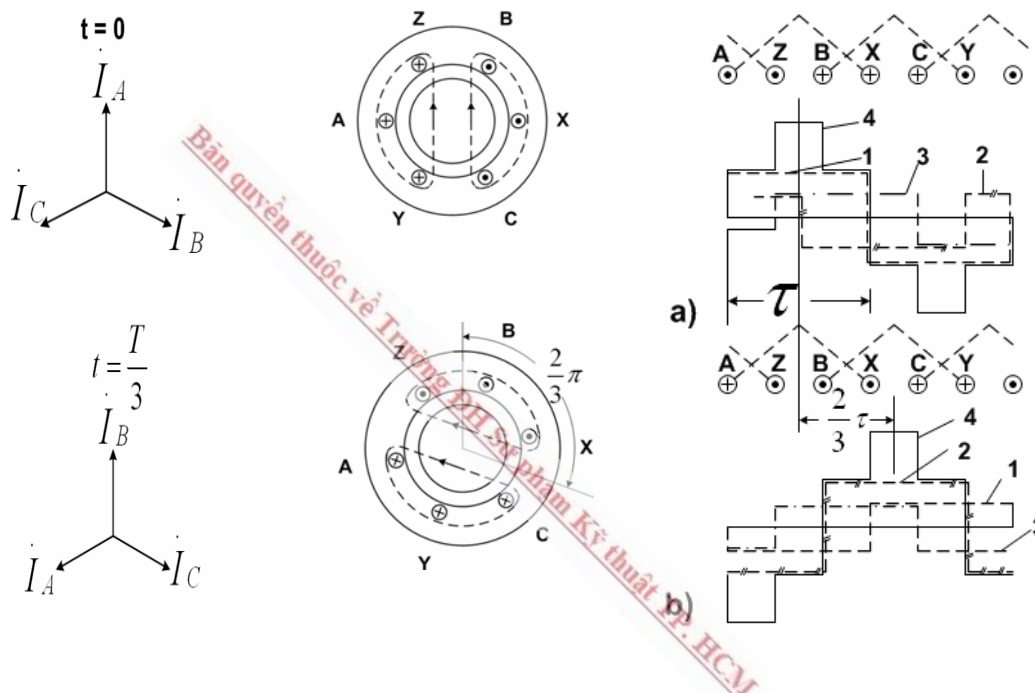
Qua những phân tích ở trên ta thấy sức từ động của dây quấn m pha khi có dòng điện m pha đối xứng chạy qua bao gồm các sức từ động quay và các sức từ động đập mạch. Trong các máy điện xoay chiều các sức từ động đập mạch chủ yếu chỉ sinh ra trong từ trường tản của dây quấn, còn các sức từ động quay sẽ tham gia trực tiếp vào các quá trình biến đổi năng lượng cơ điện, ta thấy các sức từ động quay tròn thuận và ngược cùng bậc, có biên độ khác nhau do  $I_1 \neq I_2$  tổng hợp lại sẽ cho những sức từ động elip.

Đối với dây quấn 3 pha ( $m = 3$ ) ứng với  $v = 1, 7, 13, \dots$  là các sức từ động elip quay thuận,  $v = 5, 11, \dots$  là các sức từ động elip quay ngược.

Hình 3-14 trình bày sức từ động elip ứng với  $v = 1$  và  $v = 5$  của dây quấn 3 pha.

### Phân tích sức từ động của dây quấn m pha bằng phương pháp đồ thị:

Ở trên ta đã nghiên cứu sức từ động của dây quấn m pha bằng phương pháp giải tích và đi đến kết luận rằng dòng điện 3 pha (hoặc 2 pha) chạy trong dây quấn ba pha (hoặc 2 pha) sẽ tạo ra từ trường quay. Ở đây ta sẽ dùng phương pháp đồ thị để chứng minh điều đó.



Hình 3.15 Sức từ động của dây quấn ba pha có  $q = 1, 2p = 2$  ở các thời điểm  $t = 0$  và  $t = T/3$ .

Để đơn giản trước hết ta hãy xét sức từ động sinh ra bởi dòng điện 3 pha  $i_A, i_B, i_C$  chảy trong dây quấn 3 pha A-X, B-Y, C-Z, có  $q = 1, p = 1$  như trên hình (3-15) ở các thời điểm khác nhau.

Giả sử tại thời điểm  $t = 0$  dòng điện pha A là cực đại:

$$i_A = + I_m$$

Còn:  $i_B = i_C = - \frac{I_m}{2}$

và giả sử rằng dòng điện ở pha A có chiều từ X đến A còn ở các pha B và C có chiều từ B đến Y và C đến Z như kí hiệu trên hình (3-15).

Các sức từ động  $F_A, F_B, F_C$  có trị số tỷ lệ với  $\Omega$  dòng điện chảy trong các pha đó phân bố dọc 2 cực như trình bày bằng các đường biểu diễn 1, 2, 3 trên hình (3-15a). Cộng các tung độ của ba đường biểu diễn đó ở từng điểm ta sẽ

được sức từ động tổng của dây quấn 3 pha như đường 4. Ta thấy rằng trị số cực đại của sức từ động tổng trùng với trục của pha A là pha có dòng điện cực đại ở thời điểm  $t = 0$ .

Ở thời điểm  $t = T/3$  thì:

$$i_B = I_m$$

Còn:  $i_A = i_C = -\frac{I_m}{2}$

Lập lại cách vẽ trên ta có các đường biểu diễn sức từ động của từng pha và sức từ động tổng như trên hình (3-18b).

Ta thấy rằng khi dòng điện biến đổi 1 phần ba chu kỳ  $T/3$  thì sức điện động tổng của dây quấn ba pha cũng xô dịch trong không gian khoảng cách  $2\tau/3$  và có trị số cực đại của sức từ động tổng đó trùng với trục của pha B là pha có dòng điện cực đại ở thời điểm  $t = T/3$ .

Từ những kết quả phân tích ở trên ta có thể kết luận như sau:

1. *Sức từ động của dây quấn 3 pha là sức từ động quay.*

Khi dòng điện biến đổi được 1 chu kỳ  $T$  thì sức từ động đó quay được  $2\tau$  trong không gian. Nếu máy có  $p$  đôi cực thì sức từ động đó quay được  $1/p$  vòng. Vậy tốc độ quay của sức từ động là:

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

2. *Trục của sức từ động luôn trùng với trục của pha có dòng điện cực đại:*

Để có phương pháp tổng quát vẽ đường phân bố sức từ động của dây quấn khi  $q \neq 1$ , ta nhận xét rằng trị số của sức từ động tăng tỷ lệ với phụ tải đường A dọc chu vi hở. Do dây quấn chỉ đặt tập trung trong các rãnh nên sức từ động không thay đổi ở khoảng giữa các rãnh mà chỉ thay đổi ở vị trí của rãnh tỷ lệ với tổng đại số các dòng điện trong rãnh đó. Trục ngang của đường biểu diễn được vẽ ở vị trí sao cho hình thành với đường biểu diễn sức từ động đó các diện tích trên và dưới trục ngang bằng nhau, thể hiện rằng từ thông của cực N và cực S phải cùng 1 trị số.

**Trình tự tiến hành như sau:**

1. Vẽ giản đồ khai triển của dây quấn ở hình 9-15 và xác định các vùng pha ở lớp trên và lớp dưới của dây quấn.
2. Xác định trị số của dòng điện ở các pha ở thời điểm cho biết, sau đó xác định trị số và chiều của dòng điện ở các lớp trên và lớp dưới của rãnh và tổng đại số của dòng điện ở trong các rãnh.
3. Vẽ đường phân bố s.t.đ tỷ lệ với tổng đại số các dòng điện trong rãnh.
4. Xác định vị trí của trục ngang.

Chú ý rằng trên hình 3-19 chỉ vẽ đường biểu diễn s.t.đ ứng với một đôi cực của dây quấn.

**Câu hỏi:**

1. Phân biệt s.t.đ đập mạch và s.t.đ quay. Sức từ động trong máy biến áp khác s.t.đ đó như thế nào?
2. Phân tích s.t.đ của dây quấn 1 pha quấn rải bước ngắn. Biểu thức và tính chất của s.t.đ đó?
3. Phân tích s.t.đ của dây quấn 3 pha quấn rải bước ngắn. Biểu thức và tính chất của s.t.đ đó?
4. Tác dụng của bước ngắn và quấn rải đối với s.t.đ?
5. Đặt điện áp xoay chiều 3 pha vào dây quấn ba pha. Giả sử 1 pha bị đứt thì s.t.đ của dây quấn thuộc loại s.t.đ nào?

1. Cho một máy phát điện 3 pha tốc độ quay  $n = 75 \text{ vg/ph}$ , dây quấn 1 lớp, dòng điện đi qua mỗi phần tử  $I = 230 \text{ A}$  (trị số hiệu dụng), số rãnh phần tử  $Z = 480$ , mỗi phần tử có 4 vòng dây, tần số  $f = 50 \text{ Hz}$ . Tính:

- a. Biên độ của các sóng điều hoà s.t.đ bậc 1, 3, 5 của mỗi phần tử khi  $I = I_{dm}$ .
- b. Biên độ của các sức từ động 1, 3, 5 của dây quấn mỗi pha.

**Giải:** a) Biên độ của các sóng điều hoà s.t.đ

$$F_{sv} = \pm \frac{2\sqrt{2}}{\nu\pi} \cdot I \cdot w_s$$

$$\begin{cases} "+" \text{ khi } \nu = 1, 5, 9, \dots \\ "-" \text{ khi } \nu = 3, 7, 11, \dots \end{cases}$$

★ Biên độ của các sóng điều hoà s.t.đ bậc 1:

$$F_{s1} = \frac{2\sqrt{2}}{\nu\pi} \cdot I \cdot w_s = \frac{2\sqrt{2}}{1 \cdot \pi} \cdot 230 \cdot 4 = 828,3 \text{ (A/cực)}$$

★ Biên độ của các sóng điều hoà s.t.đ bậc 3 :

$$F_{s3} = -\frac{2\sqrt{2}}{\nu\pi} \cdot I \cdot w_s = -\frac{2\sqrt{2}}{3 \cdot \pi} \cdot 230 \cdot 4 = -276 \text{ (A/cực)}$$

★ Biên độ của các sóng điều hoà s.t.đ bậc 5:

$$F_{s5} = \frac{2\sqrt{2}}{\nu\pi} \cdot I \cdot w_s = \frac{2\sqrt{2}}{5 \cdot \pi} \cdot 230 \cdot 4 = 165,66 \text{ (A/cực)}$$

b) Biên độ của các sức từ động 1, 3, 5 của dây quấn mỗi pha.

$$F_{fv} = \frac{2\sqrt{2}}{\nu\pi} \cdot \frac{w \cdot k_{dq\nu}}{p} \cdot I$$

$$p = \frac{60 \cdot f}{n} = \frac{60 \cdot 50}{75} = 40$$

$$\tau = \frac{Z}{2p} = \frac{480}{2 \cdot 40} = 6$$

$$y = \tau - 1 = 5$$

$$\beta = \frac{y}{\tau} = \frac{5}{6}$$

$$\alpha_d = \frac{p \cdot 360}{Z} = \frac{40 \cdot 360}{480} = 30^\circ$$

$$q = \frac{Z}{2.m.p} = \frac{480}{2.3.40} = 2$$

$$w = q.p.w_s = 40.2.4 = 320$$

$$k_{dq} = \sin \nu . \beta . \frac{\pi}{2} . \frac{\sin \nu . \frac{q . \alpha_d}{2}}{q . \sin \nu \frac{\alpha_d}{2}}$$

★  $\nu = 1$

$$k_{dq} = \sin \nu . \beta . \frac{\pi}{2} . \frac{\sin \nu . \frac{q . \alpha_d}{2}}{q . \sin \nu \frac{\alpha_d}{2}} = \sin 1 . \frac{5}{6} . \frac{\pi}{2} . \frac{\sin 1.2 . \frac{30}{2}}{2 . \sin 1 . \frac{30}{2}} = 0,933$$

$$F_{fv} = \frac{2\sqrt{2}}{\nu\pi} . \frac{w.k_{dq\nu}}{p} . I = \frac{2\sqrt{2}}{1.\pi} . \frac{320.0,933}{40} . 230 = 1545,6 \text{ (A/cực)}$$

★  $\nu = 3$

$$k_{dq} = \sin \nu . \beta . \frac{\pi}{2} . \frac{\sin \nu . \frac{q . \alpha_d}{2}}{q . \sin \nu \frac{\alpha_d}{2}} = \sin 3 . \frac{5}{6} . \frac{\pi}{2} . \frac{\sin 3.2 . \frac{30}{2}}{2 . \sin 3 . \frac{30}{2}} = -0,5$$

$$F_{fv} = \frac{2\sqrt{2}}{\nu\pi} . \frac{w.k_{dq\nu}}{p} . I = \frac{2\sqrt{2}}{3.\pi} . \frac{320.(-0,5)}{40} . 230 = -276,1 \text{ (A/cực)}$$

★  $\nu = 5$

$$k_{dq} = \sin \nu . \beta . \frac{\pi}{2} . \frac{\sin \nu . \frac{q . \alpha_d}{2}}{q . \sin \nu \frac{\alpha_d}{2}} = \sin 5 . \frac{5}{6} . \frac{\pi}{2} . \frac{\sin 5.2 . \frac{30}{2}}{2 . \sin 5 . \frac{30}{2}} = 0,067$$

$$F_{fv} = \frac{2\sqrt{2}}{\nu\pi} . \frac{w.k_{dq\nu}}{p} . I = \frac{2\sqrt{2}}{5.\pi} . \frac{320.0,067}{40} . 230 = 22,2 \text{ (A/cực)}$$



**PHẦN IV**  
**MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ**

*Bản quyền thuộc về Trường ĐH Sư phạm Kỹ thuật TP. HCM*

# CHƯƠNG I: ĐẠI CƯƠNG VỀ MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

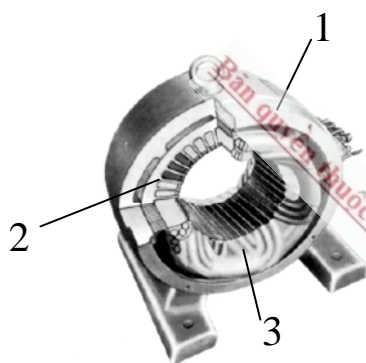
## § 1.1. PHÂN LOẠI VÀ KẾT CẤU

### 1. Phân loại:

- Theo kết cấu của vỏ có thể chia làm các loại: kiểu hở, kiểu bảo vệ, kiểu kín, kiểu chống nổ, kiểu chống rung,...
- Theo kết cấu của rotor chia làm 2 loại: Rotor dây quấn và rotor lồng sóc.
- Theo số pha:  $m = 1, 2, 3$ .

### 2. Kết cấu: Giống như các máy điện quay khác, máy điện không đồng bộ gồm các bộ phận chính sau:

**Phần tĩnh hay stator:** Trên stator có vỏ, lõi thép và dây quấn.



Hình 1.1 Stator của máy điện không đồng bộ.

1. Vỏ máy.
2. Lõi thép.
3. Dây quấn.

#### $\alpha$ . Vỏ máy:

Để cố định lõi thép và dây quấn, không dùng để làm mạch dẫn từ. Thường làm bằng gang hay thép tấm hàn lại.

#### $\beta$ . Lõi thép:

Là phần dẫn từ. Vì từ trường đi qua lõi thép là từ trường quay nên để giảm tổn hao, lõi sắt được làm bằng những lá thép kỹ thuật điện dày 0,35mm hay

0,5mm ép lại. Khi đường kính ngoài lõi thép  $D_n < 990\text{mm}$  thì dùng cả tấm tròn ép lại, 2 mặt có sơn cách điện. Khi  $D_n > 990\text{mm}$  thì phải dùng những tấm hình rẽ quạt (segment) ghép lại thành khối tròn. Mặt trong của thép có xẻ rãnh để đặt dây quấn.

#### $\gamma$ . Dây quấn:

Dây quấn của stator được đặt vào các rãnh của lõi sắt và được cách điện tốt đối với rãnh.

**Phần quay hay rotor:** Gồm lõi thép và dây quấn.

#### $\alpha$ . Lõi thép:

Dùng các lá thép kỹ thuật điện như ở stator. Lõi sắt được ép trực tiếp lên trục quay, phía ngoài có xẻ rãnh để đặt dây quấn.

#### $\beta$ . Dây quấn:

Có 2 loại:

Loại rotor kiểu dây quấn: Rotor có dây quấn giống như dây quấn stator. Dây quấn 3 pha của rotor thường đấu hình sao, còn ba đầu kia được nối vào 3 vành trượt thường làm bằng đồng đặt cố định



Hình 1.2 Rotor dây quấn của động cơ điện không đồng bộ



ở một đầu trục và thông qua chổi than có thể đấu với mạch điện bên ngoài. Khi máy làm việc bình thường dây quấn rotor được nối ngắn mạch.

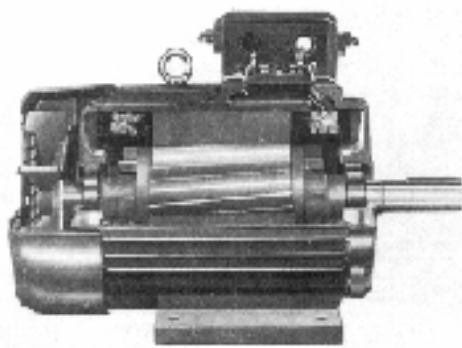


Hình 1.3 Rotor lồng sóc động cơ điện không đồng bộ

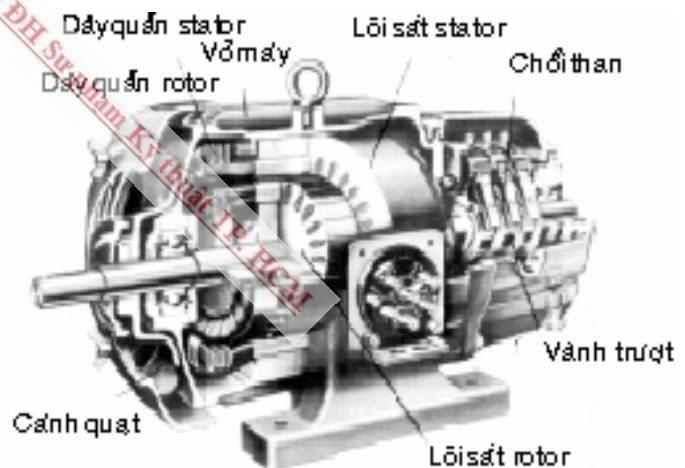
Loại rotor kiểu lồng sóc: Kết cấu của loại dây quấn này rất khác với dây quấn stator. Trong mỗi rãnh của rotor đặt vào thanh dẫn bằng đồng hay bằng nhôm dài ra khỏi lõi thép và được nối tắt lại ở 2 đầu bằng hai vành ngắn mạch bằng đồng hay nhôm làm thành một cái lồng mà người ta quen gọi là lồng sóc (hình 1-3).

c) **Khe hở:** Khe hở trong máy điện không đồng bộ rất nhỏ (từ 0,2 đến 1 mm trong máy điện cỡ nhỏ và vừa), càng nhỏ càng tốt để hạn chế dòng điện từ hoá lấy từ lưới vào.

Kết cấu của động cơ điện không đồng bộ rotor lồng sóc và rotor dây quấn được trình bày trên hình 1.4, hình 1.5.



Hình 1.4 Động cơ điện không đồng bộ



Hình 1.5 Động cơ điện không đồng bộ rotor dây quấn.

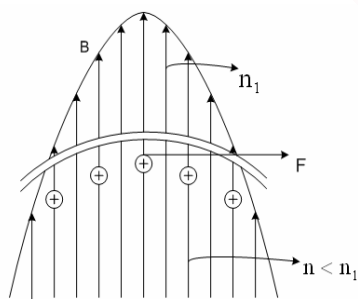
## § 1.2. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC

Máy điện không đồng bộ là loại máy điện làm việc theo nguyên lý cảm ứng điện từ. Khi cho một dòng điện ba pha đi vào dây quấn ba pha đặt trong lõi thép stator thì trong máy sinh ra một từ trường quay với tốc độ đồng bộ  $n_1 = 60f_1/p$ ,  $f_1$  là tần số lưới điện đưa vào,  $p$  là số đôi cực của máy. Từ trường này quét qua dây quấn nhiều pha tự ngắn mạch đặt trên lõi thép rotor và cảm ứng trong đó s.d.đ và dòng điện. Từ thông do dòng điện này sinh ra hợp với từ thông của stator tạo thành từ thông tổng ở khe hở  $\Phi_\delta$ . Dòng điện trong dây quấn của rotor tác dụng với từ thông này sinh ra moment. Tác dụng của nó có quan hệ mật thiết với tốc độ quay  $n$  của rotor, với những phạm vi tốc độ khác nhau thì chế độ làm việc của máy cũng khác nhau. Để chỉ phạm vi tốc độ của mỗi máy, người ta dùng hệ số trượt  $s$ . Theo định nghĩa hệ số trượt bằng:

$$s\% = \frac{n_1 - n}{n_1} \cdot 100$$

Như vậy khi:  $n = n_1 \Rightarrow s = 0$ ;  $n = 0 \Rightarrow s = 1$

$n > n_1 \Rightarrow s < 0$ ;  $n < 0 \Rightarrow s > 1$  (rotor quay ngược chiều từ trường quay)



Hình 1.6 Chế độ động cơ điện của máy điện không đồng bộ

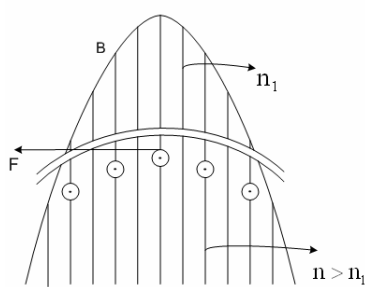
với  $n < n_1$ . Máy làm việc ở chế độ động cơ điện (biến điện năng thành cơ năng).

### 1. Trường hợp rotor quay thuận với từ trường quay nhưng $n_1 > n > 0$ hay $0 < s < 1$ .

Giả sử chiều quay  $n_1$  của  $\Phi_\delta$  và chiều quay  $n$  của rotor như hình vẽ. Do  $n < n_1$  nên chiều chuyển động của thanh dẫn suy ra chiều  $E_r$ ,  $I_r$  được xác định bằng quy tắc bàn tay phải.  $I_r$  tác động với  $\Phi_\delta$

sinh ra lực điện từ  $F$  và moment  $M$  có chiều xác định bằng qui tắc bàn tay trái, moment  $M$  làm rotor quay theo chiều của từ trường quay

### 2. Trường hợp rotor quay thuận và nhanh hơn tốc độ đồng bộ

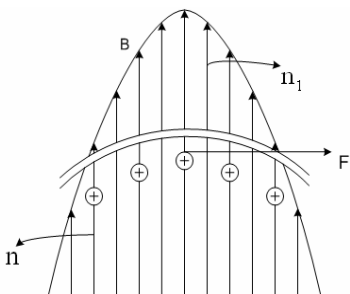


Hình 1.7 Chế độ máy phát điện của máy điện không đồng bộ

$+\infty > n > n_1$  hay  $-\infty < s < 0$ .

Dùng một động cơ sơ cấp quay rotor của máy điện không đồng bộ nhanh hơn tốc độ đồng bộ của từ trường quay  $n > n_1$ . Chiều của từ trường quay quét qua thanh dẫn ngược lại, chiều  $E_r$ ,  $I_r$  đổi chiều nên chiều của moment  $M$  ngược với chiều quay của rotor nên nó là moment hãm. Máy biến cơ năng thành điện năng. Máy làm việc ở chế độ máy phát.

### 3. Trường hợp rotor quay ngược chiều từ trường quay ( $-\infty < n < 0$ hay $+\infty > s > 1$ ).



Hình 1.8 Chế độ hãm điện từ của máy điện không đồng bộ

Vì một lý do nào đó rotor quay ngược chiều với từ trường quay thì lúc đó chiều của  $E_r$ ,  $I_r$ , máy làm việc giống như ở chế độ động cơ điện. Vì moment  $M$  sinh ra ngược chiều với  $n$  nên có tác dụng hãm rotor lại. Trong trường hợp này máy vừa lấy điện năng ở lưới điện vừa lấy cơ năng ở động cơ sơ cấp.

Chế độ làm việc như vậy gọi là chế độ hãm điện từ.

Tóm lại ta có thể biểu thị các chế độ làm việc theo  $s$  và  $n$  như sau:

Chế độ	Hãm điện từ	Động cơ	Máy phát
$n$	$-\infty$	0	$n_1$
$s$	$+\infty$	1	0

Vì máy làm việc ở các tốc độ  $n$  khác  $n_1$  của từ trường quay nên ta gọi là máy điện không đồng bộ.

### § 1.3. CÁC ĐẠI LƯỢNG ĐỊNH MỨC

Máy điện không đồng bộ có các đại lượng định mức đặc trưng cho điều kiện kỹ thuật của máy. Các trị số này do nhà máy thiết kế, chế tạo quy định và được ghi trên nhãn máy. Vì máy điện không đồng bộ chủ yếu làm việc ở chế độ động cơ điện nên trên nhãn máy ghi các trị số định mức của động cơ ứng với tải định mức. Các trị số đó thường bao gồm:

- + Công suất định mức ở đầu trục (công suất đầu ra)  $P_{dm}$  (kW hay W) hoặc  $H_p$  hoặc  $C_v$ ,  $1C_v = 736W$  (theo tiêu chuẩn Pháp),  $1kW = 1,358C_v$ ,  $1Hp = 746W$  (theo tiêu chuẩn Anh).
- + Dòng điện dây định mức  $I_{dm}$  (A).
- + Điện áp dây định mức  $U_{dm}$  (V).
- + Kiểu đấu dây stator.
- + Tốc độ quay định mức  $n_{dm}$  (vg/ph).
- + Hiệu suất định mức  $\eta_{dm}$ .
- + Hệ số công suất định mức  $\cos \varphi_{dm}$ .

Công suất định mức mà động cơ điện tiêu thụ:

$$P_{1dm} = \frac{P_{dm}}{\eta_{dm}} = \sqrt{3}U_{dm} I_{dm} \cos \varphi_{dm}, \quad P_{dm} = \sqrt{3}U_{dm} I_{dm} \cos \varphi_{dm} \eta_{dm}$$

Moment định mức ở đầu trục:

$$M_{dm} = \frac{P_{dm}}{\omega} \cdot \frac{1}{9,81} = 0,975 \frac{P_{dm} (W)}{n_{dm} (vg/ph)} (kGM)$$

Thí dụ:

Typ AM 160 L4 R1	3 ~ Mot	Nr 28600 – 1
Δ / Y 220/380 V	42/24 A	11kW
cos φ 0,77	1455	1/min 50 Hz
Lfr. Y 250 V	25 A	Isol. – KL. B
IP 44	VDE 0530/69	

Hình 1.9 Nhãn máy động cơ điện không đồng bộ rotor dây quấn.

Hình 1.9 là nhãn máy của một động cơ điện 3 pha rotor dây quấn. Các số liệu biểu thị:

Δ/Y 220/380 V: Động cơ có thể hoạt động với điện áp dây nguồn 220 V khi động cơ đấu Δ và 380V khi động cơ đấu Y.

42/24 A: Dòng điện dây định mức tương ứng với mỗi cách đấu Δ/Y.

11kW: Công suất định mức của động cơ.

1455 1/min: Tốc độ quay định mức của động cơ.

50 Hz: Tần số định mức của nguồn.

Lfr. Y 250V: Dây quấn rotor đấu hình Y, điện áp dây rotor 250V.

25A: Dòng điện định mức của rotor.

Isol. – KL.B: Cấp cách điện của động cơ.

IP 44: Loại và kiểu bảo vệ được ghi bằng kí hiệu ngắn, số thứ nhất chỉ cấp bảo vệ chống vật lạ bên ngoài (cấp 4 bảo vệ chống vật lạ bên ngoài  $\phi > 1mm$ ), số thứ hai chỉ cấp bảo vệ chống nước (cấp 4 chống tia nước từ mọi hướng).

#### § 1.4. CÔNG DỤNG CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ.

Máy điện không đồng bộ là loại máy điện xoay chiều chủ yếu dùng làm động cơ điện. Do kết cấu đơn giản, làm việc chắc chắn, hiệu suất cao, giá thành hạ nên động cơ không đồng bộ là loại máy được dùng rộng rãi nhất trong các ngành kinh tế quốc dân. Trong công nghiệp thường dùng máy điện không đồng bộ làm nguồn động lực cho máy cán thép loại vừa và nhỏ, động lực cho các máy công cụ,... Trong hầm mỏ dùng làm máy tời hay quạt gió. Trong nông nghiệp dùng để làm máy bơm hay máy gia công nông sản phẩm. Trong đời sống hàng ngày, máy điện không đồng bộ cũng dần dần chiếm một vị trí quan trọng: quạt gió, máy quay đĩa, động cơ trong tủ lạnh, máy bơm nước, ... Tóm lại phạm vi ứng dụng của máy điện không đồng bộ ngày càng rộng rãi.

Tuy vậy, máy điện không đồng bộ có những nhược điểm như:  $\cos\phi$  của máy thường không cao lắm và đặc tính điều chỉnh tốc độ không tốt nên ứng dụng của nó có phần bị hạn chế.

**Câu hỏi:**

1. Công thức tính tốc độ đồng bộ?
2. Các cách phân loại máy điện không đồng bộ 3 pha? Đặc điểm của từng loại?
3. Tại sao máy điện không đồng bộ được dùng phổ biến nhất?

*Bản quyền thuộc về Trường ĐH Sư phạm Kỹ thuật TP. HCM*

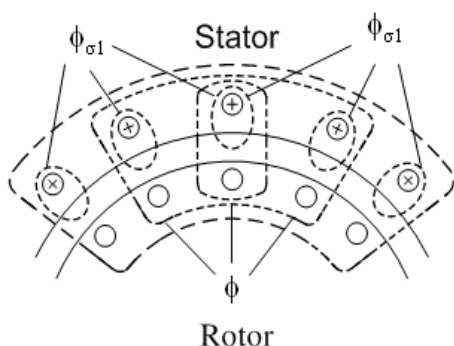
## CHƯƠNG II: CÁC QUAN HỆ ĐIỆN TỪ TRONG MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ.

Ta có thể coi máy điện không đồng bộ như một máy biến áp mà dây quấn stator là dây quấn sơ cấp, dây quấn rotor là dây quấn thứ cấp và sự liên hệ giữa sơ cấp và thứ cấp thông qua từ trường quay. Do đó có thể dùng cách phân tích kiểu máy biến áp để thiết lập các phương trình cơ bản, mạch điện thay thế, đồ thị vector,... Ta chỉ xét đến tác dụng của sóng cơ bản mà không xét đến tác dụng của sóng bậc cao vì tác dụng của chúng là thứ yếu.

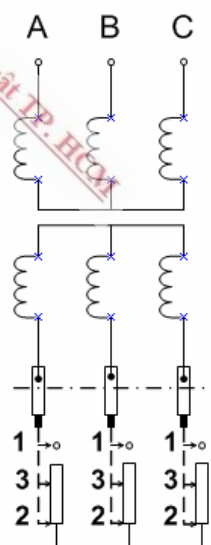
### § 2.1. MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ LÀM VIỆC KHI ROTOR ĐỨNG YÊN.

Mục đích của chúng ta là chứng minh rằng khi rotor đứng yên máy điện không đồng bộ được xem như máy biến áp chỉ khác về phần cấu tạo. Còn về phần bản chất vật lý đều như nhau. Để nghiên cứu một cách hợp lý ta bắt đầu nghiên cứu từ những trạng thái làm việc giới hạn của máy: không tải, ngắn mạch để phần sau mở rộng khái niệm máy điện không đồng bộ cũng như máy biến áp ngay cả ở trường hợp với rotor quay.

#### 1. Không tải của máy điện không đồng bộ khi $n = 0$ (Rotor đứng yên)



Hình 2.2 Từ thông của stator khi rotor hở mạch.



Hình 2.1 Sơ đồ động cơ điện không đồng bộ rotor dây quấn có biến trở

Ta giả thuyết rotor của máy điện không đồng bộ hở mạch (vị trí 1 hình 2.1) và đứng yên, stator được đặt vào lưới điện có điện áp  $U_1$ , tần số  $f_1$ . Trong trường

hợp này máy điện không đồng bộ được xem như máy biến áp lúc không tải. Dưới tác dụng của điện áp  $U_1$  trong stator có dòng điện không tải  $I_0$  tạo nên sức từ động  $F_1$ ,  $F_1$  tạo nên từ thông phần lớn từ thông là  $\Phi$  móc vòng với hai dây quấn của máy, còn phần kia  $\Phi_{\sigma 1}$  chỉ móc vòng với dây quấn stator. Nếu máy có  $p$  đôi cực thì tốc độ đồng bộ  $n_1$  của  $\Phi$  là  $n_1 = 60f_1/p$  (vòng/phút). Từ thông  $\Phi$  sinh ra ở dây quấn stator và rotor các s.đ.đ  $E_1$  và  $E_2$  xác định theo công thức:

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{2}\pi f_1 w_1 k_{dq1} \Phi \\ E_2 &= \sqrt{2}\pi f_1 w_2 k_{dq2} \Phi \end{aligned} \quad (2-1)$$

Từ thông tản  $\Phi_{\sigma 1}$  sẽ tạo nên ở dây quấn stator s.đ.đ tản  $\dot{E}_{\sigma 1}$

$$\dot{E}_{\sigma 1} = -jI_0 x_1$$

với  $x_1$  là điện kháng tản của dây quấn stator.

$$x_1 = \omega.L_1 = 2\pi.f.L_1$$

$L_{\sigma 1}$ : Hệ số tự cảm của dây quấn Stator.

Ngoài ra dây quấn stator còn có điện trở tác dụng  $r_1$ , kể đến sự có mặt của nó dưới hình thức điện áp rơi  $I_0 r_1$ . Phương trình cân bằng s.đ.đ của dây quấn stator của máy điện không đồng bộ tương tự máy biến áp.

$$U_1 = -\dot{E}_1 + I_0 Z_1 \quad (2-2)$$

Đồ thị vector khi không tải của máy điện không đồng bộ tương ứng về nguyên tắc với những đồ thị vector khi không tải của máy biến áp. Nhưng trong quan hệ về lượng giữa đồ thị có một sự khác nhau rõ rệt:

Trong máy điện không đồng bộ:  $I_0 = (20 \div 50)\% I_{dm}$

Trong máy biến áp:  $I_0 = (3 \div 10)\% I_{dm}$

Điện áp rơi trên dây quấn máy điện không đồng bộ khi không tải chiếm  $(2 \div 5)\% U_{dm}$  còn của máy biến áp thường không quá  $(0,1 \div 0,4)\% U_{dm}$ .

Hệ số biến đổi s.đ.đ của máy điện không đồng bộ:

$$k_e = \frac{E_1}{E_2} = \frac{\sqrt{2}\pi f_1 w_1 k_{dq1} \Phi}{\sqrt{2}\pi f_1 w_2 k_{dq2} \Phi} = \frac{w_1 k_{dq1}}{w_2 k_{dq2}} \quad (2-3)$$

Trong máy điện không đồng bộ cũng như trong máy biến áp các đại lượng của dây quấn rôto được quy đổi về dây quấn stator nghĩa là thay cuộn rôto thật bằng một cuộn khác cũng có số vòng dây, bước dây quấn và số rãnh của một pha dưới một cực như là cuộn sơ cấp.

Sức điện động của dây quấn rotor được quy đổi về stator:

$$E'_2 = k_e E_2 = E_1 \quad (2-4)$$

Khi rotor hở mạch và đứng yên trong máy chỉ có tổn hao đồng của stator  $\Delta p_{cu1} = m_1 I_0^2 r_1$ , tổn hao sắt ở stator, rotor:  $\Delta p_{Fe1} + \Delta p_{Fe2}$ . Công suất  $P_{10}$  do máy tiêu thụ từ lưới  $P_{10} = m_1 I_0^2 r_1 + \Delta p_{Fe1} + \Delta p_{Fe2}$ . Trong máy điện không đồng bộ  $I_0$  và  $r_1$  tương đối lớn nên tổn hao đồng  $\Delta p_{cu1}$  chiếm 1 thành phần đáng kể trong  $P_{10}$ . Đối với máy biến áp ta bỏ qua  $\Delta p_{cu1}$  lúc không tải.

## 2. Ngắn mạch của máy điện không đồng bộ khi $n = 0$ :

Nếu chúng ta dịch chuyển điểm tiếp xúc động của biến trở trong mạch rotor từ vị trí 1 sang vị trí 2 (h 2-1), thì chúng ta có tình trạng ngắn mạch của máy điện không đồng bộ. Về bản chất vật lý ngắn mạch như vậy tương tự ngắn mạch của máy biến áp. Đặt 1 điện áp  $U_1 = (15 \div 25)\% U_{dm}$  vào dây quấn stator. Trong dây quấn stator có dòng điện  $I_1$  chạy với tần số  $f_1$ , trong rotor có dòng điện  $I_2$  chạy với tần số  $f_2$ , khi  $n = 0$  thì  $f_2 = f_1$  và  $I_1, I_2$  sinh ra  $F_1, F_2$ , ở đây ta chỉ xét đến các sóng sức từ động cơ bản:

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= \frac{m_1 \sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{w_1 k_{dq1}}{p} \cdot I_1 \\ F_2 &= \frac{m_2 \sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{w_2 k_{dq2}}{p} \cdot I_2 \end{aligned} \right\} \quad (2-5)$$

$F_1, F_2$  quay với tốc độ  $n_1 = 60f_1/p$  và tác dụng với nhau sinh ra sức từ động tổng ở khe hở  $F_0$

$$F_1 + F_2 = F_0 \quad (2-6)$$

Giống như cách phân tích máy biến áp, ở đây có thể coi dòng điện stator gồm 2 thành phần:  $I_1 = I_0 + (-I'_2)$

$$\begin{aligned} I_0 &\rightarrow F_0 = \frac{m_1 \sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{w_1 k_{dq1}}{p} \cdot I_0 \\ -I'_2 &\rightarrow (-F'_2) = \frac{-m_2 \sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{w_2 k_{dq2}}{p} \cdot I'_2 \end{aligned}$$

So sánh sức từ động  $F_2$  do dòng điện  $I_2$  của rotor và thành phần  $I'_2$  của dòng điện stator sinh ra, ta có:  $|F_2| = |F'_2|$

$$\text{Hay: } \frac{m_2 \sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{w_2 k_{dq2}}{p} \cdot I_2 = \frac{m_1 \sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{w_1 k_{dq1}}{p} \cdot I'_2$$

Từ đó tìm ra được tỷ số biến đổi dòng điện:

$$k_i = \frac{I_2}{I'_2} = \frac{m_1 w_1 k_{dq1}}{m_2 w_2 k_{dq2}} \quad (2-7)$$

Do đó dòng điện quy đổi của rotor sang stator bằng:  $I'_2 = \frac{I_2}{k_i}$

Dùng các hệ số biến đổi s.d.đ và dòng điện (2-3), (2-7) chúng ta có thể xác định được điện trở và điện kháng quy đổi  $r'_2$  và  $x'_2$  của rotor.

Khi quy đổi  $r'_2$  chúng ta xuất phát từ tổn hao đồng của dây quấn rotor không phụ thuộc vào sự quy đổi đó:

$$m_2 I_2^2 r_2 = m_1 I_2'^2 r'_2$$

Từ đó ta được:



$$\begin{aligned}
 r'_2 &= \frac{m_2}{m_1} \left( \frac{I_2}{I'_2} \right)^2 r_2 = \frac{m_2}{m_1} \left( \frac{m_1 w_1 k_{dq1}}{m_2 w_2 k_{dq2}} \right)^2 r_2 \\
 &= \frac{w_1 k_{dq1}}{w_2 k_{dq2}} \cdot \frac{m_1 w_1 k_{dq1}}{m_2 w_2 k_{dq2}} r_2 = k_c k_i r_2 = k r_2
 \end{aligned}
 \tag{2-8}$$

Trong đó  $k = k_c k_i$  là hệ số quy đổi của tổng trở.  
 Khi qui đổi điện kháng  $x_2$  ta xuất phát từ góc  $\psi_2$  giữa  $E_2$  và  $I_2$  không phụ thuộc vào sự qui đổi:

$$\begin{aligned}
 \operatorname{tg} \psi_2 &= \frac{x_2}{r_2} = \frac{x'_2}{r'_2} \\
 \Rightarrow x'_2 &= \frac{r'_2}{r_2} x_2 = k x_2
 \end{aligned}
 \tag{2-9}$$

các phương trình s.đ.đ sơ cấp của máy điện không đồng bộ lúc ngắn mạch viết hoàn toàn như đối với máy biến áp:

$$\left. \begin{aligned}
 \dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 Z_1 \\
 0 &= -\dot{E}'_2 + \dot{I}'_2 Z'_2 \\
 \dot{E}'_2 &= \dot{E}_1 \\
 \dot{I}_1 + \dot{I}'_2 &= \dot{I}_0 \\
 -\dot{E}_1 &= \dot{I}_0 Z_m
 \end{aligned} \right\}
 \tag{2-10}$$

Ở đây  $Z_1 = r_1 + jx_1$ ;  $Z'_2 = r'_2 + jx'_2$

Với  $\dot{E}'_2 = \dot{E}_1$  và  $\dot{I}'_2 = -\dot{I}_1$  (vì  $I_0$  nhỏ  $\approx 0$ ) giải 2 phương trình đầu ta có:

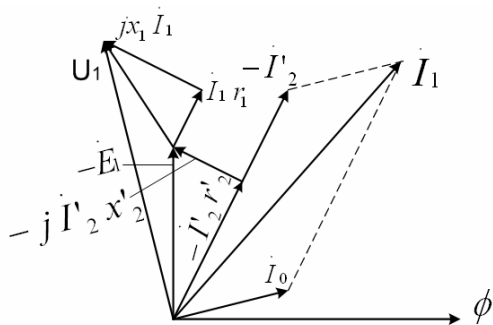
$$\dot{I}_1 \approx \frac{\dot{U}_1}{Z_1 + Z'_2} = \frac{\dot{U}_1}{Z_n}$$

Trong đó  $Z_n = r_n + jx_n$ : Tổng trở ngắn mạch.

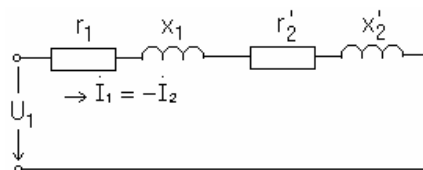
$r_n = r_1 + r'_2$ : Điện trở ngắn mạch.

$x_n = x_1 + x'_2$ : Điện kháng ngắn mạch.

Đồ thị vector và mạch điện thay thế:



Hình 2.3 Đồ thị véc tơ của máy điện không đồng bộ khi rotor đứng yên



Hình 2.4 Mạch điện thay thế của máy điện không đồng bộ khi ngắn mạch.

## § 2.2. MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ LÀM VIỆC KHI ROTOR QUAY.

Trong trường này nó được xem như một máy biến áp tổng hợp nghĩa là ở đây không chỉ có biến đổi điện áp dòng điện và số pha mà còn cả tần số và các dạng năng lượng nữa. Tóm lại viết phương trình s.đ.đ của máy điện không đồng bộ và giải theo dòng điện, chúng ta có thể có được về nguyên tắc, những giản đồ đẳng trị như đối với máy biến áp.

### 1. Các phương trình cơ bản:

Máy điện không đồng bộ làm việc thì dây quấn rotor thường nối ngắn mạch. Nối dây quấn stator với nguồn 3 pha thì trong dây quấn có dòng điện  $I_1$  chạy, ta có phương trình cân bằng s.đ.đ trên dây quấn stator vẫn như cũ:

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1(r_1 + jx_1) \quad (2-11)$$

Từ thông  $\Phi$  quay với tốc độ:  $n_1 = \frac{60f_1}{p}$

#### a) Tần số sức điện động cảm ứng trong dây quấn rotor:

Khi rotor quay với tốc độ  $n$  trong từ trường quay có tốc độ  $n_1$  (và cùng chiều) thì tốc độ quay tương đối của từ trường quay  $\Phi$  với rotor có tốc độ  $n_2 = n_1 - n$  và tần số dòng điện trong rotor là:

$$f_2 = \frac{n_2 p}{60} = \frac{n_1 - n}{n_1} \cdot \frac{n_1 p}{60} = s \cdot f_1 \quad (2-12)$$

Thường khi động cơ điện không đồng bộ ở tải định mức thì  $s_{dm} = 0,02 \div 0,05$  nên ta suy ra tần số trên rotor thấp và tổn hao ít.

#### b) Sức điện động của rotor: Theo biểu thức chung thì

$$E_{2s} = 4,44f_2 w_2 k_{dq2} \Phi = 4,44s f_1 w_2 k_{dq2} \Phi = s E_2$$

$$\text{Qui đổi về stator: } E'_{2s} = s \cdot E'_2 \quad (2-13)$$

Nghĩa là với từ thông chính đã cho  $\Phi$  thì s.đ.đ cảm ứng trong rotor quay bằng s.đ.đ  $E_2$  khi rotor đứng yên nhân thêm với hệ số trượt  $s$ .

**Ví dụ:** Khi  $n = 0$  và rotor hở mạch ta có ở các vành trượt  $U_2 = E_2 = 600V$ , thì khi vừa nâng cao dần tốc độ quay của rotor theo chiều từ trường quay  $n = 0$  đến  $n = n_1$  thì ta có sự biến thiên bậc nhất của  $E_{2s}$  từ  $E_{2s} = 600 V$  đến  $0$  với  $n > n_1$  thì  $E_{2s}$  bắt đầu tăng và có trị số âm nghĩa là biến đổi góc pha của nó so với lúc ban đầu  $180^\circ$ .

#### c) Điện trở của dây quấn rotor:

Giả sử rotor khép kín mạch qua một điện trở phụ nào đó, muốn vậy chúng ta dịch điểm tiếp xúc của biến trở về vị trí 3. Vậy điện trở của rotor là:

$$R_2 = r_2 + r_f$$

Với  $r_2$ : điện trở tác dụng của rotor;  $r_f$ : điện trở phụ.

Qui đổi  $R'_2 = r'_2 + r'_f$ .

#### d) Điện kháng của rotor:

Điện kháng tản của phần quay khi đứng yên:  $x_2 = 2\pi \cdot f_1 \cdot L_{\sigma 2}$

Trong đó  $L_{\sigma 2}$  là hệ số tự cảm xác định bởi từ thông tản  $\phi_{\sigma 2}$  bởi vì từ thông tản đi qua không khí là chính nên  $L_{\sigma 2} = \text{const}$ .

$$x_2 = 2\pi \cdot f \cdot L_{\sigma 2} = 2\pi \cdot f_1 \cdot s \cdot L_{\sigma 2} = x_2 s$$

$$\text{hay: } x'_{2s} = x'_2 \cdot s$$

## 2. Phương trình sức điện động và dòng điện của rotor:

Nếu mạch của rotor kín thì trong đó sẽ có  $I_2$  chạy và  $I_2$  sẽ tạo nên  $\phi_{\sigma 2}$  và đi qua  $r_2$ , tương ứng với điều đó sẽ có s.d.đ  $E_{2s} = E_2 \cdot s$  tạo nên bởi  $\Phi$  và s.d.đ tản:

$$E_{\sigma 2} = -j \cdot I_2 \cdot x_2 \cdot s \text{ tạo bởi } \phi_{\sigma 2}$$

Theo định luật Kirchhoff 2:

$$E_{2s} + E_{\sigma 2} = E_{2s} - j \cdot I_2 \cdot x_2 \cdot s = I_2 \cdot r_2$$

$$\text{hay } E_{2s} = I_2 \cdot Z_{2s} = I_2 (r_2 + j \cdot x_2 \cdot s)$$

Với  $Z_{2s} = r_2 + j \cdot x_2 \cdot s$ : tổng trở phức của rotor.

$$\text{Do đó: } I_2 = \frac{E_{2s}}{Z_{2s}} = \frac{E_2 \cdot s}{r_2 + j \cdot x_2 \cdot s} \quad (2-15)$$

$$\text{Hay: } I_2 = \frac{E_2 \cdot s}{\sqrt{r_2^2 + x_2^2 \cdot s^2}}$$

Với dạng rotor qui đổi về stator:  $E'_{2s} = I'_2 \cdot z'_{2s}$

Với  $z'_{2s} = r'_2 + j \cdot x'_2 \cdot s$ : Tổng trở qui đổi của rotor về stator.

$$I'_2 = \frac{E'_{2s}}{z'_{2s}} = \frac{E'_2 \cdot s}{r'_2 + j \cdot x'_2 \cdot s} \text{ hay } I'_2 = \frac{E'_2 \cdot s}{\sqrt{r'^2_2 + x'^2_2 \cdot s^2}}$$

Để thiết lập phương trình mới có ý nghĩa, ta có thể biến đổi (2-15) như sau:

$$I_2 = \frac{E_2 \cdot s}{r_2 + j \cdot x_2 \cdot s} = \frac{E_2}{\frac{r_2}{s} + j \cdot x_2} \quad (2-16)$$

Biểu thức của  $I_2$  có một ý nghĩa vật lý mới: ở mạch thứ cấp bây giờ thay cho s.d.đ khi rotor quay  $E_{2s}$  với  $f_2 = s \cdot f_1$  sẽ là s.d.đ  $E_2$  khi rotor đứng yên với tần số  $f_1$ . Điện kháng khi rotor quay  $x_2 \cdot s$  ở mạch thứ cấp sẽ là điện kháng khi rotor đứng yên  $x_2$ . Muốn trong mạch thứ cấp vẫn chỉ có dòng điện  $I_2$  có cùng trị số và pha đối với  $I_2$  chỉ cần thiết thay  $r_2$  thực bằng 1 điện trở mới bằng:  $\frac{r_2}{s} = r_2 + r_2 \frac{1-s}{s}$ : đặc

trưng cho công suất cơ trên trục. Trong đó  $r_2 = \frac{1-s}{s}$

Như vậy, nếu rotor quay muốn trong đó vẫn là dòng điện ấy, cần đưa vào mạch thứ cấp 1 điện trở giả tưởng:  $r_2 \frac{1-s}{s}$

### 3. Tốc độ quay của sức từ động (s.t.đ) rotor:

Trong dây quấn rotor,  $I_2$  tạo nên  $F_2$  quay với tốc độ  $n_2$  tương ứng với tần số  $f_2$ . Ngoài ra, bản thân rotor quay với tốc độ  $n$ . Do đó,  $F_2$  quay tương đối so với stator tốc độ  $n_2 + n$ .

$$\text{Nhưng: } n_2 = \frac{60f_2}{p} = \frac{60f_1 \cdot s}{p} = n_1 \cdot s \Rightarrow n_2 = n_1 \frac{n_1 - n}{n_1} = n_1 - n$$

Như vậy:  $n_2 + n = n_1 - n + n = n_1$

Nghĩa là s.t.đ của rotor quay trong không gian luôn luôn quay với tốc độ và chiều như s.t.đ của stator (không phụ thuộc vào tình trạng làm việc).

Bởi vì  $F_1$  và  $F_2$  quay cùng tốc độ và chiều trong không gian nên có thể xem rằng nó chuyển động tương đối với nhau và tạo thành sóng s.t.đ tổng  $F_0$ . Như vậy, hình sin s.t.đ  $F_2$  cần phải lệch về không gian tương đối với  $F_1$  1 góc  $F_0$  đủ để tạo nên  $\Phi$ , theo điều kiện cân bằng s.t.đ:

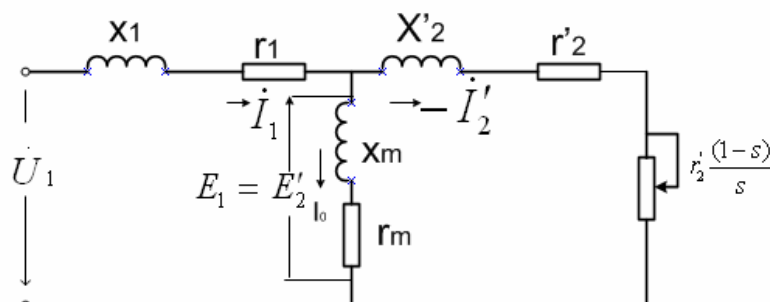
$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{F}_0 \quad \Rightarrow \quad \vec{I}_1 + \vec{I}'_2 = \vec{I}_0 \quad (2-17)$$

Tóm lại, hệ phương trình cơ bản lúc rotor quay là:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_1(r_1 + j.x_1) \\ 0 &= -\dot{E}'_2 + \dot{I}'_2 \left( \frac{r'_2}{s} + j.x'_2 \right) \\ \dot{E}'_2 &= \dot{E}_1 \\ \dot{I}_1 + \dot{I}'_2 &= \dot{I}_0 \\ -\dot{E}_1 &= j\dot{I}_0 Z_m \end{aligned} \right\} \quad (2-18)$$

### 4. Mạch điện thay thế của máy điện không đồng bộ: Tương tự như của máy biến áp.

Dựa vào hệ phương trình (2-18), ta có thể thiết lập được mạch điện thay thế hình T cho máy điện không đồng bộ với  $r'_2 \frac{1-s}{s}$  đặc trưng cho sự thể hiện công suất cơ  $P_{cơ}$  trên trục ( $P_{cơ} = m_1 I_2'^2 r'_2 \left( \frac{1-s}{s} \right)$ ).

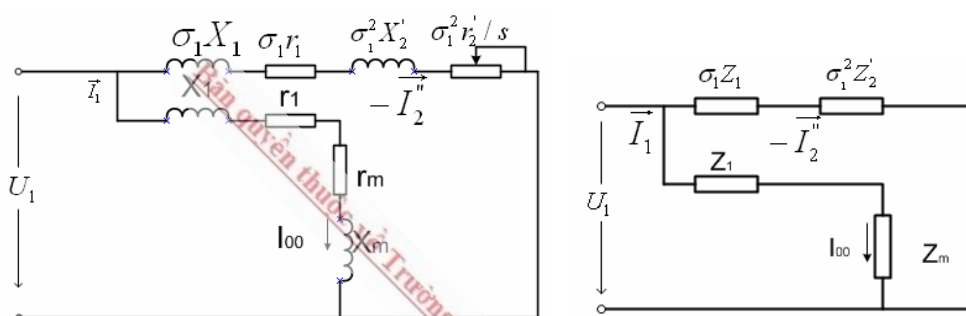


Hình 2.5 Mạch điện thay thế hình T của máy điện không đồng bộ.

Khác với máy biến áp chỉ có sự biến đổi điện năng ở điện áp này qua điện năng ở điện áp khác, động cơ không đồng bộ là một máy điện biến đổi điện năng ra cơ năng. Khi giảm phụ tải điện áp ở các cực thường không thay đổi, còn khi phụ tải biến đổi thì từ thông hồ cảm và s.d.đ tương ứng với nó

$E_1 = E'_2$  ở các đầu cực của mạch từ hoá hình T cũng biến đổi dưới ảnh hưởng của điện áp rơi  $I_1 z_1$  ở mạch sơ cấp. Với những lý do trên, ta thấy rằng mạch điện thay thế hình T đôi khi không tiện lợi cho việc nghiên cứu các quá trình công tác của máy điện không đồng bộ.

Tiện lợi hơn là giản đồ thay thế hình  $\Gamma$  trong đó mạch từ hoá được đưa ra các đầu cực stator và với mọi sự biến thiên của phụ tải, nghĩa là khi hệ số trượt s thay đổi thì dòng điện vẫn không đổi và bằng dòng điện không tải lý tưởng  $I_{00}$  khi  $s = 0$  (hình 2-6).



Hình 2.6 Giản đồ thay thế chính xác hình  $\Gamma$

Cách biến đổi: ta coi dòng điện mạch chính  $-I'_2$  của giản đồ biến đổi hình  $\Gamma$  như là hiệu số hình học của dòng điện mạch chính  $I_1$  và dòng điện không tải lý tưởng  $i_{00}$  lúc  $s = 0$  của giản đồ thay thế hình T.

Từ hình 2-2 ta có:

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_1}{z_1 + \frac{z'_{2s} z_m}{z'_{2s} + z_m}} = \frac{z'_{2s} + z_m}{z_1 \cdot z'_{2s} + z_1 z_m + z'_{2s} z_m} \dot{U}_1$$

Và dòng điện trong mạch từ hoá khi  $s = 0$ :

$$\dot{I}_{00} = \frac{\dot{U}_1}{z_1 + z_m} = \frac{\dot{U}_1}{z_m \left(1 + \frac{z_1}{z_m}\right)} = \frac{\dot{U}_1}{\sigma_1 \cdot z_m} = \frac{\dot{U}_1}{z'_m}$$

Với  $\sigma_1 = 1 + \frac{z_1}{z_m}$  và  $z'_m = \sigma_1 z_m = z_1 + z_m$

$\sigma_1$ : hệ số hiệu chỉnh (hệ số sửa chữa biến đổi)

Dòng điện mạch chính của giản đồ biến đổi:

$$-\dot{I}'_2 = \dot{I}_1 - \dot{I}_{00} = \dot{U}_1 \left( \frac{z'_{2s} + z_m}{z_1 \cdot z'_{2s} + z_1 z_m + z'_{2s} z_m} - \frac{1}{z_1 + z_m} \right)$$

$$= \frac{\dot{U}_1 \cdot z_m^2}{(z_1 + z_m)(z_1 \cdot z'_{2s} + z_1 z_m + z'_{2s} z_m)} = \frac{\dot{U}_1}{z_1 \left(1 + \frac{z_1}{z_m}\right) + z'_{2s} \left(1 + \frac{z_1}{z_m}\right)^2}$$

$$= \frac{\dot{U}_1}{\sigma_1 z_1 + \sigma_1^2 z'_{2s}} = \frac{\dot{U}_1}{\sigma_1 (r_1 + jx_1) + \sigma_1^2 \left(\frac{r'_2}{s} + jx'_2\right)}$$

Các quan hệ vừa nhận được tương ứng với giản đồ thay thế hình  $\Gamma$  (dựa vào biểu thức của  $I_{00}$  và  $-\Gamma'_2$  ta vẽ được giản đồ thay thế)

$$-\Gamma'_2 = \frac{\dot{U}_1 - i_1 z_1}{z'_{2s}} = \frac{\dot{U}_1}{z'_{2s}} \left(1 - \frac{(z'_{2s} + z_m) z_1}{z_1 \cdot z'_{2s} + z_1 z_m + z'_{2s} z_m}\right)$$

$$= \frac{\dot{U}_1}{z_1 + z'_{2s} \left(1 + \frac{z_1}{z_m}\right)} = \frac{\dot{U}_1}{z_1 + \Gamma z'_{2s}}$$

Do đó, tỷ số của dòng điện mạch chính của hình T và  $\Gamma$  là:

$$\frac{\Gamma'_2}{\Gamma'_2} = 1 + \frac{z_1}{z_m} = \sigma_1, \text{ coi } r_m \ll x_m, \sigma_1 = 1 + \frac{z_1}{z_m} = \left(1 + \frac{x_1}{x_m}\right) - j \frac{r_1}{r_m}$$

Vì  $\frac{r_1}{r_m}$  rất bé nên có thể bỏ qua phần ảo của  $\sigma_1$

$$\Rightarrow \sigma_1 = 1 + \frac{x_1}{x_m} = 1 + \frac{\Phi_{\sigma 1}}{\Phi} \text{ trong thực tế : } \sigma_1 = 1,04 \div 1,08$$

### § 2.3. GIẢN ĐỒ NĂNG LƯỢNG VÀ ĐỒ THỊ VECTOR CỦA

#### MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

##### 1. Máy làm việc ở chế độ động cơ điện ( $0 < s < 1$ ):

###### a) Giản đồ năng lượng:

Động cơ điện lấy điện năng từ lưới điện vào với  $P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1$ . Một phần nhỏ của công suất đó biến thành tổn hao đồng của dây quấn stator  $\Delta p_{Cu1} = m_1 I_1^2$  và tổn hao trong lõi sắt stator  $\Delta p_{Fe} = m_1 I_0^2 r_m$ , còn lại phần lớn công suất đưa vào chuyển thành công suất điện từ  $P_{dt}$  truyền qua rotor. Như vậy:

$$P_{dt} = P_1 - \Delta p_{Cu1} - \Delta p_{Fe} = m_1 \dot{I}'_2 \frac{r'_2}{s} : \text{ công suất điện từ.}$$

Vì trong rotor có dòng điện nên có tổn hao đồng trong rotor  $\Delta p_{Cu2} = m_1 \dot{I}'_2 r'_2$ , do đó công suất cơ ở trục động cơ điện là:

$$P_{cơ} = P_{dt} - \Delta p_{Cu2} = m_1 \dot{I}'_2 \left(\frac{1-s}{s}\right) r'_2$$

$$\begin{aligned} \text{vậy} \quad P_{\text{cơ}} &= \frac{\Delta p_{\text{Cu2}}(1-s)}{s} \\ P_{\text{cơ}} &= (1-s)P_{\text{đt}} \\ \Delta p_{\text{Cu2}} &= sP_{\text{đt}} \end{aligned}$$

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  $\Delta p_{\text{cơ}}$  và tổn hao phụ  $\Delta p_f$ :

$$P_2 = P_{\text{cơ}} - \Delta p_{\text{cơ}} - \Delta p_f$$

Như vậy tổng tổn hao trong động cơ là:  $\sum P = \Delta p_{\text{Cu1}} + \Delta p_{\text{Fe}} + \Delta p_{\text{Cu2}} + \Delta p_{\text{cơ}} + \Delta p_f$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = 1 - \frac{\sum P}{P_1}$$

Động cơ điện không đồng bộ cũng lấy công suất phản kháng từ lưới vào:

$$Q_1 = m_1 U_1 I_1 \sin \phi_1$$

Một phần nhỏ công suất phản kháng này được sử dụng để sinh ra từ trường tản trong mạch điện stator  $q_1$  và rotor  $q_2$ :

$$\left. \begin{aligned} q_1 &= m_1 I_1^2 x_1 \\ q_2 &= m_1 I_2^2 x_2' \end{aligned} \right\}$$

Phần còn lại dùng để sinh ra từ trường khe hở:

$$Q_m = m_1 E_1 I_0 = m_1 I_0^2 x_m$$

Từ đó, ta vẽ được giản đồ năng lượng như hình 2.7.

**b) Đồ thị vector:**

Giống như máy biến áp, đồ thị vector của máy điện không đồng bộ được thành lập tương ứng với giản đồ thay thế hình T. Các đồ thị được vẽ cho 1 pha của m pha với dạng rotor qui đổi về stator  $\Phi$  tạo nên

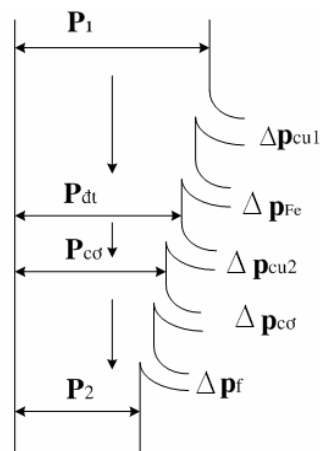
$E_1 = E_2'$  bằng với điện áp trên các cực của mạch từ hoá của giản đồ hình T.  $I_0$  vượt trước  $\Phi$  một góc tương ứng với tổn hao sắt stator.  $I_2'$  chậm sau  $E_2'$  một góc  $\psi_2$ :

$$\text{tg} \psi_2 = \frac{x_2'}{r_2'} > 0; \quad 0 < \psi_2 < \pi/2$$

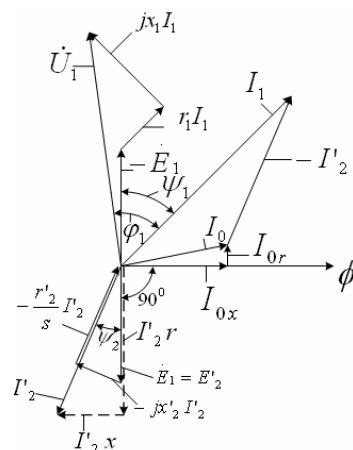
$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 - \dot{I}_2'; \quad \dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1(r_1 + jx_1)$$

$$E_2' = I_2' \left( \frac{r_2'}{s} + jx_2' \right) \Rightarrow E_2' = I_2' \frac{r_2'}{s} + jI_2' x_2'$$

$I_1$  chậm sau  $\dot{U}_1$  một góc  $\phi_1 < \frac{\pi}{2}$ .



Hình 2.7 Giản đồ năng lượng của động cơ điện không đồng bộ.



Hình 2.8 đồ thị véc tơ của động cơ điện không đồng bộ

## 2. Máy làm việc ở chế độ máy phát ( $-\infty < s < 0$ ):

### a) Giảm đồ năng lượng:

Công suất cơ  $P_1$  đưa vào trục, trừ đi tổn hao cơ  $\Delta p_{cơ}$ , tổn hao phụ  $\Delta p_f$ . Ta có công suất hiệu dụng  $P_{cơ}$ . Công suất cơ  $P_{cơ}$  trừ đi  $\Delta p_{Cu2}$  ta có  $P_{đt}$ ,  $P_{đt}$  trừ đi tổn hao sắt  $\Delta p_{Fe}$  và  $\Delta p_{Cu1}$  ta có công suất điện phát ra  $P_2$ .

$$P_{cơ} = P_1 - (\Delta p_{cơ} + \Delta p_f)$$

$$P_{đt} = P_{cơ} - \Delta p_{Cu2}$$

$$P_2 = P_{đt} - (\Delta p_{Cu1} + \Delta p_{Fe})$$

Hiệu suất của máy phát điện:

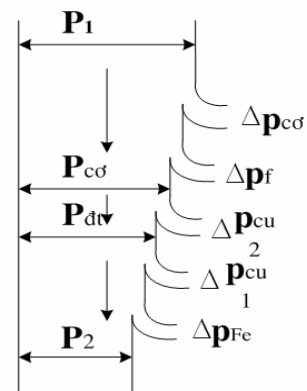
$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

### b) Đồ thị vector:

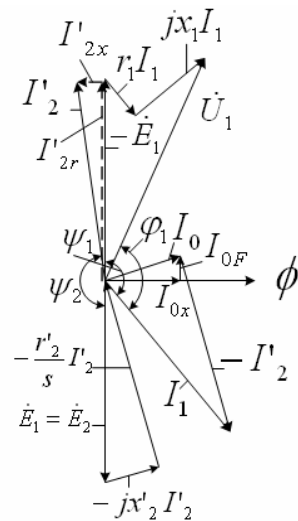
Khi  $s < 0$  thì  $P_{cơ} = m_1 \dot{I}_2^2 \left(\frac{1-s}{s}\right) r'_2 < 0$ , nghĩa là máy lấy công suất cơ từ ngoài vào, ta có:

$$\operatorname{tg} \psi_2 = \frac{x'_2}{r'_2/s} = \frac{s x'_2}{r'_2} < 0$$

nên góc pha  $\psi_2$  giữa s.d.đ  $\dot{E}_2$  và dòng điện  $\dot{I}_2$  nằm trong khoảng  $90^\circ < \psi_2 < 180^\circ$ . Từ đồ thị vector ta thấy  $\phi_1 > 90^\circ$ , do đó công suất điện  $P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \phi_1 < 0$  nên máy phát công suất tác dụng vào lưới.



Hình 2.9 Giảm đồ năng lượng của máy phát điện không đồng bộ.



Hình 2.10 Đồ thị vector của máy phát điện không đồng bộ.

## 3. Máy làm việc ở chế độ hãm điện

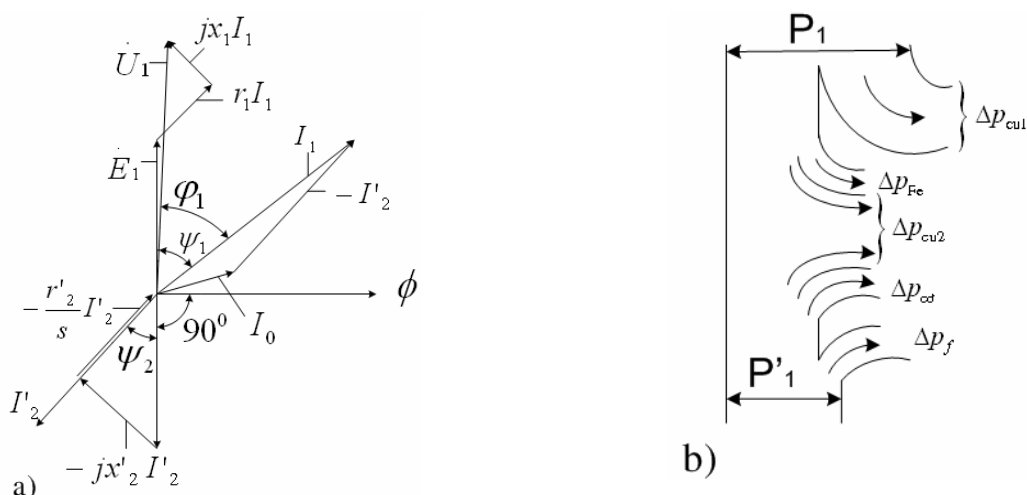
từ ( $1 < s < +\infty$ ):

Khi  $s > 1$  thì công suất cơ  $P_{cơ} = m_1 \dot{I}_2^2 \left(\frac{1-s}{s}\right) r'_2 < 0$ , nên máy lấy công suất cơ

từ ngoài vào. Công suất điện từ  $P_{đt} = \frac{m_1 \dot{I}_2^2 r'_2}{s} > 0$  nên máy nhận công suất điện từ. Tất cả công suất cơ và điện lấy ở ngoài vào đều biến thành tổn hao đồng trên mạch rotor:

$$P_{đt} + (-P_{cơ}) = m_1 \dot{I}_2^2 + \left[ -m_1 \dot{I}_2^2 \left(\frac{1-s}{s}\right) \right] = m_1 \dot{I}_2^2 r'_2 = \Delta p_{Cu2} .$$





Hình 2.11 Đồ thị vec tơ (a), giản đồ năng lượng (b) của máy điện không đồng bộ ở chế độ hãm điện từ.

**Thí dụ 1:**

Một động cơ điện không đồng bộ rotor dây quấn khi để rotor hở mạch và cho điện áp định mức vào stator thì điện áp trên 2 vành trượt cạnh nhau là 250V. Khi động cơ làm việc với tải định mức thì tốc độ  $n = 1420$  vòng/phút. Tính:

- Tốc độ đồng bộ.
- Tốc độ từ trường quay do dòng điện sinh ra so với tốc độ rotor.
- Tần số dòng điện ở rotor.
- Sức điện động của rotor khi tải định mức.

**Giải:**

- Vì hệ số trượt của động cơ rất bé  $s = (3 \div 6)\%$  nên tốc độ đồng bộ của từ trường quay  $n_1 = 1500$  vòng/phút, tức là máy có 2 đôi cực (khi tần số là 50 Hz).
- Tốc độ của từ trường rotor so với rotor là:  
 $n_2 = n_1 - n = 1500 - 1420 = 80$  vòng/phút.  
 $n_2$  quay cùng chiều với rotor.
- Tần số dòng điện rotor:

$$f_2 = \frac{pn_2}{60} = \frac{2 \cdot 80}{60} = 2,66 \text{ Hz}$$

$$\text{hay } f_2 = sf_1 = 0,053 \cdot 50 = 2,66 \text{ Hz}$$

Trong đó 
$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{1500 - 1420}{1500} = \frac{80}{1500} = 0,053$$

- Sức điện động của rotor khi quay ở tốc độ định mức:  
 $E_{2s} = sE_2 = 0,053 \cdot 250 = 13,4 \text{ V}$

**Câu hỏi:**

1. Phân tích những điểm giống và khác nhau trong nguyên lý làm việc của máy điện không đồng bộ và máy biến áp.
2. Một động cơ điện không đồng bộ dây quấn, trước kia số vòng dây của 1 pha của dây quấn rotor đều nối nối tiếp, nay phân đôi thành 2 mạch song song. Hỏi như vậy có ảnh hưởng đến điện áp và dòng điện trên vành trượt của rotor hay không? Có ảnh hưởng gì đến tham số rotor đã qui đổi  $r'_2$  và  $x'_2$ ? Nếu hệ số trượt  $s$  trước và sau khi đổi vẫn như nhau thì công suất đưa vào và đưa ra có thay đổi gì không?
3. Nếu ở dây quấn stator của một động cơ không đồng bộ đặt vào 1 điện áp thứ tự thuận có tần số  $f_1$  để sinh ra từ trường thuận, ở dây quấn rotor đặt vào 1 điện áp thứ tự nghịch có tần số  $f_2$  để sinh ra từ trường nghịch. Hỏi lúc đó rotor quay theo chiều nào? Tốc độ bao nhiêu? Khi tải thay đổi thì tốc độ thay đổi không?
4. Tại sao dòng điện không tải phần trăm của máy điện không đồng bộ  $I_0\%$  lớn hơn dòng điện không tải phần trăm của máy biến áp, còn dòng điện ngắn mạch phần trăm  $I_n\%$  thì lại nhỏ hơn? Dòng điện không tải lớn ảnh hưởng như thế nào đến tính năng của máy?
5. Tìm sự liên hệ giữa các công suất của giản đồ năng lượng với các công suất, các tổn hao trên mạch điện thay thế.

**Bài tập:****2.1.**

Một động cơ không đồng bộ có các số liệu sau: dây quấn stator và rotor đều nối Y; số rãnh stator  $Z_1 = 72$ ; số rãnh rotor  $Z_2 = 12$ ; số thanh dẫn ở một rãnh stator.

$S_{r1} = 9$  và ở rotor  $S_{r2} = 2$ ; dây quấn bước đủ có 4 đôi cực.

Khi làm thí nghiệm ngắn mạch, điện áp đặt vào stator là  $U_n = 110V$ ; dòng điện  $I_n = 61A$  và  $\cos \varphi = 0,336$ . Tính:

- a) Điện trở và điện kháng ngắn mạch  $r_n, x_n$ .
- b) Điện trở và điện kháng dây quấn rotor  $r_2, x_2$ . Cho biết  $r_1 = 0,159 \Omega$ ;  $x_1 = 0,46 \Omega$ .
- c) Công suất động cơ điện tiêu thụ và công suất tiêu hao trên dây quấn khi ngắn mạch.

**2.2.**

Một động cơ điện không đồng bộ ba pha rotor lồng sóc có các số liệu sau:  $P_{dm} = 11,9kW$ ;  $U_{fdm} = 220V$ ;  $I_{fdm} = 25A$ ;  $f = 50Hz$ ;  $2p = 6$ ;  $\Delta p_{Cu1} = 745W$ ;  $\Delta p_{Cu2} = 480W$ ;  $\Delta p_{Fe} = 235W$ ;  $\Delta p_{cơ} = 180W$ ;  $\Delta p_f = 60W$ . Tính công suất điện từ, moment điện từ và tốc độ quay của động cơ.

### 2.3.

Một máy điện không đồng bộ ba pha 6 cực, 50Hz. Khi đặt điện áp định mức lên stator còn dây quấn rotor hở mạch thì s.d.đ cảm ứng trên mỗi pha dây quấn rotor là 110V. Giả thiết tốc độ lúc làm việc định mức là

$n = 980$  vòng/phút, rotor quay cùng chiều với từ trường quay. Hỏi:

- Máy làm việc ở chế độ nào?
- Lúc đó s.d.đ rotor  $E_{2s}$  bằng bao nhiêu?
- Nếu giữ chặt rotor lại và đo được  $r_2 = 0,1 \Omega$ ,  $x_2 = 0,5 \Omega$ ; hỏi ở chế độ làm việc định mức  $I_2$  bằng bao nhiêu?

### 2.4.

Một động cơ điện không đồng bộ ba pha đấu Y, 380V, 50Hz,  $n_{đm} = 1440$  vòng/phút. Tham số như sau:  $r_1 = 0,2 \Omega$ ,  $r'_2 = 0,25 \Omega$ ,  $x_1 = 1 \Omega$ ,  $x'_2 = 0,95 \Omega$ ,  $x_m = 40 \Omega$ , bỏ qua  $r_m$ . Tính số đôi cực, tốc độ đồng bộ, hệ số trượt định mức, tần số dòng điện rotor lúc tải định mức. Vẽ mạch điện thay thế hình T và căn cứ vào đó tính ra trị số thực và tương đối của các dòng điện  $I_1$ ,  $I_0$  và  $I'_2$ .

### 2.5.

Một động cơ điện không đồng bộ ba pha 6 cực, điện áp định mức là 380V, đấu Y, tần số 50Hz, công suất định mức là 28kW, tốc độ định mức là 980 vòng/phút, lúc tải định mức  $\cos \phi = 0,88$ ; tổn hao đồng và sắt stator là 2,2kW, tổn hao cơ là 1,1kW. Tính hệ số trượt, tổn hao đồng rotor, hiệu suất, dòng điện stator và tần số dòng điện rotor khi tải định mức.

### 2.6.

Một động cơ điện không đồng bộ ba pha, tiêu thụ năng lượng điện là 60kW, tổng tổn hao trên stator là 1kW, hệ số trượt  $s = 0,03$ . Tính công suất cơ và tổn hao đồng của rotor.

## § 2.4. MOMENT ĐIỆN TỪ VÀ ĐẶC TÍNH CƠ CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

### 1. Phương trình cân bằng moment

Khi động cơ không đồng bộ làm việc ổn định  $n = n^{lc} = \text{Const}$  thì phải khắc phục moment phụ tải  $M_{cđm}$  tạo nên từ moment cản không tải  $M_0$  và moment cản hiệu dụng  $M_2$ . Do đó moment điện từ phát sinh ở rotor động cơ lúc  $n = n^{lc} = \text{Const}$  phải có hai thành phần moment cản tương ứng. Như vậy:

$$M_{đt} = M_0 + M_2$$

Với 
$$M_0 = \frac{\Delta p_{cs} + \Delta p_f}{\omega} = \frac{P_0}{\omega} = \frac{60}{2\pi n} \cdot P_0 = 9,55 \cdot \frac{P_0}{n}$$

$$M_2 = \frac{P_2}{\omega} = 9,55 \cdot \frac{P_2}{n}$$

$$M_{dt} = \frac{P_0}{\omega} + \frac{P_2}{\omega} = \frac{P_{c\phi}}{\omega} = 9,55 \cdot \frac{P_{c\phi}}{n}$$

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \text{ Tốc độ góc quay của rotor.}$$

n: tốc độ quay của rotor.

Mặt khác ta có:  $M_{dt} = \frac{P_{dt}}{\omega_1} = 9,55 \frac{P_{dt}}{n_1}$

$$\omega_1 = \frac{2\pi n_1}{60} : \text{tốc độ góc quay đồng bộ của từ trường quay}$$

từ đó ta có:  $\frac{P_{c\phi}}{\omega} = \frac{P_{dt}}{\omega_1} \Rightarrow P_{c\phi} = \frac{\omega}{\omega_1} P_{dt} = \frac{n}{n_1} P_{dt} = (1-s)P_{dt}$

## 2. Biểu thức moment

### a. Theo quan hệ $I_2$ và $\Phi$ :

$$M_{dt} = \frac{P_{dt}}{\omega_1} = \frac{m_2 E_2 I_2 \cos \psi_2}{\omega_1}$$

$$E_2 = \sqrt{2} \pi f_1 w_2 k_{dq2} \Phi_m$$

$$\omega_1 = \frac{2\pi f_1}{p}$$

$$M_{dt} = \frac{\sqrt{2}}{2} m_2 p w_2 k_{dq2} \Phi I_2 \cos \psi_2 = C_M \Phi I_2 \cos \psi_2$$

$C_M$ : hệ số kết cấu của máy.

### b. Theo hệ số trượt s:

$$M_{dt} = \frac{P_{dt}}{\omega_1} = \frac{\Delta p_{Cu2}/s}{2\pi f_1/p}$$

$$\Delta p_{Cu2} = m_2 I_2^2 r_2 = m_1 I_2'^2 r_2' = m_1 I_2''^2 R_2'$$

$$I_2'' = \frac{U_1}{\left[ \left( R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + (X_1 + X_2')^2 \right]^{1/2}}$$

$$I_2 = \sigma_1 I_2'' \tag{2-19}$$

với  $R_1 = \sigma_1 r_1$  ;  $R_2' = \sigma_1^2 r_2'$   
 $X_1 = \sigma_1 x_1$  ;  $X_2' = \sigma_1^2 x_2'$

$$M_{dt} = \frac{p m_1 U_1^2 R_2' / s}{2\pi f_1 \left[ \left( R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + (X_1 + X_2')^2 \right]} \text{ (Nm)} \tag{2-20}$$

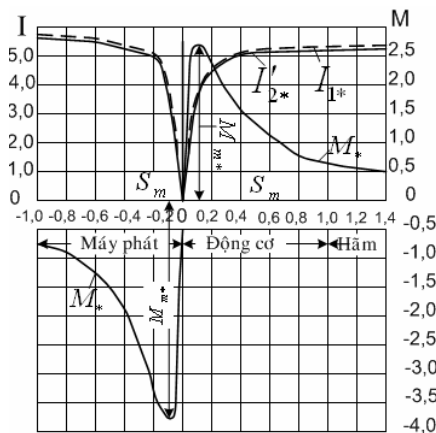
(Phương trình đặc tính cơ của máy)

**Kết luận:** Với tần số và các tham số cho trước,  $M_{dt}$  tỉ lệ thuận với bình phương điện áp và tỉ lệ nghịch với bình phương của tần số.

Dựa vào (2-19), (2-20) ta có thể tìm được đặc tính

$$I = f(s); M = f(s); I'_{2max} \text{ ở } s = \pm \infty$$

$$s < 0 \Rightarrow M_{dt} < 0 \text{ (máy phát điện)}$$



Hình 2.12 Đường biểu diễn mô men điện từ và dòng điện theo hệ số trượt.

**c. Tính moment cực đại  $M_{max}$ :** Muốn tính  $M_{max}$  ta lấy  $\frac{dM}{ds} = 0$  thì ta tính được  $s_m$  ứng với  $M_{max}$

$$\frac{dM}{ds} = \frac{2\pi f_1 m_1 U_1^2 P \left\{ - \left[ \left( R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + X_n^2 \right] \frac{R'_2}{s^2} + \frac{R'_2}{s} 2 \left( R_1 + \frac{R'_2}{s} \right) \frac{R'_2}{s^2} \right\}}{(2\pi f_1)^2 \left[ \left( R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + (X_1 + X'_2)^2 \right]^2}$$

$$\frac{dM}{ds} = \frac{2\pi f_1 m_1 U_1^2 P \frac{R'_2}{s} \left[ -R_1^2 - X_n^2 + \frac{R'^2_2}{s^2} \right]}{(2\pi f_1)^2 \left[ \left( R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + (X_1 + X'_2)^2 \right]^2}$$

Muốn cho đạo hàm  $dM/ds = 0$  thì:

$$-R_1^2 - X_n^2 + \frac{R'^2_2}{s^2} = 0 \Rightarrow \frac{R'^2_2}{s^2} = R_1^2 + X_n^2$$

$$\Rightarrow s_m = \frac{\pm R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_n^2}} \tag{2-21}$$

Trong máy điện không đồng bộ:  $R_1 \ll X_n$  thường  $R_1 = (10 \div 12)\% X_n$  do đó  $R_1$  bé hơn  $X_n$  đến mức có thể bỏ qua được. Trong trường hợp này:

$$s_m \approx \pm \frac{R'_2}{X_n} = \frac{R'_2}{X_1 + X'_2}$$

Thế (2-21) vào (2-20) ta có  $M_{\max}$ :

$$M_{\max} = \frac{\pm pm_1 U_1^2 \sqrt{R_1^2 + X_n^2}}{2\pi f_1 \left[ (R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + X_n^2})^2 + X_n^2 \right]}$$

$$M_{\max} = \frac{\pm pm_1 U_1^2 \sqrt{R_1^2 + X_n^2}}{2\pi f_1 \left[ (R_1 \pm 2R_1 \sqrt{R_1^2 + X_n^2} + R_1^2 + X_n^2) + X_n^2 \right]}$$

$$M_{\max} = \frac{\pm pm_1 U_1^2 \sqrt{R_1^2 + X_n^2}}{4\pi f_1 \left[ \pm R_1 \sqrt{R_1^2 + X_n^2} + X_n^2 + R_1^2 \right]}$$

$$M_{\max} = \frac{\pm pm_1 U_1^2}{4\pi f_1 \left[ \pm R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_n^2} \right]} \quad (2-22)$$

$$M_{\max} = \frac{\pm pm_1 U_1^2}{4\pi f_1 \sigma_1 \left( \pm r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x'_2)^2} \right)}$$

Nếu tính gần đúng bỏ qua  $R_1^2 \ll X_n^2$  ta có:

$$M_{\max} = \frac{\pm pm_1 U_1^2}{4\pi f_1 [\pm R_1 + X_n]} \approx \frac{\pm pm_1 U_1^2}{4\pi f_1 \sigma_1 [\pm r_1 + (x_1 + \sigma_1 x'_2)]} \quad (2-23)$$

- + Dấu cộng tương ứng với trường hợp động cơ.
- + Dấu trừ tương ứng với trường hợp máy phát.

Nhận xét về  $M_{\max}$ :

- + Moment cực đại tỉ lệ thuận với bình phương điện áp.
- + Moment cực đại tỉ lệ nghịch với điện kháng của máy.
- + Moment cực đại không phụ thuộc vào điện trở của rotor.

Tỉ số  $k_m = \frac{M_{\max}}{M_{dm}}$  gọi là hệ số năng lực quá tải của động cơ, nói lên khả

năng sinh ra  $M_{\max}$  của động cơ.

**d) Tính moment mở máy  $M_{mm}$ :** Bên cạnh  $M_{\max}$ ,  $M_{mm}$  của động cơ là một trong những đặc tính vận hành quan trọng nhất của nó. Biểu thức  $M_{mm}$  có được từ công thức  $M_{dt}$  (2-20) khi  $s = 1$ .

$$M_{mm} = \frac{pm_1 U_1^2 R'_2}{2\pi f_1 \left[ (R_1 + R'_2)^2 + X_n^2 \right]} = \frac{pm_1 U_1^2 R'_2}{2\pi f_1 \left[ (\sigma_1 r_1 + \sigma_1^2 r'_2)^2 + (\sigma_1 x_1 + \sigma_1^2 x'_2)^2 \right]} \quad (2-24)$$

Nếu muốn có  $M_{mm} = M_{\max}$  thì  $s_m = 1$ :

$$R'_2 = \sigma_1^2 (r'_2 + r'_f) = (R_1^2 + X_n^2)^{1/2} \text{ hay gần đúng:}$$

$$r'_2 + r'_f = x_1 + x'_2 \quad (2-25)$$

Nhận xét:

- Với tần số và các thông số cho trước moment mở máy tỉ lệ thuận với bình phương điện áp.

- $M_{mm} = M_{max}$  với điều kiện điện trở tác dụng của rotor bằng điện kháng tản của máy.
- $M_{mm}$  giảm nếu  $x_n$  của máy lớn khi những điều kiện khác của máy giống nhau.
- Moment mở máy thường được biểu diễn bằng tỉ số:

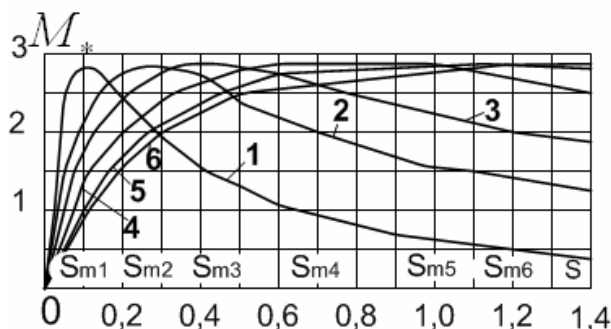
$$k_{mm} = \frac{M_{mm}}{M_{dm}} : \text{bội số của } M_{mm}$$

### e) Sự phụ thuộc của M đối với $R_2$ :

Nếu  $r_f = 0$  thì  $R'_2 = \sigma_1^2 r'_2$  và tỉ số  $\frac{R'_2}{X_n}$  thường rất bé do đó  $M_{dt}$  đi

qua trị số  $M_{max}$  với s không lớn lắm:  $s_m = 0,12 - 0,2$ . Đồng thời  $M_{mm}$  ở các động cơ rotor dây quấn có điện kháng tản lớn hơn điện

kháng tản của rotor lồng sóc nên  $M_{mm}$  có thể giảm xuống quá giới hạn cho phép khi mở máy, làm động cơ không mở máy được. Để loại trừ điều ấy, cần thiết phải đưa vào rotor một điện trở phụ  $r_f$ . Như vậy từ biểu thức (2-22), (2-21) thì  $M_{max} = \text{const}$  nhưng  $s_m$  được tăng lên.



Hình 2.13 Đường đặc tính  $M=f(s)$  với các điện trở rotor khác nhau.

### 3. Biểu thức KLOSS.

Trong truyền động điện việc xác định  $M = f(s)$  theo những số đã cho ở cảm nang rất quan trọng. Các thông số thường được cho:  $M_{dm}$ ,  $s_{dm}$ ,  $k_M$ ,... Nếu không có các tham số cấu tạo của động cơ  $R_1$ ,  $X_1$ ,  $R_2$ ,  $X_2$  ta vẫn có thể tính được  $s_m$ ,  $M_{max}$  và vẽ được đặc tính cơ của máy. Lấy các quan hệ (2-20) chia (2-22) chỉ dùng dấu (+) trường hợp động cơ ta có:

$$\frac{M}{M_{max}} = \frac{2 \frac{R_2}{s} \left( R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_n^2} \right)}{\left( R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + X_n^2}$$

Theo (2-21) ta có:  $\frac{R'_2}{s_m} = \sqrt{R_1^2 + X_n^2}$

Đưa trị số của căn vào biểu thức trên:

$$\frac{M}{M_{max}} = \frac{2R'_2 \left( R_1 + \frac{R'_2}{s_m} \right)}{s \left[ \left( \frac{R'_2}{s_m} \right)^2 + \left( \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \frac{2R_1 R'_2}{s} \right]}$$

Đặt  $\frac{R'_2}{\max}$  làm thừa số chung:

$$\frac{M}{M_{\max}} = \frac{2 \frac{R'_2}{s_m} \left( \frac{R_1 s_m}{R'_2} + 1 \right)}{\frac{R'_2}{s_m} \left( \frac{s}{s_m} + \frac{s_m}{s} + 2 \frac{R_1}{R'_2} s_m \right)}$$

$$\frac{M}{M_{\max}} = \frac{2 \left( \frac{R_1 s_m}{R'_2} + 1 \right)}{\left( \frac{s}{s_m} + \frac{s_m}{s} + 2 \frac{R_1}{R'_2} s_m \right)}$$

Trong các động cơ không đồng bộ khi

$r_f = 0$  thường  $r_1 = r'_2$  và  $R_1 \approx R'_2$ ,

$s_m = 0,12 \div 0,2$ , nên  $2 \frac{R_1}{R'_2} s_m$  rất nhỏ có thể bỏ qua

$$\frac{M}{M_{\max}} = \frac{2}{\frac{s}{s_m} + \frac{s_m}{s}} \Rightarrow M = \frac{2M_{\max}}{\frac{s}{s_m} + \frac{s_m}{s}} \quad (2-26)$$

(2-26) là biểu thức Klox để vẽ đường đặc tính cơ của máy. Với  $s_{\max}$  được tính như sau:

$$s_m = s_{dm} \left( k_m + \sqrt{k_m^2 - 1} \right)$$

#### 4. Đặc tính cơ và vấn đề ổn định

Ta đã biết:  $M_2 = M_{dt} - M_0$

Do  $M_0 \ll M_2$  nên đặc tính cơ của động cơ  $M_2 = f(n)$  có thể coi bằng  $M_{dt} = f(n)$  và nó có dạng như  $M = f(s)$  ở h2-12.

Phân tích sự làm việc ổn định của động cơ:

Giả sử động cơ làm việc với 1 moment

phụ tải  $M_c$  nào đó. Theo phương trình cân bằng moment động cơ có thể làm việc ở hai điểm A và B.

✓ Xét trường hợp máy làm việc ở điểm A: Nếu vì một lý do nào đó  $M_{CA}$  tăng

$M_{CA1} > M_{CA} \Rightarrow M_{dl} < 0$ ;  $n_A \rightarrow n_{A1}$ . Tại  $n_{A1}$ :  $M_{DA1} > M_{CA1} \Rightarrow M_{dl} > 0$

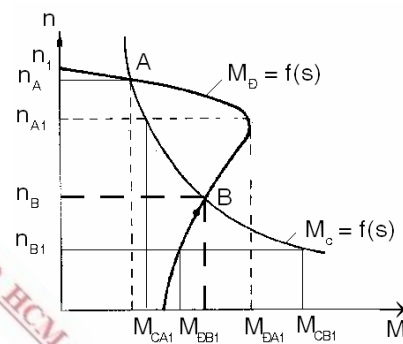
$\Rightarrow n_{A1} \rightarrow n_A$  nên điểm A là điểm làm việc ổn định.

Điều kiện làm việc ổn định:

$$\frac{dM_D}{ds} > \frac{dM_C}{ds} \quad \left( \text{hay} \quad \frac{dM_D}{dn} < \frac{dM_C}{dn} \right)$$

✓ Xét trường hợp máy làm việc tại điểm B:

Giả sử  $M_{CB}$  tăng đến  $M_{CB1} > M_{DB} \Rightarrow M_{dl} < 0 \Rightarrow n_B \rightarrow n_{B1}$



Hình 2.14 Sự làm việc ổn định của động cơ điện và máy công



Tại  $n_{B1}$ :  $M_{dl} = M_{ĐB1} - M_{CB1} < 0 \Rightarrow M_{dl} < 0$   
 $\Rightarrow n$  giảm đến 0  $\Rightarrow$  điểm B là điểm làm việc không ổn định.

Điều kiện làm việc không ổn định:

$$\frac{dM_D}{ds} < \frac{dM_C}{ds} \quad \left( \text{hay } \frac{dM_D}{dn} > \frac{dM_C}{dn} \right)$$

## § 2.5. CÁC ĐẶC TÍNH LÀM VIỆC CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

### I. Các đặc tính của động cơ không đồng bộ trong điều kiện định mức

Các đặc tính làm việc của động cơ không đồng bộ bao gồm:  $n$ ,  $M$ ,  $\eta$  và  $\cos \varphi = f(P_2)$  với  $U_1 = \text{const}$ ,  $f_1 = \text{const}$

#### 1. Đặc tính tốc độ $n = f(P_2)$

Từ công thức:  $s = \frac{n_1 - n}{n_1} \Rightarrow$

$$n = n_1(1-s)$$

Với  $s = \frac{\Delta P_{Cu2}}{P_{dt}}$

Khi không tải  $\Delta P_{Cu2} \approx 0 \Rightarrow s = 0, n \approx n_1$

Khi không tải lí tưởng  $\Delta P_{Cu2} = 0 \Rightarrow s = 0, n = n_1$ . Khi phụ tải tăng  $M_C = M_{đm}$  do hiệu suất  $\eta$  của động cơ nên

$$s = \frac{\Delta P_{Cu2}}{P_{dt}} \approx \frac{\Delta P_{Cu2}}{P_2} = (1,5 \div 5)\%. \text{ Số bé ứng}$$

với động cơ công suất lớn, số lớn ứng với động cơ công suất nhỏ (3 ÷ 10)kW. Do đó  $s$  rất nhỏ, tốc độ giảm rất ít khi  $s$  giảm coi quan hệ  $n = f(P_2)$  là một đường thẳng hơi nghiêng về trục hoành.

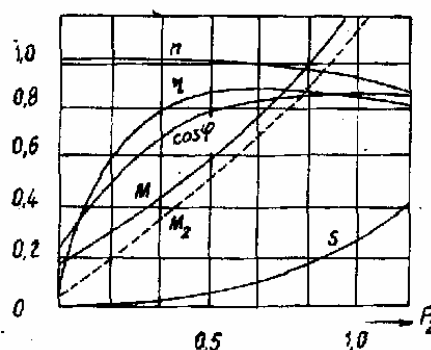
#### 2. Đặc tính moment $M = f(P_2)$

Ta đã biết ở tình trạng làm việc ổn định  $M = M_2 + M_0$  khi  $M_C = 0 \div M_{đm}$  thì coi như  $n = \text{const}$ . ( $s$  biến đổi trong giới hạn bé) nên  $M = f(P_2)$  coi như một đường thẳng  $\left( M = 9,55 \frac{P_2}{n} \right)$ .

#### 3. Tổn hao và đặc tính hiệu suất của động cơ $\eta = f(P_2)$

Khi máy làm việc có các tổn hao: Tổn hao đồng trong stator và rotor

$\Delta P_{Cu1}$  và  $\Delta P_{Cu2}$ , tổn hao sắt  $\Delta P_{Fe}$ , tổn hao cơ  $\Delta P_{cơ}$ , tổn hao phụ  $\Delta P_f, \dots$  4 loại tổn hao đầu đã có công thức xác định ( $\Delta P_{Cu1} = m_1 I_1^2 r_1, \Delta P_{Fe} = m_1 I_0^2 r_m, \Delta P_{Cu2} = m_1 I_2^2 r_2', \Delta P_{cơ} = P_{cơ} - P_2 - \Delta P_f$ ) còn tổn hao phụ bao gồm tổn hao phụ trong đồng và sắt. Cách tính rất phức tạp nên thường lấy là  $p_f = 0,5\% P_1$ .



Hình 2.15 Các đường đặc tính làm việc của máy điện không đồng bộ.

Hiệu suất của máy:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \sum p}{P_1} = 1 - \frac{\sum p}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \sum p}$$

$$\eta\% = \frac{P_2}{P_2 + \sum p} \cdot 100$$

Thường thiết kế  $\eta_{\max}$  vào khoảng  $(0,5 \div 0,75)P_{dm}$ .

#### 4. Đặc tính hệ số công suất $\cos \varphi = f(P_2)$

Động cơ không đồng bộ lấy công suất phản kháng từ lưới vào nên hệ số công suất luôn luôn khác 1 và  $\cos \varphi < 1$ .

Khi không tải  $\cos \varphi \leq 0,2$  rồi sau đó tăng tương đối nhanh theo phụ tải và đạt  $\cos \varphi_{\max}$  khi  $P_2 \approx P_{2dm}$ , khi phụ tải tăng hơn nữa thì  $n_D$  giảm, tương ứng  $\psi = \arctg \frac{s \cdot X'_2}{r'_2}$  tăng và  $\cos \psi_2$  và  $\cos \varphi_2$  giảm.

#### 5. Năng lực quá tải $k_M = \frac{M_{\max}}{M_{dm}}$

Khi làm việc bình thường  $M \leq M_{dm}$  nhưng trong một thời gian ngắn, máy có thể chịu quá tải lớn hơn (quá tải) mà không bị hư hỏng gì thì được gọi là năng lực quá tải của máy. Thường các động cơ công suất bé và trung bình có  $k_M = 1,6 \div 1,8$ . Động cơ công suất trung bình và lớn hơn có  $k_M = 1,8 \div 2,5$ . Động cơ đặc biệt  $k_M = 2,8 \div 3$  và cao hơn nữa.

## II. Các đặc tính của động cơ không đồng bộ trong điều kiện không

### định mức

#### 1. Điện áp không định mức:

Giả thiết  $U < U_{dm}$ , ta đã biết  $M \equiv U_1^2$  nên khi  $U_1$  giảm x lần thì M giảm  $x^2$  lần. Nếu bỏ qua điện áp rơi coi  $U_1 \approx E_1 \equiv \Phi$  thì khi  $U_1$  giảm thì s.đ.đ và  $\Phi$  cũng giảm theo mức độ như vậy. Nếu moment tải  $M = C_M \Phi I_2 \cos \varphi_2 = const$  thì  $I_2$  tăng làm nóng máy (hệ số trượt phải thay đổi để cho  $I_2$  biến thiên nghịch với  $\Phi$ ).

Khi động cơ điện làm việc với điện áp thấp ở tải nhẹ ( $< 40\%$ ) thì  $\sum p$  giảm,  $I_2$  tăng ít máy ít nóng  $\cos \varphi$  giảm  $\rightarrow \eta$  tăng. Khi máy làm việc đầy tải nên cung cấp  $U_{dm}$  để  $I_2$  khỏi tăng.

#### 2. Tần số không định mức $f \neq f_1$ .

Nếu  $f = f_1 \pm 5\%f_1$  thì coi như  $f = const$ .

Nếu bỏ qua điện áp rơi:  $U \approx E = \sqrt{2}\pi f_1 w_1 k_{dq} \Phi \cong f\Phi = const$  khi  $U = const$  thì  $\Phi \cong \frac{1}{f}$ . Khi f giảm  $\rightarrow \Phi$  tăng  $\rightarrow I_0$  tăng  $\rightarrow \Delta p_{Fe} = m_1 I_0^2 r_m$  tăng (lõi sắt nóng).

$M_C = C_M \Phi I_2 \cos \psi_2 = const \rightarrow \Phi$  tăng  $\rightarrow I_2$  giảm  $\rightarrow s.P_{dt} = \Delta p_{Cu2} = m_1 I_2^2 r'_2$  giảm  $\rightarrow s$  giảm. Khi f giảm  $\rightarrow n_1 = \frac{60f_1}{p}$  giảm máy làm nguội kém.

**Thí dụ 1:**

Một động cơ điện không đồng bộ ba pha rotor lồng sóc có các số liệu sau:  
 $P_{đm} = 11,9kW$ ;  $U_{fđm} = 220V$ ;  $I_{fđm} = 25A$ ;  $f = 50Hz$ ;  $2p = 6$ ;  $n_{đm} = 960$  vòng/phút;  
 $\Delta p_{Cu1} = 745W$ ;  $\Delta p_{Cu2} = 480W$ ;  $I'_2 = 20,25A$ ;  $x_n = x_1 + x'_2 = 2,18\Omega$ . Tính moment  
 điện từ của động cơ. Coi  $\sigma_1 = 1$

**Giải:**

Điện trở:  $r_1 = \frac{\Delta p_{Cu1}}{mI_1^2} = \frac{745}{3.25^2} = 0,398\Omega$

$r'_2 = \frac{\Delta p_{Cu2}}{mI_2'^2} = \frac{480}{3.20,25^2} = 0,39\Omega$

Tốc độ đồng bộ:  $n = \frac{60f}{p} = \frac{60.50}{3} = 1000$  vòng/phút

Hệ số trượt:  $s = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{1000 - 960}{1000} = 0,04$

Moment điện từ: 
$$M = \frac{m_1 p U_1^2 r'_2 / s}{2\pi f_1 \left[ \left( r_1 + \frac{r'_2}{s} \right)^2 + (x_1 + x'_2)^2 \right]}$$

$$\frac{3.3.220^2.0,39}{0,04} = 120(Nm)$$

$$2\pi 50 \left[ \left( 0,398 + \frac{0,39}{0,04} \right)^2 + 2,18^2 \right]$$

**Câu hỏi:**

1. Nếu điện áp nguồn giảm đi 5% thì ảnh hưởng đến  $M_{max}$ ,  $M_{mm}$  như thế nào? Nếu moment tải không đổi thì ảnh hưởng đến  $n$ ,  $I_1$ ,  $\Phi$ ,  $\cos \varphi$  như thế nào?
2. Một động cơ điện không đồng bộ thiết kế với tần số  $f = 60Hz$  nếu đem dùng ở tần số  $50Hz$  và giữ điện áp không đổi thì điện kháng tản,  $\cos \varphi$ ,  $M_{max}$ ,  $M_{mm}$  và tổn hao không tải sẽ thay đổi như thế nào? Có ảnh hưởng đến công suất của máy hay không?
3. Moment phụ của động cơ không đồng bộ là những moment nào? Ý nghĩa và ảnh hưởng của các loại moment đó?
4. Vẽ và giải thích các đường đặc tính làm việc của động cơ không đồng bộ.
5. Cho những kết luận chính khi động cơ làm việc trong điều kiện không định mức và điện áp không đối xứng.

**2.7.**

Cho một động không đồng bộ rotor dây quấn có  $P_{đm} = 155kW$ ;  $p = 2$ ;  
 $U = 380V$ ; đấu Y;  $\Delta p_{Cu2} = 2210W$ ;  $\Delta p_{cơ} = 2640W$ ;  $\Delta p_f = 310W$ ;  
 $r'_2 = 0,012\Omega$ .

- Lúc tải định mức tính  $P_{dt}$ ;  $s_{dm}\%$ ;  $n_{dm}$ ;  $M_{dm}$ .
- Giả sử moment tải là không đổi, nếu cho dây quấn phần quay một điện trở quy đổi  $r'_f = 0,1 \Omega$  thì hệ số trượt, tốc độ quay và tổn hao đồng rotor sẽ bằng bao nhiêu?
- Biết  $r_1 = r'_2$ ;  $x_1 = x'_2 = 0,06 \Omega$ . Tính  $M_{max}$ ,  $s_m$ .
- Tính điện trở phụ cần thiết phải cho vào rotor để moment mở máy cực đại.

ĐS: a)  $P_{dt} = 160,16 \text{kW}$ ;  $s_{dm} = 1,38\%$ ;  $n_{dm} = 1479 \text{vòng/phút}$ ;

$M_{dm} = 1000,7 \text{Nm}$ ;

b)  $s' = 12,88\%$ ;  $n' = 1307 \text{vòng/phút}$ ;  $\Delta p_{Cu2} = 20,63 \text{kW}$ .

c)  $M_{max} = 20892 \text{Nm}$ ;  $s_m = 0,1$ .

d)  $r_f = 0,108 \Omega$

## 2.8.

Một động cơ điện không đồng bộ ba pha rotor lồng sóc có:  $P_{dm} = 20 \text{kW}$ ;  
 $U_1 = 380 \text{V}$ ; đấu Y;  $\eta = 88\%$ ;  $\cos \varphi = 0,84$ ;  $n_{dm} = 970 \text{vòng/phút}$ . Biết rằng  
 $I_{mm}/I_{dm} = 4,5$ ;  $M_{max}/M_{dm} = 1,8$ ;  $M_{mm}/M_{dm} = 1,2$ . Tính:

a)  $I_{dm}$ ,  $I_{mm}$ ,  $s_{dm}$ .

b)  $M_{dm}$ ,  $M_{mm}$ ,  $M_{max}$  và tổng tổn hao trong động cơ khi làm việc định mức.

ĐS: a)  $I_{dm} = 41,1 \text{A}$ ;  $I_{mm} = 185 \text{A}$ ,  $s_{dm} = 0,03$

b)  $M_{dm} = 197 \text{Nm}$ ;  $M_{mm} = 236,2 \text{Nm}$ ;  $M_{max} = 354,4 \text{Nm}$ .

## CHƯƠNG III: MỞ MÁY VÀ ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ

### § 3.1. QUÁ TRÌNH MỞ MÁY ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Quá trình mở máy động cơ điện là quá trình đưa tốc độ động cơ từ  $n = 0 \div n_{dm}$  khi  $n$  tăng thì phương trình cân bằng động về moment như sau:

$$M_D - M_C = M_{dl} = J \frac{d\omega}{dt}$$

Trong đó:  $M_D, M_C, M_{dl}$ : moment điện từ của động cơ, moment cản, moment quán tính.

$$J = \frac{G.D^2}{49} : \text{hằng số quán tính}$$

$g = 9,81m/s^2$ : gia tốc trọng trường.

$G$ : khối lượng phần quay.

$D$ : đường kính phần quay.

$\omega$ : tốc độ góc của rotor.

Để tốc độ của động cơ tăng thuận lợi thì  $M_D > M_C \rightarrow \frac{d\omega}{dt} > 0$

Khi bắt đầu mở máy  $s = 1$ :

Dòng điện mở máy  $I_{mm}$ :

$$I_{mm} = \frac{U_{1phadm}}{\sqrt{(R_1 + R'_2)^2 + X_n^2}} = (4 \div 7)I_{dm}$$

Trong đó:  $U_{1phadm}$ : Điện áp pha định mức đặt vào dây quấn stator.

Trên thực tế, mạch từ tản của máy bảo hoà nhanh  $X$  giảm  $\rightarrow I_{mm}$  còn lớn hơn nhiều so với trị số tính theo công thức trên.

### § 3.2. CÁC PHƯƠNG PHÁP MỞ MÁY

Các yêu cầu khi mở máy:

- +  $M_{mm}$  phải đủ lớn để thích ứng với đặc tính cơ của tải.
- +  $I_{mm}$  phải được hạn chế đến mức thấp nhất.
- + Thời gian mở máy nhanh.
- + Phương pháp và thiết bị mở máy phải đơn giản, vận hành chắc chắn.
- + Tổn hao công suất trong quá trình mở máy thấp.

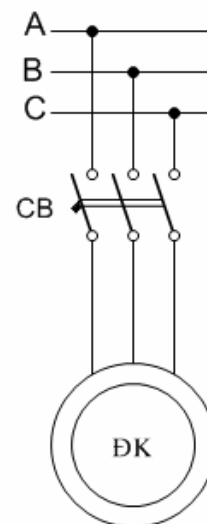
#### 1. Mở máy trực tiếp động cơ rotor lồng sóc

Dòng điện mở máy lớn, chỉ dùng cho các máy có công suất nhỏ. Nếu máy có công suất lớn thì dùng trong lưới điện có công suất lớn. Phương pháp này mở máy

Hình 3.1 Mở máy trực tiếp động cơ

#### 2. Phương pháp hạ điện áp mở máy:

Chỉ dùng với các thiết bị yêu cầu moment mở máy nhỏ.



**a) Dùng cuộn kháng bão hoà trong mạch stator:**

Khi mở máy đóng  $D_1, D_2$  mở:

Khi  $n \approx n_{dm}$  đóng  $D_2$ .

- Lúc mở máy trực tiếp:

$$I_{mm} = \frac{U_{dm}}{\sqrt{R_n^2 + x_n^2}} = \frac{U_{dm}}{Z_n}$$

$$M_{mm} = \frac{m_1 I_{mm}^2 r'_2}{\omega_1}$$

- Lúc mở máy có cuộn kháng (điện kháng  $x_k$ ):

$$I_{mmk} = \frac{U_{dm}}{\sqrt{R_n^2 + (x_n + x_k)^2}}$$

$$M_{mmk} = \frac{m_1 I_{mmk}^2 r'_2}{\omega_1}$$

Từ đó ta có:

$$\frac{I_{mmk}}{I_{mm}} = \frac{\sqrt{R_n^2 + x_n^2}}{\sqrt{R_n^2 + (x_n + x_k)^2}} = k < 1$$

$$\Rightarrow \frac{M_{mmk}}{M_{mm}} = \frac{R_n^2 + x_n^2}{R_n^2 + (x_n + x_k)^2} = k^2$$

Theo phương pháp này  $I_{mm}$  giảm  $k$  lần thì  $M_{mm}$  giảm  $k^2$  lần. Phương pháp chỉ được dùng trong các trường hợp mà vấn đề trị số  $M_{mm}$  không có ý nghĩa quan trọng.

**b) Dùng biến áp tự ngẫu hạ điện áp mở máy:**

Khi mở máy đóng  $D_1$  và  $D_3$ , khi  $n \approx n_{dm}$  đóng  $D_2$ , ngắt  $D_3$ .

Gọi: -  $U_1, I_1$ : là điện áp và dòng điện của lưới.

-  $U'_{mm}, I'_{mm}$ : điện áp trên cực động cơ và dòng

điện stator của động cơ khi mở máy.

-  $k_T$ : là tỉ số biến áp ( $k_T < 1$ ).

$$k_T = \frac{w_1}{w_2} = \frac{U_1}{U'_{mm}} = \frac{I'_{mm}}{I_1}$$

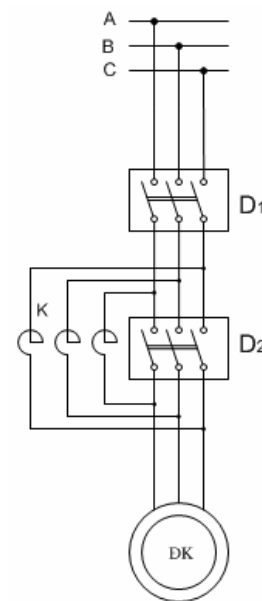
-  $Z_n$ : tổng trở ngắn mạch của một pha động cơ.

$$U'_{mm} = \frac{U_1}{k_T}$$

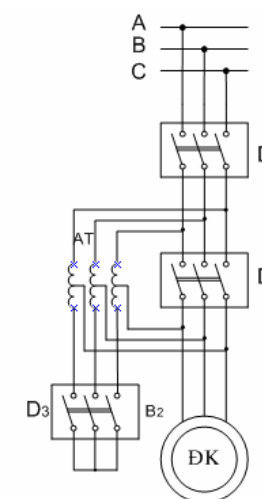
$$I'_{mm} = \frac{U'_{mm}}{Z_n} = I_1 \cdot k_T$$

$$I_1 = \frac{I'_{mm}}{k_T}$$

$$I_1 = \frac{U'_{mm}}{Z_n \cdot k_T} = \frac{U_1}{Z_n \cdot k_T^2}$$



Hình 3.2 Hạ điện áp mở máy bằng điện kháng



Hình 3.3 Hạ điện áp mở máy bằng biến áp tự ngẫu

Như vậy, khi mở máy bằng biến áp tự ngẫu dòng điện từ lưới vào sơ cấp máy biến áp giảm đi  $k_T^2$  so với  $I_{mm}$  khi nối trực tiếp và moment mở máy giảm  $k_T^2$  lần so với  $M_{mm}$  trực tiếp.

**c) Phương pháp đổi nối Y - Δ:**

Chỉ sử dụng với động cơ có 2 cấp điện áp 220/380 và làm việc bình thường ở cấp điện áp 220V.

*Cách mở máy:* Đóng cầu dao đổi nối  $D_2$  về vị trí mở máy (Y).

Đóng  $D_1$  khi  $n \approx n_{dm}$  đổi  $D_2$  sang vị trí làm việc.

Gọi: -  $U_L$ : là điện áp dây của lưới.

-  $U_{fY}, U_{fΔ}$ : điện áp pha khi dây quấn nối Y, Δ.

-  $I_{mmLY}, I_{mmLΔ}$ : dòng điện dây mở máy trong lưới khi đấu Y, Δ

-  $I_{mmfĐY}, I_{mmfĐΔ}$ : dòng điện pha mở máy

trong dây quấn stator khi nối Y, Δ.

-  $Z_n$ : tổng trở ngắn mạch một pha.

➤ Nếu đóng động cơ điện vào lưới khi đấu Y

$$I_{mmLY} = I_{mmfĐY} = \frac{U_{fY}}{Z_n} = \frac{U_L}{\sqrt{3} \cdot Z_n}$$

➤ Nếu đóng động cơ vào lưới khi đấu Δ:

$$I_{mmfĐΔ} = \frac{U_{fΔ}}{Z_n} = \frac{U_L}{Z_n}$$

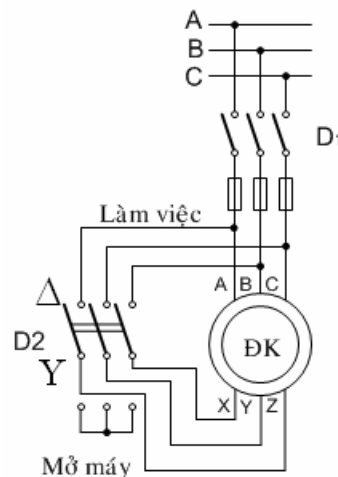
Và 
$$I_{mmLΔ} = \sqrt{3} \cdot I_{mmfĐΔ} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_L}{Z_n}$$

Lập: 
$$\frac{I_{mmLY}}{I_{mmLΔ}} = \frac{U_L}{\sqrt{3} \cdot Z_n} \cdot \frac{Z_n}{\sqrt{3} \cdot U_L} = \frac{1}{3}$$

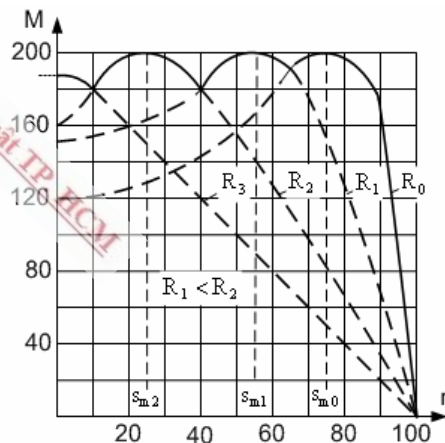
Dòng điện mở máy trong lưới khi nối Y nhỏ hơn khi nối Δ 3 lần.  $M_{mm}$  cũng giảm đi 3 lần:

$$M_{mmY} \equiv U_Y^2 = \frac{U_L^2}{3}$$

Trong khi  $M_{mmΔ} \equiv U_Δ^2 = U_L^2$ .



Hình 3.4 Mở máy bằng phương pháp sao tam giác



Hình 3.5 Đặc tính moment ứng với các điện trở phụ khác nhau trong mạch rotor

**3. Thêm  $R_f$  vào dây quấn rotor**

Chỉ áp dụng với động cơ không đồng bộ rotor dây quấn nếu  $M_c > M_D$  mà động cơ sinh ra khi  $s = 1$  thì động cơ không thể khởi động được. Ta phải đóng  $R_f$  vào để khởi mở máy

$M_{mmmax}$  cần phải chọn  $R_f = \sqrt{R_1^2 + X_n^2} - R_2$ .

Quá trình mở máy ứng với các  $R_f$  như hình vẽ 3.5.

### § 3.3. ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Người ta phân biệt các phương pháp điều chỉnh tốc độ theo cách tác động vào động cơ:

- Từ phía stator: Thay đổi điện áp  $U_1$ , tần số  $f$ , số đôi cực  $p$ .
- Từ phía rotor: Thay đổi điện trở trong mạch rotor, đưa vào mạch rotor một s.đ.đ phụ có cùng tần số với s.đ.đ chính của rotor.

#### 1. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi số đôi cực $p$ :

Tốc độ quay đồng bộ  $n_1 = \frac{60f_1}{p}$  nếu  $f_1$  đã cho thì khi  $p$  thay đổi  $\rightarrow n_1$  thay

đổi  $\rightarrow$  thay đổi.

$$n = n_1(1-s)$$

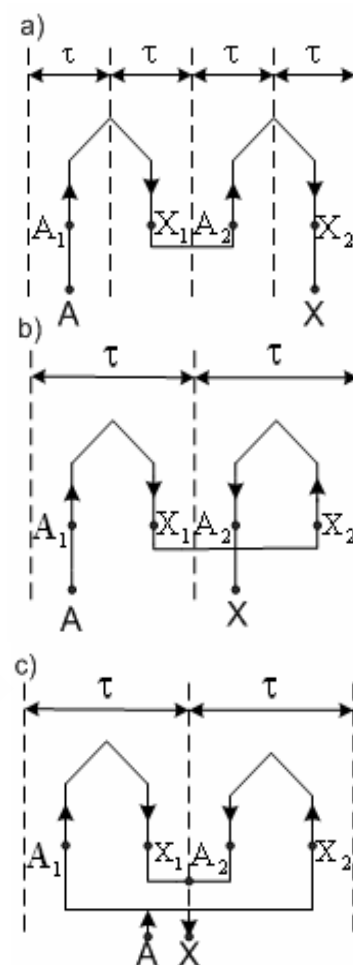
Sơ đồ nguyên tắc đổi số đôi cực: Có thể đổi nối số đôi cực stator bằng cách sau:

❖ Đặt vào stator một dây quấn và thay đổi số cực bằng cách đổi nối tương ứng các phần của nó, chỉ dùng với động cơ có 2 cấp tốc độ có tỉ số biến tốc 2 : 1.

❖ Chế tạo 2 dây quấn độc lập có số đôi cực khác nhau, chỉ dùng với động cơ có tỉ số biến tốc 4/3 hoặc 6/5

❖ Chế tạo 2 dây quấn độc lập trên stator, mỗi bộ dây lại có đổi nối các cực.

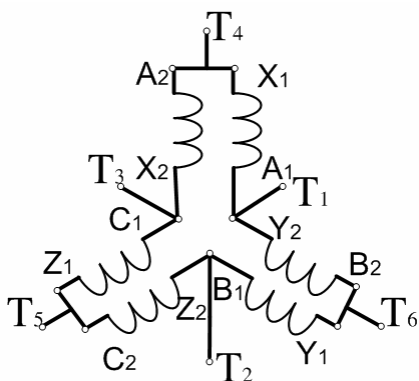
**Ví dụ:** Muốn cho động cơ có 4 cấp tốc độ quay đồng bộ quay đồng bộ 1500, 1000, 750, 500vòng/1 phút thì trên stator có thể đặt 2 dây quấn: một dây quấn có số cực là  $2p = 4$  và  $2p = 8$ , còn một dây quấn có số cực là  $2p = 6$  và  $2p = 12$ .



Hình 3.6 Sơ đồ nguyên lý về thay đổi số đôi cực

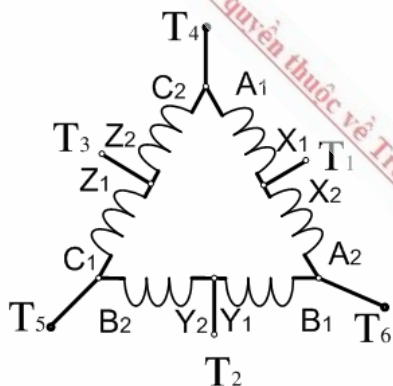


Sơ đồ ra dây được biểu diễn như sau:



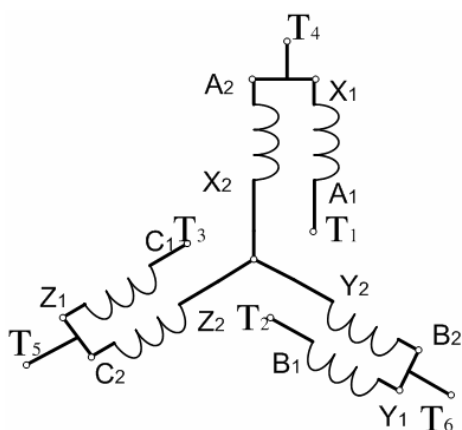
Tốc độ	Sơ đồ	Liên kết
Nhanh	Y//Y	Nguồn vào T <sub>4</sub> ; T <sub>5</sub> ; T <sub>6</sub> Nối tắt T <sub>1</sub> – T <sub>2</sub> – T <sub>3</sub>
Chậm	Δ	Nguồn vào T <sub>1</sub> , T <sub>2</sub> , T <sub>3</sub>

Hình 3.7 Sơ đồ ra dây, động cơ hai cấp tốc độ, loại moment không đổi ( $M = const$ )



Tốc độ	Sơ đồ	Liên kết
Nhanh	Δ	Nguồn vào T <sub>4</sub> ; T <sub>5</sub> ; T <sub>6</sub>
Chậm	Y//Y	Nguồn vào T <sub>1</sub> ; T <sub>2</sub> ; T <sub>3</sub> Nối tắt T <sub>4</sub> – T <sub>5</sub> – T <sub>6</sub>

Hình 3.8 Sơ đồ ra dây, động cơ hai cấp tốc độ, loại công suất không đổi ( $P = const$ )



Tốc độ	Sơ đồ	Liên kết
Nhanh	Y//Y	Nguồn vào T <sub>4</sub> ; T <sub>5</sub> ; T <sub>6</sub> Nối tắt T <sub>1</sub> – T <sub>2</sub> – T <sub>3</sub>
Chậm	Y	Nguồn vào T <sub>1</sub> ; T <sub>2</sub> ; T <sub>3</sub>

Hình 3.9 Sơ đồ ra dây, động cơ hai cấp tốc độ, loại moment và công suất thay đổi ( $M, P = var$ ).

Nếu động cơ rotor dây quấn phải đổi nối số đôi cực đồng thời trên cả stator và rotor, điều này hơi phức tạp nên các động cơ có đổi nối số đôi cực p thường là rotor lồng sóc. Cách đổi nối trên hình 3.6a, b gọi là đổi nối nối tiếp, còn cách đổi nối trên hình 3.6c gọi là đổi nối song song.

**⚡ Phương pháp đấu giữa các pha để đổi cực:**

Tuỳ theo cách đấu Y hay  $\Delta$  và cách đấu dây quấn pha song song hay nối tiếp mà người ta chế tạo động cơ điện hai tốc độ thành hai loại:  $M = \text{const}$  và  $P = \text{const}$ .

Khảo sát lần lượt từng sơ đồ đổi tốc độ ta rút ra các nhận xét để vận hành cũng như tính toán sửa chữa; để đơn giản khi khảo sát ta đặt:

$U_d$  : Điện áp dây nguồn cung cấp cho động cơ.

$I$  : Dòng điện cho phép đi qua dây dẫn của mỗi pha dây quấn (tương ứng với một giá trị mật độ dòng điện chọn cho dây dẫn).

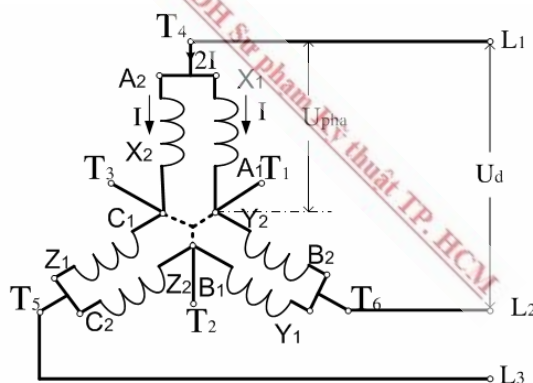
$\eta_{th}$  : Hiệu suất động cơ vận hành tại tốc độ thấp (ứng với  $2p_2$ ).

$\eta_c$  : Hiệu suất động cơ vận hành tại tốc độ cao (ứng với  $2p_1$ ).

$\cos\varphi_{th}$  : Hệ số công suất động cơ tại tốc độ thấp.

$\cos\varphi_c$  : Hệ số công suất động cơ tại tốc độ cao.

**a) Trường hợp thay đổi tốc độ ( $M = \text{const}$ ).**



+ Khi vận hành ở tốc độ cao ta có mạch điện đấu Y//Y.

+ Điện áp mỗi pha dây quấn:  $U_{pha} = \frac{U_d}{\sqrt{3}}$

+ Dòng điện mỗi pha (một pha có hai nhánh) là  $2I$ .

+ Công suất cơ trên trục động cơ khi vận hành tại tốc độ cao là  $P_c$  ; ta có:

$$P_c = 3 \left( \frac{U_d}{\sqrt{3}} \right) (2I) \eta_c \cdot \cos\varphi_c \tag{3-1}$$

Vậy :  $P_c = 2\sqrt{3}(U_d \cdot I) \eta_c \cdot \cos\varphi_c$

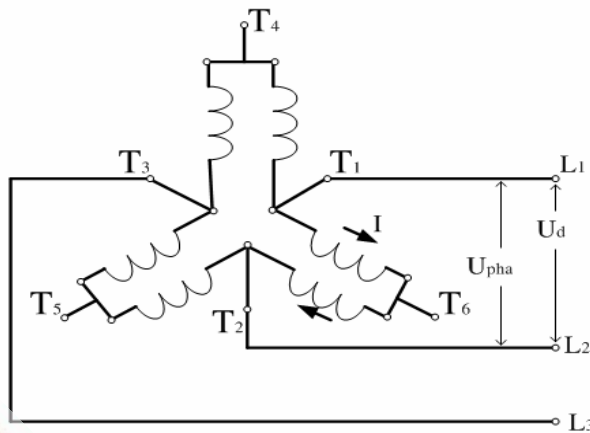
- Khi vận hành tốc độ thấp, ta có mạch điện đấu  $\Delta$ .

- Điện áp mỗi pha dây quấn là:  $U_{pha} = U_d$

- Dòng điện qua mỗi pha là I.
- Công suất cơ trên trục động cơ khi vận hành tại tốc độ thấp là  $P_{th}$ , ta có:

$$P_{th} = 3(U_d)I\eta_{th} \cdot \cos \varphi_{th}$$

Vậy : 
$$P_{th} = 3(U_d \cdot I)\eta_{th} \cdot \cos \varphi_{th} \quad (3-2)$$



Lập tỉ số giữa (3-2) và (3-1) ta có:

$$\frac{P_{th}}{P_c} = \frac{3(U_d \cdot I)\eta_{th} \cdot \cos \varphi_{th}}{2\sqrt{3}(U_d \cdot I)\eta_c \cdot \cos \varphi_c} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \left( \frac{\eta_{th} \cdot \cos \varphi_{th}}{\eta_c \cdot \cos \varphi_c} \right)$$

Hay : 
$$\frac{P_{th}}{P_c} = 0,866 \cdot \left( \frac{\eta_{th} \cdot \cos \varphi_{th}}{\eta_c \cdot \cos \varphi_c} \right) \quad (3-3)$$

Gọi  $M_c$  là moment động cơ ở tốc độ cao.

Gọi  $M_{th}$  là moment động cơ ở tốc độ thấp.

Ta suy ra: 
$$M_c = \frac{P_c}{2\pi n_c} \quad (3-4)$$

$$M_{th} = \frac{P_{th}}{2\pi n_{th}} \quad (3-5)$$

Trong đó  $n_c = 2n_{th}$

Vậy : 
$$\frac{M_{th}}{M_c} = \frac{P_{th}}{P_c} \cdot \frac{n_c}{n_{th}} = 2 \frac{P_{th}}{P_c} \quad (3-6)$$

Tóm lại:

$$\frac{M_{th}}{M_c} = \sqrt{3} \cdot \left( \frac{\eta_{th} \cdot \cos \varphi_{th}}{\eta_c \cdot \cos \varphi_c} \right) \quad (3-7)$$

Theo một số tài liệu thiết kế máy điện cho động cơ 2 cấp tốc độ tỉ số biến tốc 2/1 ta có được:

$$\frac{\eta_{th} \cdot \cos \varphi_{th}}{\eta_c \cdot \cos \varphi_c} \approx 0,7 \quad (3-8)$$

Thay (3-8) vào (3-3) và (3-7) ta suy ra:

$$\frac{P_{th}}{P_c} \approx 0,6 \text{ và } \frac{M_{th}}{M_c} \approx 1,2$$

TÓM LẠI:

Với sơ đồ đấu nối tốc độ, dạng Y//Y (tốc độ nhanh) và  $\Delta$  (tốc độ chậm) khi thay đổi tốc độ:

- ❖ Tại tốc độ thấp công suất đạt khoảng 0,6 lần công suất khi vận hành tại tốc độ cao.
- ❖ Tại tốc độ thấp moment đạt khoảng 1,2 lần moment khi vận hành tại tốc độ cao (trong kỹ thuật ta có thể xem như moment không đổi).

**b) Trường hợp thay đổi tốc độ (P = const).**

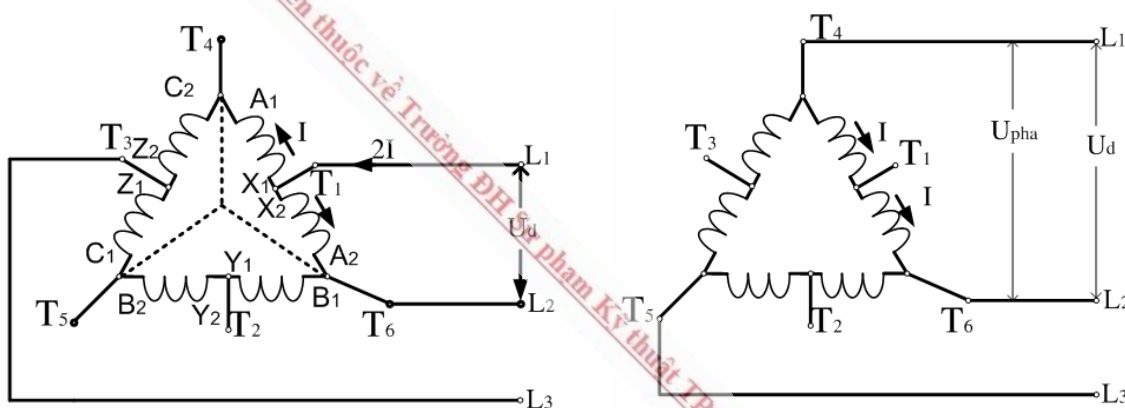
+ Khi vận hành ở tốc độ cao ta có mạch điện đấu  $\Delta$ .

+ Điện áp mỗi pha dây quấn:  $U_{pha} = U_d$

+ Dòng điện mỗi pha là I.

+ Công suất cơ trên trục động cơ khi vận hành tại tốc độ cao là  $P_c$ ; ta có:

$$P_c = 3(U_d)(I)\eta_c \cdot \cos \varphi_c \tag{3-9}$$



- Khi vận hành tốc độ thấp, ta có mạch điện đấu Y//Y.

- Điện áp mỗi pha dây quấn là:  $U_{pha} = \frac{U_d}{\sqrt{3}}$

- Dòng điện qua mỗi pha là 2I (mỗi pha có 2 nhánh song song).

- Công suất cơ trên trục động cơ khi vận hành tại tốc độ thấp là  $P_{th}$ :

$$P_{th} = 3 \left( \frac{U_d}{\sqrt{3}} \right) (2I)\eta_{th} \cdot \cos \varphi_{th}$$

Vậy:

$$P_{th} = 2\sqrt{3}(U_d \cdot I)\eta_{th} \cdot \cos \varphi_{th} \tag{3-10}$$

Lập tỉ số giữa (3-10) và (3-9), ta suy ra:

$$\frac{P_{th}}{P_c} = \frac{2\sqrt{3}(U_d \cdot I)\eta_{th} \cdot \cos \varphi_{th}}{3(U_d \cdot I)\eta_c \cdot \cos \varphi_c} = 2 \frac{\sqrt{3}}{3} \cdot \left( \frac{\eta_{th} \cdot \cos \varphi_{th}}{\eta_c \cdot \cos \varphi_c} \right) \tag{3-11}$$

Suy ra:

$$\frac{P_{th}}{P_c} = 1,15 \cdot \left( \frac{\eta_{th} \cdot \cos \varphi_{th}}{\eta_c \cdot \cos \varphi_c} \right) \tag{3-12}$$

Theo (3-6) và (3-12) ta có: 
$$\frac{M_{th}}{M_c} = 2,3 \cdot \left( \frac{\eta_{th} \cdot \cos \varphi_{th}}{\eta_c \cdot \cos \varphi_c} \right) \quad (3-13)$$

Thay (3-8) vào (3-12) và (3-13) suy ra:

$$\frac{P_{th}}{P_c} \approx 0,8 \text{ và } \frac{M_{th}}{M_c} \approx 1,6$$

TÓM LẠI:

Với sơ đồ đấu đổi tốc độ dạng đấu  $\Delta$  (tốc độ nhanh), Y//Y (tốc độ chậm) khi thay đổi tốc độ:

- ❖ Tại tốc độ thấp công suất bằng 0,8 lần công suất khi vận hành tại tốc độ cao (trường hợp này, trong kỹ thuật xem như công suất không đổi).
- ❖ Tại tốc độ thấp moment gấp 1,6 lần moment khi vận hành tại tốc độ cao.

c) Trường hợp thay đổi tốc độ, moment và công suất thay đổi (M, P = var).

+ Khi vận hành ở tốc độ cao ta có mạch điện đấu Y//Y.

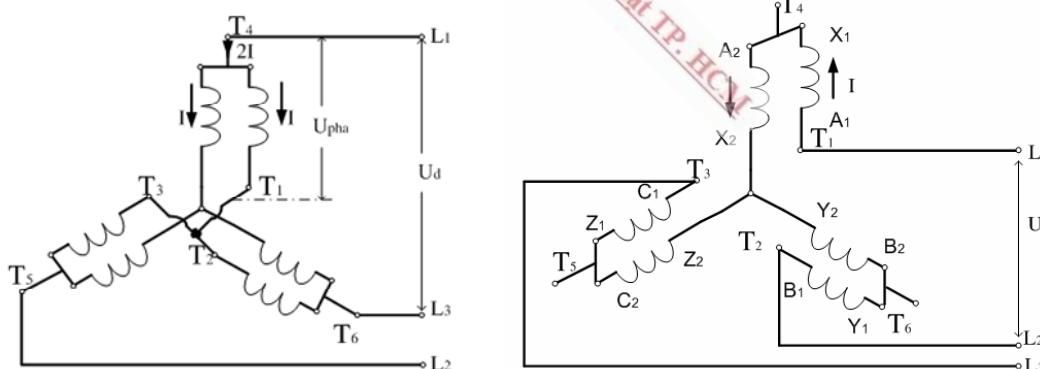
+ Điện áp mỗi pha dây quấn:  $U_{pha} = \frac{U_d}{\sqrt{3}}$

+ Dòng điện mỗi pha là 2I (một pha có hai nhánh song song).

+ Công suất cơ trên trục động cơ khi vận hành tại tốc độ cao là  $P_c$ ; ta có:

$$P_c = 3 \left( \frac{U_d}{\sqrt{3}} \right) (2I) \eta_c \cdot \cos \varphi_c$$

Vậy: 
$$P_c = 2\sqrt{3}(U_d \cdot I) \eta_c \cdot \cos \varphi_c \quad (3-14)$$



- Khi vận hành ở tốc độ thấp, ta có mạch điện đấu Y nối tiếp.

- Điện áp mỗi pha dây quấn là:  $U_{pha} = \frac{U_d}{\sqrt{3}}$

- Dòng điện qua mỗi pha là I.

- Công suất cơ trên trục động cơ khi vận hành tại tốc độ thấp là  $P_{th}$ , ta có:

$$P_{th} = 3 \left( \frac{U_d}{\sqrt{3}} \right) (I) \eta_{th} \cdot \cos \varphi_{th}$$

Hay : 
$$P_{th} = \sqrt{3}(U_d \cdot I)\eta_{th} \cdot \cos \varphi_{th}$$

Lập tỉ số giữa (3-14) và (3-15) ta có:

$$\frac{P_{th}}{P_c} = \frac{\sqrt{3}(U_d \cdot I)\eta_{th} \cdot \cos \varphi_{th}}{2\sqrt{3}(U_d \cdot I)\eta_c \cdot \cos \varphi_c} = 0,5 \cdot \left( \frac{\eta_{th} \cdot \cos \varphi_{th}}{\eta_c \cdot \cos \varphi_c} \right) \quad (3-16)$$

Suy ra:

$$\frac{M_{th}}{M_c} = \left( \frac{\eta_{th} \cdot \cos \varphi_{th}}{\eta_c \cdot \cos \varphi_c} \right) \quad (3-17)$$

Thay (3-8) vào (3-16) và (3-17) ta có:

$$\frac{P_{th}}{P_c} \approx 0,35 \text{ và } \frac{M_{th}}{M_c} \approx 0,7$$

**TÓM LẠI:**

Với sơ đồ đấu nối tốc độ, dạng Y/Y (tốc độ nhanh) và Y (tốc độ chậm) khi thay đổi tốc độ:

- ❖ Tại tốc độ thấp, công suất đạt khoảng 0,35 lần công suất khi vận hành tại tốc độ cao.
- ❖ Tại tốc độ thấp moment đạt khoảng 0,7 lần moment khi vận hành tại tốc độ cao.

## 2. Thay đổi tần số:

Ta đã biết: 
$$n = n(1-s) = \frac{60f_1}{p}(1-s)$$

M.P Kôxtenkô đã nghiên cứu vấn đề này và chứng minh rằng: Nếu ta muốn cho động cơ làm việc ở những tần số khác nhau với các trị số hiệu suất, hệ số công suất,  $k_M$  ... không đổi, thì khi mạch từ không bão hoà, đồng thời với việc biến thiên tần số ta phải điều chỉnh  $U_1$  theo  $f$  và  $M$  theo qui luật sau:

$$\frac{U'_1}{U_1} = \frac{f'_1}{f_1} \sqrt{\frac{M'}{M}} \quad (1)$$

Ở đây:  $U'_1$ ,  $M'$  là điện áp và moment ứng với  $f'_1$ .

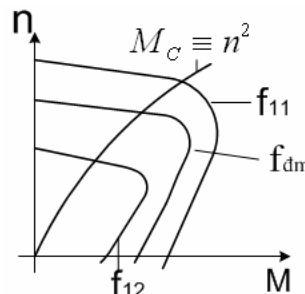
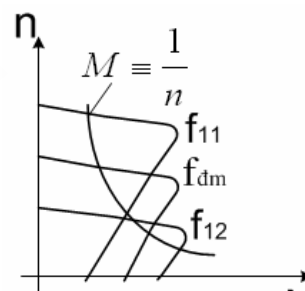
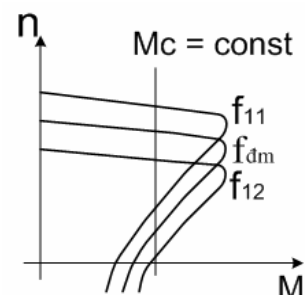
$U_1$ ,  $M$  là điện áp và moment ứng với  $f_1$ .

Khi  $M = \text{const}$ :  $\frac{U'_1}{U_1} = \frac{f'_1}{f_1} \Rightarrow \frac{U_1}{f_1} = \text{const}$  Tức là điện

áp đặt vào động cơ phải tỉ lệ thuận với  $f$ .

Khi  $P = \text{const}$ : Thì moment của động cơ biến thiên tỉ lệ nghịch với  $n$ :

$$M \equiv \frac{1}{n} \Rightarrow M \equiv \frac{1}{f_1}$$



Tức là  $\frac{M'}{M} = \frac{f_1}{f'_1}$  thế vào (1), ta có:

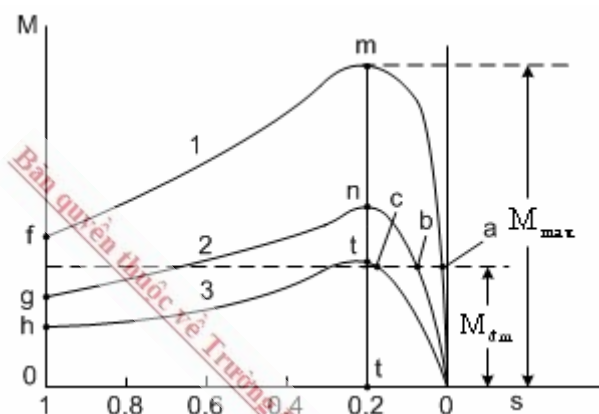
$$\frac{U'_1}{U_1} = \frac{f'_1}{f_1} \sqrt{\frac{f_1}{f'_1}} \Rightarrow \frac{U'^2_1}{U^2_1} = \frac{f'_1}{f_1} \Rightarrow \frac{U'^2_1}{f'_1} = \text{const}$$

Khi  $M \equiv n^2 (M \equiv f^2)$ :

$$\frac{M'}{M} = \frac{f'^2_1}{f_1^2} \Rightarrow \frac{U'_1}{U_1} = \frac{f'_1}{f_1} \Rightarrow \frac{U_1}{f_1} = \text{const}$$

Điện áp đặt vào động cơ phải tỉ lệ thuận với bình phương f.

### 3. Thay đổi điện áp đặt vào dây quấn stator $U_1$ :



Hình 3.11 Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện áp

Giả thiết đường 1 ứng với  $U = U_{dm}, M_c \equiv \text{const}$

Nếu  $U_1$  giảm x lần:  $U_1 = xU_{dm} (x < 1)$  thì  $M$  giảm  $x^2$  lần:  $M = x^2 M_{dm}$  vì

$M_c = \text{const} \Rightarrow n$  giảm  $\Rightarrow$  tăng từ  $s_a \rightarrow s_b \rightarrow s_c$ .

Nếu bỏ qua điện áp rơi trên dây quấn stator:  $U_1 \approx F_1 \equiv \Phi$  nên  $U_1$  giảm x lần  $\rightarrow$

$E_1, \Phi$  giảm x lần ( $\Phi = x\Phi_m$ ) mà  $M_c = c_M I_2^2 \Phi \cos \psi_2 = \text{const}$  thì  $I_2$  tăng  $\frac{1}{x}$  lần

Để  $M = \text{const}$ . Nhưng:  $s = \frac{\Delta p_{Cu2}}{P_{dt}} = \frac{m_1 I_2^2 r'_2}{M_1 \omega_1}$ ;  $P_{dt} = M_1 \omega_1 = \text{const} \rightarrow s' = \frac{1}{x^2} s$

(vì  $M = \text{const}, \omega_1 = \text{const}$ ).

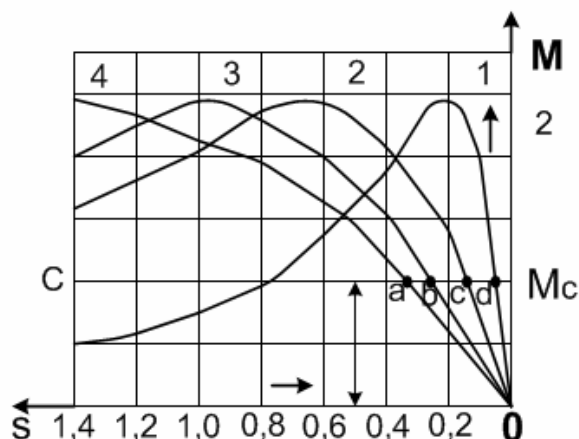
Tốc độ quay của rotor:  $n = n_1(1 - s') = n_1 \left(1 - \frac{1}{x^2} s\right)$

### 4. Thêm điện trở phụ $R_f$ vào mạch của rotor (đối với rotor dây quấn):

Hiện tượng vật lý của quá trình xảy ra khi điều chỉnh tốc độ: Đưa  $R_f$  vào n chưa thay đổi kịp  $\Rightarrow I_2$  giảm  $\Rightarrow M = c_M I_2 \Phi \cos \psi_2$  giảm  $\Rightarrow M_{dt} < 0 \Rightarrow n$  giảm  $\Rightarrow s$  tăng  $\Rightarrow E_{2s} = sE_2$  tăng  $\Rightarrow$  tăng đặt tới trị số mà  $M = M_c$ .

Ta hãy xem các đường cong  $M = f(s)$  trên hình: Nếu  $M = \text{const}$  thì động cơ làm việc ổn định tương ứng với các điểm a, b, c, d. Ta thấy rằng khi đưa  $R_f$  vào

rotor có thể điều chỉnh được  $n < n_{dm}$  trong một giới hạn đủ rộng. Xong do có tổn hao trên  $R_f (\Delta p \rightarrow P_2 \text{ giảm} \Rightarrow \eta \text{ giảm})$ .



Hình 3.12 Điều chỉnh tốc độ bằng cách thêm điện trở phụ vào mạch rotor

**Thí dụ:**

Cho một động cơ điện KĐB 3 pha rotor dây quấn  $p = 2$ ;  $f = 50\text{Hz}$ ;  $r_2 = 0,02\Omega$ ;  $n = 1485\text{vòng/phút}$ . Nếu moment tải không đổi, muốn có  $n = 1050\text{vòng/phút}$  thì phải thêm điện trở phụ vào rotor là bao nhiêu? Nếu thay đổi điện áp đặt vào dây quấn stator để có được tốc độ nói trên (không có điện trở phụ vào rotor) thì phải đặt vào stator một điện áp là bao nhiêu?

ĐS:  $r_f = 0,58\Omega$ ;  $U' = 0,316U_{dm}$ .

**Giải:**

1. Tốc độ đồng bộ:  $n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500\text{vg/phút}$ .

Hệ số trượt định mức:

$$s_{dm} = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{1500 - 1485}{1500} = 0,01$$

Khi  $n' = 1050\text{vg/phút}$  ta có:

$$s = \frac{n_1 - n'}{n_1} = \frac{1500 - 1050}{1500} = 0,3$$

Khi mắc thêm điện trở phụ:

$$\frac{r_2}{s} = \frac{r'_2 + r_f}{s'}$$

$$\Rightarrow r_f = \frac{r_2 s' - r_2 s}{s} = \frac{r_2 (s' - s)}{s} = \frac{0,02(0,3 - 0,01)}{0,01} = 0,58\Omega$$

Để đạt  $n' = 1050\text{vg/phút}$  bằng cách hạ điện áp mở máy, ta có:

$$s' = \frac{1}{X^2} s$$



$$\Rightarrow X^2 = \frac{s}{s'} = \frac{0,01}{0,3} = \frac{1}{30}$$

$$\Rightarrow X = \frac{1}{\sqrt{30}}$$

$$\Rightarrow U' = \frac{1}{X} U_{dm} = \frac{1}{\sqrt{30}} U_{dm} = 0,183 U_{dm}$$

### Câu hỏi:

1. Tại sao khi thêm điện trở phụ vào mạch rotor thì có thể cải thiện được đặc tính mở máy của động cơ điện không đồng bộ rotor dây quấn? Nếu thêm điện kháng vào thì đặc tính mở máy có bị ảnh hưởng không?
2. Tóm tắt các phương pháp mở máy động cơ không đồng bộ và so sánh ưu nhược điểm của mỗi phương pháp.
3. Trong động cơ điện rotor dây quấn, nếu nối điện kháng vào mạch điện rotor thì có thể điều chỉnh tốc độ được không, lúc đó đặc tính cơ thay đổi như thế nào?  $M_{min}$ ,  $M_{max}$ ,  $s_m$ ,  $s_{dm}$ , hiệu suất,  $\cos\varphi$  thay đổi như thế nào?
4. Tóm tắt các phương pháp điều chỉnh tốc độ động cơ không đồng bộ, so sánh ưu khuyết điểm và phạm vi ứng dụng của từng phương pháp?

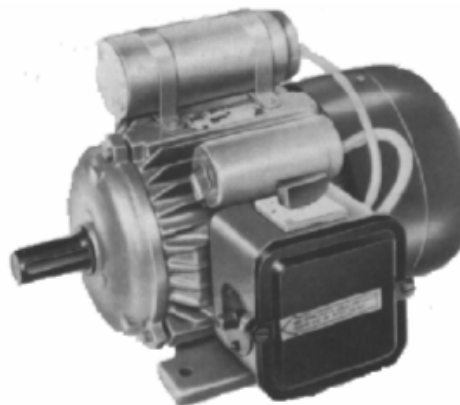
## CHƯƠNG IV: MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ (KĐB) ĐẶC BIỆT

### § 4.1. MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ MỘT PHA

#### I. Đại cương

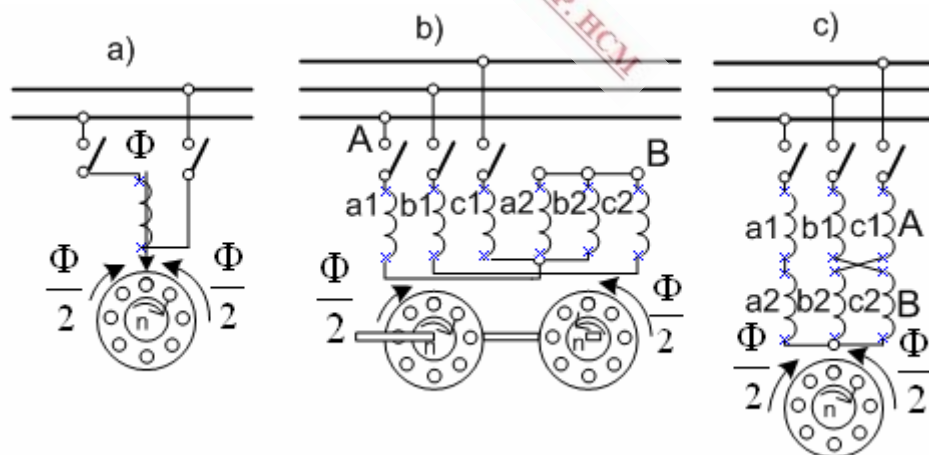
Động cơ không đồng bộ một pha thường được dùng trong các dụng cụ sinh hoạt và công nghiệp, công suất từ vài watt đến khoảng vài nghìn watt và nối vào lưới điện xoay chiều 1 pha.

Do nguyên lý mở máy khác nhau và yêu cầu tính năng khác nhau mà xuất hiện những kết cấu khác nhau, nhưng nói chung vẫn có kết cấu cơ bản giống như động cơ điện KĐB ba pha, chỉ khác là trên stator có 2 dây quấn: Dây quấn chính hay dây quấn làm việc và dây quấn phụ hay dây quấn mở máy. Rotor thường là lồng sóc. Dây quấn chính thường được nối vào 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 đến 80% tốc độ đồng bộ thì dùng ngắt điện kiểu ly tâm cắt dây quấn phụ ra khỏi lưới. Có loại động cơ sau khi mở máy, dây quấn phụ vẫn nối vào lưới. Đó là động cơ điện một pha kiểu điện dung (hay còn gọi là động cơ điện hai pha).



Hình 4.1 Động cơ điện không đồng bộ 1 pha.

#### II. Nguyên lý làm việc



Hình 4.2 Nguyên lý làm việc của động cơ điện không đồng bộ 1 pha.

Đầu tiên, ta xét chế độ làm việc của động cơ điện một pha khi dây quấn mở máy đã ngắt ra khỏi lưới. Dây quấn làm việc nối với điện áp một pha, dòng điện trong dây quấn sẽ sinh ra từ trường đập mạch  $\Phi$ . Từ trường này có thể phân

tích thành hai từ trường quay  $\Phi_A$  và  $\Phi_B$  có chiều ngược nhau, có  $n_{1A} = n_{1B}$  và biên độ bằng  $\frac{1}{2}$  biên độ từ trường đập mạch (hình 4.2a). Như vậy, có thể xem động cơ điện một pha tương đương như 2 động cơ điện ba pha giống nhau có rotor đặt trên cùng một trục và dây quấn stator nối nối tiếp nhau sao cho từ trường của chúng sinh ra trong không gian theo chiều ngược nhau (hình 4.2b). Đến lượt chúng lại tương đương một động cơ điện ba pha có hai dây quấn nối nối tiếp nhau tạo ra  $\Phi_A$  và  $\Phi_B$  (hình 4.2c).

Trong động cơ điện một pha cũng như trong hai mô hình của chúng, từ trường quay thuận và quay nghịch tác dụng với dòng điện rotor do chúng sinh ra tạo thành 2 moment  $M_A$  và  $M_B$ . Khi động cơ đứng yên ( $s = 1$ ) thì  $M_A = M_B$  và ngược chiều nhau, do đó moment tổng  $M = M_A + M_B = 0$ . Động cơ không quay được ngay cả khi không có  $M_c$  trên trục.

Nếu quay rotor của động cơ điện theo một chiều nào đó (ví dụ quay theo chiều của từ trường dây quấn A như hình 4.2b) với tốc độ  $n$  thì tần số của s.d.đ. dòng điện cảm ứng ở rotor do từ trường quay thuận  $\Phi_A$  sinh ra sẽ là:

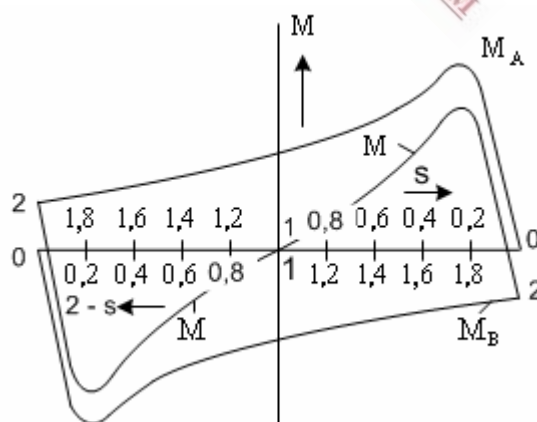
$$f_{2A} = \frac{p(n_1 - n)}{60} = \frac{pn_1(n_1 - n)}{60n_1} = sf_1$$

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

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

Ở đây  $(2-s)$  là hệ số trượt của rotor đối với từ trường  $\Phi_B$ .

Cho rằng  $M > 0$  khi chúng tác dụng theo chiều quay của từ trường  $\Phi_A$ , ta sẽ có các dạng đường  $M_A$  và  $M_B$  như hình 4.3:



Hình 4.3 Đặc tính  $M = f(s)$  của động cơ điện không đồng bộ 1 pha.

Khi  $s = 1$  thì  $M = 0$ , động cơ không thể bắt đầu quay được khi trên stator chỉ có một dây quấn và điều kiện làm việc của động cơ khi rotor quay theo chiều

này hoặc chiều kia với tốc độ  $n$  đều giống nhau (vì đường đặc tính moment có tính chất đối xứng qua các góc toạ độ)

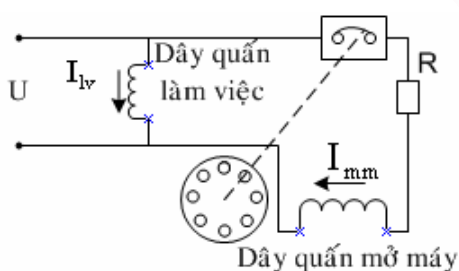
### III. Phương pháp mở máy và các loại động cơ điện một pha

#### 1. Các phương pháp mở máy:

##### i. Dùng dây quấn phụ:

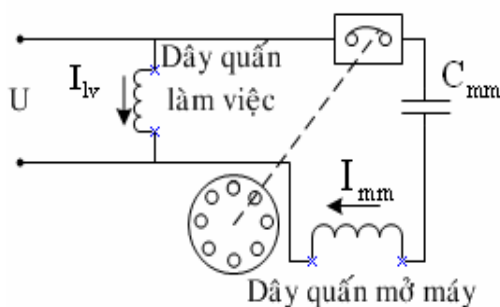
Như chúng ta đã biết, nếu chỉ có dây quấn chính nối vào lưới điện thì từ trường trong dây quấn một pha là từ trường đập mạch, nên động cơ điện không đồng bộ một pha không thể tự mở máy được vì khi  $s = 1$  thì  $M = 0$ . Muốn động cơ tự mở máy (khởi động) thì từ trường trong máy phải là từ trường quay hoặc ít nhất từ trường quay ngược  $\Phi_B$  phải yếu hơn so với từ trường quay thuận  $\Phi_A$ , để tạo ra từ trường quay có thể dùng vòng ngắn mạch hoặc dây quấn phụ và phần tử mở máy. Dây quấn phụ đặt lệch pha với dây quấn chính một góc  $90^\circ$  điện trong không gian trên mạch từ stator, phần tử mở máy dùng để tạo sự lệch pha về thời gian giữa dòng điện trong dây quấn chính và dây quấn phụ có thể là điện trở, cuộn dây hoặc tụ điện, tụ điện được dùng phổ biến vì dùng tụ động cơ có moment mở máy lớn, hệ số công suất  $\cos\phi$  cao và dòng điện mở máy tương đối nhỏ.

##### $\alpha$ . Dùng điện trở để mở máy:



Hình 4.4 Mở máy bằng điện trở

##### $\beta$ . Dùng tụ điện mở máy:

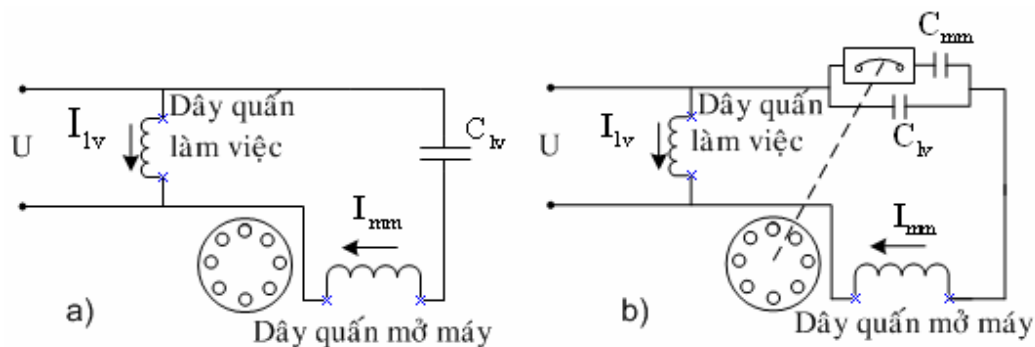


Hình 4.5 Mở máy bằng tụ điện

Để làm cho  $I_{mm}$  lệch pha so với  $I_{lv}$  ta nối thêm một điện trở hay điện cảm vào cuộn dây mở máy.  $M_{mm}$  của loại động cơ này tương đối nhỏ. Trong thực tế chỉ cần tính toán sao cho bản thân dây quấn phụ có điện trở tương đối lớn là được (dùng bội dây quấn ngược) không cần nối thêm điện trở ngoài.

Nối tụ điện vào dây quấn mở máy ta được kết quả tốt hơn. Có thể chọn trị số tụ điện sao cho khi  $s = 1$  thì  $I_{mm}$  lệch pha so với  $I_{lv}$   $90^\circ$  và dòng điện của các dây quấn đó có trị số sao cho từ trường do chúng sinh ra bằng nhau. Như vậy khi khởi động động cơ sẽ cho một từ trường quay tròn.

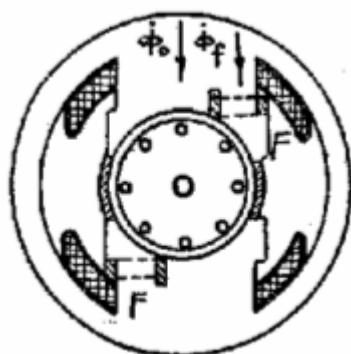
$\gamma$ . Động cơ điện một pha kiểu điện dung:



Hình 4.6 Động cơ điện 1 pha kiểu điện dung

Ta có thể để nguyên dây quấn mở máy có tụ điện nối vào lưới điện khi động cơ đã làm việc. Nhờ vậy động cơ điện được coi như động cơ điện hai pha. Loại này có đặc tính làm việc tốt, năng lực quá tải lớn, hệ số công suất của máy được cải thiện. Nhưng trị số điện dung có lợi nhất cho mở máy lại thường quá lớn đối với chế độ làm việc, vì thế trong một số trường hợp khi mở máy kết thúc phải cắt bớt trị số của tụ điện ra bằng công tắc ly tâm.

**ii. Dùng vòng ngắn mạch:**



Hình 4.7 Động cơ điện 1 pha có vòng ngắn mạch

Vòng ngắn mạch F đóng vai trò cuộn dây phụ F quấn 1/3 cực từ. Khi đặt một điện áp vào cuộn dây chính để mở máy, dây quấn sẽ sinh ra một từ trường đập mạch  $\Phi_c$ . Một phần của  $\Phi_c$  là  $\Phi'_c$  sẽ qua F và sinh ra  $I_n$  trong F ( $I_n \rightarrow \Phi_n$ ), nếu bỏ qua tổn hao trong vòng ngắn mạch thì  $\Phi_n$  sẽ trùng pha với  $I_n$ .  $\Phi_n$  tác dụng với  $\Phi'_c$  sinh ra

$\Phi_f = \Phi_n + \Phi'_c$ .  $\Phi_f$  lệch pha so với phần thông còn lại  $\Phi_c - \Phi'_c$ . Do đó sẽ sinh ra một từ trường gần giống từ trường quay và cho một moment mở máy

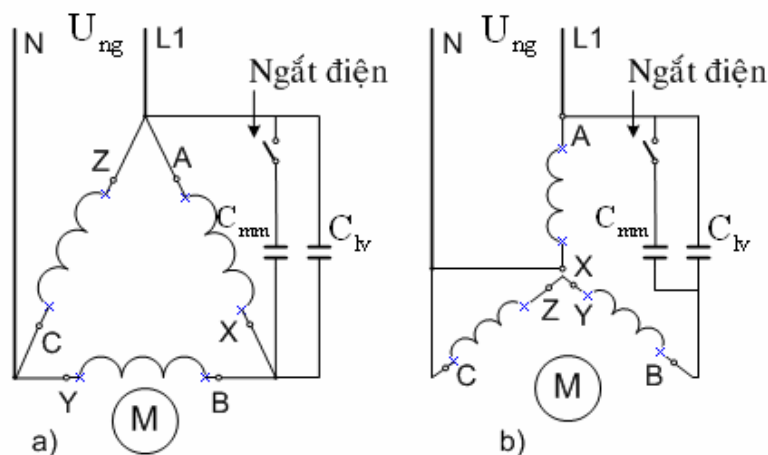
**II. Phân loại:**

Động cơ điện một pha có thể phân làm các loại sau:

- + Động cơ điện một pha có vòng ngắn mạch.
- + Động cơ điện một pha mở máy bằng điện trở (pha phụ).
- + Động cơ điện một pha mở máy bằng điện dung.
- + Động cơ điện một pha kiểu điện dung:
  - Có điện dung làm việc.
  - Có điện dung làm việc và mở máy.

### III. Sử dụng động cơ điện ba pha trong lưới điện một pha:

#### i. Khi điện áp nguồn điện 1 pha bằng điện áp pha của động cơ ba pha.



Hình 4.8 Động cơ điện 1 pha kiểu điện dung khi  $U_{ng} = U_{pha}$

- Sơ đồ hình 4.8a

+ Điện áp nguồn bằng điện áp pha của động cơ  $U_{ng} = U_f$ .

+ Điện dung làm việc của tụ điện  $C_{LV} = 4800 \frac{I_f}{U_{ng}} \mu F$

+ Điện áp làm việc của tụ:  $U_c \approx U_{ng} (V)$

+  $I_f$ : Dòng điện pha định mức của động cơ ba pha, (A).

- Sơ đồ hình 4.8b

+ Điện áp nguồn bằng điện áp pha của động cơ  $U_{ng} = U_f$

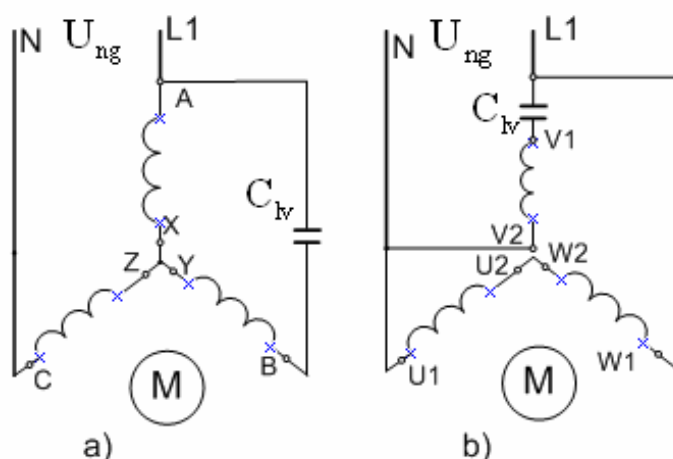
+ Điện dung làm việc của tụ điện  $C_{LV} = 1600 \frac{I_f}{U_{ng}} \mu F$

+ Điện áp làm việc của tụ:  $U_c \approx 2U_{ng}$

Cách đấu dây theo sơ đồ 4.8b có ưu điểm hơn sơ đồ hình 4.8a: Moment mở máy lớn hơn, lợi dụng công suất khá hơn, điện dung của tụ nhỏ hơn nhưng điện áp trên tụ lớn hơn.

**ii. Khi điện áp nguồn điện 1 pha bằng điện áp dây của động cơ ba pha.**

Có thể đấu dây theo sơ đồ sau:



Hình 4.9 Động cơ điện 1 pha kiểu điện dung khi  $U_{ng} = U_d$

- Sơ đồ hình 4.9a

$$+ U_{ng} = U_d$$

$$+ C_{LV} = 2800 \frac{I_f}{U_{ng}} \mu F$$

$$+ U_c \approx U_{ng}$$

- Sơ đồ hình 4.9b

$$+ U_{ng} = U_d$$

$$+ C_{LV} = 2740 \frac{I_f}{U_{ng}} \mu F$$

$$+ U_c \approx 1,15 U_{ng}$$

**§ 4.2. ĐỘNG CƠ CHẤP HÀNH KHÔNG ĐỒNG BỘ ( AC SERVOMOTOR)**

Để điều khiển 1 đối tượng nào đó, tín hiệu điều khiển ít khi dẫn trực tiếp đến mà thường qua khâu trung gian nào đó. Thí dụ muốn biến tín hiệu điện áp thành tín hiệu cơ học tác động vào đối tượng điều khiển thì người ta dùng khâu trung gian là động cơ chấp hành. Động cơ này cần thỏa mãn các yêu cầu chính:

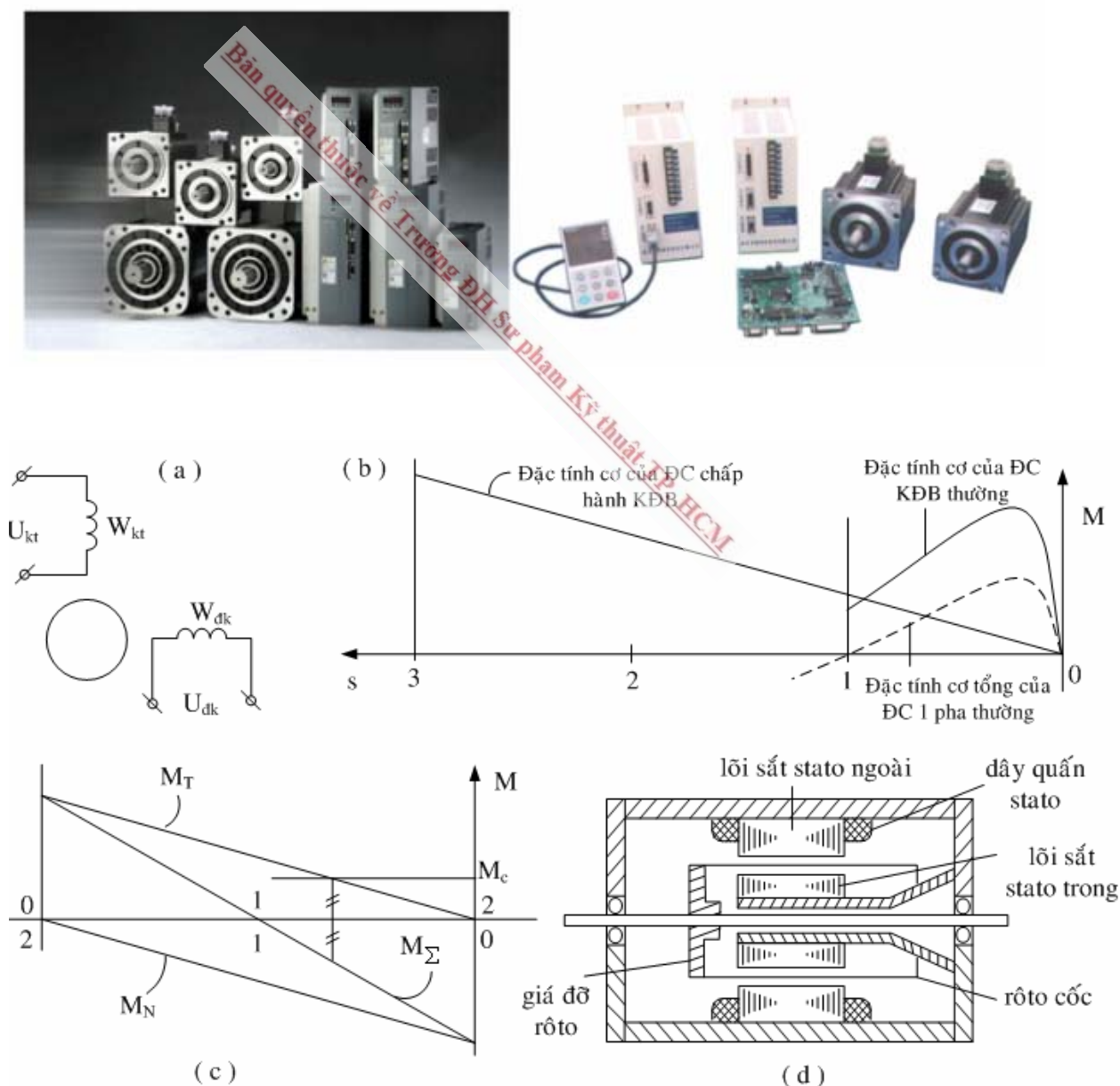
- Độ nhạy cao, quán tính bé, nghĩa là phải quay hoặc dừng tức khắc khi có tín hiệu hoặc mất tín hiệu điều khiển mà không nhờ 1 cơ cấu hãm .
- Moment mở máy lớn, động cơ làm việc ổn định .
- Đặc tính cơ tuyến tính, phạm vi điều chỉnh tốc độ rộng.
- Công suất điều khiển nhỏ.

Động cơ chấp hành không đồng bộ (KĐB) là loại động cơ KĐB 2 pha công suất bé ( 0,1 ÷ 300W). Kết cấu như sau: Stator ghép bằng lá thép kỹ thuật điện có 2 cuộn dây đặt lệch nhau  $90^0$ .

Trong đó 1 cuộn  $W_{kt}$  làm nhiệm vụ kích thích, cuộn  $W_{đk}$  làm nhiệm vụ điều khiển, 2 cuộn này được đặt vào 2 điện áp lệch nhau  $90^0$  thời gian. Nguồn kích

thích lấy ở lưới điện xoay chiều, nguồn điều khiển lấy ở tín hiệu điều khiển, có nhiều loại điều khiển : Điều khiển biên độ, điều khiển pha, điều khiển hỗn hợp (cả biên độ và pha). Tổng quát từ trường quay có thể là ellip do tính bất đối xứng của điện áp hoặc pha (pha nhỏ hơn  $90^0$ ).

Khi có tín hiệu điều khiển trong khe hở sẽ hình thành từ trường quay và động cơ làm việc với đặc tính moment thuận (đặc tính cơ thông thường). Khi mất tín hiệu điều khiển, trong dây quấn stator chỉ còn nguồn điện 1 pha ( $U_{kt}$ ), từ trường đập mạch do dòng điện 1 pha sinh ra được phân thành 2 từ trường quay thuận và ngược, tương ứng ta có 2 đặc tính cơ thuận và ngược, đặc tính cơ tổng  $M_{\Sigma}$  sẽ tạo ra 1 moment ngược với moment thuận (là đặc tính cơ thông thường của động cơ KĐB khi có cả 2 điện áp kích thích và điều khiển) làm rotor đứng lại (H 4.10c).



Hình 4.10. Sơ đồ nguyên lý động cơ thừa hành không đồng bộ.



Để máy làm việc ổn định và đặc tính cơ tuyến tính thì rotor phải được chế tạo với điện trở rất lớn để  $s_m = 3 \div 4$ , với  $s_m$  lớn như vậy nó mới chống được hiện tượng tự quay nữa (còn đối với động cơ 1 pha thông thường vì điện trở rotor bé  $\rightarrow$  đặc tính cơ có dạng như hình 4.10b, khi rotor đã quay ta ngắt mạch khởi động thì động cơ vẫn tiếp tục quay).

Động cơ chấp hành KĐB có kết cấu tương tự như động cơ KĐB thường rotor lồng sóc nhưng phải được chế tạo với độ chính xác cao, quán tính bé. Thông thường hay làm theo kiểu rotor rỗng (hình cốt) cấu tạo như hình 4.10d.

Stator gồm 2 phần : Ngoài và trong, stator ngoài gồm các lá thép kỹ thuật điện ghép lại với nhau, gồm có răng rãnh để đặt dây quấn kích thích và dây quấn điều khiển. Stator trong gồm các lá thép ghép lại không có răng rãnh chỉ dùng làm mạch dẫn từ. Rotor rỗng thường làm bằng vật không dẫn từ như nhôm hay đuy-ra được bắt lên trên trục bằng vành đỡ và quay ở giữa khe hở stator. Ngoài ra rotor có thể làm bằng hợp kim đồng nhôm có điện trở suất cao hoặc làm bằng sắt, hay bằng vải ép trên mặt ngoài tráng vật liệu dẫn điện .

Do khe hở không khí lớn ( $\delta = 0,3 \div 1,4$  mm) nên  $I_0$  lớn,  $\cos \varphi$  thấp, hiệu suất thấp, trọng lượng lớn (vì  $\delta$  lớn nên muốn  $\Phi$  cao phải tăng  $F = I W \rightarrow W$  tăng) (hình 4.10d).

### § 4.3. MÁY ĐIỆN KĐB LÀM VIỆC TRONG HỆ TỰ ĐỒNG BỘ (Selsyl)

Máy điện KĐB làm việc trong hệ tự đồng bộ gồm nhiều máy đặt cách nhau và chỉ nối với nhau bằng điện. Khi 1 trong những máy đó quay đi 1 góc (gọi là máy phát) thì những máy khác (máy thu) cũng quay 1 góc như vậy. Hệ thống này thường dùng trong kỹ thuật khống chế và đo lường. Những máy điện này thường thuộc loại 3 pha và 1 pha và có thể làm việc ở nhiều chế độ : Chỉ thị, vi sai, biến áp.

#### 1. Hệ tự đồng bộ 3 pha ( Selsyl 3 pha):

Đơn giản nhất là gồm 2 máy điện KĐB rotor dây quấn. Dây quấn stator của chúng được nối với lưới điện còn dây quấn rotor được nối với nhau theo pha . Như vậy nếu ở 2 máy vị trí của rotor đối với stator giống nhau thế  $s_{đđ} E_2$  trong đúng thứ tự mạch rôto của chúng sẽ ngược nhau và dòng điện  $I_2$  sẽ bằng 0.

Gọi F là máy phát tín hiệu và T là máy thu tín hiệu thì khi có tín hiệu tác động vào máy phát F làm quay rôto của nó đi 1 góc  $\theta$  thì các  $s_{đđ} E_{2F}$  và  $E_{2T}$  sẽ có góc lệch  $\theta$  và do đó trong mạch rotor sẽ có dòng điện  $I_2$ .

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_{2F} - \dot{E}_{2T} \cdot e^{\pm j\theta}}{Z_{2F} - Z_{2T}}$$

(+) khi rotor F quay cùng chiều với  $\Phi_F$  ( $E_{2T}$  vượt trước  $E_{2F}$ )

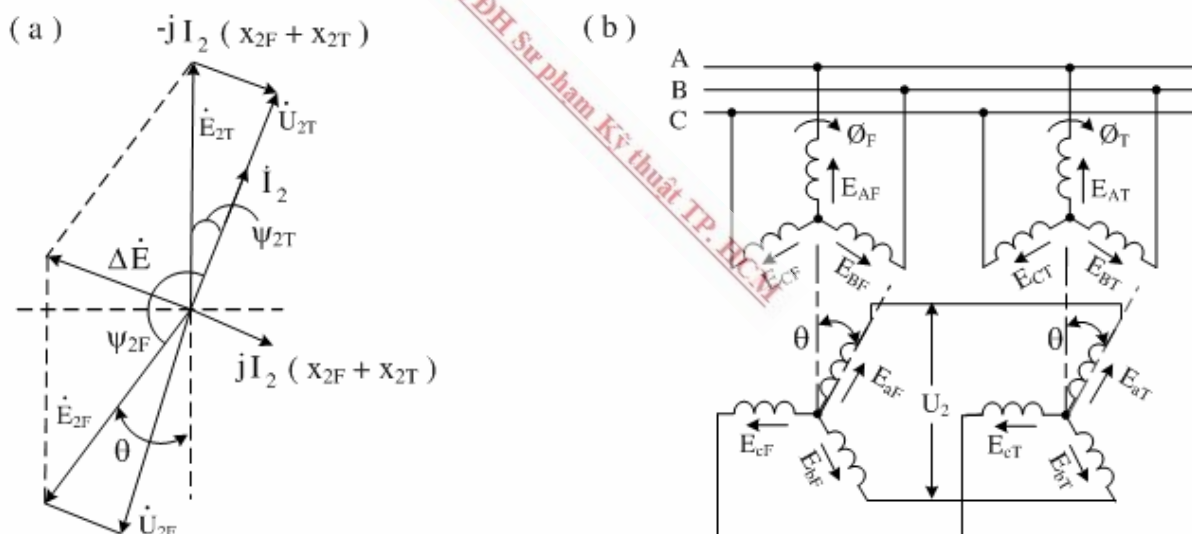
(-) Khi rotor F quay ngược chiều với  $\Phi_F$

Trong đó :  $Z_{2F}$  và  $Z_{2T}$  : Tổng trở rotor của máy phát (F) và máy thu (T).

Từ đồ thị vectơ ta thấy thành phần tác dụng của  $I_2$  cùng chiều với  $E_{2T}$  do đó  $M_T$  sẽ làm quay rotor của máy T đi 1 góc  $\theta$ . Trái lại thành phần tác dụng của  $I_2$  ngược chiều với  $E_{2F}$  nên sẽ có moment  $M_F$  kéo rotor của máy F trở về vị trí  $\theta = 0$ . Hoặc có thể giải thích như sau:

- Góc  $\psi_{2F} \approx 180^\circ$ ,  $\cos \psi_2 < 0 \rightarrow M_F < 0$  ( M hãm ) : Kéo rôto máy F trở về vị trí 0.
- Góc  $\psi_2 \approx 0$ ,  $\cos \psi_2 > 0 \rightarrow M_T > 0$  ( M quay ) : Kéo rôto của máy T đi 1 góc  $\theta$ .

Hệ thống 2 máy trên sẽ làm việc cân bằng khi góc lệch  $\theta$  ở 2 máy F và T bằng nhau. Vì vậy khi giữ rôto của máy F ở góc  $\theta$  thì rôto của máy T cũng sẽ quay 1 góc đúng bằng  $\theta$ . Sự liên lạc như thế còn gọi là sự liên lạc kiểu trực điện.



Hình 4.11 Sơ đồ nguyên lý của selsyl ba pha

## 2. Hệ tự đồng bộ 1 pha ( selsyl 1 pha):

Stator của 2 máy F và T chỉ có 1 pha nối với lưới điện chung, còn rotor của 2 máy vẫn là dây quấn 3 pha và nối với nhau theo đúng thứ tự pha .

Khi cho dòng điện 1 pha vào dây quấn stator thì trong khe hở sinh ra từ trường đập mạch và có thể phân thành 2 từ trường quay ngược chiều nhau là  $\Phi_A$

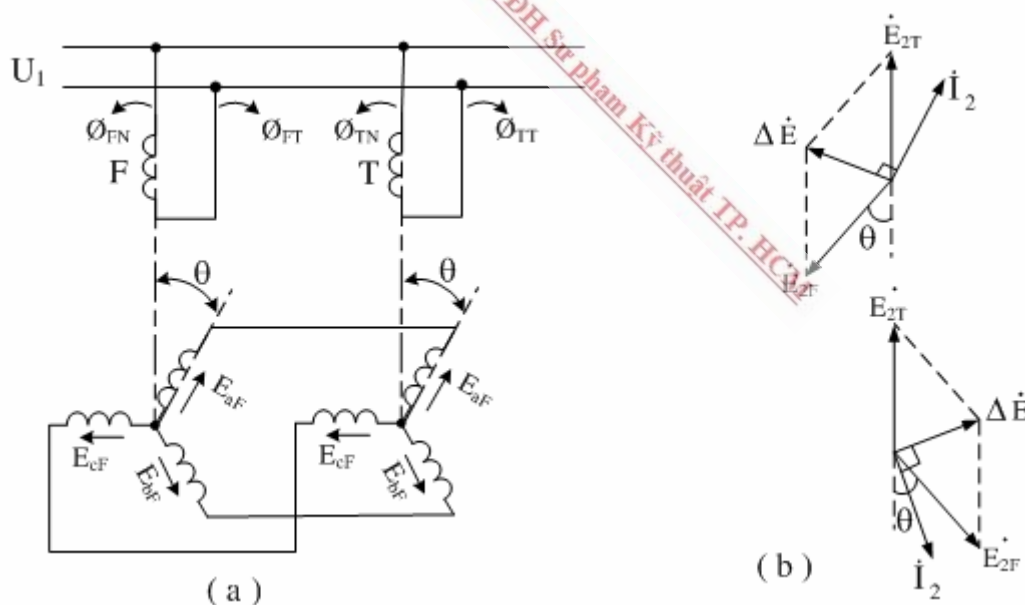
và  $\Phi_B$  và ta coi như có hai hệ thống đồng bộ ba pha hợp lại. Như vậy có thể dùng nguyên lý làm việc của hệ 3 pha tìm ra moment từng phần và moment tổng.

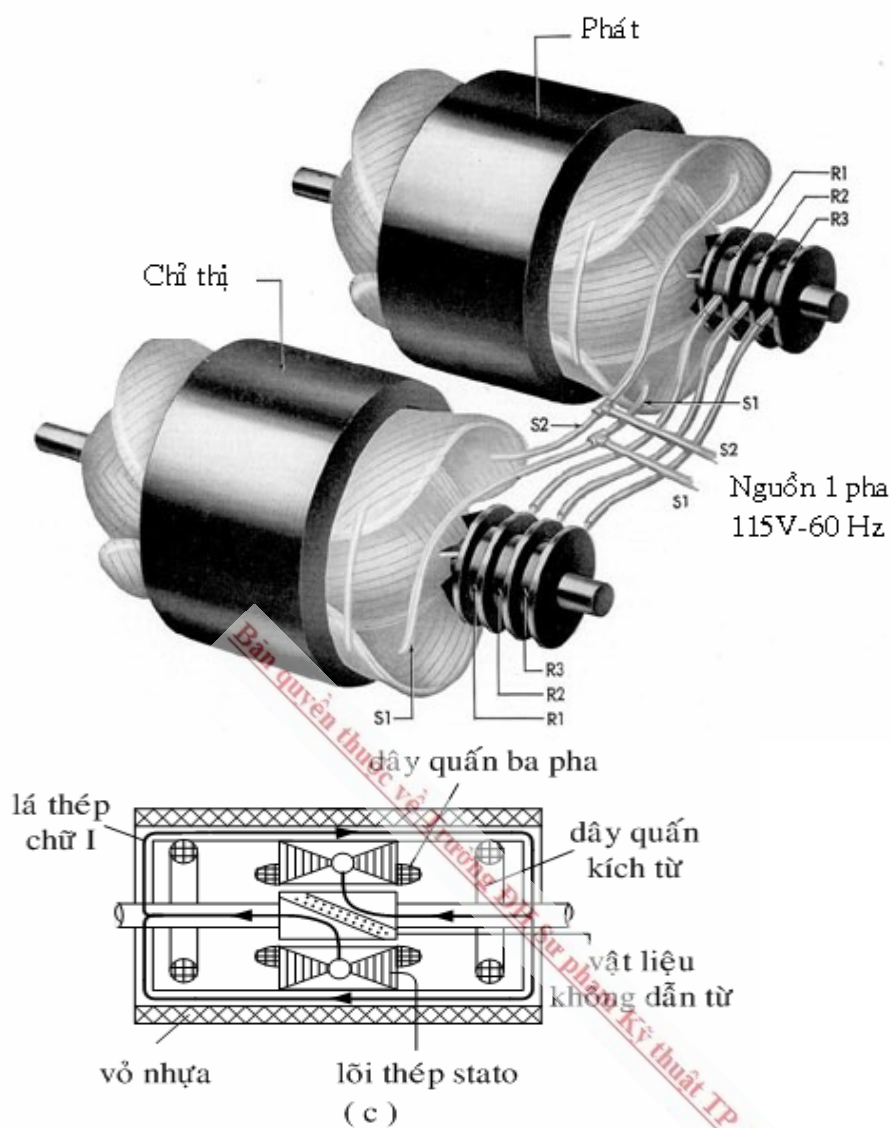
Quay rotor của máy F theo chiều của  $\Phi_{AF}$  1 góc  $\theta$ . Đối với từ trường quay thuận  $\Phi_{AF}$  và  $\Phi_{AT}$  thì giống như hệ 3 pha  $M_{AF}$  và  $M_{AT}$  có khuynh hướng kéo 2 rotor trở về cùng 1 vị trí. Đối với từ trường quay ngược  $\Phi_{BF}$  và  $\Phi_{BT}$  cũng vậy. Vì vậy moment do 2 từ trường quay sinh ra trên mỗi máy cùng chiều nên trị số tuyệt đối của chúng là tổng của 2 moment của từng phân lượng từ trường làm trục quay. Như vậy nếu quay roto của máy F đi 1 góc  $\theta$  thì roto máy T cũng quay đi 1 góc  $\theta$ .

Thường đặt dây quấn sơ cấp 1 pha trên rotor còn dây quấn thứ cấp 3 pha lắp trên stator như vậy giảm đi được 1 vành trượt. Để có đặc tính moment tốt, dây quấn 1 pha thường đặt trên cực lõi.

Ngày nay người ta đã chế tạo những selsyl 1 pha không vành trượt.

Hệ tự đồng bộ ngày nay được áp dụng rộng rãi trong ngành tự động hóa và điều khiển.





Hình 4.12. Sơ đồ nguyên lý và cấu tạo của selsyl một pha.

*Bản quyền thuộc về Trường ĐH Sư phạm Kỹ thuật TP. HCM*

**PHẦN V**  
**MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ**

# CHƯƠNG I: ĐẠI CƯƠNG VỀ MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

## § 1.1. KHÁI NIỆM

Máy điện đồng bộ được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp chủ yếu là dùng làm máy phát điện. Ngoài ra máy điện đồng bộ còn được dùng làm động cơ, nhất là trong các thiết bị lớn vì chúng có khả năng phát ra công suất phản kháng.

Thông thường các máy đồng bộ được tính toán sao cho chúng có thể phát ra công suất phản kháng gần bằng công suất tác dụng. Đôi khi việc đặt máy đồng bộ ở gần các trung tâm công nghiệp chỉ phát ra công suất phản kháng đủ bù hệ số công suất  $\cos\varphi$  cho lưới điện. Khi đó máy đồng bộ được gọi là máy bù 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 trang bị tự động và điều khiển.

## § 1.2. PHÂN LOẠI VÀ KẾT CẤU CỦA MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

### 1. Phân loại

- Theo kết cấu có thể chia máy điện đồng bộ làm 2 loại:
  - + Máy điện đồng bộ cực ẩn thích hợp với tốc độ cao ( $2p = 2$ ).
  - + Máy điện đồng bộ cực lồi thích hợp khi tốc độ thấp ( $2p \geq 4$ ).
- Theo chức năng có thể chia máy điện đồng bộ thành:
  - + Máy phát điện đồng bộ:
    - Máy phát turbin hơi có  $n$  cao thường được chế tạo cực ẩn có trục máy nằm ngang.
    - Máy phát turbin nước: Vì tốc độ thấp, thường chế tạo theo cực lồi.
    - Máy phát Diezen: Kéo bởi động cơ Diezen thường cấu tạo cực lồi.
  - + Động cơ điện đồng bộ: Thường được chế tạo cực lồi, để kéo các tải không đòi hỏi phải thay đổi tốc độ.
  - + Máy bù đồng bộ: Để cải thiện hệ số  $\cos\varphi$  của lưới.

### 2. Kết cấu

#### a) Máy đồng bộ cực ẩn:

❖ Rotor làm bằng thép hợp kim chất lượng cao được rèn thành khối trụ, gia công phay rãnh để đặt dây quấn kích từ, phần không phay rãnh hình thành mặt cực từ. Máy có thể được chế tạo với số cực từ  $2p = 2$  và  $2p = 4$  nên có tốc độ quay cao. Máy đồng bộ hiện đại cực ẩn thường  $2p = 2$ ,  $D = (1,1 \div 1,15)m$ , chiều dài tối đa của rotor  $l \leq 6,5m$ .

❖ Dây quấn kích từ đặt trong rãnh của rotor được chế tạo bằng dây đồng trần tiết diện chữ nhật quấn theo chiều mỏng thành các bố dây đồng tâm. Các

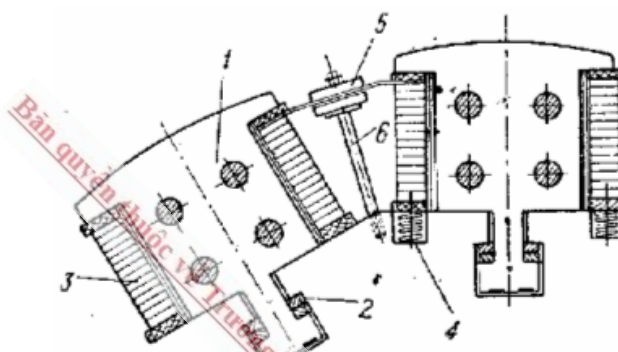
vòng dây được cách điện với nhau. Hai đầu của dây quấn thì đi luôn vào trong trục nối với 2 vành trượt và chổi than.

❖ Stator tương tự như của máy điện không đồng bộ, lõi thép được ghép bằng các lá tôn silic E41 dày 0,5 mm có phủ sơn cách điện 2 mặt.

**b) Máy đồng bộ cực lồi:**

Các cực lồi được chế tạo với số cực  $2p \geq 4$ . Đường kính rotor D có thể lớn tới 15m. Chiều dài l nhỏ lại với tỉ lệ  $l/D = 0,15$  đến 0,2.

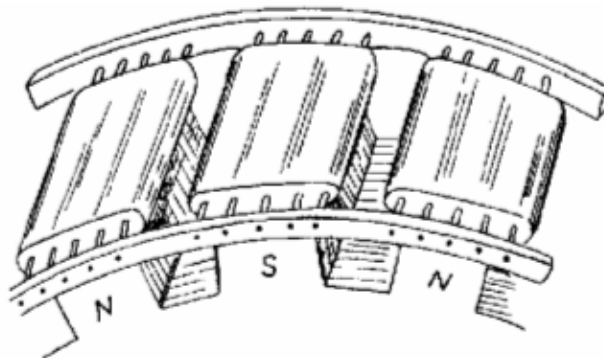
❖ Rotor của máy điện đồng bộ cực lồi công suất nhỏ và trung bình có lõi thép được chế tạo bằng thép đúc và gia công thành khối lăng trụ hoặc khối hình trụ, trên có đặt các cực từ. Cực từ trên lõi thép rotor được ghép bằng các lá thép dày (1 ÷ 1,5)mm (hình 1.1), cố định cực từ trên lõi thép nhờ đuôi hình T, đai ốc,...



Hình 1.1 Cố định cực từ trên lõi thép

Dây quấn kích từ được chế tạo từ dây đồng trần tiết diện chữ nhật, các cuộn dây sau khi gia công được lồng vào các thân cực.

❖ Dây quấn cản (trường hợp máy phát điện đồng bộ) hoặc dây quấn mở máy (trường hợp động cơ điện đồng bộ) được đặt trên các đầu cực. Được làm bằng các thanh đồng hoặc nhôm, hai đầu cực được nối bằng hai vành ngắn mạch. Dây quấn mở máy có điện trở lớn hơn dây quấn cản. Dây quấn cản mục đích để cản dịu sự dao động của rotor khi xảy ra quá trình quá độ (đối với máy phát) và dây quấn mở máy để mở máy động cơ đồng bộ bằng phương pháp không đồng bộ (đối với động cơ).



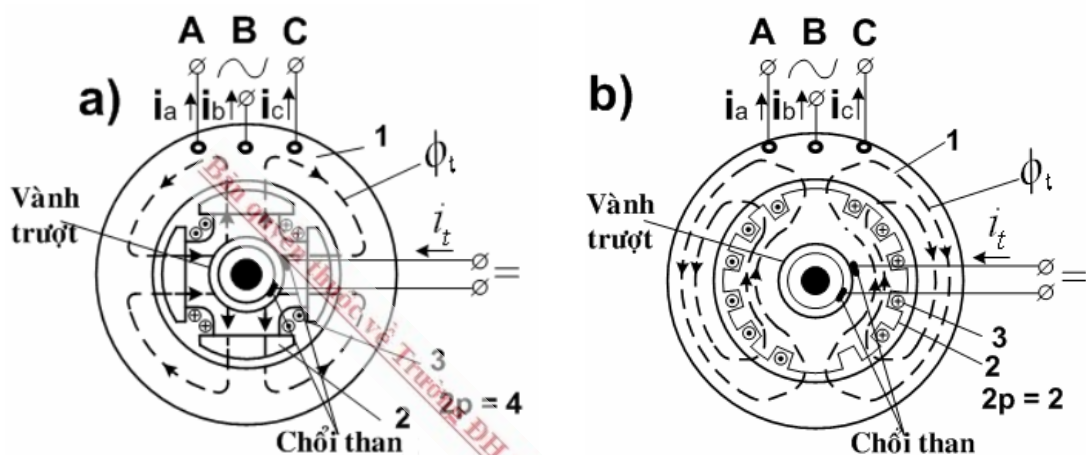
Hình 1.2 Dây quấn cản hoặc dây quấn mở máy của máy điện đồng bộ.

❖ Stator của máy điện đồng bộ cực lồi giống như stator của máy điện đồng bộ cực ẩn.

❖ Trục của máy đồng bộ cực lồi có thể đặt nằm ngang như các động cơ đồng bộ, máy bù đồng bộ, máy phát điện Diezen, máy phát turbin nước công suất nhỏ.

Đối với máy phát tuabin nước công suất lớn, tốc độ chậm, trục của máy được đặt thẳng đứng.

### § 1.3. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CƠ BẢN



a. Cực lồi  $2p = 4$

b. Cực ẩn  $2p = 2$

Hình 1.3 Cấu tạo của máy điện đồng bộ.

1. Stator (phần ứng); 2. Rotor (phần cảm); 3. Cuộn kích từ

Stator của máy điện đồng bộ có cấu tạo giống như stator của máy điện không đồng bộ. Dây quấn ba pha hay m pha nói chung của stator cũng có số đôi cực như rotor. Stator có dây quấn gọi là phần ứng. Rotor của máy điện đồng bộ có cuộn dây kích từ, được cung cấp dòng điện một chiều từ nguồn qua 2 vành trượt và chổi than. Công dụng của cuộn kích từ là tạo ra trong máy một từ trường. Rotor cùng cuộn kích từ gọi là phần cảm. Nguyên lý làm việc như sau:

Cho dòng điện kích từ một chiều vào dây quấn kích từ trên rotor thì sẽ tạo ra từ trường rotor. Khi quay rotor bằng động cơ sơ cấp với tốc độ  $n$ , từ trường của rotor sẽ cắt dây quấn phần ứng stator và cảm ứng trên đó s.đ.đ xoay chiều hình sin (nếu từ trường phân bố trong khe hở không khí là hình sin), có trị số hiệu dụng là:

$$E_0 = 4,44 f w_1 k_{dq1} \Phi$$

Trong đó:  $E_0$ ,  $w_1$ ,  $k_{dq1}$ ,  $\Phi$  là s.đ.đ pha, số vòng dây một pha, hệ số dây quấn, từ thông trung bình dưới mỗi cực từ rotor. Nếu rotor có  $p$  đôi cực thì tần số của s.đ.đ sẽ là:

$$f = p.n(\text{Hz}), n \text{ tính bằng vòng/giây.}$$



$$f = \frac{p \cdot n}{60} \text{ (Hz)}, n \text{ tính bằng vòng/phút.}$$

Sức điện động stator bao gồm một hệ thống s.đ.đ ba pha đối xứng, có các trục lệch nhau trong không gian  $120^0$  điện, cho nên s.đ.đ các pha lệch nhau  $120^0$  điện. Khi nối dây quấn stator với các tải 3 pha đối xứng thì trong các cuộn dây này sẽ mang 1 hệ thống dòng điện đối xứng lúc đó sẽ tạo nên từ trường quay cũng như dây quấn stator của máy điện không đồng bộ. Từ trường quay của stator sẽ quay theo chiều quay của rotor với tốc độ:

$$n_1 = \frac{60f}{p}$$

thay  $f_1$  vào công thức trên ta có  $n = n_1$ .

**Nghĩa là tốc độ quay của rotor bằng tốc độ từ trường quay. Chính vì vậy được gọi là máy điện đồng bộ.**

Máy điện đồng bộ có thể làm việc như một động cơ, nếu đặt vào cuộn dây stator của nó một dòng điện 3 pha từ lưới và đặt nguồn điện một chiều vào cuộn dây kích từ ở rotor. Khi làm việc bình thường rotor quay theo chiều từ trường quay và bằng với tốc độ của trường quay stator.

Lưu ý rằng động cơ đồng bộ không tự mở máy được. Muốn mở máy động cơ đồng bộ người ta phải dùng động cơ phụ trợ hoặc mở máy theo phương pháp không đồng bộ.

## § 1.4. CÁC TRỊ SỐ ĐỊNH MỨC

Công suất có ích là công suất đầu ra của máy tính toán theo các điều kiện phát nóng và làm việc lâu dài được gọi là công suất định mức của máy,  $S_{dm}$  (VA).

Các đại lượng định mức đều được ghi trên nhãn máy: kiểu máy, số pha, tần số, điện áp dây stator định mức, dòng điện dây stator định mức, cách đấu dây stator, điện áp kích từ định mức, dòng điện kích từ định mức, ...

### Công dụng của máy điện đồng bộ

Máy phát điện đồng bộ là nguồn điện chính của các lưới điện quốc gia, trong đó động cơ sơ cấp là các turbin nước, turbin khí, turbin hơi,... Công suất của các máy phát có thể đạt đến 600 MVA hoặc lớn hơn và chúng thường làm việc song song. Ở các lưới điện công suất nhỏ, máy phát điện đồng bộ được kéo bởi các động cơ Diezen hoặc các turbin khí, có thể làm việc đơn lẻ hoặc nhiều máy làm việc song song.

Động cơ đồng bộ được sử dụng trong truyền động công suất lớn, có thể đạt đến vài chục MW. Trong công nghiệp luyện kim, khai thác mỏ, thiết bị lạnh, động cơ đồng bộ được sử dụng để truyền động các máy bơm, nén khí, quạt gió,... với tốc độ không đổi. Động cơ đồng bộ công suất nhỏ được sử dụng trong các thiết bị như đồng hồ điện, dụng cụ tự ghi, thiết bị lập trình, thiết bị điện sinh hoạt,... Máy bù đồng bộ dùng để phát công suất phản kháng cho lưới điện để bù hệ số công suất và ổn định điện áp.

## CHƯƠNG II: CÁC QUAN HỆ ĐIỆN TỪ TRONG MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Các quan hệ điện từ chính bao gồm các phương trình cân bằng điện áp và đồ thị vector tương ứng, giản đồ năng lượng, công suất điện từ của máy điện không đồng bộ. Ta sẽ xét các quan hệ điện từ nói trên trong các trường hợp máy làm việc như máy phát điện và động cơ điện.

Vì phản ứng phần ứng phụ thuộc rất nhiều vào cấu tạo của máy (cực ẩn hay cực lộ), tính chất phụ tải (điện cảm, điện dung), mức độ đối xứng của phụ tải (phụ tải đối xứng hay không đối xứng) nên phải xét đến tất cả các yếu tố này.

### § 2.1. PHẢN ỨNG PHẦN ỨNG TRONG MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

#### 1. Đại cương

Từ trường trong máy điện đồng bộ là do dòng điện trong các dây quấn stator và rotor sinh ra. Khi máy điện làm việc không tải, trong dây quấn xoay chiều ở stator không có dòng điện ( $I = 0$ ) từ trường trong máy điện chỉ do dòng điện một chiều  $I_f$  chạy trong dây quấn kích từ đặt trên các cực từ sinh ra. Nếu rotor quay, từ trường của các cực từ này quét các dây quấn của stator và cảm ứng trong đó s.đ.đ không tải  $E_0$  của máy.

Khi máy làm việc có tải ( $I \neq 0$ ) thì ngoài từ trường của cực từ còn từ trường của dòng điện tải  $I$  sinh ra. Khi có tải từ trường trong máy là tổng của 2 từ trường:

+ Từ trường do dây quấn kích từ  $I_f$  sinh ra, tạo ra s.đ.đ  $E_0$ .

+ Từ trường do dòng điện phụ tải  $I$  đi qua dây quấn phần ứng gây nên gọi là từ trường phần ứng tạo ra s.đ.đ  $E_u$ . Nếu là máy ba pha thì từ trường do dòng điện tải ba pha chạy trong dây quấn ba pha là từ trường quay. Từ trường này có thể phân tích thành từ trường cơ bản và các từ trường bậc cao có chiều quay và tốc độ khác nhau. Trong số các từ trường này, từ trường cơ bản là quan trọng nhất vì có tốc độ và chiều quay giống từ trường ở các cực từ.

Sức điện động (s.đ.đ) do từ trường trong khe hở sinh ra:

$$\dot{E}_s = \dot{E}_0 + \dot{E}_u$$

Tác dụng của từ trường cơ bản (từ trường phần ứng) với từ trường cực từ (từ trường phần cảm) gọi là phản ứng phần ứng.

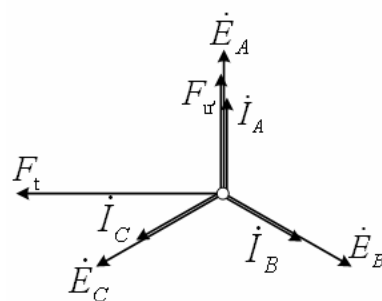
#### 2. Phản ứng phần ứng

Khi máy phát điện làm việc, từ trường của cực từ rotor  $\Phi_f$  cắt dây quấn stator cảm ứng ra s.đ.đ  $E_0$  chậm pha so với  $\Phi_f$  một góc  $90^\circ$ . Dây quấn stator nối với tải tạo nên dòng điện  $I$  cung cấp cho tải. Dòng điện  $I$  trong dây quấn stator tạo nên từ trường quay phần ứng. Góc lệch pha giữa  $E_0$  và  $I$  do tính chất của tải quyết định, tác dụng của từ trường phần ứng lên cực từ gọi là phản ứng phần ứng.

**c) Tải thuần trở R:**

Khi tải là đối xứng và thuần trở thì dòng điện ba pha trong dây quấn stator sẽ trùng pha với các s.đ.đ tương ứng ( $\psi = 0$ ) như hình 2.1,  $\psi$  là góc lệch pha giữa  $\dot{E}$  và  $\dot{I}$ .

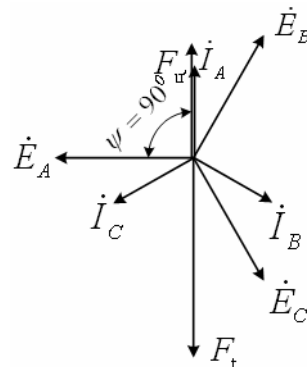
Dòng điện sinh ra từ thông phần ứng cùng pha với dòng điện. Phương của  $F_r$  thẳng góc với phương của  $F_t$  và phản ứng phần ứng là **ngang trục** (làm méo từ trường của cực từ),  $F_t$ : từ trường cực từ vượt trước s.đ.đ 1 góc  $90^\circ$ .



Hình 2.1 Đồ thị véc tơ sức điện động ở tải thuần trở  $\psi = 0$

**i. Tải thuần cảm L:**

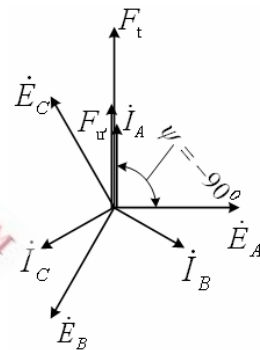
S.đ.đ E vượt trước dòng điện I một góc  $\psi = +90^\circ$  như hình 2.2 ta thấy  $F_r$  và  $F_t$  cùng phương nhưng ngược chiều và phản ứng phần ứng là **đọc trục khử từ** có tác dụng làm giảm từ trường tổng.



Hình 2.2 Đồ thị véc tơ sức điện động ở tải thuần cảm  $\psi = +90^\circ$

**ii. Tải thuần dung C:**

S.đ.đ E chậm sau dòng điện I một góc  $90^\circ$  nghĩa là  $\psi = -90^\circ$  chiều của  $F_r$  trùng với chiều  $F_t$ , phản ứng phần ứng là **đọc trục trợ từ** có tác dụng làm tăng từ trường tổng.



Hình 2.3 Đồ thị véc tơ sức điện động ở tải thuần dung  $\psi = -90^\circ$

**iii. Tải hỗn hợp:**

Có thể phân tích  $F_r$  ra làm hai thành phần dọc trục và ngang trục:

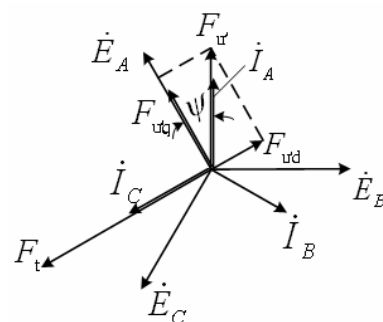
$$F_{rd} = F_r \sin \psi$$

$$F_{rq} = F_r \cos \psi$$

Tương tự ta phân tích dòng điện I làm hai thành phần:

$$I_d = I \sin \psi$$

$$I_{dq} = I \cos \psi$$



Hình 2.4 Đồ thị véc tơ sức điện động ở tải hỗn hợp  $0 < \psi < 90^\circ$

Khi tải có tính cảm  $0 < \psi < \frac{\pi}{2}$  phản ứng phần ứng là **ngang trực khử từ**.

Khi tải có tính dung  $-\frac{\pi}{2} < \psi < 0$  phản ứng phần ứng **ngang trực trợ từ**.

## § 2.2. PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG ĐIỆN ÁP VÀ ĐỒ THỊ VECTOR CỦA MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Ta đã biết sức từ động (s.t.đ) cực từ  $F_t$  sinh ra  $E_0$ , s.t.đ  $F_t + F_r = F_\delta$  sinh ra s.t.đ trong khe hở  $E_\delta$ . Ở tải đối xứng ta có thể xét riêng rẽ từng pha và phương trình cân bằng điện áp tổng quát của một pha có dạng sau:

Đối với máy phát điện đồng bộ:

$$\dot{U} = \dot{E}_\delta - \dot{I}(r_u + jx_{\sigma u}) \quad (2-1)$$

Đối với động cơ điện đồng bộ (hoặc máy bù đồng bộ):

$$\dot{U} = -\dot{E}_\delta + \dot{I}(r_u + jx_{\sigma u}) \quad (2-2)$$

Trong đó:  $U$  là điện áp ở 2 đầu cực máy.

$r_u, x_{\sigma u}$ : điện trở, điện kháng tản của dây quấn phần ứng.

$E_\delta$ : S.t.đ cảm ứng trong dây quấn do từ trường khe hở  $F_\delta$  sinh ra.

Khi mạch từ của máy không bão hoà có thể xem như các từ trường  $F_t, F_r$  độc lập sinh ra trong dây quấn các s.t.đ  $E_0, E_r$  theo nguyên lý xếp chồng ta có:

$$\dot{E}_\delta = \dot{E}_0 + \dot{E}_r \quad (2-3)$$

### 1. Trường hợp máy phát điện

#### a) Khi mạch từ không bão hoà:

Giả sử máy phát điện đồng bộ cực ẩn làm việc với tải đối xứng, phụ tải mang tính điện cảm  $0 < \psi < 90^\circ$ . S.t.đ  $E_0$  đóng vai trò nguồn điện có chiều trùng với dòng điện. Nó cân bằng với điện áp  $U$  ở hai cực máy phát và các điện áp rơi điện trở và điện kháng đồng bộ dây quấn phần ứng. Phương trình cân bằng điện áp:

$$\dot{U} = \dot{E}_\delta - \dot{I}(r_u + jx_{\sigma u})$$

$$\dot{U} = \dot{E}_0 + \dot{E}_r - \dot{I}(r_u + jx_{\sigma u})$$

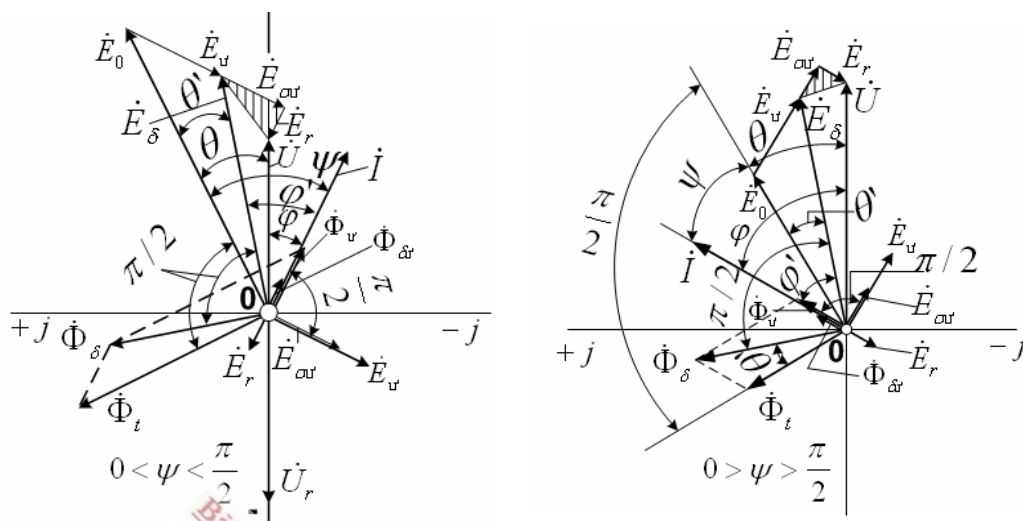
Ta có:  $\dot{E}_r = -j\dot{I}x_u$  nên

$$\dot{U} = \dot{E}_0 - \dot{I}[r_u + j(x_u + x_{\sigma u})]$$

$$\dot{U} = \dot{E}_0 - \dot{I}(r_u + jx_{db}) \quad (2-4)$$

Trong đó  $x_{db} = x_u + x_{\sigma u}$  gọi là điện kháng đồng bộ.

Đồ thị vector:



Hình 2.5 Đồ thị vector sức điện động máy phát điện cực ẩn  
a. Tải có tính cảm; b. Tải có tính dung.

Đặt vector điện áp trên cực của máy phát theo chiều dương của trục đứng (hình 2.5). Dòng điện  $I$  chậm sau điện áp  $U$  một góc  $\varphi$ . Vẽ vector s.đ.đ  $E_0$  gây bởi từ thông kích từ  $\Phi_t$  vượt trước vector dòng điện  $I$  một góc  $\psi$ . Theo quy tắc chung từ thông  $\Phi_t$  vượt trước s.đ.đ  $E_0$  một góc  $90^\circ$ . Sóng cơ bản của s.t.đ phản ứng phần ứng  $F_{ur}$  quay đồng bộ với rotor máy. Đối với máy phát cực ẩn bỏ qua sự khác biệt từ dẫn dọc trục và ngang trục và coi như  $F_{ur}$  sinh ra  $\Phi_{ur}$ . Từ thông này trùng pha với dòng điện  $I$ , nó sinh ra trong dây quấn stator s.đ.đ  $E_{ur}$  chậm sau  $I$  một góc  $90^\circ$ . Cộng hình học các vector từ thông  $\Phi_{ur}$  và  $\Phi_t$ , các vector s.đ.đ  $E_0$  và  $E_{ur}$  ta được vector hợp thành  $\Phi_\delta$  sinh ra  $F_\delta$  chậm sau nó  $90^\circ$ . Bên cạnh từ thông phản ứng phần ứng còn có từ thông tản  $\Phi_{\sigma r}$  của dây quấn stator, cũng giống như  $\Phi_{ur}$  nó trùng pha với dòng điện  $I$ , gây nên s.đ.đ  $E_{\sigma r} = -jI x_{\sigma r}$ . Ở tải có tính cảm, phản ứng phần ứng là khử từ và dẫn đến kết quả là  $E_\delta > E_0$ . Trong hình 2.5b vẽ đồ thị s.đ.đ cho trường hợp tải có tính dung  $-90^\circ < \psi < 0$ . Khi phụ tải có tính điện dung, phản ứng phần ứng là trợ từ và dẫn đến kết quả là  $E_\delta > E_0$ .

Trong trường hợp máy điện cực lồi ta phân tích s.t.đ phần ứng  $F_{ur}$  thành hai thành phần dọc trục  $F_{ud}$  và ngang trục  $F_{uq}$ . Các s.t.đ này sinh ra các từ thông  $\Phi_{ud}$  và  $\Phi_{uq}$ . Các từ thông này sinh ra các s.đ.đ  $E_{ud} = -jI_d x_{ud}$  và  $E_{uq} = -jI_q x_{uq}$ . Vector  $-jI x_{\sigma r}$  do từ thông tản sinh ra không phụ thuộc vào từ dẫn của khe hở

theo các hướng dọc trục và ngang trục. Tuy nhiên có thể phân tích nó thành các thành phần theo hai hướng đó:

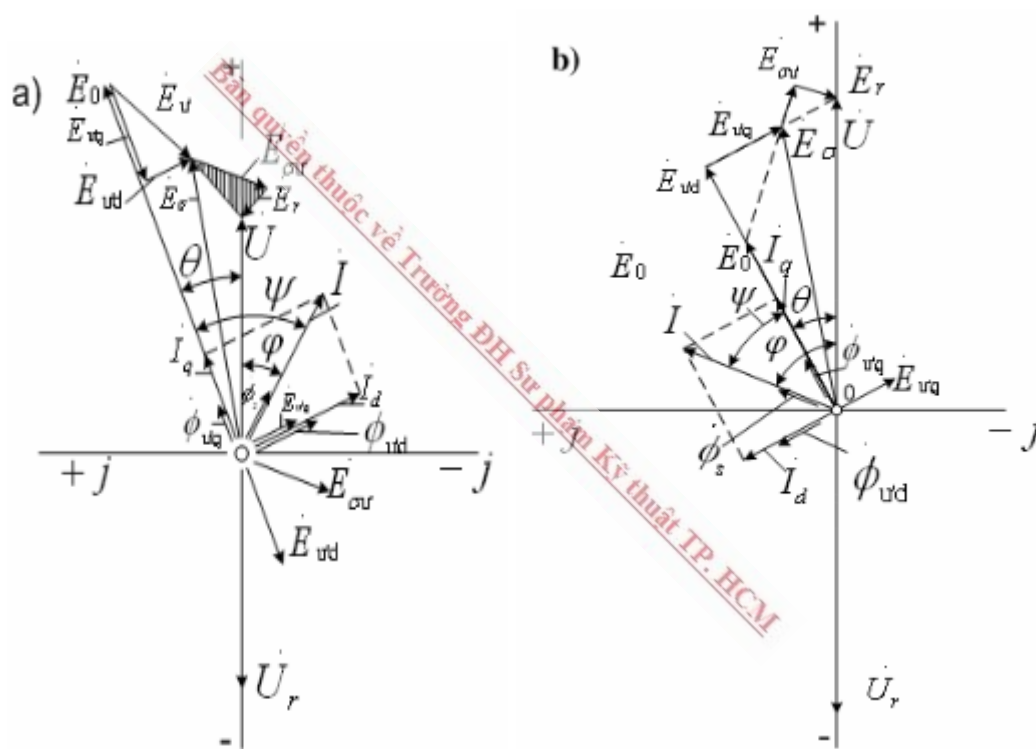
$$-j\dot{I}x_{\sigma r} = -j(\dot{I}x_{\sigma r} \cos \psi + \dot{I}x_{\sigma r} \sin \psi)$$

$$= -j\dot{I}_q x_{\sigma r} - j\dot{I}_d x_{\sigma r}$$

Kết quả phương trình cân bằng điện áp có dạng:

$$\begin{aligned} \dot{U} &= \dot{E}_0 + \dot{E}_{ud} + \dot{E}_{uq} - \dot{I}(r_r + jx_{\sigma r}) \\ &= \dot{E}_0 - j\dot{I}_d x_{ud} - j\dot{I}_q x_{uq} - \dot{I}r_r - j\dot{I}x_{\sigma r} \\ &= \dot{E}_0 - j\dot{I}_d(x_{ud} + x_{\sigma r}) - j\dot{I}_q(x_{uq} + x_{\sigma r}) - \dot{I}r_r \\ &= \dot{E}_0 - j\dot{I}_d x_d - j\dot{I}_q x_q - \dot{I}r_r \end{aligned} \quad (2-5)$$

Đồ thị vector tương ứng được trình bày trên hình 2.6 được gọi là đồ thị Blondel.



Hình 2.6 Đồ thị vector s.đ.đ máy phát điện cực lồi  
a. Tải có tính cảm; b. Tải có tính dung.

Trên hình 2.6a là đồ thị vector s.đ.đ máy phát điện cực lồi tải có tính cảm  $0 < \psi < 90^\circ$ . Đồ thị vẽ như sau: Phân tích dòng điện  $I$  thành thành phần ngang trục với  $E_0$  là  $I_q = I \cos \psi$ , cùng chiều với s.đ.đ  $E_0$  và thành phần dọc trục so với  $E_0$  là  $I_d = I \sin \psi$ , chậm sau s.đ.đ  $E_0$  một góc  $90^\circ$ . Dòng điện  $I_q$  gây nên s.t.đ  $F_{uq}$  và từ thông  $\Phi_{uq}$  phản ứng ngang trục trùng pha với dòng điện  $I_q$ . Dòng điện  $I_d$  gây nên s.t.đ  $F_{ud}$  và từ thông  $\Phi_{ud}$  phản ứng dọc trục trùng pha với dòng điện  $I_d$ . Các từ thông  $\Phi_{uq}$  và  $\Phi_{ud}$  sinh ra trong dây quấn stator các s.đ.đ  $E_{uq}$  và  $E_{ud}$  có tần số cơ bản và chậm sau các từ thông này  $90^\circ$ . Sau khi vẽ các vector s.đ.đ

$\dot{E}_{\sigma r} = -jI x_{\sigma r}$  và  $\dot{E}_r = I r_r$  và cộng hình học các s.đ.đ  $E_0, E_{uq}, E_{ud}, \dot{E}_{\sigma r} = -jI x_{\sigma r}, \dot{E}_r = I r_r$  với nhau ta được vector điện áp  $U$  trên cực máy phát, vector này vượt pha trước  $I$  một góc  $\varphi$ .

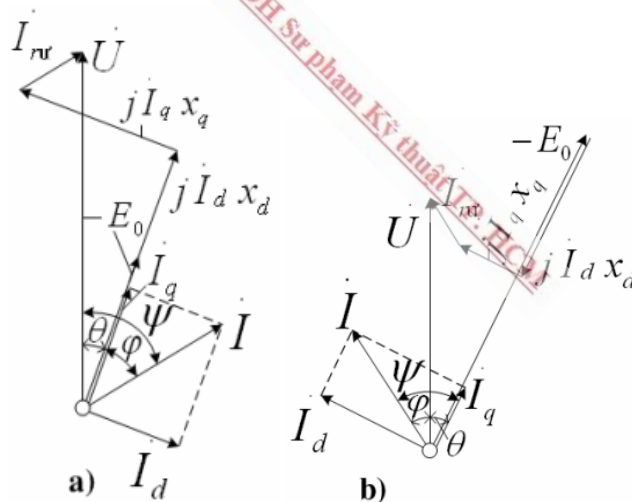
Trên hình 2.6b vẽ đồ thị s.đ.đ cho trường hợp phụ tải điện dung  $-90^\circ < \psi < 0$ , dòng điện vượt trước s.đ.đ.

## 2. Khi máy làm việc ở chế độ động cơ

Khi máy làm việc ở chế độ động cơ điện, máy tiêu thụ công suất điện từ lưới để biến thành cơ năng. S.đ.đ  $E_0$  đóng vai trò sức phản điện, có chiều ngược với chiều dòng điện. Điện áp  $U$  đặt vào động cơ phải cân bằng với sức phản điện  $E_0$  và các điện áp rơi  $I r_r, jI x_{\sigma r}$ . Động cơ điện đồng bộ thường có cấu tạo cực lồi nên ta có:

$$\begin{aligned} U &= \dot{E}_0 - \dot{E}_{ud} - \dot{E}_{uq} + I(r_r + jx_{\sigma r}) \\ &= -\dot{E}_0 + jI_d x_{ud} + jI_q x_{uq} + I r_r + jI x_{\sigma r} \\ &= -\dot{E}_0 + jI_d x_d + jI_q x_q + I r_r \end{aligned} \quad (2-6)$$

trong đó:  $\dot{E}_{ud} = -jI x_{ud}, \dot{E}_{uq} = -jI x_{uq}$



Hình 2.7 Đồ thị vector sức điện động của động cơ điện cực lồi  
a. Khi thiếu kích thích; b. Khi quá kích thích.

## § 2.3. QUÁ TRÌNH CÂN BẰNG NĂNG LƯỢNG TRONG MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Giả sử rằng máy đồng bộ có cấu tạo thông thường có nghĩa là cực từ kích thích đặt trên rotor và máy kích thích đặt trên cùng trục.

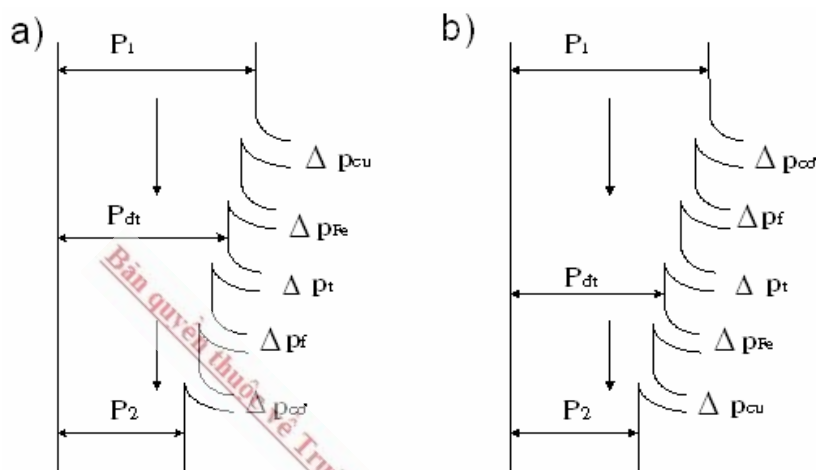
## 1. Trường hợp máy phát điện đồng bộ

Công suất điện từ  $P_{dt}$  chuyển từ rotor sang stator bằng công suất cơ  $P_1$  đưa vào trừ các tổn hao cơ  $\Delta p_{cơ}$ , tổn hao kích từ  $\Delta p_t$  và tổn hao phụ  $\Delta p_f$  do các từ trường bậc cao trong lõi sắt stator và rotor.

$$P_{dt} = P_1 - (\Delta p_{cơ} + \Delta p_t + \Delta p_f)$$

Công suất điện  $P_2$  ở đầu ra sẽ bằng công suất điện từ trừ đi tổn hao đồng  $\Delta p_{Cu}$  trên dây quấn phần ứng và tổn hao sắt từ  $\Delta p_{Fe}$ :

$$P_2 = P_{dt} - \Delta p_{Cu} - \Delta p_{Fe}$$



Hình 2.8 Giải đồ năng lượng của động cơ điện đồng bộ (a) và máy phát điện đồng bộ (b).

## 2. Đối với động cơ điện

Giả thiết  $P_1$  là công suất điện đưa vào động cơ. Một phần để bù vào tổn hao đồng  $\Delta p_{Cu}$  và tổn hao thép  $\Delta p_{Fe}$  của stator, phần còn lại là công suất điện từ chuyển từ stator sang rotor.

$$P_{dt} = P_1 - \Delta p_{Cu} - \Delta p_{Fe}$$

Công suất  $P_{dt}$  trừ đi tổn hao do ma sát và quạt gió  $\Delta p_{cơ}$  và tổn hao phụ  $\Delta p_f$  còn lại chuyển thành công suất cơ có ích  $P_2$  thì quá trình biến đổi năng lượng tiến hành ngược lại. Giải đồ năng lượng của máy phát điện và động cơ điện đồng bộ trình bày trên hình 2.8. Ta thấy ở trường hợp động cơ điện, công suất điện từ  $P_{dt}$  truyền qua từ trường stator sang rotor, ngoài ra tổn hao kích từ  $\Delta p_t$  lấy từ công suất điện của lưới khác ở trường hợp máy phát điện, lấy từ công suất cơ trên trục.



## § 2.4. CÁC ĐẶC TÍNH GÓC CỦA MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

### 1. Đặc tính góc công suất tác dụng

Đặc tính góc công suất tác dụng của máy điện đồng bộ là quan hệ  $P = f(\theta)$  khi  $U = \text{const}$ ,  $f = \text{const}$  (công suất của lưới điện vô cùng lớn),  $E_0 = \text{const}$  (kích từ không đổi), trong đó  $\theta$  là góc tải giữa các vector s.d.đ  $E$  và điện áp  $U$ . Trong khi nghiên cứu đặc tính góc để đơn giản ta bỏ qua trị số  $r_r$  vì trị số của nó rất nhỏ so với các điện kháng đồng bộ ( $x_{db}$ ,  $x_q$ ,  $x_d$ ).

Công suất tác dụng của máy phát cung cấp cho tải:

$$P = mUI \cos \varphi$$

Trong đó:  $m$ : số pha của stator.

$U, I$ : điện áp, dòng điện pha.

Đối với máy điện cực lồi theo đồ thị vector h2.6a với  $r_r = 0$  ta có:

$$I_d = \frac{E_0 - U \cos \theta}{x_d} \quad I_q = \frac{U \sin \theta}{x_q} \quad (2-7)$$

và  $\varphi = \psi - \theta$  do đó:

$$\begin{aligned} P &= mUI \cos \varphi = mUI \cos(\psi - \theta) \\ &= mUI \cos \psi \cos \theta + mUI \sin \psi \sin \theta \\ &= mU(I \cos \psi \cos \theta + I \sin \psi \sin \theta) \\ &= mU(I_q \cos \theta + I_d \sin \theta) \end{aligned}$$

Vì  $I \cos \psi = I_q$  và  $I \sin \psi = I_d$  và thế biểu thức của  $I_d$  và  $I_q$  ta có:

$$P = mU \frac{E_0}{x_d} \sin \theta + m \frac{U^2}{2} \left( \frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta \quad (2-8)$$

Trong hệ đơn vị tương đối ta có:

$$P_* = \frac{E_* U_*}{x_{d*}} \sin \theta + \frac{U_*^2}{2} \left( \frac{1}{x_{q*}} - \frac{1}{x_{d*}} \right) \sin 2\theta \quad (2-9)$$

Ta nhận thấy công suất điện từ gồm 2 thành phần: Thành phần  $P_c = mU \frac{E_0}{x_d} \sin \theta$

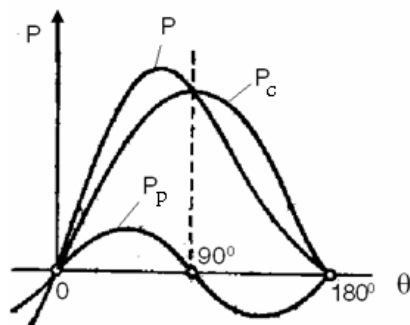
là thành phần công suất điện từ chính của máy phát. Nó phụ thuộc vào điện lưới  $U$  và sự kích từ hoặc s.d.đ  $E_0$ .

Thành phần thứ 2:  $P_p = m \frac{U^2}{2} \left( \frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta$  là thành phần công suất điện từ phụ,

không phụ thuộc vào sự kích từ và chỉ xuất hiện khi  $x_d \neq x_q$ . Đối với máy cực lồi  $x_d = x_q$  nên thành phần này bằng không. Từ biểu thức (2-9) ta có:

$$P = \frac{mUE}{x_d} \sin \theta \quad (2-10)$$

Trên hình 2.9 vẽ các quan hệ giữa hai thành phần  $P_c$  và  $P_p$  của công suất tổng  $P$  trong trường hợp máy phát điện cực lồi khi  $E_0 = \text{const}$  và  $U = \text{const}$ .



Hình 2.9 Đặc tính góc công suất tác dụng của máy phát điện đồng bộ cực lồi.

## 2. Đặc tính góc công suất phản kháng

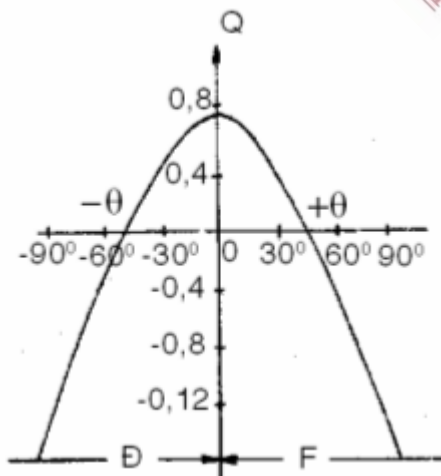
Công suất phản kháng của máy điện đồng bộ:

$$\begin{aligned} Q &= mUI \sin \varphi = mUI \sin(\psi - \theta) \\ &= mU(I \sin \psi \cos \theta - I \cos \psi \sin \theta) \\ &= mU(I_d \cos \theta - I_q \sin \theta) \end{aligned}$$

Sau khi thay các trị số của  $I_d$ ,  $I_q$  ta có:

$$Q = \frac{mUE}{x_d} \cos \theta + \frac{mU^2}{2} \left( \frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \cos 2\theta - \frac{mU^2}{2} \left( \frac{1}{x_d} + \frac{1}{x_q} \right)$$

Vì khi  $\theta$  có trị số dương hoặc âm, trị số của  $Q$  theo công thức trên vẫn không đổi nên đặc tính góc công suất phản kháng của máy phát điện và động cơ điện đồng bộ giống nhau và có dạng như hình 2.10.



Hình 2.10 Đặc tính góc công suất phản kháng của máy phát điện đồng bộ cực lồi.

**Thí dụ:**

Một máy phát điện turbin nước có các tham số  $x_{d*} = 0,843; x_{q*} = 0,554$ . Giả sử máy làm việc ở tải định mức với  $U_{dm}; I_{dm}; \cos \varphi_{dm} = 0,8$ . Hãy tính sức điện động (s.đ.đ)  $E_0$ , góc tải  $\theta_{dm}$  và độ thay đổi điện áp  $\Delta U$ .

Giải:

Ta có:  $\dot{U}_{dm} = 1 \angle 0^\circ$

$$\dot{I}_{dm} = 1 \angle -36^\circ 9' \text{ (vì } \cos \varphi_{dm} = 0,8; \varphi_{dm} = 36^\circ 9' \text{)}$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_{dm} + j\dot{I}_{dm}x_{q*} &= 1 \angle 0^\circ + \varphi(1 \angle -36^\circ 9').0,554 \\ &= 1 + j(0,8 - j0,6).0,554 \\ &= 1,332 + j0,443 \end{aligned}$$

$$\theta_{dm} = \text{artg} \frac{0,443}{1,332} = 18^\circ 5'$$

Góc giữa các vectơ  $\dot{E}_0$  và  $\dot{U}$  có trị số:

$$\psi = \psi_{dm} + \theta_{dm} = 36^\circ 9' + 18^\circ 5' = 55^\circ 4'$$

$$\Rightarrow \dot{E}_{0*} = U_* \cos \theta + I_{d*} x_{d*}$$

Trong đó:  $I_{d*} = I_* \sin \psi = 1 \cdot \sin 55^\circ 4' = 0,823$

$$\Rightarrow \dot{E}_{0*} = 1 \cdot \cos 18^\circ 5' + 0,823 \cdot 0,844 = 1,643$$

Và độ thay đổi điện áp:  $\Delta U_{dm} \% = \frac{E_0 - U_{dm}}{U_{dm}} 100 = 64,3\%$

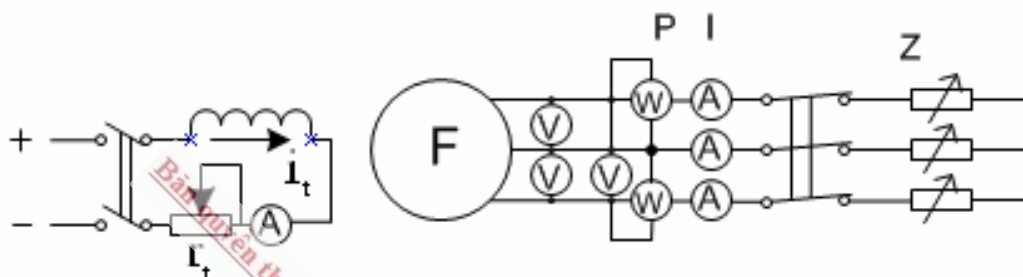
**Câu hỏi:**

1. Vì sao trong máy phát điện đồng bộ cực lồi phải chia sức từ động  $F_r$  thành 2 thành phần  $F_{ud}$  và  $F_{uq}$ ?
2. Nêu rõ sự khác nhau giữa đồ thị s.đ.đ. và đồ thị sức từ động của máy phát điện đồng bộ.

## CHƯƠNG III: MÁY PHÁT ĐIỆN VÀ ĐỘNG CƠ ĐIỆN ĐỒNG BỘ

### § 3.1. CÁC ĐẶC TÍNH CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ.

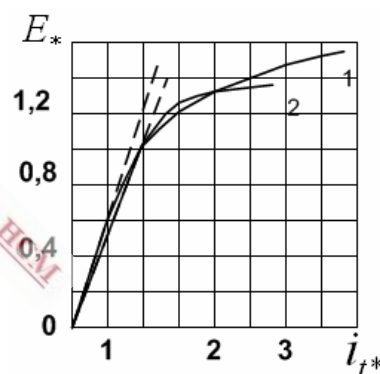
Sơ đồ nối dây của máy phát điện đồng bộ cần thiết để làm thí nghiệm lấy các đặc tính của máy phát điện đồng bộ được trình bày trên hình 3-1. Tải của máy phát điện là tổng trở  $Z$  có thể biến đổi (ví dụ tải điện trở ba pha ghép song song với tải điện cảm ba pha). Dòng điện kích thích  $i_t$  của máy phát điện lấy từ nguồn điện bên ngoài và điều chỉnh được nhờ biến trở  $r_t$ .



Hình 3-1 Sơ đồ nối dây xác định đặc tính của máy phát điện đồng bộ.

#### 1. Đặc tính không tải

Đặc tính không tải là quan hệ  $E_0 = U_0 = f(i_t)$  khi  $I = 0$  và  $f = f_{dm}$ . Dạng đặc tính không tải của các máy phát điện đồng bộ cực ẩn và cực lồi khác nhau không nhiều và có thể biểu thị theo đơn vị tương đối  $E^* = E_0/U_{dm}$  và  $i_t^* = i_t/i_{tdm0}$  như trên hình (3-2), trong đó  $i_{tdm0}$  là dòng điện không tải khi  $U = U_{dm}$ . Ta chú ý rằng mạch từ của máy phát điện tuabin hơi bão hoà hơn mạch từ của máy phát điện tuabin hơi nước.



Khi  $E_0 = U_{dm} = E^* = 1$ , đối với máy phát tuabin hơi  $k_{\mu d} = 1,06$ .  
 Hình 3.2 Đặc tính không tải của máy phát tuabin hơi (a), máy phát tuabin nước (b).

#### 2. Đặc tính ngắn mạch và tỷ số ngắn 1

**Đặc tính ngắn mạch** là quan hệ  $I_n = f(i_t)$  khi  $U = 0$ ;  $f = f_{dm}$  (khi đó dây quấn phần ứng được nối tắt ngay ở đầu máy).

Nếu bỏ qua điện trở của dây quấn của dây quấn phần ứng ( $r_r = 0$ ) thì mạch điện dây quấn phần ứng lúc ngắn mạch là thuần cảm ( $\varphi = 90^\circ$ ), như vậy  $I_q = \cos \varphi = 0$  và  $I_d = I \sin \varphi = I$  và đồ thị vector của máy phát điện lúc đó như trên hình 3-3a. Theo biểu thức (2-5), ta có:

$$\dot{E}_0 = +j\dot{I}x_d \quad (3-1)$$

và mạch điện thay thế của máy có dạng như trên hình 3-3b.

Lúc ngắn mạch phản ứng phần ứng là khử từ, mạch từ của máy không bão hoà, vì từ thông khe hở  $\Phi_\delta$  cần thiết để sinh ra  $E_\delta = E_0 - Ix_{ud}$  rất nhỏ. Do đó quan hệ  $I = f(i_1)$  là đường thẳng như trình bày trên hình 3-4.

**Tỷ số ngắn mạch K** theo định nghĩa là tỷ số giữa dòng điện ngắn mạch  $I_{no}$  ứng với dòng điện kích thích sinh ra s.đ.đ  $E_0 = U_{dm}$  khi không tải với dòng điện định mức  $I_{dm}$ , nghĩa là:

$$K = \frac{I_{no}}{I_{dm}} \quad (3-2)$$

Theo định nghĩa đó từ hình 3-4 ta có:

$$I_{no} = \frac{U_{dm}}{x_d} \quad (3-3)$$

trong đó  $x_d$  là trị số bão hoà của điện kháng đồng bộ dọc trục ứng với  $E_0 = U_{dm}$ .

Thay trị số  $I_{no}$  theo (3-3) vào (3-2), ta có:

$$K = \frac{U_{dm}}{x_d I_{dm}} = \frac{1}{x_{d*}}$$

Thường  $x_{d*} > 1$  do đó  $K < 1$  và dòng điện ngắn mạch xác lập  $I_{no} < I_{dm}$ , vì vậy có thể kết luận rằng dòng điện ngắn mạch xác lập của máy phát điện đồng bộ không lớn. Sở dĩ như vậy là do tác dụng khử từ rất mạnh của phản ứng phần ứng.

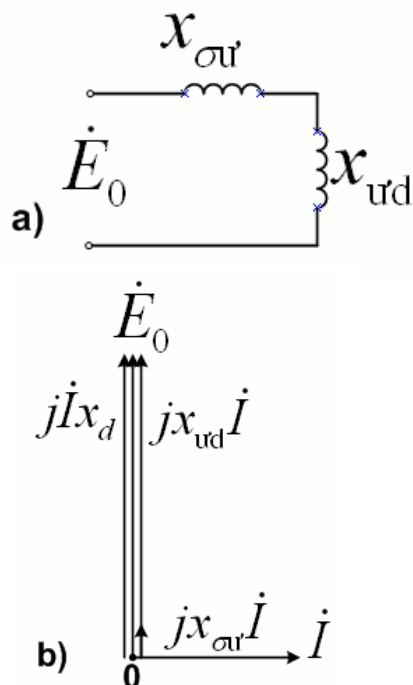
Từ hình 3-5, dựa vào các tam giác đồng dạng OAA' và OBB' có thể biểu thị tỷ số ngắn mạch K theo các dòng điện kích thích như sau:

$$K = \frac{I_{no}}{I_{dm}} = \frac{i_{t0}}{i_{tn}} \quad (3-4)$$

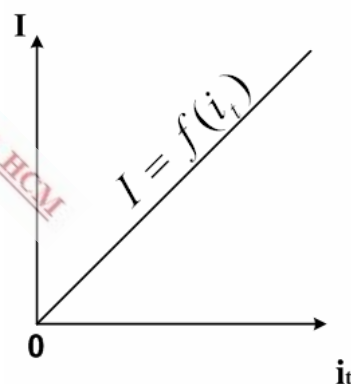
Trong đó:

$i_{t0}$  là dòng điện kích thích khi không tải lúc  $U_0 = U_{dm}$ .

$i_{tn}$  là dòng điện kích thích lúc ngắn mạch khi  $I = I_{dm}$ .



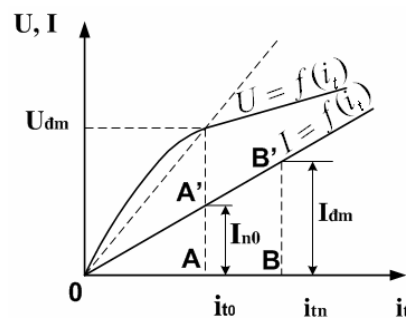
Hình 3.3 Đồ thị véc tơ và mạch điện thay thế của máy phát đồng bộ lúc ngắn mạch.



Hình 3.4 Đặc tính ngắn mạch của máy phát đồng bộ.

Tỷ số ngắn mạch K là một tham số quan trọng của máy điện đồng bộ. Máy với K lớn có ưu điểm cho độ thay đổi điện áp  $\Delta U$  nhỏ và theo biểu thức (2-7) sinh ra công suất điện từ lớn khiến cho máy làm việc ổn định khi tải dao động. Nhưng muốn K lớn nghĩa là  $x_{d*}$  nhỏ, phải tăng khe hở  $\delta$  và như vậy đòi hỏi phải tăng cường dây quấn kích thích từ và tương ứng phải tăng kích thước máy. Kết quả là phải dùng nhiều vật liệu hơn và giá thành của máy cao.

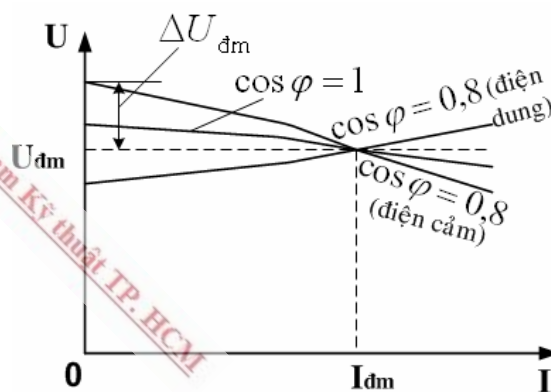
Thông thường đối với máy phát turbin nước  $K = 0,8 \div 1,8$ ; còn đối với máy phát turbin hơi,  $K = 0,5 \div 1,0$ .



Hình 3.5 Xác định tỷ số ngắn mạch K

### 3. Đặc tính ngoài và độ thay đổi điện áp $\Delta U_{dm}$ của máy phát đồng bộ:

**Đặc tính ngoài** là quan hệ  $U = f(I)$  khi  $i_t = \text{const}$ ;  $\cos \varphi = \text{const}$  và  $f = f_{dm}$ . Nó cho thấy lúc giữ kích thích không đổi, điện áp của máy thay đổi như thế nào theo tải. Khi lấy đặc tính này phải thay đổi tải I trên hình 3-1 sao cho  $\cos \varphi = \text{const}$  rồi đo U và I ứng với các trị số khác nhau của tải Z. Dạng của các đặc tính ngoài ứng với các tính chất khác nhau của tải được trình bày trên hình 3-6. Chú ý rằng trong mỗi trường hợp phải điều chỉnh dòng điện kích thích sao cho khi  $I = I_{dm}$  có  $U = U_{dm}$ , sau đó giữ nó không đổi khi thay đổi tải. Dòng điện  $i_t$  ứng với  $U = U_{dm}$ ;  $I = I_{dm}$ ;  $\cos \varphi = \cos \varphi_{dm}$ ;  $f = f_{dm}$  được gọi là dòng điện từ hoá định mức.



Hình 3.6 Đặc tính ngoài của máy phát điện đồng bộ.

Từ hình 3-6 ta thấy dạng của đặc tính ngoài phụ thuộc vào tính chất của tải. Nếu tải có tính cảm khi I tăng, phản ứng khử từ của phần ứng tăng, điện áp giảm và đường biểu diễn đi xuống. Ngược lại nếu tải có tính dung khi I tăng, phản ứng phần ứng là trợ từ, điện áp tăng và đường biểu diễn đi lên.

Độ thay đổi điện áp định mức  $\Delta U_{dm}$  của máy phát điện đồng bộ theo định nghĩa là sự thay đổi điện áp khi tải thay đổi với  $\cos \varphi = \cos \varphi_{dm}$  đến không tải, trong điều kiện thay đổi dòng điện kích thích. Trị số của  $\Delta U_{dm}$  thường biểu thị theo phần trăm điện áp định mức, nghĩa là:

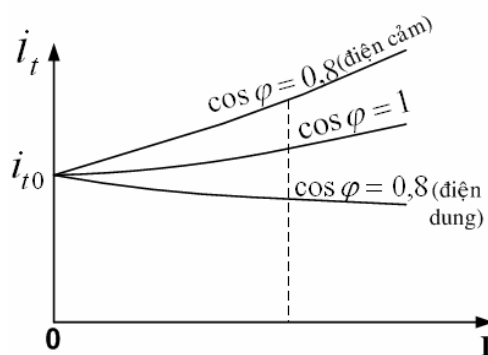
$$\Delta U_{dm} \% = \frac{E_0 - U_{dm}}{U_{dm}} 100 \quad (3-5)$$

Máy phát điện tuabin hơi do có  $x_d$  lớn nên có  $\Delta U^{(1)}$  lớn hơn so với máy phát điện tuabin nước. Thông thường  $\Delta U \% = 25 \div 35\%$ .

Trị số  $\Delta U$  của máy phát điện có thể có thể xác định được bằng thí nghiệm trực tiếp trên máy đã chế tạo. Lúc thiết kế để tính được  $\Delta U$  có thể dựa vào cách vẽ đồ thị vector trình bày trên các hình

#### 4. Đặc tính điều chỉnh

Đặc tính điều chỉnh là quan hệ  $i_t = f(I)$  khi  $U = \text{const}$ ;  $\cos \varphi = \text{const}$ ,  $f = f_{dm}$ . Nó cho biết chiều hướng điều chỉnh dòng điện  $i_t$  của máy phát đồng bộ để giữ cho điện áp  $U$  ở đầu máy không đổi. Khi làm thí nghiệm lấy đặc tính điều chỉnh theo sơ đồ ở hình 3-1, phải thay đổi  $Z$  và đồng thời thay đổi  $i_t$  để có  $\cos \varphi = \text{const}$  và  $U = \text{const}$ . Dạng của đặc tính ở các trị số  $\cos \varphi$  khác nhau như trên hình 3-7. Ta thấy với tải cảm khi  $I$  tăng, tác dụng khử từ của phản ứng phần ứng cũng tăng làm cho  $U$  bị giảm. Để giữ cho  $U$  không đổi phải tăng dòng điện từ hoá  $i_t$ , ngược lại ở tải dung khi  $I$  tăng, muốn giữ  $U$  không đổi phải giảm  $i_t$ . Thông thường  $\cos \varphi_{dm} = 0,8$  (thuần cảm), nên từ không tải ( $U = U_{dm}$ ;  $I = 0$ ) đến tải định mức ( $U = U_{dm}$ ;  $I = I_{dm}$ ) phải tăng dòng điện từ hoá  $i_t$  khoảng  $1,7 \div 2,2$  lần.

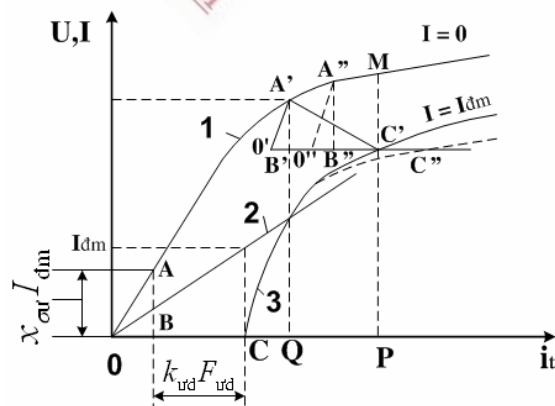


Hình 3.7 Đặc tính điều chỉnh của máy phát điện đồng bộ.

#### 5. Đặc tính tải

Đặc tính tải là quan hệ  $U = f(i_t)$  khi  $I = \text{const}$ ;  $\cos \varphi = \text{const}$  và  $f = f_{dm}$ . Với các trị số khác nhau của  $I$  và  $\cos \varphi$  sẽ có các đặc tính tải khác nhau, trong đó có ý nghĩa nhất là đặc tính tải thuần cảm ứng với  $\cos \varphi = 0 (\varphi = \frac{\pi}{2})$  và  $I = I_{dm}$ .

Để có đặc tính đó phải điều chỉnh  $r_t$  và  $Z$  (khi đó phải có cuộn cảm có thể điều chỉnh được) sao cho  $I = I_{dm}$  (hình 3-1). Dạng của đặc tính tải thuần cảm như đường 3 trên hình 3-8.

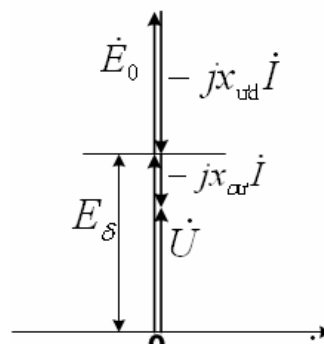


Hình 3.8 Xác định đặc tính tải thuần cảm từ đặc tính không tải và tam giác điện kháng.

Đồ thị vector tương ứng với chế độ làm việc đó khi bỏ qua trị số rất nhỏ của  $r_r$  như ở hình 3-9.

Đặc tính tải thuần cảm có thể suy ra được từ đặc tính không tải và tam giác điện kháng. Cách thành lập tam giác điện kháng như sau:

Từ đặc tính ngắn mạch (đường 2 trên hình 3-8) để có trị số  $I_n = I_{dm}$ , dòng điện kích thích  $i_{in}$  hoặc s.t.đ  $F_{in}$  cần thiết bằng  $F_{in} \equiv i_{in} = OC$ . Như đã biết (xem mục 2), khi máy làm việc ở chế độ ngắn mạch, s.t.đ của cực từ  $F_{in} = OC$  gồm 2 phần: một phần để khắc phục phản ứng khử từ của phần ứng  $BC = k_{ud} F_{ud}$  sinh ra  $E_{ud}$ ; phần còn lại  $OB = OC - BC$  sẽ sinh ra s.t.đ tản từ  $E_{\sigma r} = I_{dm} x_{\sigma r} = AB$ . Điểm A nằm trên đoạn



Hình 3.9 Đồ thị véc tơ sức điện động của máy điện đồng bộ ở tải thuần cảm.

thẳng của đặc tính không tải (đường 1) vì lúc đó mạch từ không bão hoà. Tam giác ABC được hình thành như trên được gọi là tam giác điện kháng. Các cạnh BC và AB của tam giác đều tỷ lệ với dòng điện tải định mức  $I_{dm}$ .

Dưới đây trình bày cách thành lập đặc tính tải thuần cảm từ đặc tính không tải và tam giác điện kháng.

Đem tịnh tiến tam giác điện kháng ABC (hoặc tam giác OAC cũng được) sao cho đỉnh A tựa trên đặc tính không tải thì đỉnh C sẽ vẽ thành đặc tính tải thuần cảm (đường 3). Nếu các cạnh của tam giác điện kháng được vẽ tỷ lệ với dòng điện tải  $I = I_{dm}$ , thì đặc tính tải thuần cảm  $U = f(i)$  trên là ứng với  $I = I_{dm}$ . Để chứng minh ta chú ý rằng, ở hai trường hợp ngắn mạch với  $I = I_{dm}$  và tải thuần cảm với  $I = I_{dm}$ , s.t.đ  $E_{\sigma r}$  và phản ứng khử từ  $F_{ud}$  không thay đổi, do đó các cạnh  $AB = E_{\sigma r}$  và  $BC = k_{ud} F_{ud}$  của tam giác điện kháng đều không đổi. Như vậy với 1 s.t.đ tùy ý của cực từ  $F_0 = OP$  lúc không tải, điện áp đầu cực máy  $U_0 = E_0 = PM$ , còn khi có tải thuần cảm với  $I = I_{dm}$ , điện áp đầu cực máy  $U = PC'$ . Sở dĩ như vậy vì lúc có tải thuần cảm như trên, s.t.đ có hiệu lực chỉ bằng  $OP - PQ = OQ$  (trong đó  $PQ = B'C' = BC$  là phản ứng khử từ của phần ứng) và s.t.đ  $E_{\delta} = QA'$ . Kết quả là  $U = E_{\delta} - E_{\sigma r} = QA' - AB' = QA' - AB = QB' = PC'$ .

Trên thực tế do ảnh hưởng của bão hoà, đặc tính tải thuần cảm có được bằng thí nghiệm tải trực tiếp hơi khác và có dạng như đường nét đứt. Nguyên nhân của sự sai khác đó là ở chỗ, khi dòng điện kích từ tăng, cực từ của máy càng bão hoà do từ thông tản của dây quấn kích từ lớn hơn thì s.t.đ của cực từ cần thiết để khắc phục phản ứng khử từ của phần ứng càng phải lớn hơn, nghĩa là cạnh BC của tam giác điện kháng càng phải dài hơn.



## § 3.2. GHÉP MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ LÀM VIỆC SONG SONG

### I. Những khái niệm chung

Hiện nay các trạm phát điện thường có một hoặc nhiều máy phát điện làm việc song song. Điều đó được giải thích như sau: Một mặt do đồ thị phụ tải dao động nhiều trong thời gian một ngày đêm cũng như trong các thời gian khác nhau của năm, do đó nếu chỉ dùng một máy phát điện với công suất đặt lớn nhất thì khi nó làm việc với phụ tải nhỏ hiệu suất của nó cũng như của động cơ sơ cấp sẽ giảm thấp. Mặt khác những trạm phát điện hiện nay thường có một công suất lớn đến nỗi là không thể chế tạo được những máy phát có công suất lớn như vậy.

Ngoài ra, để nâng cao tính bảo đảm an toàn, liên tục cung cấp điện cho những trung tâm công nghiệp lớn thường người ta sử dụng một vài trạm phát điện cùng nối với một lưới điện chung. Điều đó có rất nhiều ưu điểm:

- Các trạm phát điện giảm được các thiết bị dự trữ để phòng khi hư hỏng và sửa chữa.
- Có thể phân phối hợp lý giữa các phụ tải. Trạm phát điện nhằm mục đích nâng cao chỉ tiêu kinh tế.

### II. Ghép song song các máy phát điện đồng bộ

#### 1. Điều kiện làm việc song song

Khi ghép một máy phát điện đồng bộ làm việc song song trong hệ thống điện lực hoặc với một máy phát điện đồng bộ khác, để tránh dòng điện xung và các  $M_{dt}$  có trị số rất lớn có thể gây ra sự cố hỏng máy và các thiết bị khác trong hệ thống thì phải đảm bảo các điều kiện sau:

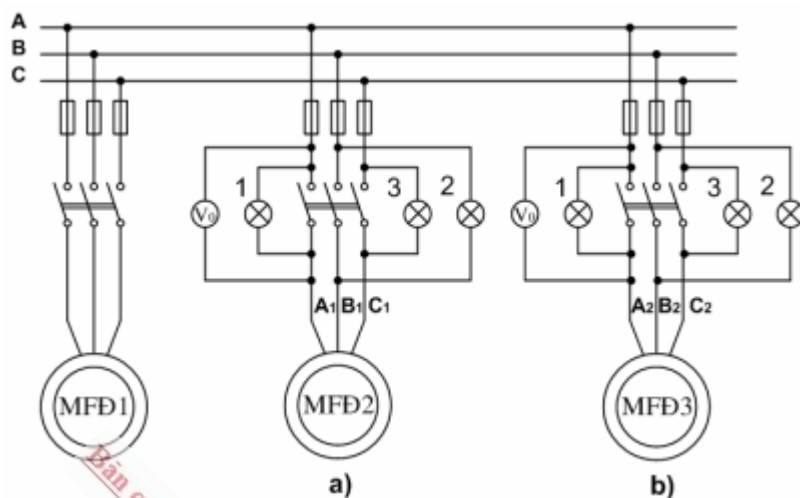
- Điện áp của máy phát phải bằng với điện áp của lưới  $U_F = U_L$ .
- Tần số của máy phát phải bằng tần số của lưới:  
$$f_F = f_L$$
- Đối với máy phát điện ba pha cần phải thêm điều kiện thứ 3: Cùng thứ tự pha.
- Điện áp pha của máy phát trùng pha với điện áp pha của lưới.

Khi ghép song song việc điều chỉnh điện áp  $U_F$  của máy phát điện được thực hiện bằng cách thay đổi dòng điện kích thích của máy. Tần số  $f_F$  của máy được điều chỉnh bằng cách thay đổi moment hoặc tốc độ quay của động cơ sơ cấp kéo máy phát. Sự trùng pha giữa điện áp của máy phát điện và của lưới điện kiểm tra bằng đèn, volmet chỉ không hoặc dụng cụ đo đồng bộ, thứ tự pha của máy phát điện đồng bộ thường chỉ được kiểm tra một lần sau khi lắp ráp máy và hoà đồng bộ với lưới điện lần đầu.

Việc ghép song song các máy phát điện vào hệ thống điện theo các điều kiện trên gọi là hoà đồng bộ chính xác máy phát điện. Trong một số trường hợp có thể dùng phương pháp hoà đồng bộ không chính xác nghĩa là không phải so sánh tần số, trị số góc pha và các điện áp của máy phát điện cần được ghép song song và của lưới điện, phương pháp này gọi là phương pháp tự đồng bộ.

## 2. Các phương pháp hoà đồng bộ chính xác:

Có thể dùng bộ hoà đồng bộ kiểu ánh sáng đèn hoặc bộ hoà đồng bộ kiểu điện từ (cột đồng bộ).



Hình 3.10 Hoà đồng bộ máy phát điện 3 pha bằng ánh sáng

### a) Hoà đồng bộ kiểu ánh sáng:

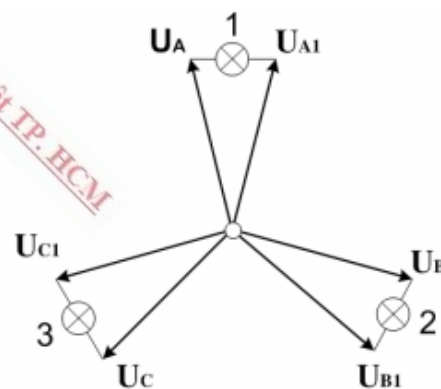
Ta có thể hoà đồng bộ kiểu ánh sáng bằng hai phương pháp: phương pháp nối tối hay đèn tối (máy phát điện 2) và phương pháp ánh sáng quay (máy phát điện 3).

*α.* Phương pháp đèn tối:

Sơ đồ hoà đồng bộ bằng phương pháp đèn tối được thể hiện trên H3.10a và H3.11.

Quay máy phát 2 đến  $n = n_1$ .

Điều chỉnh cho  $U_{FII} = U_L$  khi  $U_{FII}$  trùng pha và cùng thứ tự pha với  $U_L$  thì không có điện áp đặt trên các đèn nên các đèn sẽ tối. Nếu tần số máy phát và lưới không bằng nhau thì các vector điện áp lưới và máy phát sẽ quay với các tốc độ góc khác nhau, góc lệch pha  $\alpha$  giữa chúng sẽ thay đổi từ 0 đến  $180^\circ$ , điện áp đặt lên các đèn sẽ thay đổi từ 0 đến hai lần điện áp pha và đèn sẽ lần lượt sáng tối, sự sai khác về điện áp giữa máy phát và lưới càng lớn thì các đèn sáng tối càng nhanh: khi  $f_{FII} \neq f_L$  nhiều thì đèn nhấp nháy rất nhanh, khi  $f_{FII} \approx f_L$  thì đèn sáng tối rất chậm. Khi đèn tối tương đối lâu (khoảng 3 đến 5 giây) thì người ta



Hình 3.11 Đồ thị vector điện áp pha của lưới và máy phát nối theo phương pháp đèn tối.

đóng máy phát điện vào lưới. Để đóng máy chính xác hơn người ta mắc thêm 1 volt mét chỉ không (có điểm không ở giữa thang đo).

β. Phương pháp ánh sáng đèn quay:

Ta nối 3 đèn ở 3 vị trí:

(A – A<sub>2</sub>), (B – C<sub>2</sub>), (C – B<sub>2</sub>) (H3-10b)

đồ thị vector điện áp như hình 3-12. Nếu ở vị trí như h3.12 thì đèn 1 tối mờ, đèn 2 sáng nhiều, đèn 3 sáng vừa. Ở vị trí A ≡ A<sub>2</sub> thì đèn 1 tắt đèn 2 và 3 sáng bằng nhau kết hợp với volt mét chỉ không có thể đóng máy hoà đồng bộ.

Nếu n' > n thì đèn 1 sáng dần lên, đèn 2 sáng nhiều lên và đèn 3 sáng yếu đi.

Vậy nếu n' > n ánh sáng quay từ 1-2-3

n' < n ánh sáng quay từ 1-3-2

n' = n đèn 1 tắt.

Do đó nhìn chiều quay của đèn có thể biết được cần phải tăng hay giảm tốc độ của máy phát sắp ghép với lưới để đến gần vận tốc đồng bộ.

**Chú ý:** Nếu nối dây theo sơ đồ đèn tối mà kết quả đèn quay hay ngược lại khi nối theo đèn quay mà đèn cùng sáng, cùng tối thì chứng tỏ thứ tự pha nối sai. Lúc này cần đổi thứ tự nối hai trong ba pha của máy phát với lưới điện.

### b) Hoà đồng bộ kiểu điện từ (dùng cột đồng bộ).

Cột đồng bộ dùng ba đồng hồ để kiểm tra điều kiện hoà đồng bộ:

+ Hai volt mét để kiểm tra điện áp U<sub>L</sub> và U<sub>F</sub>.

+ Hai tần số kế để kiểm tra tần số f<sub>L</sub> và f<sub>F</sub> hoặc một tần số kế kép có hai dây thiên rung để chỉ đồng thời tần số f<sub>L</sub> và f<sub>F</sub>.

+ Một đồng bộ kế tác động theo sự khác nhau giữa f<sub>L</sub> và f<sub>F</sub> định hoà đồng bộ.

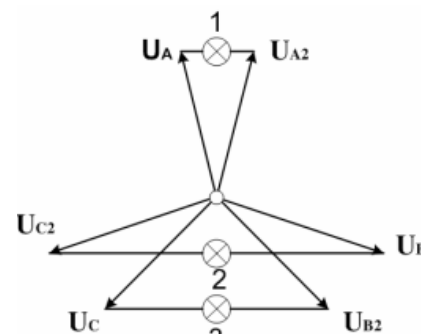
Khi

f<sub>L</sub> = f<sub>F</sub> và kim quay chậm (f<sub>L</sub> ≈ f<sub>F</sub>) thì thời điểm đóng cầu dao là lúc kim trùng với đường thẳng đứng và hướng lên trên.

### 3. Phương pháp tự đồng bộ

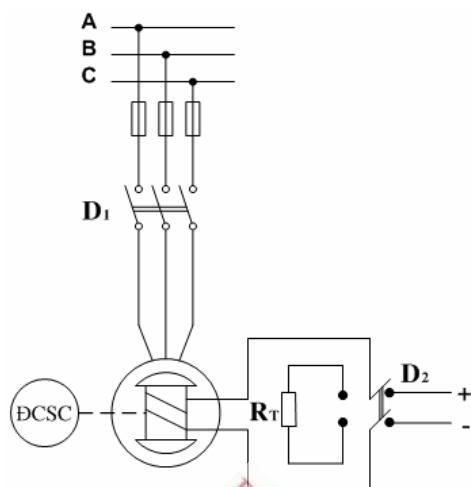
Thường chỉ sử dụng với các máy phát điện công suất nhỏ, có thể đóng vào lưới theo phương pháp tự đồng bộ sau: Nối mạch kích từ qua một điện trở triệt từ để tránh dòng điện cảm ứng ở dây quấn rotor lớn, cầu dao D<sub>2</sub> đóng về phía điện trở.

Dùng động cơ sơ cấp quay rotor đến gần tốc độ đồng bộ, đóng D<sub>1</sub> để nối máy phát vào lưới điện khi chưa có kích từ, cuối cùng đóng dây quấn kích từ vào nguồn kích từ, máy sẽ làm việc đồng bộ. Tuyệt đối không được đóng stator của



Hình 3.12 Đồ thị vector điện áp pha của lưới và máy phát nối theo phương pháp ánh sáng đèn quay.

máy phát điện vào lưới theo phương pháp tự đồng bộ khi mạch kích từ hở mạch vì lúc ấy trong cuộn dây kích từ sẽ cảm ứng ra một s.đ.đ lớn hơn có thể làm hỏng cách điện.



Phương pháp tự đồng bộ cho phép hoà đồng bộ nhanh chóng khi cần xử lý khẩn cấp. Tuy nhiên có khuyết điểm là dòng điện đóng cầu dao khá lớn.

Hình 3.13 Phương pháp tự đồng bộ

### § 3.3. MỞ MÁY VÀ ĐIỀU CHỈNH CÔNG SUẤT TÁC DỤNG, CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Tải của hệ dùng điện trong lưới điện thường luôn thay đổi theo điều kiện của sản xuất hoặc cũng có trường hợp tuy tải không thay đổi nhưng do điều kiện vận hành của lưới điện mà cần thiết phải thay đổi chế độ làm việc của các máy phát điện, do đó trên thực tế phải điều chỉnh công suất tác dụng  $P$  và công suất phản kháng  $Q$  của máy phát điện đồng bộ.

Ta hãy xét vấn đề ở hai trường hợp điển hình. Trường hợp thứ nhất là trường hợp máy phát điện làm việc trong hệ thống điện lực có công suất vô cùng lớn với  $U, f = \text{const}$ , hay nói khác đi tổng công suất của các máy phát điện đang làm việc song song trong hệ thống rất lớn so với công suất của máy phát điện đang được xét, do đó việc điều chỉnh  $P$  và  $Q$  của máy phát điện đó không làm thay đổi  $U, f$  của hệ thống điện. Trường hợp thứ hai là trường hợp chỉ có hai hoặc vài máy phát điện công suất tương tự làm việc song song và sự thay đổi chế độ làm việc của một máy sẽ làm thay đổi  $U, f$  chung của cả các máy phát điện đó.

## 1. Điều chỉnh công suất tác dụng P của máy phát điện đồng bộ.

### a) Trường hợp máy phát điện làm việc trong hệ thống điện công suất vô cùng lớn.

Ở trường hợp này U và f là không đổi nên nếu giữ dòng điện kích thích  $I_f$  không đổi thì  $E_0$  là hằng số, theo biểu thức (2-8) thì P là hàm số của góc  $\theta$  và đường biểu diễn của nó có dạng như đã biết trên hình 2-9. Ở chế độ làm việc xác lập công suất tác dụng P của máy ứng với góc  $\theta$  nhất định phải cân bằng với công suất cơ trên trục quay máy phát điện. Đường biểu diễn công suất cơ của động cơ sơ cấp được biểu thị bằng đường thẳng song song với trục ngang và cắt đặc tính góc ở điểm A trên hình 3-14. Như vậy muốn điều chỉnh công suất tác dụng P của máy phát thì phải thay đổi góc  $\theta$ , nghĩa là dịch chuyển giao điểm A bằng cách thay đổi công suất cơ trên trục máy. Công suất tác dụng cực đại  $P_m$  mà máy phát điện có thể cung cấp cho hệ thống điện ứng với khi  $dP/d\theta = 0$ .

Áp dụng điều kiện đó đối với biểu thức (2-9) của máy phát đồng bộ cực ẩn suy ra được

$$\theta_m = 90^\circ \text{ và:}$$

$$P_m = \frac{mE_0U}{x_d} \quad (3-6)$$

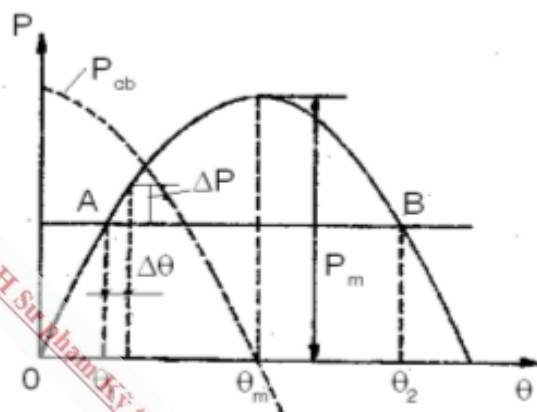
cũng như vậy đối với máy cực lồi, từ (2-7) có thể suy ra được góc  $\theta_m$  xác định bởi:

$$\cos \theta_m = \frac{\sqrt{A^2 + 8B^2} - A}{4B}$$

Trong đó:  $A = \frac{mE_0U}{x_d}$ ,  $B = mU^2 \left( \frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right)$

$$\text{Và } P_m = \frac{mE_0U}{x_d} \sin \theta_m + \frac{mU^2}{2} \left( \frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta_m \quad (3-7)$$

Khi điều chỉnh công suất tác dụng cần chú ý rằng máy phát điện đồng bộ chỉ làm việc ổn định tĩnh khi  $0 < \theta < \theta_m$ . Để thấy rõ điều đó, giả thử rằng máy đang làm việc ở giao điểm A ứng với  $\theta_1 < \theta_m$ . Nếu do một nguyên nhân nào đó công suất cơ  $P_{cơ}$  của động cơ sơ cấp tăng lên trong một thời gian ngắn, sau đó lại trở về trị số ban đầu thì rotor của các máy phát điện sẽ quay nhanh hơn. Như vậy góc  $\theta$  sẽ tăng thêm  $+\Delta\theta$  và tương ứng công suất P sẽ tăng thêm  $\Delta P$ . Vì lúc đó công suất  $P_{cơ}$  đã trở về trị số ban đầu nên  $P + \Delta P > P_{cơ}$ , kết quả là rotor sẽ bị ghìm và máy phát điện trở lại làm việc ở góc  $\theta$  ban đầu sau vài chu kỳ dao động. Trái lại nếu máy phát điện làm việc xác lập ở  $\theta_2 > \theta_m$ , ví dụ ở điểm B trên hình 3-14 thì khi công suất cơ thay đổi như trên, góc  $\theta$  tăng thêm  $\Delta\theta$  sẽ làm



Hình 3.14 Công suất tác dụng và công suất chỉnh bộ của máy phát điện đồng bộ cực lồi.

cho P của máy phát điện giảm, như vậy  $P < P_{cơ}$ , kết quả là rotor quay nhanh thêm, góc  $\theta$  càng tăng và máy phát điện sẽ mất đồng bộ với lưới điện. Từ những điều nói trên ta thấy rằng, khi điều chỉnh công suất tác dụng mà muốn giữ cho máy phát điện làm việc ổn định thì phải có điều kiện sau:

$$\frac{dP}{d\theta} > 0 \quad (3-8)$$

Trong đó  $\frac{dP}{d\theta}$  được gọi là công suất chỉnh bộ đặc trưng cho khả năng giữ cho máy làm việc đồng bộ trong lưới điện và được kí hiệu bằng  $P_{cb}$ .

Từ các biểu thức (2-8), (2-9) suy ra được công suất chỉnh bộ đối với máy

cực lõi: 
$$P_{cb} = \frac{mE_0U}{x_d} \cos \theta + mU^2 \left( \frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \cos 2\theta \quad (3-9)$$

Và đối với máy cực ẩn: 
$$P_{cb} = \frac{mE_0U}{x_{db}} \cos \theta$$

Đường biểu diễn công suất chỉnh bộ như trên hình (3-14). Ta thấy khi không tải ( $\theta = 0$ ), khả năng chỉnh bộ tức khả năng của  $\Delta P$  giữa công suất cơ đưa vào máy và công suất tác dụng đưa ra lưới điện ứng với sự thay đổi  $\Delta \theta$  làm cho máy phát vẫn duy trì làm việc đồng bộ với lưới điện là lớn nhất, còn khi  $\theta = \theta_m$  thì khả năng chỉnh bộ bằng 0.

Trên thực tế vận hành để đề phòng trường hợp U hoặc  $E_0$  giảm hoặc những nguyên nhân khác làm cho công suất P đưa ra lưới điện giảm theo những vẫn duy trì đồng bộ, máy phát điện thường làm việc với công suất định mức  $P_{dm}$  ứng với  $\theta < 30^\circ$ . Như vậy khả năng quá tải của máy phát điện đồng bộ được xác định

bằng tỉ số: 
$$k_m = \frac{P_m}{P_{dm}}$$

gọi là hệ số năng lực quá tải. Đối với máy cực ẩn  $k_m = \frac{1}{\sin \theta_{dm}}$

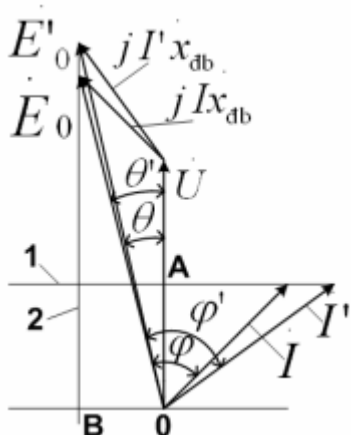
Theo quy định thì cần đảm bảo  $k_m > 1,7$  và muốn như vậy thì máy phải có tỉ số ngắn mạch K lớn, nghĩa là  $x_d$  phải nhỏ (hoặc khe hở lớn).

Cần chú ý rằng khi điều chỉnh công suất tác dụng P, do  $\theta$  thay đổi nên công suất phản kháng cũng thay đổi theo.

**b) Trường hợp máy phát điện công suất tương tự làm việc song song**

Giả sử có hai máy phát điện công suất bằng nhau làm việc song song. Ở trường hợp này, trong điều kiện tải của lưới điện không đổi, khi tăng công suất tác dụng của một máy mà không giảm tương ứng công suất tác dụng của máy kia thì tần số của lưới điện sẽ thay đổi cho đến khi có sự cân bằng mới và khiến cho hộ dùng điện phải làm việc trong điều kiện tần số khác định mức. Vì vậy, để giữ cho  $f = \text{const}$  khi tăng công suất tác dụng của một máy thì phải giảm công suất tác dụng của máy kia. Chính cũng bằng cách đó mà có thể thay đổi sự phân phối công suất tác dụng giữa hai máy.

## 2. Điều chỉnh công suất phản kháng của máy phát điện đồng bộ



Hình 3.15 Điều chỉnh công suất phản kháng của máy phát điện đồng bộ.

Ta hãy xét việc điều chỉnh công suất phản kháng của máy phát điện đồng bộ làm việc trong lưới điện có công suất vô cùng lớn ( $U, f = \text{const}$ ) khi công suất tác dụng của máy được giữ không đổi.

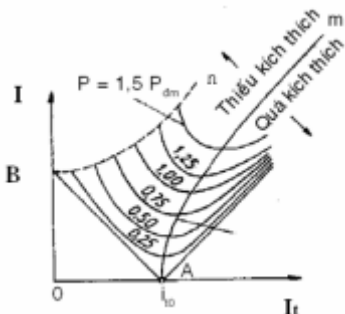
Giả sử máy có cực ẩn và để đơn giản, bỏ qua tổn hao trên dây quấn phần ứng ( $r_r = 0$ ). Trong trường hợp đó, đồ thị vector s.đ.đ có dạng như trên hình (3-15). Vì  $P = mUI \cos \varphi \equiv OA$  là không đổi, và với điều kiện  $U = \text{const}$  nên khi thay đổi  $Q$ , mút của vector  $I$  luôn nằm trên đường thẳng 1, thẳng góc với  $U$ . Với mỗi trị số của  $I$  sẽ có một trị số của  $\cos \varphi$  và vẽ đồ thị vector s.đ.đ tương ứng sẽ xác định được độ lớn được độ lớn của vector  $E_0$ , từ đó suy ra được dòng điện kích thích  $I_1$  cần thiết để

sinh ra  $E_0$ , cũng cần chú ý rằng  $P = \frac{mUE_0}{x_{db}} \sin \theta \approx P_1 = \text{const}$ , trong đó  $U, x_{db}$  không

đổi nên  $P \equiv E_0 \sin \theta = OB = \text{const}$ , và mút của vector  $E$  luôn nằm trên đường thẳng 2 thẳng góc với  $OB$ .

Kết quả phân tích cho thấy rằng, muốn điều chỉnh công suất phản kháng  $Q$  thì phải thay đổi dòng điện kích thích  $I_1$  của máy phát điện.

Với mỗi trị số của  $P = \text{const.}$ , thay đổi  $Q$  và vẽ đồ thị vector s.đ.đ như trên ta xác định được quan hệ  $I = f(I_1)$  gọi là đặc tính hình V của máy phát điện đồng bộ. Thay đổi các trị số của  $P$  với phương pháp trên sẽ thành lập được một họ các đặc tính hình V tương ứng với khi  $\cos \varphi = 1$ . Khu vực bên phải của đường  $A_m$  ứng với tải có tính cảm  $\varphi > 0$  và chế độ làm việc quá kích thích của máy phát điện, khu vực ở bên trái của đường đó ứng với tải có tính dung ( $\varphi < 0$ ) và chế độ làm việc thiếu kích thích của máy. Đường  $B_n$  ứng với giới hạn làm việc ổn định của lưới khi máy phát điện làm việc ở chế độ thiếu kích thích.



Hình 3.16 Họ các đặc tính hình V của máy phát điện đồng bộ.

Ở trên ta xét đối với máy phát điện cực ẩn, nhưng tất cả những phân tích đó đều áp dụng được cho máy phát điện cực lồi.

Trong trường hợp công suất của lưới điện nhỏ (thí dụ chỉ có hai máy phát điện công suất bằng nhau làm việc song song), nếu tăng dòng điện kích thích  $I_1$  của một máy mà vẫn giữ dòng điện kích thích của máy thứ hai không đổi, thì do công suất phản kháng của mỗi máy một tăng, tổng công suất

phản kháng sẽ tăng làm thay đổi điện áp  $U$  của lưới điện, ảnh hưởng đến trạng thái làm việc bình thường của hộ dùng điện. Như vậy để duy trì trạng thái làm việc bình thường của lưới điện với  $U = \text{const}$ , khi tăng dòng điện kích thích của một máy thì phải giảm tương ứng dòng điện kích thích của máy thứ hai. Bằng phương pháp đó sẽ thực hiện được sự phân phối lại công suất phản kháng  $Q$  giữa hai máy phát điện.

### 3. Động cơ điện đồng bộ

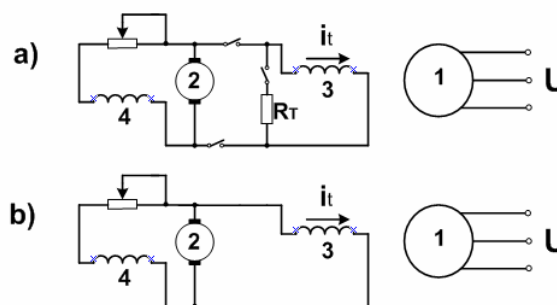
#### a. Các phương pháp mở máy động cơ điện đồng bộ

✓ *Mở máy theo phương pháp không đồng bộ*

Các động cơ điện đồng bộ phần lớn đều mở máy theo phương pháp không đồng bộ. Thông thường các động cơ điện đồng bộ cực lồi đều có đặt dây quấn mở máy có cấu tạo kiểu lồng sóc đặt trong các rãnh ở mặt cực, 2 đầu nối với hai vành ngắn mạch.

Trong một số động cơ, các mặt cực bằng thép nguyên khối và được nối với nhau ở hai đầu bằng hai vòng ngắn mạch ở hai đầu rotor cũng có thể thay thế cho dây quấn ngắn mạch dùng trong việc mở máy. Ở các lưới điện lớn có thể cho phép mở máy trực tiếp với điện áp của lưới các động cơ đồng bộ công suất vài trăm và có khi tới hàng nghìn kilowatt. Đối với các động cơ đồng bộ cực ẩn, việc mở máy theo phương pháp không đồng bộ có khó khăn hơn, vì dòng điện cảm ứng ở lớp mỏng ở mặt ngoài của rotor nguyên khối sẽ gây nóng cục bộ đáng kể. Trong trường hợp đó, để mở máy được dễ dàng, cần hạ điện áp của máy bằng biến áp tự ngẫu hoặc cuộn kháng.

Quá trình mở máy động cơ đồng bộ bằng phương pháp không đồng bộ có thể chia thành hai giai đoạn. Lúc đầu việc mở máy được thực hiện với  $i_t = 0$ , dây quấn kích thích được nối tắt qua điện trở  $R_T$  như trên hình 3-17a. Sau khi đóng cầu dao nối dây quấn stator với nguồn điện, do tác dụng của moment không đồng bộ rotor sẽ quay và tăng tốc độ đến gần tốc độ đồng bộ  $n_1$  của từ trường quay. Trong giai đoạn này, việc nối dây quấn kích thích với điện trở  $R_T$  có trị số bằng  $10 \div 12$  lần điện trở  $r_t$  của bản thân dây quấn kích từ là cần thiết, vì nếu để



Hình 3.17 Sơ đồ mạch kích từ của động cơ đồng bộ lúc mở máy với dây quấn kích thích nối tắt qua điện trở  $R_T$  (a) và nối thẳng vào máy kích thích (b).

1. Phần ứng động cơ đồng bộ.
2. Phần ứng máy kích thích.
3. Dây quấn kích từ của động cơ đồng bộ.
4. Dây quấn kích từ của máy kích thích.



dây quấn này hở mạch sẽ có điện áp cao, làm hỏng cách điện của dây quấn, do lúc bắt đầu mở máy từ trường quay của stator quét nó với tốc độ đồng bộ.

Cũng cần chú ý rằng, nếu đem nối ngắn mạch dây quấn kích thích thì sẽ tạo thành mạch một pha có điện trở nhỏ ở rotor và sinh ra moment cản lớn khiến cho tốc độ quay của rotor không thể vượt quá tốc độ bằng một nửa tốc độ đồng bộ. Hiện tượng này có thể giải thích như sau. Dòng điện có tần số  $f_2 = sf_1$  trong dây quấn kích thích bị nối ngắn mạch sẽ sinh ra từ trường đập mạch. Từ trường này có thể phân tích thành hai từ trường quay thuận và quay ngược với chiều quay của rotor tương đối so với rotor  $n_1 - n$ , trong đó  $n_1$  là tốc độ từ trường quay của stator và  $n$  là tốc độ của rotor.

Từ trường quay thuận có tốc độ so với dây quấn phần tĩnh:

$$n_{th} = n + (n_1 - n) = n_1$$

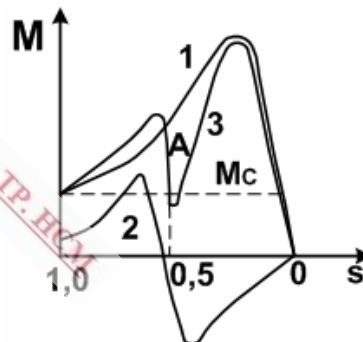
nghĩa là quay đồng bộ với từ trường quay của stator. Tác dụng của nó với từ trường quay của stator tạo nên moment không đồng bộ và hỗ trợ với moment không đồng bộ do dây quấn mở máy sinh ra và có dạng như đường 1 trên hình 3-18.

Từ trường quay ngược có tốc độ so với dây quấn phần tĩnh:

$n_{ng} = n - (n_1 - n) = 2n - n_1 = 2n(1-s) - n_1 = n_1(1-2s)$  và sinh ra trong dây quấn phần tĩnh dòng điện tần số:

$$f = f_1(1-2s)$$

Như vậy khi  $0,5 < s < 1$ , nghĩa là tốc độ quay của rotor  $n < n_1/2$  thì từ trường quay ngược quay so với dây quấn phần tĩnh theo chiều ngược so với chiều quay của rotor. Tác dụng của nó với dòng điện phần tĩnh tần số  $f'$  sẽ sinh ra moment phụ cùng dấu và hỗ trợ với moment không đồng bộ do từ trường quay thuận tác dụng với dây quấn mở máy (đường 2 trên hình 3-18). Khi  $s = 0,5$  ( $n < n_1/2$ ), từ trường quay ngược đứng yên so với dây quấn phần tĩnh, moment phụ bằng không. Và khi  $0 < s < 0,5$  ( $n < n_1/2$ ), thì từ trường quay ngược sẽ quay cùng chiều với chiều quay rotor. Tác dụng của nó với dòng điện phần tĩnh tần số  $f'$  lúc đó sinh ra moment phụ trái dấu với moment không đồng bộ do từ trường quay thuận, do đó có tác dụng như moment hãm.



Hình 3.18 Đường cong mômen của động cơ đồng bộ mở máy không đồng bộ với dây quấn kích từ bị nối ngắn mạch.

Kết quả là khi dây quấn kích từ bị nối ngắn mạch, đường biểu diễn moment của động cơ trong quá trình mở máy tổng của các đường 1 và 2 có tác dụng như đường 3 trên hình 3-18. Rõ ràng là khi moment cản  $M_c$  trên trục động cơ đủ lớn

thì rotor sẽ làm việc ở điểm A ứng với tốc độ  $n \approx n_1/2$  và không thể đạt được đến tốc độ gần tốc độ đồng bộ.

Khi rotor đã quay đến tốc độ  $n \approx n_1$ , có thể tiến hành giai đoạn thứ hai của quá trình mở máy: đem nối dây quấn với điện áp một chiều của máy kích thích. Lúc đó ngoài moment không đồng bộ tỉ lệ với hệ số trượt  $s$  và moment gia tốc tỉ lệ với  $ds/dt$  sẽ có moment đồng bộ phụ thuộc vào góc  $\theta$  cùng tác dụng. Do rotor chưa quay đồng bộ nên góc  $\theta$  luôn thay đổi. Khi  $0 < \theta < 180^\circ$  thì moment đồng bộ sẽ cộng tác dụng với moment không đồng bộ làm tăng thêm tốc độ quay của rotor và như vậy rotor sẽ được lôi vào tốc độ đồng bộ sau một quá trình dao động.

Kinh nghiệm cho biết, để đảm bảo cho rotor được đưa vào tốc độ đồng bộ 1 cách thuận lợi, hệ số trượt ở cuối giai đoạn thứ nhất lúc chưa có dòng điện cần phù hợp với điều kiện sau:

$$s < 0,04 \sqrt{\frac{k_m}{GD^2} \cdot \frac{P_{dm}}{n_{dm}^2} \cdot \frac{i_{tdb}}{i_{tdm}}} \quad (3-10)$$

trong đó:

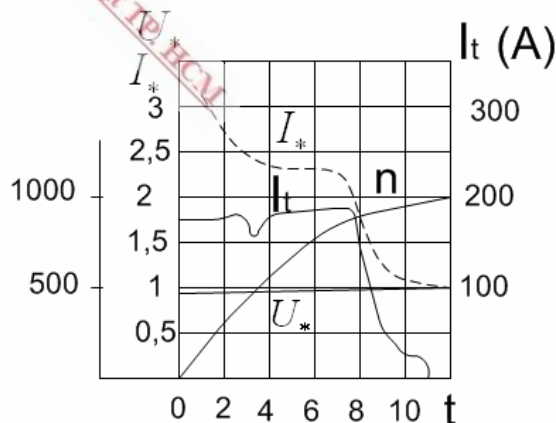
$k_m$  là năng lực quá tải ở chế độ đồng bộ với dòng điện kích từ định mức  $i_{tdm}$ ;

$P_{dm}$  là công suất định mức, kW;

$i_{tdb}$  là dòng điện kích từ khi đồng bộ hoá;

$GD^2$  là moment động lượng của động cơ và máy công tác nối trực nó,  $kG.m^2$ .

Để tránh việc mở máy qua hai giai đoạn như trình bày ở trên, trong đó phải thao tác tách dây quấn kích thích khỏi điện trở  $R_T$  và sau đó nối máy kích từ, có thể nối thẳng dây quấn với máy kích từ trong suốt quá trình mở máy theo sơ đồ trên hình 3-17b như thường gặp gần đây. Như vậy, trong dây quấn phần ứng của máy kích từ sẽ có dòng điện xoay chiều nhưng điều đó không gây tác hại gì. Khi rotor đạt đến tốc độ quay  $n = (0,6 \div 0,7)n_{dm}$ , máy kích thích bắt đầu cung cấp dòng điện kích từ cho động cơ điện đồng bộ, nhờ đó mà lúc đến gần tốc độ đồng bộ động cơ được kéo vào tốc độ đồng bộ. Cần chú ý rằng quá trình mở máy theo sơ đồ trên hình 3-17b được thực hiện trong những điều kiện khó khăn hơn vì động cơ điện đồng bộ được kích thích quá sớm, như vậy sẽ tạo nên dòng ngắn mạch:



Hình 3.19 Quan hệ  $U, I, i, n = f(t)$  khi mở máy động cơ đồng bộ 1500kW theo sơ đồ ở hình 3-17b.

$$I_n = \frac{(1-s)E_0}{\sqrt{r_r^2 + (1-s)^2 x_d^2}} \quad (3-11)$$

trong đó:

$E_0$  là s.đ.đ cảm ứng do dòng điện kích từ  $i_t$ ;

$x_d$  là điện kháng đồng bộ dọc trục khi  $s = 0$ .

Do đó động cơ phải tải thêm công suất:

$$P_n = mI_n^2 r_r$$

và kết quả là trên trục động cơ điện sẽ có thêm moment cản:

$$M_c = \frac{pP_n}{\omega} \quad (3-12)$$

khiến cho quá trình kéo động cơ vào tốc độ đồng bộ gặp khó khăn hơn, vì vậy phương pháp mở máy động cơ đồng bộ theo sơ đồ trên hình 3-17b áp dụng được tốt khi moment cản trên trục động cơ điện  $M_c = (0,4 \div 0,5)M_{dm}$ . Chỉ khi đây quán mở máy được thiết kế hoàn hảo mới cho phép được mở máy như trên với  $M_c = M_{dm}$ . Do cách mở máy này đơn giản, hoàn toàn giống cách mở máy của động cơ điện không đồng bộ nên ngày càng được ứng dụng rộng rãi.

Hình 3-19 trình bày sự biến đổi dòng điện phần ứng  $I$ , dòng điện kích từ  $i_t$  và tốc độ quay  $n$  trong quá trình mở máy lúc không tải động cơ đồng bộ ( $P_{dm} = 1500kW$ ;  $U_{dm} = 6kV$ ;  $n_{dm} = 1000v/g/ph$ ) trực tiếp với điện áp định mức theo sơ đồ trên hình 3-17b.

✓ Các phương pháp mở máy khác

Mở máy theo phương pháp hoà đồng bộ

Các điều kiện hoà đồng bộ đối với động cơ đồng bộ hoàn toàn giống như của máy phát điện đồng bộ. Trường hợp này động cơ đồng bộ được quay bởi máy nối cùng trục với nó (thí dụ trong bộ động cơ đồng bộ- máy phát điện một chiều, máy phát điện một chiều lúc mở máy làm việc như động cơ điện để quay động cơ đồng bộ đến tốc độ đồng bộ).

Trong một số trường hợp có thể mở máy động cơ điện đồng bộ bằng nguồn có tần số thay đổi. Muốn vậy động cơ đồng bộ phải lấy điện từ một máy phát điện riêng có tần số điều chỉnh được từ không đến tần số định mức trong quá trình mở máy. Như vậy động cơ được quay đồng bộ với máy phát ngay từ lúc tốc độ còn rất thấp. Cần chú ý rằng trong trường hợp này, dòng điện kích thích của cả động cơ và máy phát điện đều phải do nguồn điện 1 chiều riêng cung cấp.

**b. Điều chỉnh công suất phản kháng của động cơ điện đồng bộ.**

Động cơ điện đồng bộ có đặc điểm là có thể thay đổi  $\cos \varphi$  của máy bằng cách thay đổi dòng kích từ. Ta dùng đồ thị đơn giản để chứng minh điều này.

Dựa vào phương trình cân bằng điện áp của động cơ:

$$\dot{U} = -\dot{E}_0 + \dot{I}(r_r + jx_{db})$$

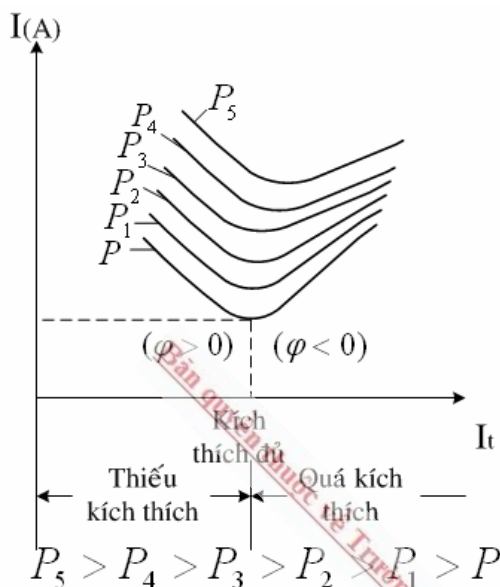
Nếu bỏ qua  $r_r$ :

$$\dot{U} = -\dot{E}_0 + j\dot{I}x_{db}$$

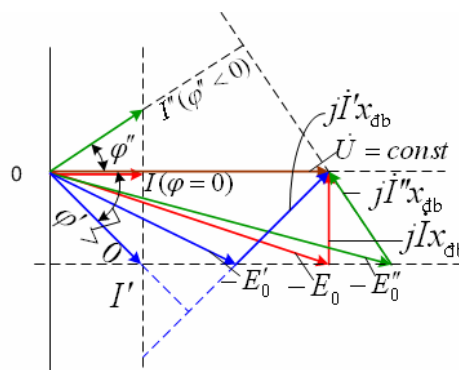
Khi động cơ kéo tải không đổi thì công suất tác dụng P đưa vào động cơ sẽ không đổi: 
$$P = mUI \cos \varphi = m \frac{U}{x_{db}} I x_{db} \cos \varphi = const$$

Với  $U = const$  thì khi  $P = const$  (tải không đổi). Nếu  $I_t$  thay đổi thì  $-E_0$  thay đổi dẫn đến  $\varphi$  thay đổi, do đó  $\cos \varphi$  thay đổi.

Tương ứng ta có đặc tính hình V như sau:



Hình 3.21 Họ các đặc tính hình V của động cơ điện đồng bộ.



Hình 3.20 Điều chỉnh công suất phản kháng của máy động cơ điện đồng bộ.

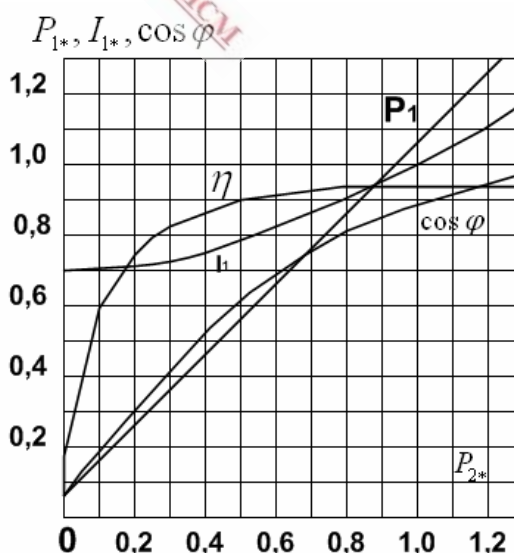
### c. Các đặc tính làm việc của động cơ điện đồng bộ

Các đặc tính của động cơ điện đồng bộ làm việc với dòng điện kích từ  $i_t = const$  trong lưới điện có  $U, f = const$  bao gồm các quan hệ  $P_1; I_1; \eta; \cos \varphi = f(P_2)$  có dạng như trình bày trên hình 3-22.

Cũng giống như máy phát điện đồng bộ, động cơ điện đồng bộ thường làm việc với góc  $\theta = 20^\circ \div 30^\circ$ .

Đặc điểm của động cơ đồng bộ là có thể làm việc với  $\cos \varphi$  cao và ít hoặc không tiêu thụ công suất

phản kháng Q của lưới điện nhờ thay đổi dòng điện từ hoá  $i_t$ . Điều đó có thể thấy được dựa vào đặc



Hình 3.22 Đặc tính làm việc của động cơ điện đồng bộ  $P_{dm} = 500 \text{ kW}, 600 \text{ V}, 50 \text{ Hz}, 600 \text{ vòng/phút}, \cos \varphi = 0,8$  (quá kích thích)

tính hình V tức là quan hệ  $I = f(i_t)$  của động cơ điện đồng bộ. Cách thành lập đặc tính này của động cơ đồng bộ hoàn toàn giống như của máy phát điện đồng bộ. Ta thấy rằng khi kích thích thiếu, động cơ tiêu thụ công suất điện cảm của lưới điện ( $\varphi > 0$ ) và ngược lại khi quá kích thích, động cơ phát công suất điện cảm vào lưới điện  $\varphi < 0$ , nghĩa là tiêu thụ công suất điện dung. Vì vậy có thể lợi dụng chế độ làm việc quá kích thích của động cơ điện đồng bộ để nâng cao hệ số công suất  $\cos \varphi$  của lưới điện.

**Thí dụ:**

Hai máy phát điện giống nhau làm việc song song có điện trở phần ứng  $r_{\text{r}} = 2,18 \Omega$ , điện kháng đồng bộ  $x_{\text{db}} = 62 \Omega$  cùng cung cấp điện cho một tải là 1830 kW với  $\cos \varphi = 0,83$  (chậm sau). Điện áp đầu cực của tải là 13800V. Điều chỉnh kích từ của hai máy sao cho một máy có dòng điện phản kháng là 40A. Tính: a) Dòng điện của mỗi máy phát điện.

b) S.đ.đ  $E_0$  của mỗi máy và góc pha giữa các s.đ.đ đó.

**Giải:**

Dòng điện tải có trị số:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}U \cos \varphi} = \frac{1380 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 13800 \times 0,83} = 92,3(\text{A})$$

chậm sau điện áp  $\varphi = \arccos 0,83 = 33^\circ 9'$  và biểu thị dưới dạng số phức như sau:

$$I = 92,3 \angle -33^\circ 9' = 76,8 - j51,4(\text{A}).$$

Vì công suất tác dụng phân phối đều cho hai máy nên dòng điện tác dụng của mỗi máy là  $\frac{76,8}{2} = 38,4(\text{A})$ , hơn nữa dòng điện phản kháng của máy A là 40A, do đó:  $I_A = 38,4 - j40$  và  $I_B = I - I_A = 38,4 - j11,4(\text{A})$ .

Ứng dụng biểu thức (3-4) ta có:

$$\begin{aligned} \dot{E}_{0A} &= \dot{U} + \dot{I}_A (r_{\text{r}} + jx_{\text{db}}) = \\ &= E_{0A} \angle \theta_A = \frac{13800}{\sqrt{3}} + (38,4 - j40)(2,18 + j62) = 10720 \angle 12,22^\circ (\text{V}) \end{aligned}$$

Cũng như vậy:  $\dot{E}_{0B} = \dot{U} + \dot{I}_B (r_{\text{r}} + jx_{\text{db}}) = E_{0B} \angle \theta_B = 9030 \angle 15,1^\circ (\text{V})$

Góc lệch pha giữa hai s.đ.đ đó:

$$\theta_A - \theta_B = 15,1^\circ - 12,22^\circ = 2,88^\circ$$

**Câu hỏi:**

- 1) Phân tích hậu quả xảy ra đối với máy phát điện khi hoà đồng bộ mà không thoả mãn từng điều kiện ghép song song với lưới điện.
- 2) Vì sao khi ghép song song máy phát điện vào lưới điện bằng phương pháp tự đồng bộ, dây quấn kích thích phải được nối tắt qua điện trở triệt từ?

- 3) Làm thế nào để điều chỉnh công suất tác dụng P và công suất phản kháng Q của máy phát điện đồng bộ. Việc điều chỉnh P và Q khi làm việc trong lưới điện công suất lớn và khi làm việc trong lưới điện công suất nhỏ (thí dụ chỉ có hai máy phát điện công suất tương tự làm việc song song) khác nhau như thế nào?

## Bài tập

### 3.1.

Cho hai máy phát điện đồng bộ làm việc song song, cung cấp điện cho hai tải:

Tải 1:  $S_{t1} = 5000\text{kVA}$ ;  $\cos \varphi_1 = 0,8$

Tải 2:  $S_{t2} = 3000\text{kVA}$ ;  $\cos \varphi_2 = 1$

Máy thứ nhất phát ra  $P_1 = 4000\text{kW}$ ;  $Q_1 = 2500\text{kVar}$ .

Tính công suất máy phát thứ hai và hệ số công suất mỗi máy phát.

ĐS:  $P_2 = 3000\text{kW}$ ;  $Q_2 = 500\text{kVar}$

$\cos \varphi_1 = 0,848$ ;  $\cos \varphi_2 = 0,986$

### 3.2.

Cho hai máy phát điện đồng bộ nối Y hoàn toàn giống nhau và có  $x_{db} = 4,5\Omega$  làm việc song song. Tải chung, ở điện áp 13,2 kV là 26000 kW, hệ số công suất là 0,866 được phân đều cho hai máy. Nếu thay đổi kích từ để phân phối lại công suất phản kháng sao cho hệ số công suất của một máy  $\cos \varphi_1 = 1$  thì lúc đó hệ số công suất  $\cos \varphi_2$  của máy kia là bao nhiêu? Tính  $E_0$  và  $\theta$  của mỗi máy trong trường hợp đó.

ĐS:  $\cos \varphi_2 = - 49^0$

$E_1 = 8039,1\text{V}$ ;  $\theta_1 = 19^0$

$E_2 = 10880,83\text{V}$ ;  $\theta_2 = 14^0$ .

## CHƯƠNG IV: MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ ĐẶC BIỆT

### § 4.1. ĐỘNG CƠ ĐIỆN PHẢN KHÁNG (RELUCTANCE MOTOR)

Là loại máy điện đồng bộ không có dây quấn kích từ, nguyên lý làm việc dựa vào sự khác nhau giữa từ trở dọc trục  $x_d$  và ngang trục  $x_q$ . Vì như ta đã biết Công suất điện từ của máy điện đồng bộ gồm hai phần :

$$P_{dt} = P_c + P_u$$

Trong đó:  $P_c$ : Công suất điện từ chính

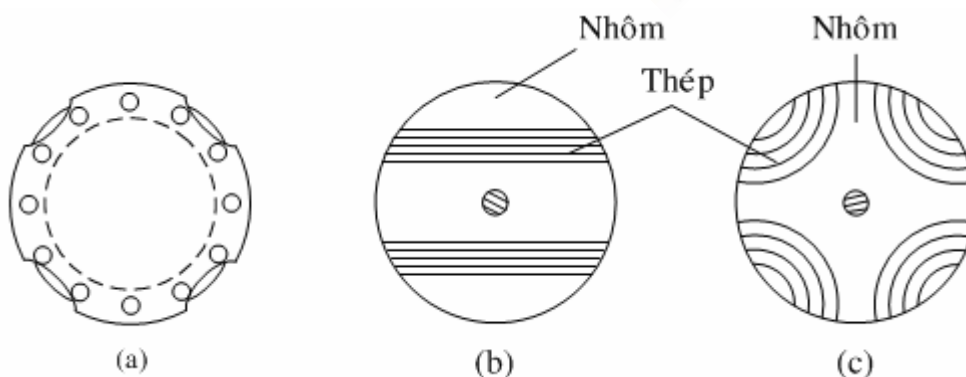
$P_u$ : Công suất điện từ phụ

Khi không có nguồn kích từ thì  $P_c = 0$ , lúc đó lợi dụng công suất điện từ phụ  $P_u$  để tạo ra môment.

$$P_u = \frac{mU^2}{2} \left( \frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta$$

Để thực hiện được  $x_d \neq x_q$  rôto của máy được chế tạo như hình 4.1 với cấu tạo như trên hình 4.1a, rôto được ghép bằng những lá thép tròn có những chỗ khuyết để tăng khe hở giữa các cực và do đó tăng từ trở của mạch từ hướng ngang trục, trên rôto có đặt dây quấn mở máy kiểu lồng sóc để mở máy. Ở hình 4.1 b – c, rôto được chế tạo bằng cách đổ nhôm vào các tập lá thép, ở đây nhôm có tác dụng của dây quấn mở máy.

Do không có dây quấn kích từ nên động cơ phải lấy dòng điện từ mạng điện và có cosφ thấp ( do cấu tạo rôto nên dòng điện từ hoá lớn để tạo nên từ thông cần thiết qua mạch từ có từ trở lớn ). Trong lượng động cơ phản kháng thường gấp 2, 3 lần trọng lượng động cơ không đồng bộ cùng công suất. Thường các động cơ phản kháng được chế tạo với công suất 50 ÷ 100 W.



Hình 4.1.

## § 4.2. ĐỘNG CƠ BƯỚC (STEPPER MOTOR)

Động cơ bước là loại động cơ được dùng để biến đổi các lệnh cho dưới dạng xung điện thành sự dịch chuyển dứt khoát về góc hay đường thẳng – như là bước từng bước mà không cần cảm biến phản hồi.

Động cơ làm việc phải có kèm theo bộ đổi chiều điện tử dùng để chuyển đổi các cuộn dây điều khiển của động cơ bước với thứ tự và tần số tùy theo lệnh đã cho. Góc quay tổng hợp của rotor động cơ bước tương ứng chính xác với số lần chuyển đổi các cuộn dây điều khiển, chiều quay phụ thuộc theo thứ tự chuyển đổi, tốc độ quay phụ thuộc tần số chuyển đổi. Như vậy trong trường hợp tổng quát có thể xem động cơ bước với bộ điều khiển đổi chiều điện tử như là một hệ thống điều chỉnh tần số của động cơ đồng bộ với khả năng định vị trí góc xoay rotor, tức là bằng cách thay đổi tần số cho đến không.

Động cơ bước được sử dụng nhiều trong các hệ thống điều khiển tự động, thí dụ trong các máy công cụ điều khiển theo chương trình, trong các thiết bị của kỹ thuật máy tính,... Trong các hệ thống trên, động cơ bước được sử dụng hoặc để thực hiện sự truyền động theo chương trình điều khiển các cơ cấu thừa hành như nhiệm vụ động cơ chấp hành, hoặc như là một phần tử phụ biến đổi các mã xung thành tín hiệu điều chế cho một hệ thống nào đó.

Với nhiệm vụ và chức năng nói trên, động cơ bước đòi hỏi những yêu cầu riêng về kỹ thuật, ngoài những yêu cầu chung :

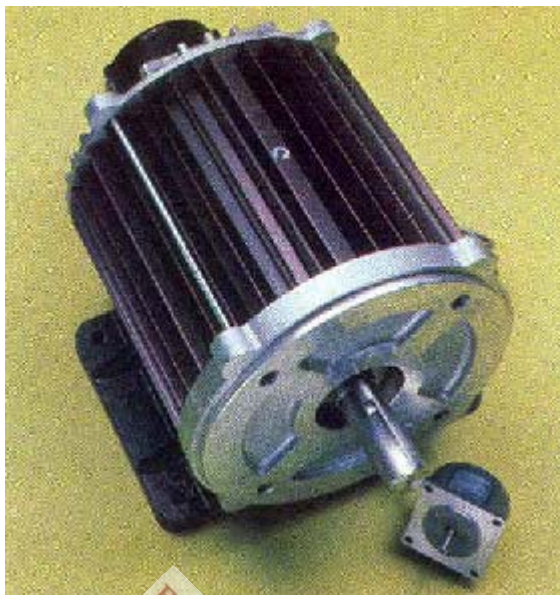
- Có bước chuyển dịch bé.
- Moment đồng bộ hoá đủ lớn đảm bảo được sai số góc nhỏ nhất khi thực hiện bước di chuyển.
- Không tích lũy sai số khi tăng số bước.
- Tác động nhanh.
- Làm việc bảo đảm khi có cuộn dây điều khiển ít nhất.
- Động cơ và cả bộ điều khiển đổi chiều có cấu tạo đơn giản.

Tùy theo cấu tạo động, cơ bước có những loại như :

- Chỉ thị hay động lực.
- Thuận nghịch hay không thuận nghịch.
- Có một stator hay nhiều stator.
- Có một hay nhiều cuộn dây điều khiển (quấn tập trung hoặc quấn rải).
- Rotor phản kháng (không có dây quấn) và rotor tác dụng (có dây quấn kích thích hoặc nam châm vĩnh cửu).
- Rotor hình đĩa hay rotor mạch in.

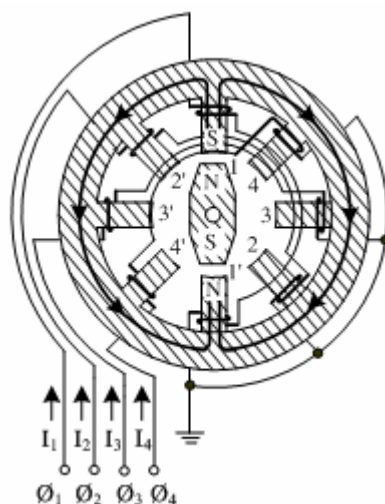


- Bước dịch chuyển xoay hay dịch chuyển thẳng trực tiếp...



### 1. Động cơ bước nam châm vĩnh cửu (Permanent magnet stepper motor)

Cấu trúc tiêu biểu của động cơ bước nam châm vĩnh cửu được trình bày ở hình trên. Đây là động cơ 4 pha, mỗi pha quấn trên 2 cực stator. Stator trong thiết kế này phải có 8 cực. Rotor bằng nam châm vĩnh cửu có trục thẳng hàng với cực stator 1-1'. Nó được giữ ở vị trí này, khi đặt dòng điện  $I_1$  vào pha thì cực stator 1 được từ hoá như cực nam, còn cực stator 1' được từ hoá như cực bắc. Chú ý chiều dây quấn để tạo ra dạng từ hoá này. Đặt dòng điện  $I_4$  vào pha 4, cực từ hoá 4-4' hình thành ( $I_1$  được cắt ra). Khi đó lực từ hoá tác động tương hỗ với từ trường rotor sinh ra moment đồng bộ xoay rotor 1 góc  $45^\circ$ , theo chiều kim đồng hồ, để cực bắc rotor đến cực stator 4. Lần lượt đưa dòng điện  $I_3, I_2$  (mỗi pha 1 lần) vào pha 3, pha 2. Khi đó rotor xoay theo chiều kim đồng hồ mỗi bước  $45^\circ$ . Để rotor xoay tiếp lần lượt đưa  $I_1, I_4, I_3, I_2$  vào pha 1, 4, 3, 2 nhưng chiều dòng điện đổi lại. Như vậy nguồn điều khiển là loại đổi cực. Sau mỗi lần xoay  $180^\circ$ , dòng điện điều khiển đổi chiều. Như vậy trình tự điều khiển cho động cơ tiến theo chiều kim đồng hồ là 1-4-3-2. Để cho động cơ tiến ngược chiều kim đồng hồ trình tự điều khiển phải được đảo ngược lại 1-2-3-4.



Hình 4-2 : Cấu trúc động cơ bước nam châm vĩnh cửu.

## 2. Động cơ bước từ trở biến đổi, 1 tầng (single stack variable – reluctance stepper motor)

Cấu tạo của động cơ này được trình bày ở hình 4-2. Rotor và stator được chế tạo bằng vật liệu từ. Động cơ có 3 pha, mỗi pha được quấn trên 4 cực hay răng của stator. Ví dụ pha 1 được quấn trên cực 1, 4, 7, 10 của stator. Stator có 12 răng và rotor có 16 răng. Cực ngược cực tính được quấn theo chiều ngược lại để tạo sự cân bằng giữa từ thông vào và ra khỏi rotor. Giả sử dòng điện  $I_1$  đặt vào pha 1 và 4 răng rotor đối đỉnh với răng 1, 4, 7, 10 của stator. Từ thông đi vào rotor từ răng stator 4, 10, và ra khỏi rotor qua răng 1, 7, từ thông khép kín qua khung stator, có thể thấy rằng đỉnh răng stator 4 là cực bắc và đỉnh răng đối đỉnh với răng stator 4 là cực nam (cảm ứng). Sự phân cực này phải tồn tại để cho phép từ thông lớn nhất qua khe hở giữa hai răng đối đỉnh. Tương tự cho 2 pha còn lại.

Để rotor tiến 1 bước theo chiều kim đồng hồ thì 3 pha được quấn trên răng stator 2, 5, 8, 11 được đặt dòng điện  $I_3$  vào và dòng điện  $I_1$  được cắt. Bây giờ do đường sức chọn đường đi có từ dẫn lớn nhất hay từ trở bé nhất nên xuất hiện moment phản kháng kéo răng rotor gần răng stator 2, 5, 8, 11 nhất vào vị trí đối đỉnh. Đó là các răng rotor a, d, b, c, đối đỉnh với các răng tương ứng 2, 5, 8, 11 của stator. Kết quả rotor ở một vị trí cân bằng mới. Nếu dòng điện  $I_2$  tiếp theo đưa vào pha 2,  $I_3$  bị cắt thì rotor sẽ bước thêm 1 bước nữa theo chiều kim đồng hồ.

Như vậy trình tự 1-3-2-1 cho rotor động cơ tiến theo chiều kim đồng hồ. Muốn rotor quay ngược lại trình tự kích thích là 1-2-3-1. Nguồn kích thích là loại đơn cực.

Góc bước của rotor  $\theta_s$  được xác định như sau :

$Z_R$  : Số răng Rotor.

$Z_S$  : Số răng Stator.

$m$  : Số pha.

$$t_R = \frac{360^0}{Z_R} : \text{Bước răng Rotor (độ)}.$$

$$t_S = \frac{360^0}{Z_S} : \text{Bước răng Stator (độ)}.$$

$$\theta_S = \frac{t_R}{m} = \frac{360^0}{m \cdot Z_R} = \text{Góc bước (độ/bước)}.$$

$$R_S = \frac{360^0}{\theta_S} = Z_R \cdot m \text{ (bước/vòng)}.$$

$$\text{Tốc độ : } n = \frac{60f}{R_S} = \frac{60f}{Z_R \cdot m} = \frac{\theta_S f}{6} \text{ (vòng/phút)}.$$

Thì đối với động cơ ở hình 2, ta có :

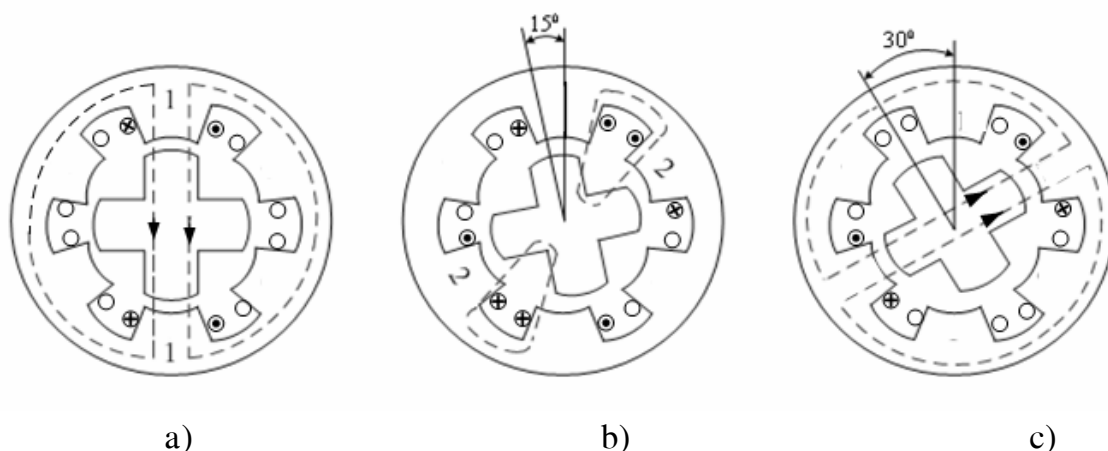
$$t_R = \frac{360^0}{Z_R} = \frac{360^0}{16} = 22.5^0$$

$$t_S = \frac{360^0}{Z_S} = \frac{360^0}{12} = 30^0$$

$$\theta_S = \frac{360^0}{m \cdot Z_R} = \frac{360^0}{3 \cdot 16} = 7.5^0$$

$$R_S = Z_R \cdot m = 16 \cdot 3 = 48 \text{ bước/vòng}$$

Có thể giải thích nguyên lý làm việc của động cơ bước đơn giản như sau:



Hình 4.3. Nguyên lý làm việc của động cơ bước

Động cơ bước là loại động cơ quay gián đoạn từng góc độ xác định bởi tác dụng của mạch điện xung đặt vào dây quấn stator của nó. Nó được dùng trong

các mạch tự động và điều chỉnh, thiết bị đồng hồ, tính toán, trong máy cắt gọt làm việc theo chương trình.

Hình 4.3 trình bày cấu tạo của loại động cơ bước đơn giản nhất. Stator và rotor có số đôi cực khác nhau. Khi đóng điện áp vào dây quấn 1-1, thì rotor ở vị trí hình 4.3 a, khi tiếp tục đóng điện vào dây quấn 2-2 thì rotor quay đi một góc 150 ( b ). Ngắt dòng điện qua dây quấn 1-1 thì rotor quay tiếp thêm 150 ( hình 4.3 c ), v.v...

Có thể thay đổi góc quay bằng cách thay đổi số đôi cực hoặc ghép các đôi stator và rotor lệch nhau một góc nhất định trên cùng một trục.

Với cấu tạo khác nhau, động cơ bước có thể cho các góc quay từ  $1^{\circ} \div 180^{\circ}$ . Tần số xung giới hạn để động cơ có thể mở máy được và đứng mà không mất bước vào khoảng  $10 \div 10000$  Hz.

*Bản quyền thuộc về Trường ĐH Sư phạm Kỹ thuật TP. HCM*

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA  
KHOA ĐIỆN  
BỘ MÔN: ĐIỆN CÔNG NGHIỆP

# MÁY ĐIỆN II

MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ  
MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU  
MÁY ĐIỆN XOAY CHIỀU CÓ VÀNH GÓP

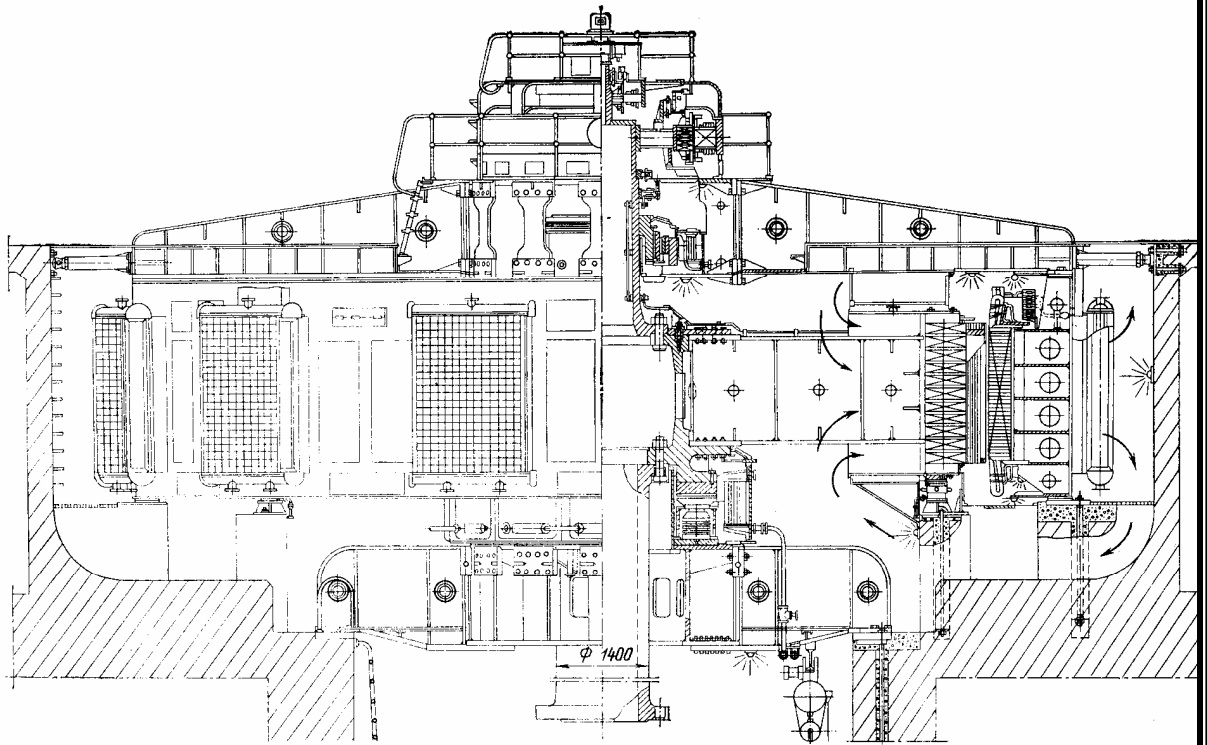


Fig. 62-12. Hydro-alternateur de 150 MW, 15,75 kV, 100tr/mn du type parasol.

## Phần thứ tư

# MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

### Chương 1. ĐẠI CƯƠNG VỀ MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

- Hầu hết các nguồn điện xoay chiều công nghiệp và dân dụng đều được sản xuất từ máy phát điện đồng bộ.
- Động cơ đồng bộ được dùng trong các tải lớn và có thể phát ra công suất phản kháng
- Máy bù đồng bộ để nâng cao hệ số công suất

#### 1.1 Phân loại và kết cấu m.đ.đ.b

##### 1. Phân loại

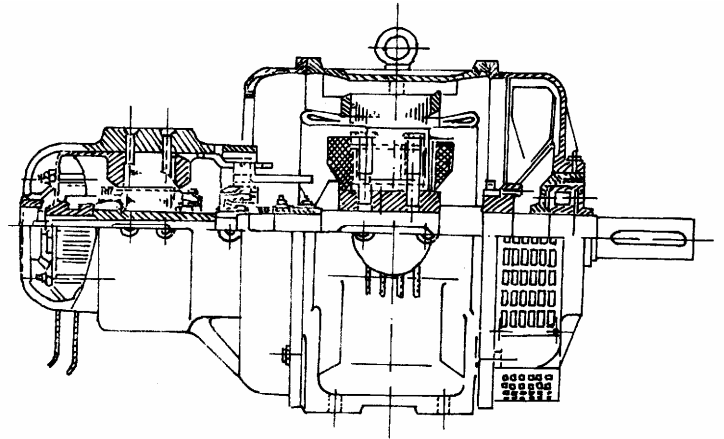
Theo kết cấu cực từ: Máy cực ẩn ( $2p = 2$ ); Máy cực lồi ( $2p \geq 4$ )

Dựa theo chức năng: Máy phát (Tuabin nước; tuabin hơi; diesel);

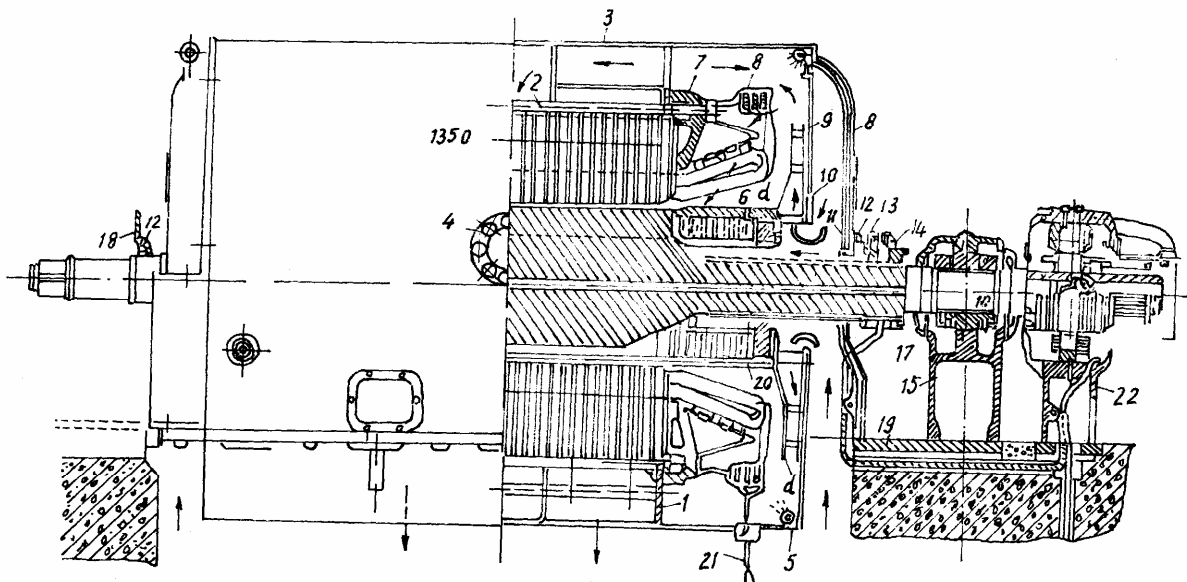
Động cơ ( $P \geq 200$  KW); máy bù đồng bộ

##### 2. Kết cấu.

Hình 1-1 mô tả máy phát đồng bộ cực lồi công suất vừa và hình 1-2 là máy phát tuabin hơi (máy cực ẩn).



Hình 1-1. Máy phát điện đồng bộ cực lồi



Hình 1-2 Máy phát đồng bộ cực ẩn:

1. bộ máy; 2. lõi thép stato; 3. Vỏ máy; 4. Giá đỡ stato; 5. ống dẫn chống cháy; 6. Dây quấn stato; 7. Vành ép stato; 8. Lá chắn ngoài; 9. Lá chắn trong; 10. Lá chắn thông gió; 11. Che lá chắn; 12. Cán chổi; 13. Tay giữ chổi; 14. Chổi; 15. ổ trục; 16. Miếng lót; 17. ống phun dầu; 18. Giá đỡ ống phun; 19. Tấm mỏng; 20. Rôto; 21. Cực; 22. Máy kích thích

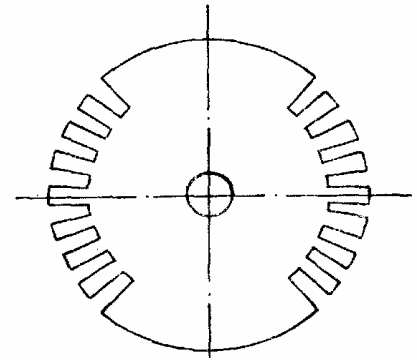
Kết cấu của stato của máy điện đồng bộ hoàn toàn giống như stato của m.đ.k.đ.b, nên ở đây chỉ giới thiệu phần kết cấu của rôto.

### a) Kết cấu máy đồng bộ cực ẩn

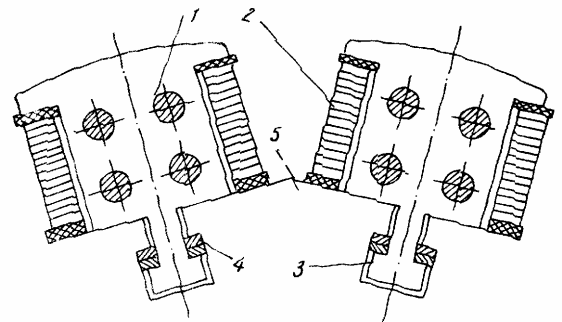
Rô to máy đồng bộ cực ẩn được làm bằng thép hợp kim, gia công thành hình trụ và phay rãnh để bố trí dây quấn kích thích. Phần không phay rãnh tạo nên mặt cực của máy. Mặt cắt ngang của lõi thép rôto như hình 1-3.

Vì máy cực ẩn có  $2p = 2$ , ( $n = 3000$  vg/ph) nên để hạn chế lực ly tâm  $D \leq 1,1 - 1,15$  m, để tăng công suất ta tăng chiều dài rôto  $l$  đến 6,5m.

Dây quấn kích thích thường là dây đồng trần tiết diện hình chữ nhật, quấn theo chiều dẹt thành từng bối, giữa các vòng dây có một lớp cách điện bằng mica mỏng. Các bối dây được ép chặt trong các rãnh rôto sau đó miệng rãnh được kín bằng thanh thép không từ tính. Hai đầu ra của dây quấn kích thích được nối với 2 vành trượt gắn trên trục. Máy phát kích thích thường được nối cùn trực với rôto.



Hình 1-3 Mặt cắt ngang lõi thép



Hình 1-4. Cực từ của máy đồng bộ cực lồi  
1. Lá thép cực từ; 2. Dây quấn kích thích;  
3. Đuôi cực từ; 4. Nêm; 5. Lõi thép rôto

### b) Kết cấu máy cực lồi.

Máy cực lồi thường quay với tốc độ thấp nên đường kính rôto có thể lớn tới 15m, trong khi chiều dài lại bé. Thường  $l/D = 0,15 - 0,2$ .

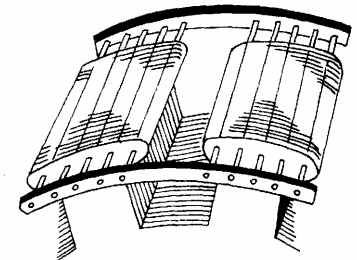
Với các máy nhỏ và vừa rôto được làm bằng thép đúc, gia công thành khối lăng trụ trên có các cực từ, hình 1-4.

Với các máy công suất lớn rôto được ghép từ các lá thép dày từ 1-6 mm, dập định hình và ghép trên giá đỡ rôto. Cực từ đặt trên rôto ghép bằng các lá thép dày từ 1-1,5 mm.

Dây quấn kích thích được quấn định hình và lồng vào thân cực từ, hình 1.4

Trên bề mặt cực từ có một bộ dây quấn ngắn mạch, như dây quấn lồng sóc của m.đ.k.đ.b. Với máy phát điện đây là dây quấn còn với động cơ là dây quấn mở máy, như hình 1.5

Dây quấn mở máy có điện trở lớn hơn dây quấn cản.



Hình 1-5. Dây quấn cản hoặc dây quấn mở máy

## 1.2 Hệ thống kích từ.

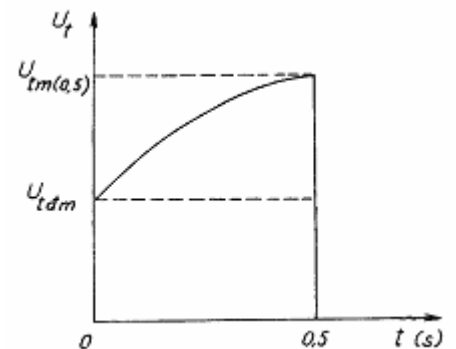
### 1. Yêu cầu đối với hệ kích từ.

- Khi làm việc bình thường có khả năng điều chỉnh được dòng điện kích từ  $I_t = U_t/r_t$  để duy trì điện áp định mức.

- Có khả năng cưỡng bức dòng kích từ tăng nhanh khi điện áp lưới giảm thấp do có ngắn mạch ở xa. Thường trong

khoảng 0,5 giây phải đạt  $\frac{U_{tm(0,5)} - U_{tdm}}{U_{tdm}} \approx 2$ , như hình 1-6.

- Triệt từ kích thích khi có sự cố bằng điện trở triệt từ  $R_T$



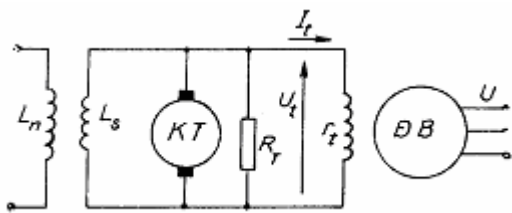
Hình 1-6. Cường bức kích thích

## 2. Các hệ thống kích từ của máy điện đồng bộ.

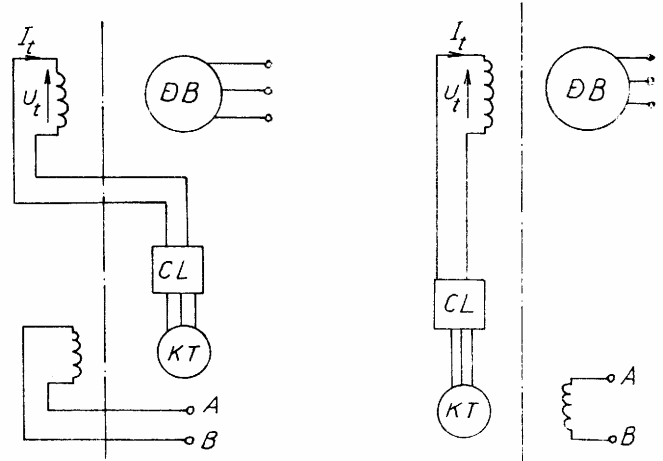
a) Kích từ bằng máy phát điện một chiều gắn cùng trục với máy đồng bộ. Máy phát điện 1 chiều kích thích thường có 2 cuộn dây kích thích: 1 cuộn song song  $L_s$  dùng để tự kích thích và 1 cuộn độc lập  $L_n$ , hình 1.7.

b) Kích từ bằng máy phát kích từ xoay chiều có chỉnh lưu, hình 1.8a là máy kích từ có phần cảm quay và phần ứng tĩnh và hình 1-8b là máy phát kích từ có phần cảm tĩnh và phần ứng quay

c) Hệ thống tự kích thích hỗn hợp, hình 1-9, theo sơ đồ này điện áp và dòng điện kích từ sẽ tỷ lệ với  $U_T$  và  $I_T$  của biến điện áp  $TU$  và biến dòng điện  $TI$ .

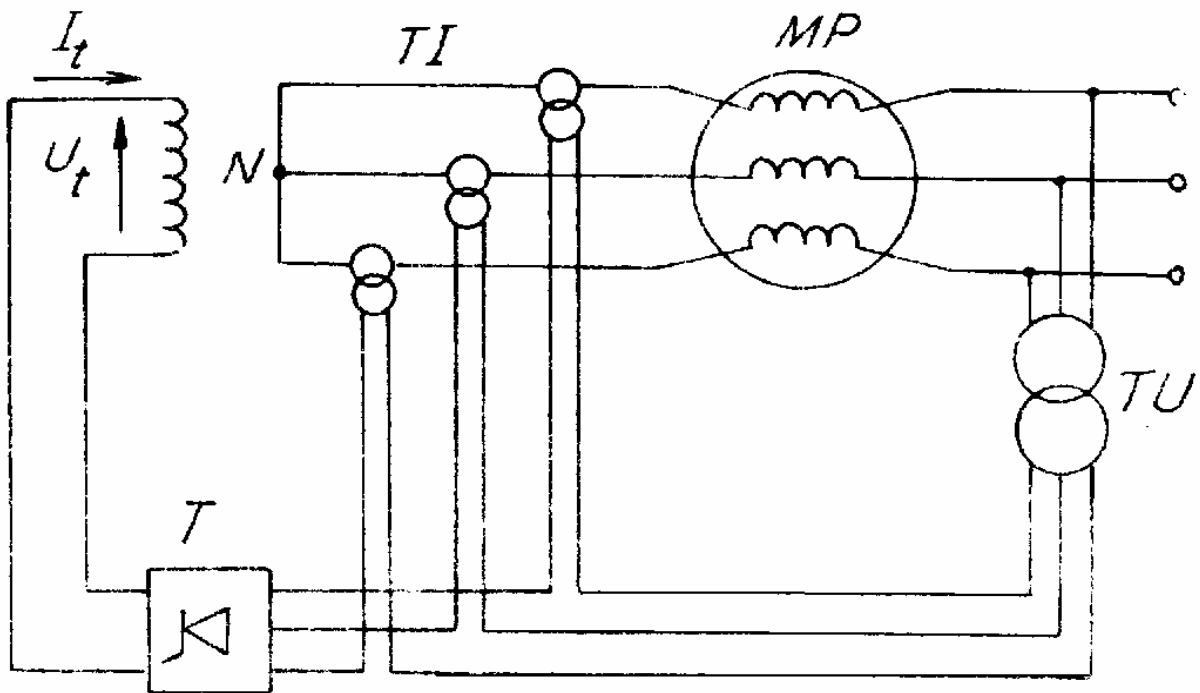


Hình 1-7 Kích từ bằng máy phát kích từ một chiều



Phân quay    Phần tĩnh    Phần quay    Phần tĩnh

Hình 1-8 Máy kích từ xoay chiều có chỉnh lưu



Hình 1-9 Hệ thống tự kích thích hỗn hợp của máy điện đồng bộ



### 1.3 Nguyên lý làm việc cơ bản của máy điện đồng bộ

Khi ta đưa dòng điện kích thích một chiều  $i_f$  vào dây quấn kích thích đặt trên cực từ, dòng điện  $i_f$  sẽ tạo nên một từ thông  $\phi_f$ . Nếu ta quay rôto lên đến tốc độ  $n$  (vg/ph), thì từ trường kích thích  $\phi_f$  sẽ quét qua dây quấn phần ứng và cảm ứng nên trong dây quấn đó S.Đ.Đ và dòng điện phần ứng biến thiên với tần số  $f_1 = p.n/60$ . Trong đó  $p$  là số đôi cực của máy.

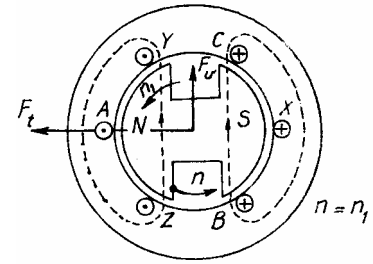
Với máy điện đồng bộ 3 pha, dây quấn phần ứng nối sao (Y) hoặc nối tam giác ( $\Delta$ ) như hình 1.10.

Khi máy làm việc dòng điện phần ứng  $I_u$  chạy trong dây quấn 3 pha sẽ tạo nên một từ trường quay (đã biết ở phần 2 MĐ). Từ trường này quay với tốc độ đồng bộ  $n_1 = 60.f_1/p$ .

Như vậy ở máy điện đồng bộ ta thấy:  $n = n_1$  chính vì vậy mà ta gọi nó là máy điện đồng bộ.

### 1.4 Các trị số định mức.

Kiểu máy; số pha; tần số (Hz); công suất định mức (kW hay KVA); điện áp dây (v); Sơ đồ đấu dây stato; Các dòng điện stato và rôto; Hệ số công suất; Tốc độ quay (vg/ph); Cấp cách điện.



Hình 1-10 Nguyên lý LVCB

## Chương 2.

# TỪ TRƯỜNG TRONG MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

### 2.1 Đại cương.

Từ trường trong m.đ.đ.b bao gồm: Từ trường cực từ  $F_t$  do dòng điện kích thích  $i_t$  và từ trường phản ứng  $F_u$  dòng điện phản ứng  $I_u$  tạo nên.

Khi không tải ( $I = 0$ ), trong máy chỉ có từ trường  $F_t$ . Nếu roto quay  $F_t$  quét qua dây quấn stato và cảm ứng nên trong đó S.đ.đ không tải  $E_0$

Khi có tải ( $I \neq 0$ ), trong máy ngoài  $F_t$  còn có  $F_u$ . Với máy 3 pha  $F_u$  là từ trường quay, từ trường này bao gồm từ trường cơ bản và từ trường bậc cao. Trong đó từ trường cơ bản là quan trọng nhất.

Tác dụng của từ trường phản ứng  $F_u$  lên từ trường cực từ  $F_t$  gọi là phản ứng phản ứng.

Khi mạch từ không bão hòa ta xét riêng  $F_t$  và  $F_u$  rồi xếp chồng để được  $F_\delta$ .

Trong chương này ta cũng xác định các điện kháng do các từ trường trên sinh ra.

### 2.2 Từ trường của dây quấn kích thích ( $F_t$ ).

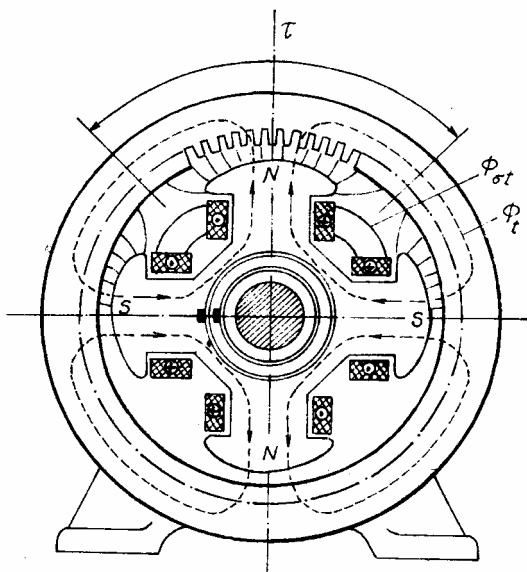
#### 1. Máy cực lồi.

Sức từ động của một cực từ:

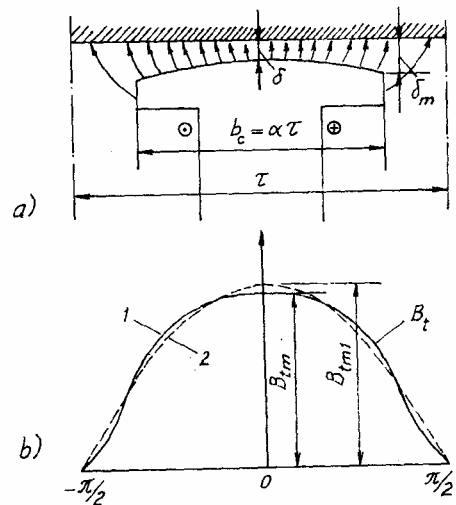
$$F_t = \frac{w_t i_t}{2p} \quad 2-1$$

Từ thông do  $F_t$  sinh ra khi  $p = 2$  như hình 2.1. Trong đó:  $\phi_t$  là từ thông chính, nó đi qua khe hở không khí và móc vòng với dây quấn Stato;  $\phi_{\sigma t}$  là từ thông tản của cực từ.

Sự phân bố của từ trường và từ cảm trong khe hở như hình 2.1 và 2.2.



Hình 2.1 Sự phân bố của từ trường kích thích



Hình 2.2 Phân bố của từ cảm trong khe hở

Trên hình 2.2 sự khác nhau giữa từ cảm cơ bản và từ cảm kích từ  $B_t$  được biểu thị qua hệ số dạng sóng.

$$k_t = \frac{B_{tm1}}{B_{tm}} \quad (2-2)$$

Trong đó:  $B_{tm1}$  là biên độ của sóng từ cảm cơ bản;  $B_{tm}$  là trị số cực đại của từ cảm

$k_t \in \delta_m / \delta$ ;  $\alpha = b_c / \tau$ . Thường  $\delta_m / \delta = 1-2,5$ ;  $\alpha = 0,67-0,75$  và  $k_t = 0,95-1,15$

Từ 2.2 ta có:

$$B_{tm1} = k_t \cdot B_{tm} = \frac{\mu_0 F_t}{k_\delta \cdot k_{\mu d} \cdot \delta} \cdot k_t = \frac{\mu_0}{k_\delta \cdot k_{\mu d} \cdot \delta} \frac{W_t \cdot I_t}{2p} \cdot k_t \quad (2-3)$$

$k_\delta$  là hệ số khe hở;  $k_{\mu d}$  là hệ số bão hoà dọc trục cực từ.

Từ thông ứng với sóng cơ bản

$$\phi_{t1} = \frac{2}{\pi} B_{tm1} \cdot \tau \cdot l_\delta = \frac{\mu_0}{2} \cdot \frac{\tau \cdot l_\delta}{k_\delta \cdot k_{\mu d} \cdot \delta} \cdot \frac{W_t \cdot I_t}{p} k_t \quad (2-4)$$

Từ thông móc vòng  $\Psi_{tud} = w \cdot k_{dq} \cdot \Phi_{t1} \cdot \cos \omega t$  và sức điện động hở cảm trong dây quấn stato

$$e_0 = - \frac{d\Psi_{tud}}{dt} = \omega \cdot w \cdot k_{dq} \cdot \Phi_{t1} \sin \omega t = E_{0m} \sin \omega t$$

Khi rô to quay với tốc độ góc  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$  thì từ thông móc vòng với dây quấn phần ứng sẽ là:  $\psi_{tud} = W \cdot k_{dq} \cdot \phi_{t1} \cdot \cos \omega t$

Sức điện động hở cảm trong dây quấn sẽ là:

$$e_0 = - \frac{d\Psi_{tud}}{dt} = \omega \cdot W \cdot k_{dq} \cdot \phi_{t1} \cdot \sin \omega t = E_{0m} \cdot \sin \omega t$$

Trong đó:  $E_{0m} = \omega \cdot W \cdot k_{dq} \frac{\mu_0 \tau \cdot l_\delta}{\pi k_\delta \cdot k_{\mu d} \cdot \delta} \cdot \frac{W_t \cdot k_t}{p} \cdot I_t = \omega \cdot M_{ud} \cdot I_t = x_{ud} \cdot I_t$  2-5

Vậy hệ số hở cảm của dq kích thích và dq phản ứng là

$$M_{ud} = \frac{\mu_0 \tau \cdot l_\delta}{\pi k_\delta \cdot k_{\mu d} \cdot \delta} \cdot \frac{W_t \cdot k_t}{p} \quad (2-6)$$

và điện kháng hở cảm  $x_{ud} = \omega \cdot M_{ud}$  2-7

Hệ số tự cảm của dây quấn kích thích.

$$L_t = L_{t\delta} + L_{\sigma t} \quad (2-8)$$

Với:  $L_{\sigma t}$  là hệ số tự cảm do từ trường tản gây ra (tra tài liệu TK);  $L_{t\delta}$  là hệ số tự cảm do từ trường khe hở  $\phi_{t\delta}$  gây ra.

Nếu gọi  $k_\phi$  là tỷ số giữa diện tích giới hạn bởi đường 1 và đường 2 hình 2.2 thì.

$$\phi_{t\delta} = k_\phi \cdot \phi_{t1} \Rightarrow L_{t\delta} = \frac{W_t \cdot \phi_{t\delta}}{I_t} = \frac{\mu_0 \tau \cdot l_\delta}{\pi k_\delta \cdot k_{\mu d} \cdot \delta} \cdot \frac{W_t^2}{p} \cdot k_t \cdot k_\phi \quad (2-9)$$

## 2. Máy cực ẩn.

Hình 2.3 biểu diễn sự phân bố của từ cảm cực từ và sóng cơ bản. Lấy trục cực từ làm gốc ta tính được.

$$B_{tm1} = \frac{2}{\pi} \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} B_t \cos \alpha d\alpha = \frac{4}{\pi} \int_0^{\frac{(1-\gamma)\pi}{2}} B_{tm} \cos \alpha d\alpha + \frac{4}{\pi} \cdot \int_{\frac{(1-\gamma)\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{2}{\gamma \cdot \pi} B_{tm} \left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha = \frac{4 \sin \frac{\gamma\pi}{2}}{\pi \frac{\gamma\pi}{2}} B_{tm}$$

Vậy với máy cực ẩn:

$$k_t = \frac{B_{tm1}}{B_{tm}} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{\sin \frac{\gamma\pi}{2}}{\frac{\gamma\pi}{2}} \quad 2-10$$

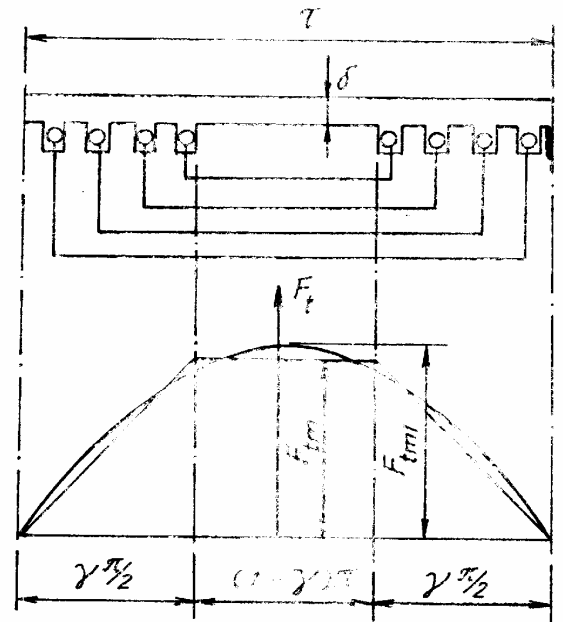
Thường  $\gamma = 0,6 - 0,85$ , nên  $k_t = 1,065 - 0,965$ .

$$\text{Hệ số hình dáng } k_\phi = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{1 - \frac{2}{3} \cdot \gamma}{k_t} \quad 2-11$$

Hệ số hở cảm và tự cảm của máy cực ẩn cũng được xác định theo biểu thức 2.6 và 2.9.

### 2.3 Từ trường phản ứng.

Khi máy điện đồng bộ làm việc từ trường do dòng điện  $I_u$  chạy trong dây quấn Stato sinh ra gọi là từ trường phản ứng  $F_u$ . Tác dụng của  $F_u$  lên  $F_t$  gọi là phản ứng phản ứng. *Tuỳ thuộc vào tính chất của tải và dạng cực từ mà phản ứng phản ứng có các dạng khác nhau.*



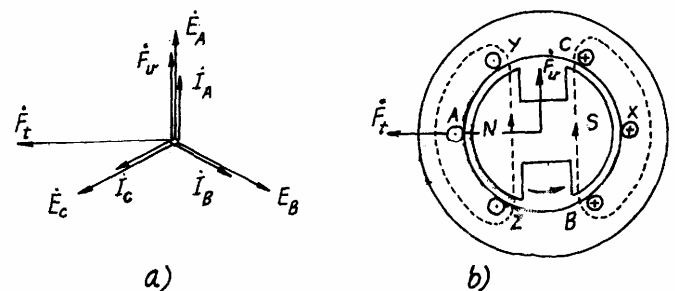
Hình 2.3 Sự phân bố của từ cảm cực từ

#### 1. Phản ứng phản ứng ngang trục và dọc trục

Xét một máy đồng bộ 3 pha ( $m = 3$ ),  $2p = 2$ , mỗi pha được tượng trưng bằng một vòng dây, thời điểm xét  $i_A = I_m$ ;  $i_B = i_C = -I_m/2$

a/ Khi tải thuần trở.

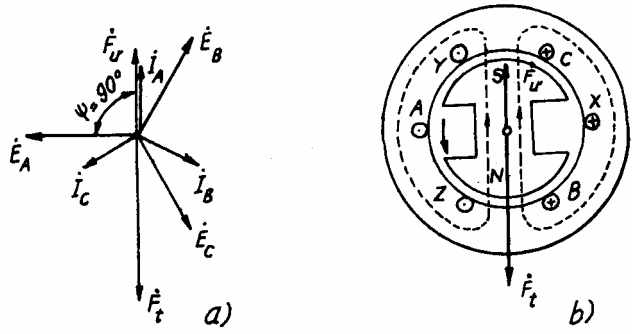
Khi tải đối xứng và thuần trở,  $i$  và  $\dot{E}$  trùng pha nhau ( $\psi = 0$ ). Tại thời điểm xét  $i_A = I_m$  nên  $F_u \equiv \dot{i}_A \equiv \dot{E}_A$  còn s.t.đ  $\dot{F}_A$  sinh ra  $e_A = \dot{E}_{Am}$  sẽ vượt pha trước  $\dot{E}_A$  một góc  $\pi/2$ . Như vậy trong trường hợp này  $\dot{F}_{uA} \perp \dot{F}_t$ , **phản ứng phản ứng là ngang trục**. Đồ thị véc tơ thời gian  $i$ ,  $\dot{E}$  và không gian  $\dot{F}_u$ ,  $\dot{F}_t$  như hình 2.4



Hình 2.4 Phản ứng phản ứng khi tải thuần trở

b/ Khi tải thuần cảm.

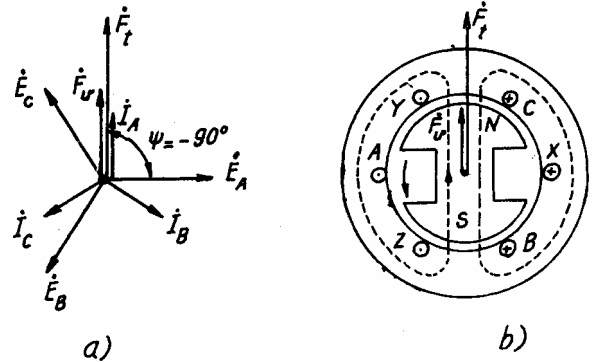
$\dot{E}_A$  vượt pha trước  $\dot{I}_A$  một góc  $\pi/2$  và  $\dot{F}_t$  vượt pha trước  $\dot{E}_A$  một góc  $\pi/2$ , nên  $\dot{F}_u$  và  $\dot{F}_t$  trùng phương nhưng ngược chiều, **phản ứng phần ứng là dọc trục khử từ**. Đồ thị véc tơ thời gian  $\dot{I}$ ,  $\dot{E}$  và không gian  $\dot{F}_u$ ,  $\dot{F}_t$  như hình 2.5



Hình 2.5 Phản ứng phần ứng khi tải thuần cảm

c/ Khi tải thuần dung.

$\dot{E}_A$  chậm pha so với  $\dot{I}_A$  một góc  $\pi/2$  và  $\dot{F}_t$  vượt pha trước  $\dot{E}_A$  một góc  $\pi/2$ , nên  $\dot{F}_u$  và  $\dot{F}_t$  trùng phương, chiều với nhau nên, **phản ứng phần ứng là dọc trục khử từ**. Đồ thị véc tơ thời gian  $\dot{I}$ ,  $\dot{E}$  và không gian  $\dot{F}_u$ ,  $\dot{F}_t$  như hình 2.6



Hình 2.6 Phản ứng phần ứng khi tải thuần dung

d/ Khi tải hỗn hợp.

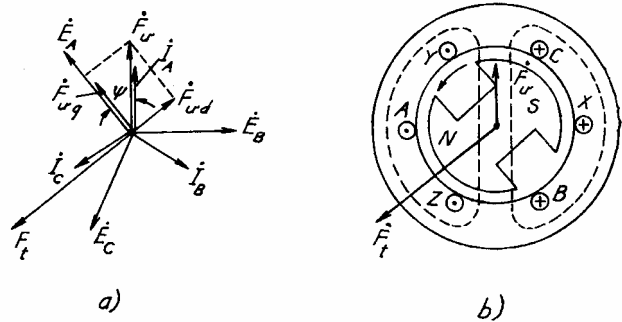
$\dot{E}_A$  lệch so với  $\dot{I}_A$  một góc  $\psi$ , ta phân  $\dot{F}_t$  thành 2 thành phần:

$$F_{td} = F_u \cdot \sin \psi - \text{dọc trục}$$

$$F_{tq} = F_u \cdot \cos \psi - \text{ngang trục}$$

Vậy khi  $0 < \psi < \pi/2$ , **phản ứng phần ứng là ngang trục và khử từ**

Vậy khi  $-\pi/2 < \psi < 0$ , **phản ứng phần ứng là ngang trục và trợ từ**



Hình 2.7 Phản ứng phần ứng khi tải có tính

## 2. Từ cảm do từ trường phần ứng và các điện kháng tương ứng.

a/ Máy đồng bộ cực ẩn.

Với máy đồng bộ cực ẩn  $\delta$  đều, nếu mạch từ không bão hoà thì từ trở là hằng số, như vậy nếu  $F_u$  là sin thì  $B_u$  cũng sin.

$$B_{um} = \frac{\mu_0}{k_\delta \cdot k_p \cdot \delta} \cdot F_u = \frac{\mu_0}{k_\delta \cdot k_p \cdot \delta} \frac{m \cdot \sqrt{2}}{\pi} \frac{W \cdot k_{dq}}{p} \cdot I \quad 2-12$$

và 
$$\phi_u = \frac{2}{\pi} \cdot B_{um} \cdot \tau \cdot l_\delta = \frac{2 \cdot \mu_0 \cdot \tau \cdot l_\delta}{k_\delta \cdot k_p \cdot \delta} \frac{m \cdot \sqrt{2}}{\pi^2} \frac{W \cdot k_{dq}}{p} \cdot I \quad 2-13$$

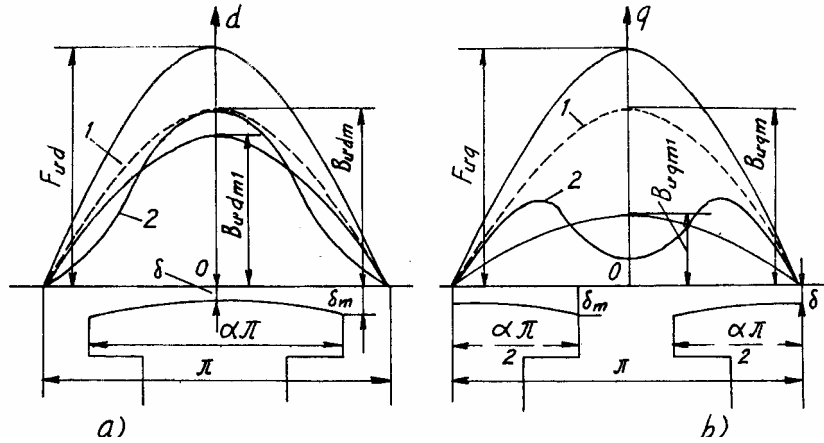
Sức điện động phần ứng do từ thông  $\phi_u$  cảm ứng nên có trị số:

$$E_u = \frac{\omega}{2} W \cdot k_{dq} \cdot \phi_u = \pi \cdot \sqrt{2} \cdot f \cdot W \cdot k_{dq} \cdot \phi_u \quad \text{và} \quad x_u = \frac{E_u}{I_u} = 4 \cdot m \cdot f \cdot \frac{\mu_0 \cdot \tau \cdot l_\delta}{\pi \cdot k_\delta \cdot k_p \cdot \delta} \frac{W^2 \cdot k_{dq}^2}{p} \quad 2-14$$

Thường  $x_u = 1,1 - 2,3$

b/ Máy đồng bộ cực lồi.

Máy đồng bộ cực lồi  $\delta$  dọc trục và ngang trục không giống nhau, nên mặc dầu s.t.đ là sin nhưng từ cảm sẽ không sin. Sự không sin của  $B_{ur}$  còn phụ thuộc vào tính chất của tải. Để thuận lợi ta phân  $F_{ur}$  ứng với một tải bất kỳ thành hai thành phần dọc trục và ngang trục như hình 2.8



Hình 2.8 Sự phân bố của s.t.đ và từ cảm dọc trục và ngang trục

Ta có:

$$F_{ud} = F_u \cdot \sin\psi = \frac{m \cdot \sqrt{2} W \cdot k_{dq}}{\pi \rho} I \cdot \sin\psi = \frac{m \cdot \sqrt{2} W \cdot k_{dq}}{\pi \rho} I_d \quad 2-15$$

$$F_{uq} = F_u \cdot \cos\psi = \frac{m \cdot \sqrt{2} W \cdot k_{dq}}{\pi \rho} I \cdot \cos\psi = \frac{m \cdot \sqrt{2} W \cdot k_{dq}}{\pi \rho} I_q \quad 2-16$$

và từ cảm tương ứng.

$$B_{udm} = \frac{\mu_0}{k_\delta \cdot k_{\mu d} \cdot \delta} F_{ud} \quad \text{và} \quad B_{uqm} = \frac{\mu_0}{k_\delta \cdot k_{\mu q} \cdot \delta} F_{uq} \quad 2-17$$

Thực tế  $B_{ud}$  và  $B_{uq}$  phân bố không sin, phân tích thành sóng cơ bản và sóng bậc cao. Với các sóng cơ bản ta có hệ số dạng sóng:

$$k_{ud} = \frac{B_{udm1}}{B_{udm}} \quad \text{và} \quad k_{uq} = \frac{B_{uqm1}}{B_{uqm}} \quad 2-18$$

Các hệ số  $k_{ud}$  và  $k_{uq}$  phụ thuộc vào  $\alpha$ ,  $\delta_m/\delta$ ,  $\delta/\tau$  được tính sẵn trong tài liệu thiết kế  
Các điện kháng tương ứng xác định như máy cực ẩn:

$$x_{ud} = \frac{E_{ud}}{I_d} = 4 \cdot m \cdot f \cdot \frac{\mu_0 \cdot \tau \cdot l_\delta}{\pi \cdot k_\delta \cdot k_{\mu d} \cdot \delta} \frac{W^2 \cdot k_{dq}^2}{\rho} k_{ud} \quad 2-19$$

$$x_{uq} = \frac{E_{uq}}{I_q} = 4 \cdot m \cdot f \cdot \frac{\mu_0 \cdot \tau \cdot l_\delta}{\pi \cdot k_\delta \cdot k_{\mu q} \cdot \delta} \frac{W^2 \cdot k_{dq}^2}{\rho} k_{uq} \quad 2-20$$

Thường:  $x_{ud} = 0,5 - 1,5$ ;  $x_{uq} = 0,3 - 0,9$

## 2.4 Quy đổi các S.T.Đ trong máy điện đồng bộ

Chế độ làm việc xác lập, tải đối xứng tác dụng của  $F_u$  lên  $F_t$  là trợ từ hoặc khử từ. Để đánh giá được mức độ ảnh hưởng đó ta phải quy đổi  $F_u$  về  $F_t$  và như vậy khi xét các đặc tính làm việc của máy ta có thể biểu thị chúng trên cùng một hệ trục tọa độ và đường cong không tải  $E = f(i_t)$ .

Chế độ quá độ ta phải quy đổi ngược lại  $F_t$  về  $F_u$ .

Việc quy đổi phải đảm bảo điều kiện:

$$B_{tm1} = B_{um1} \quad 2-21$$

Chế độ xác lập, máy cực ẩn ta có:

$$B_{tm1} = k_t \cdot B_{tm} = k_t \cdot \frac{\mu_0}{k_\delta \cdot k_\mu \cdot \delta} \cdot F_t \quad \text{và} \quad B_{um1} = B_{tm} = \frac{\mu_0}{k_\delta \cdot k_\mu \cdot \delta} \cdot F_t \quad 2-22$$

$$\text{Vậy } F'_u = \frac{F_u}{k_t} = k_u \cdot F_u \quad \text{hay} \quad k_u = \frac{1}{k_t}$$

Với máy cực lồi theo hướng dọc trục:

$$B_{tm1} = k_t \cdot B_{tm} = k_t \cdot \frac{\mu_0}{k_\delta \cdot k_{\mu d} \cdot \delta} \cdot F_t \quad \text{và} \quad B_{udm1} = k_{ud} \cdot B_{udm} = k_{ud} \cdot \frac{\mu_0}{k_\delta \cdot k_{\mu d} \cdot \delta} \cdot F_{ud} \quad 2-23$$

Sức từ động phần ứng dọc trục đã quy đổi về s.t.đ cực từ:

$$F'_{ud} = F_{ud} \frac{k_{ud}}{k_t} = F_{ud} \cdot k_d \quad \text{với} \quad k_d = k_{ud} / k_t$$

Cũng vậy, theo hướng ngang trục:

$$F'_{uq} = F_{uq} \frac{k_{uq}}{k_t} = F_{uq} \cdot k_q \quad \text{với} \quad k_q = k_{uq} / k_t$$

Các hệ số  $k_d$  và  $k_q$  phụ thuộc vào  $\alpha$ ,  $\delta_m/\delta$ ,  $\delta/\tau$  được tính sẵn trong tài liệu thiết kế.

### Chương 3.

## QUAN HỆ ĐIỆN TỪ TRONG MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

### 3.1 Đại cương.

Quan hệ điện từ trong m.đ.đ.b bao gồm các phương trình điện áp, đồ thị véc tơ, giản đồ năng lượng và công suất điện từ của máy điện đồng bộ.

### 3.2 Phương trình điện áp và đồ thị véc tơ.

Chế độ tải đối xứng ta chỉ cần xét cho một pha.

Đối với máy phát điện:

$$\dot{U} = \dot{E}_\delta - I(r_u + jx_{\sigma u}) \quad 3-1$$

Đối với động cơ và máy bù đồng bộ:

$$\dot{U} = \dot{E}_\delta + I(r_u + jx_{\sigma u}) \quad 3-2$$

Trong đó:  $U$  là điện áp đầu cực của máy,  $r_u$  và  $x_{\sigma u}$  là điện trở và điện kháng tản của dây quấn phân ứng;

$E_\delta$  là s.đ.đ cảm ứng trong dây quấn do từ trường khe hở.

Khi mạch từ không bão hoà, áp dụng nguyên lý xếp chồng ta có:

$$\dot{E}_\delta = \dot{E}_0 + \dot{E}_u \quad 3-3$$

Khi mạch từ bão hoà ta phải xác định  $\dot{F}_\delta = \dot{F}_0 + \dot{F}_u$  rồi suy ra  $\dot{E}_\delta$

#### 1. Trường hợp máy phát điện.

a/ Khi mạch từ không bão hoà.

Giả sử tải đối xứng và có tính cảm

$$(0 < \psi < 90^\circ)$$

-/ Máy cực ẩn:

Phương trình cân bằng điện áp là:

$$\dot{U} = \dot{E} + \dot{E}_u - I(r_u + jx_{\sigma u}) \quad 3-4$$

Chương 2 ta đã xác định được

$$\dot{E}_u = -jI x_u \text{ nên}$$

$$\dot{U} = \dot{E} - jI(x_u + jx_{\sigma u}) - I.r_u = \dot{E} - jI.x_{db} - I.r_u$$

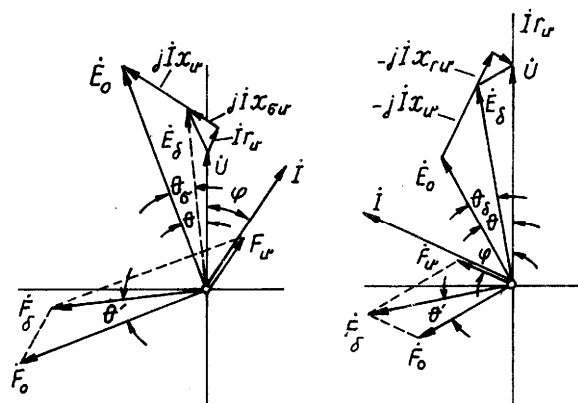
3.5

trong đó  $x_{db} = x_u + x_{\sigma u}$  là điện kháng đồng bộ, thường  $x_{db} = 0,7 - 1,6$

Đồ thị véc tơ như hình 3.1

- / Máy cực lồi.

Ta phân s.t.đ phản ứng  $F_u$  thành  $F_{ud}$  và  $F_{uq}$ , từ thông tương ứng với các s.t.đ đó sẽ cảm nên các s.đ.đ:  $\dot{E}_{ud} = -jI_d x_{ud}$  và  $\dot{E}_{uq} = -jI_q x_{uq}$  Phương trình cân bằng điện áp có dạng.



Hình 3.1 Đồ thị s.đ.đ máy phát đồng bộ cực ẩn

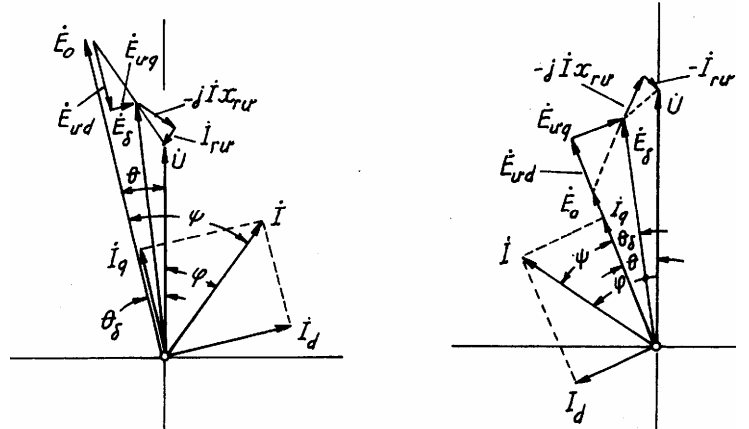


$$\dot{U} = \dot{E} + \dot{E}_{ud} + \dot{E}_{uq} - \dot{I}(r_u + x_{ou}) = \dot{E} - j\dot{I}x_{ud} - j\dot{I}x_{uq} - j\dot{I}x_{ou} - \dot{I}r_u \quad 3.6$$

Đồ thị véc tơ như hình 3.2 có tên gọi là đồ thị Blondel

Véc tơ  $-j\dot{I}x_{ou}$  do từ thông tản của từ trường phản ứng sinh ra không phụ thuộc vào từ dẫn hướng dọc và ngang trục, tuy nhiên ta cũng có thể phân tích chúng theo 2 hướng dọc và ngang trục:

$$\begin{aligned} -j\dot{I}x_{ou} &= -j(\dot{I}x_{ou} \cos\psi - \dot{I}x_{ou} \sin\psi) = \\ &= -j\dot{I}_q x_{ou} - j\dot{I}_d x_{ou} \end{aligned}$$



Hình 3.2 Đồ thị s.d.đ máy phát điện đồng bộ cực lồi

và phương trình điện áp được viết lại:

$$\dot{U} = \dot{E} - j\dot{I}_d(x_{ud} + x_{ou}) - j\dot{I}_q(x_{uq} + x_{ou}) - \dot{I}r_u = \dot{E} - j\dot{I}_d x_d - j\dot{I}_q x_q - \dot{I}r_u \quad 3.7$$

Trong đó:

$x_d = x_{ud} + x_{ou}$  gọi là điện kháng đồng bộ dọc trục, thường  $x_d = 0,7 - 1,2$

$x_q = x_{uq} + x_{ou}$  gọi là điện kháng đồng bộ ngang trục, thường  $x_q = 0,46 - 0,76$

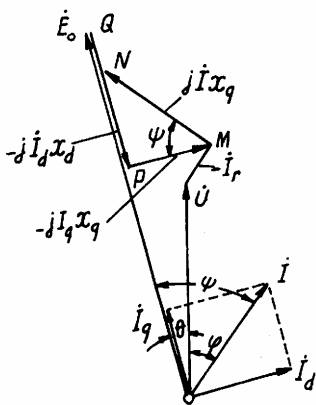
Đồ thị véc tơ ứng với phương trình 3.7 như hình 3.3

b/ Khi mạch từ bão hoà.

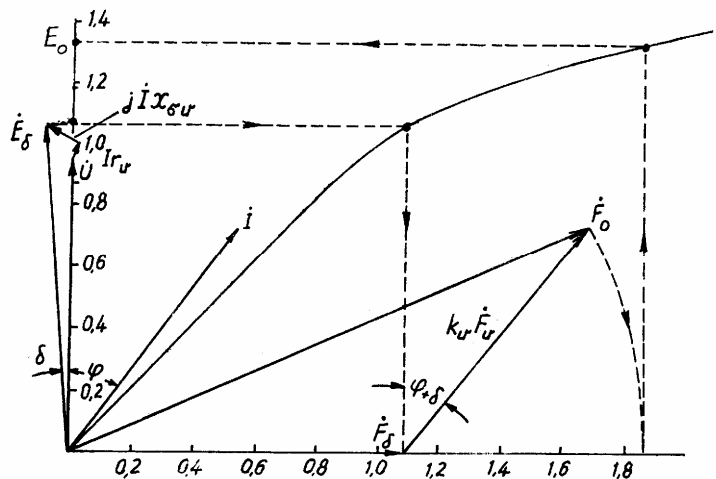
Khi mạch từ bão hoà vì các hệ số  $k_{\mu d}$  và  $k_{\mu q}$  rất khó tính chính xác nên ta phải vẽ kết hợp đồ thị s.t.đ và s.d.đ với đường cong không tải. Đồ thị này được gọi là đồ thị s.t.đ.đ, có tên là đồ thị Pôchiê.

- Máy cực ẩn:

Giả sử  $U, I, \cos\varphi, r_u, x_{ou}$  và đặc tính không tải đã biết, để thành lập đồ thị s.t.đ.đ trên trục tung của đặc tính không tải, ta đặt véc tơ  $U$  và véc tơ  $I$  chậm sau  $U$  một góc  $\varphi$ .



Hình 3.3 Đồ thị s.d.đ máy phát điện đồng bộ cực lồi đã biến đổi



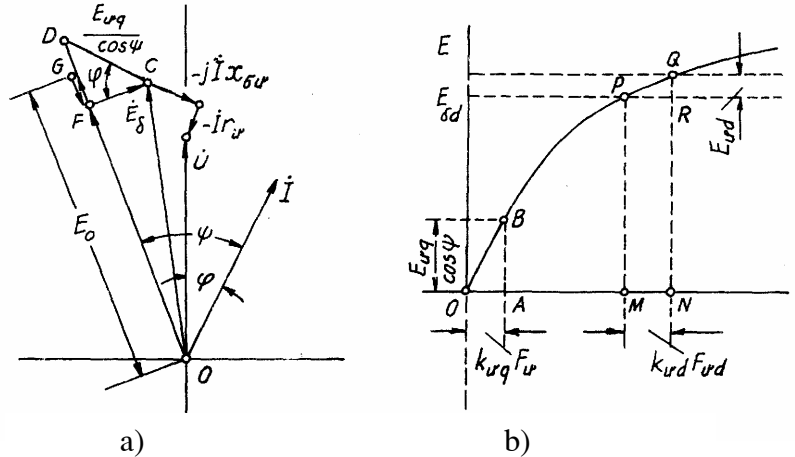
Hình 3.4 Đồ thị S.T.Đ.Đ máy phát điện đồng bộ cực ẩn

Cộng  $U$  với  $I r_u$  và  $j I x_u$  được  $\dot{E}_\delta$ . Trên trục hoành đặt  $\dot{F}_\delta$  rồi cộng  $\dot{F}_\delta$  với  $K_u \dot{F}_u$  hợp với trục hoành một góc  $90^\circ + (\varphi + \delta)$ , tìm được  $\dot{F}_0$ . Từ đồ thị này xác định được  $\Delta U = E - U_{dm}$ , thường = (5 - 10)%

- Với máy phát đồng bộ cực lồi, việc thành lập chính xác đồ thị véc tơ là rất khó, vì  $\phi_d$  và  $\phi_q$  hỗ cảm với nhau, hơn nữa mức độ bảo hoà theo 2 hướng lại khác nhau. Như vậy  $x_{ud}$  và  $x_{uq}$  phụ thuộc cả vào  $\phi_d$  và  $\phi_q$ . Để đơn giản ta coi  $x_{ud}$  chỉ phụ thuộc vào  $\phi_d$  và  $x_{uq}$  chỉ phụ thuộc vào  $\phi_q$  và  $k_{\mu q}$  đã biết. Khi đó sau khi đã vẽ các véc tơ  $U, I r_u$  và  $j I x_{\sigma u}$  được  $\dot{E}_\delta$ , hình 3.5a, theo hướng  $j I x_{\sigma u}$  vẽ đoạn

$$CD = I x_{uq} = \frac{E_{uq}}{\cos \psi} \text{ và xác}$$

định được phương của  $E$ . Trị số  $x_{uq}$  có thể tính hoặc lấy bằng 1,1 - 1,15. Từ hình 3.5b ta cũng xác định được  $CD$  qua  $OA = F'_{uq} = k_q F_{uq}$ , sau đó xác định được  $E_{\delta d} = OF = MP$ , lấy  $MN = F'_{ud} = k_d F_{ud}$  chiếu lên ta được  $E$

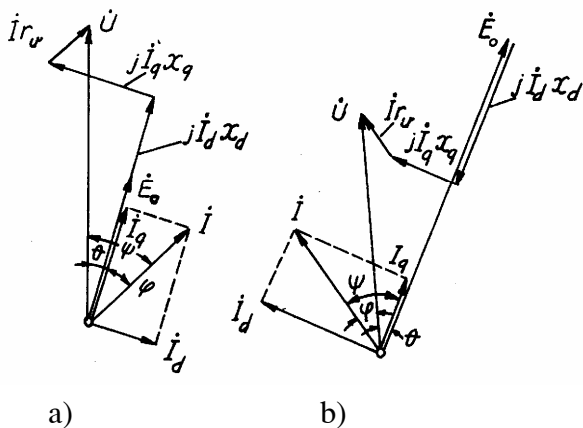


Hình 3-6 Cách xây dựng đồ thị véc tơ s.t.d.đ của máy đồng bộ cực lồi

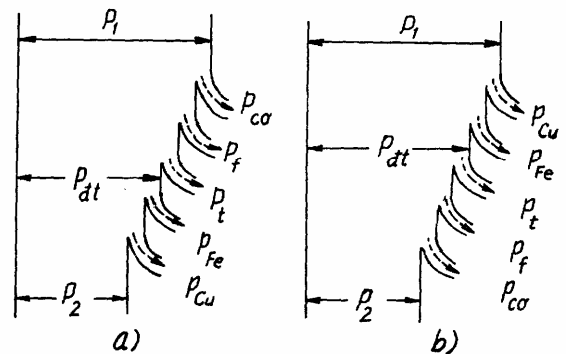
## 2. Trường hợp động cơ điện.

Động cơ điện đồng bộ có cấu tạo cực lồi vì vậy phương trình điện áp sẽ là:

$$\dot{U} = \dot{E}_\delta + \dot{I}(r_u + jx_{cu}) = \dot{E} + \dot{E}_{ud} + \dot{E}_{uq} + \dot{I}(r_u + jx_{cu}) = \dot{E} + j\dot{I}_d x_d + j\dot{I}_q x_q + \dot{I} r_u \quad 3.8$$



Hình 3-6 Đồ thị véc tơ Động cơ đồng bộ  
a) Thiếu kích thích; b) Quá kích thích



Hình 3-7 Giải đồ năng lượng  
a) máy phát; b) động cơ

### 3.3 Giải đồ năng lượng của máy điện đồng bộ

Máy phát:  $P_{dt} = P_1 - (p_{co} + p_t + p_f)$  và  $P_2 = P_{dt} - p_{cu} - p_{fe}$

Động cơ:  $P_{dt} = P_1 - p_{cu} - p_{fe}$  và  $P_2 = P_{dt} - (p_{co} + p_t + p_f)$

### 3.4 Các đặc tính góc của máy điện đồng bộ

#### 1. Đặc tính góc công suất tác dụng.

$P = f(\theta)$  khi  $E = const, U = const$ , với  $\theta$  là góc tải giữa véc tơ  $E$  và  $U$ .

Để đơn giản ta bỏ qua  $r_u$  vì nó rất bé so với  $(x_{db}, x_d, x_q)$ . Công suất đầu cực của máy đồng bộ bằng:  $P = mUI \cos \varphi$

Theo đồ thị véc tơ hình 3.3 ta có:

$$I_d = \frac{E - U \cos \theta}{x_d}, \quad I_q = \frac{U \sin \theta}{x_q} \quad \text{và} \quad \varphi = \psi - \theta \quad 3.9$$

$$\begin{aligned} \text{Do đó: } P &= mUI \cos \varphi = mUI \cos(\psi - \theta) \\ &= mU(I \cos \psi \cos \theta + I \sin \psi \sin \theta) \end{aligned}$$

$P = mU(I_q \cos \theta + I_d \sin \theta)$ , thay  $I_d$  và  $I_q$  vào ta có:

$$P = \frac{mU^2}{x_q} \sin \theta \cos \theta + \frac{mEU}{x_d} \sin \theta - \frac{mU^2}{x_d} \sin \theta \cos \theta$$

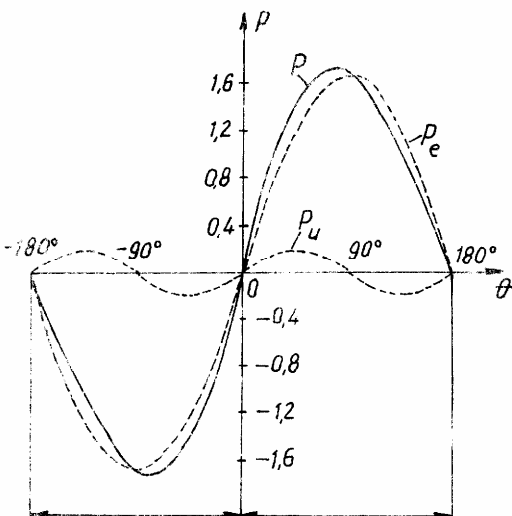
Hay

$$P = \frac{mUE}{x_d} \sin \theta + \frac{mU^2}{2} \left( \frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta = P_e + P_u \quad 3.10$$

Từ biểu thức 3.10 ta thấy công suất tác dụng của máy đồng bộ cực ắc có hai phần. Một phần  $P_e$  tỷ lệ với  $\sin \theta$  và phụ thuộc vào kích từ; một phần  $P_u$  tỷ lệ với  $\sin 2\theta$  không phụ thuộc vào kích từ. Như vậy đối với máy phát đồng bộ cực lồi khi mất kích từ công suất tác dụng vẫn có một lượng nhỏ là  $P_u$ . Người ta ứng dụng điều này để chế ra các động cơ điện phản kháng có công suất cơ vài chục oát.

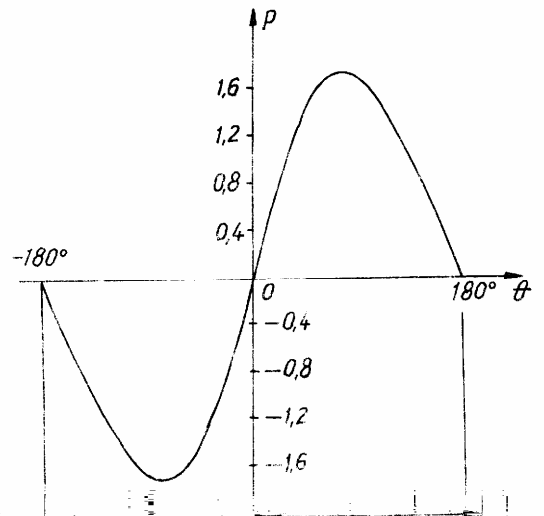
- Với máy đồng bộ cực ắc vì  $x_d = x_q$  nên  $P = m \frac{UE}{x_{db}} \sin \theta \quad 3.11$

Đặc tính góc công suất tác dụng máy điện đồng bộ như hình 3.9



Động cơ                      Máy phát

Hình 3-9 Đặc tính góc công suất tác dụng. a) máy cực lồi;



Động cơ                      Máy phát

b) máy cực ắc

## 2. Đặc tính góc công suất phản kháng.

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

$$Q = mU I \sin \varphi = mU I \sin(\psi - \theta) = mU(I \sin \psi \cdot \cos \theta + I \cos \psi \cdot \sin \theta)$$

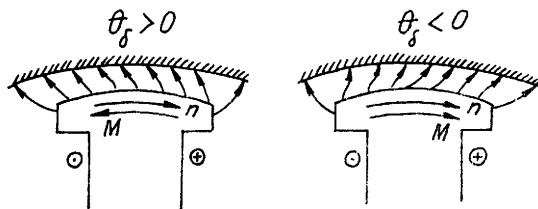
$$Q = mU(I_d \cdot \cos \theta - I_q \cdot \sin \theta)$$

Thay  $I_d$  và  $I_q$  vào ta có:

$$Q = \frac{mUE}{x_d} \cos \theta + \frac{mU^2}{2} \left( \frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \cos 2\theta - \frac{mU^2}{2} \left( \frac{1}{x_q} + \frac{1}{x_d} \right)$$

Đặc tính góc công suất phản kháng của máy điện đồng bộ như hình 3.11.

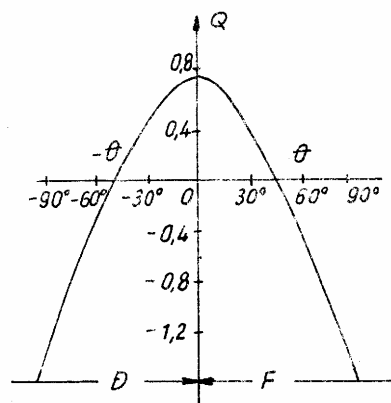
Khi  $-\theta' < \theta < +\theta'$  máy phát công suất phản kháng vào lưới, ngoài phạm vi trên máy tiêu thụ công suất phản kháng.



Hình 3-10 Từ trường khe hở

a) máy phát,

b) động cơ



Hình 3-11 Đặc tính góc công suất phản kháng máy cực lồi

## Chương 4.

# MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ LÀM VIỆC VỚI TẢI ĐỐI XỨNG

### 4.1 Đại cương.

Chế độ tải đối xứng của máy điện đồng bộ được đặc trưng bởi các đại lượng:  $U, I, I_t, \cos\varphi$  và tần số  $f$  hoặc tốc độ  $n$ .

Trong đó  $f = f_{dm}$ ;  $\cos\varphi$  phụ thuộc vào tải còn lại 3 đại lượng  $U, I, I_t$  xác định cho ta các đặc tính.

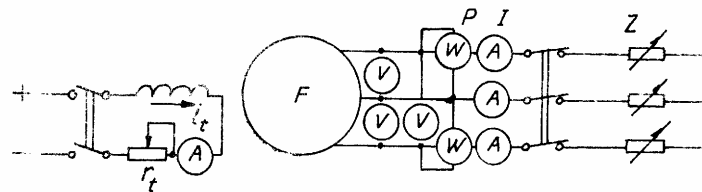
- |                        |   |
|------------------------|---|
| 1. Đặc tính không tải  | $U = f(I_t)$ khi $I = 0; f = f_{dm}$                      |
| 2. Đặc tính ngắn mạch  | $I_n = f(I_t)$ khi $U = 0; f = f_{dm}$                    |
| 3. Đặc tính ngoài      | $U = f(I)$ khi $I_t = cte; f = f_{dm}; \cos\varphi = Cte$ |
| 4. Đặc tính điều chỉnh | $I_t = f(I)$ khi $U = cte; f = f_{dm}; \cos\varphi = Cte$ |
| 5. Đặc tính tải        | $U = f(I_t)$ khi $I = cte; f = f_{dm}; \cos\varphi = Cte$ |

Các đặc tính trên được xác định bằng cách tính toán hoặc thí nghiệm.

Từ các đặc tính trên ta suy ra tỷ số ngắn mạch  $K$ ;  $\Delta U$  và các tham số  $x_d; x_q; x_{\sigma u}$

### 4.2 Các đặc tính của máy phát điện đồng bộ.

Sơ đồ thí nghiệm như hình 4.1



Hình 4.1 Sơ đồ thí nghiệm lấy các đặc tính của máy phát điện đồng bộ

#### 1. Đặc tính không tải.

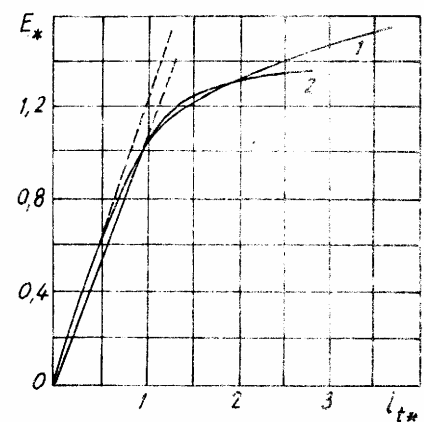
$$(E = U = f(I_t) \text{ khi } I = 0 \text{ và } f = f_{dm})$$

Hệ đơn vị tương đối  $E_* = E/E_{dm}; I_{t*} = I_t / I_{tdm0}$

Theo sơ đồ thí nghiệm hình 4.1 Mở cầu dao tải, quay máy phát đến tốc độ định mức, thay đổi dòng điện kích từ ta nhận được đường đặc tính không tải, như hình 4.2

Đường (1) máy phát tuabin hơi, đường (2) máy phát tuabin nước. Ta thấy máy phát tuabin hơi bảo hoà nhiều hơn máy phát tuabin nước.

Khi  $E = E_{dm} = 1$  máy phát tuabin hơi có  $k_{\mu d} = k_{\mu} = 1,2$  còn máy phát tuabin nước có  $k_{\mu} = 1,06$



Hình 4.2 Đặc tính không tải, (1) MF tuabin hơi, (2) MF tuabin nước

**2. Đặc tính ngắn mạch,  $I_n = f(I)$  khi  $U = 0, f = f_{dm}$  và tỷ số ngắn mạch  $K$**

Khi ngắn mạch nếu bỏ qua  $r_{ur}$  thì tải của máy phát là dây quấn của phần ứng nên nó được coi là thuần cảm  $\psi = 0, I_q = I \cos \psi = 0$  còn  $I_d = I \sin \psi = I$

Mạch điện thay thế và đồ thị véc tơ như hình 4.3, ta có

$$\dot{E}_0 = + j \dot{I} x_d \tag{4.1}$$

Khi ngắn mạch vì từ thông  $\phi_\delta$  cần thiết để sinh ra  $E_\delta = E - I x_{ud} = I x_{\sigma ur}$  rất bé nên mạch từ không bão hòa do đó quan hệ  $I = f(I_t)$  là đường thẳng, hình 4.4

Tỷ số ngắn mạch  $K$ . Đây là tỷ số giữa dòng điện ngắn mạch  $I_{n0}$  ứng với dòng điện  $I_t$  sinh ra  $E = U_{dm}$  lúc không tải và dòng điện định mức  $I_{dm}$

$$K = I_{n0} / I_{dm} \tag{4.2}$$

Từ hình 4.5 ta suy ra:

$$I_{n0} = U_{dm} / x_d \tag{4.3}$$

Với  $x_d$  là điện kháng đồng bộ dọc trục ứng với  $E = U_{dm}$

$$\text{Vậy } K = U_{dm} / x_d \cdot I_{dm} = I / x_{d^*}$$

Thường  $x_{d^*} > 1$  nên  $K < 1$ , hay  $I_{n0} < I_{dm}$ . Vậy dòng điện ngắn mạch xác lập của máy phát điện đồng bộ không lớn, đó là do tác dụng khử từ của phản ứng phần ứng.

Qua hai tam giác đồng dạng  $OAA'$  và  $OBB'$  ta có:

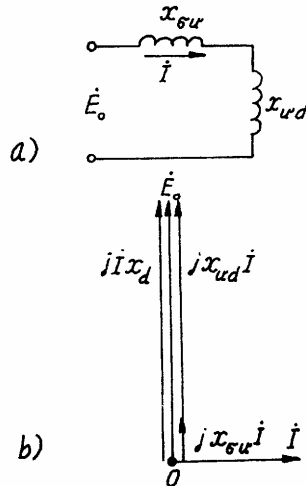
$$K = \frac{I_{n0}}{I_{dm}} = \frac{I_{t0}}{I_{tn}} \tag{4.4}$$

$$I_{t0} \Rightarrow U_0 = U_{dm} \text{ và } I_{tn} \Rightarrow I_n = I_{dm}$$

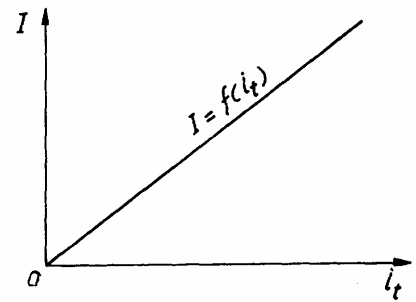
$K$  là một tham số quan trọng của máy phát điện đồng bộ.

$K$  lớn  $\Rightarrow \Delta U$  bé và  $P_{dt}$  lớn  $\Rightarrow$  máy làm việc ổn định, muốn  $K$  lớn thì  $x_{d^*}$  phải lớn  $\Rightarrow \delta$  lớn  $\Rightarrow$  kích thước của máy lớn  $\Rightarrow$  giá thành tăng.

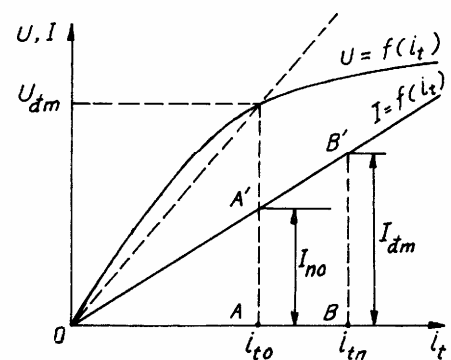
Thường máy phát tourbin nước  $K = 0,8 - 1,8$ ; và tourbin hơi  $K = 0,5 - 1,0$



Hình 4.3 (a) mạch điện thay thế; (b) đồ thị véc tơ



Hình 4.4 Đặc tính ngắn mạch của máy phát điện đồng bộ



Hình 4-5 Xác định tỷ số ngắn mạch  $K$

### 3. Đặc tính ngoài và độ thay đổi điện áp $\Delta U_{dm}$

**Đặc tính ngoài:**  $U = f(I)$  khi  $I_t = Cte$ ;  $\cos\varphi = Cte$ ;  $f = f_{dm}$

Các đường đặc tính ngoài phụ thuộc vào tính chất tải như hình 4.6

Dòng điện kích từ  $I_t$  ứng với  $U = U_{dm}$ ,  $I = I_{dm}$ ,  $\cos\varphi = \cos\varphi_{dm}$  và  $f = f_{dm}$  được gọi là dòng điện kích từ định mức  $I_{tdm}$

**Độ thay đổi điện áp  $\Delta U_{dm}$**

$$\Delta U_{dm} \% = \frac{E_0 - U_{dm}}{U_{dm}} 100 \quad 4.5$$

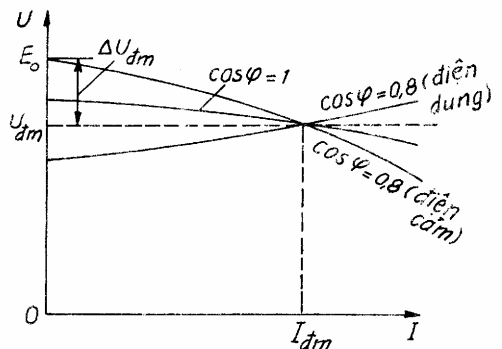
Máy phát tourbin hơi có  $x_d$  lớn hơn máy phát tourbin nước nên  $\Delta U_{dm} \%$  của nó lớn hơn máy phát tourbin nước. Thường  $\Delta U_{dm} \% = (25 - 35) \%$

**4. Đặc tính điều chỉnh  $I_t = F(I)$  khi  $U = U_{dm} = Cte$ ,  $\cos\varphi = Cte$  và  $f = f_{dm}$ .**

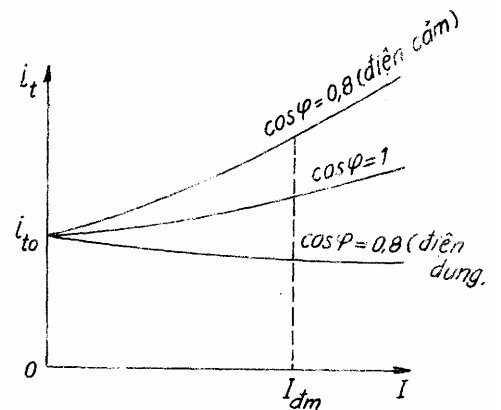
Thường  $\cos\varphi_{dm} = 0,8$  (điện cảm), khi  $I$  tăng từ 0 đến  $I_{dm}$  với  $U = U_{dm}$  thì dòng điện kích từ thay đổi 1,7 - 2,2 lần

**5. Đặc tính tải  $U = f(I)$  khi  $I = Cte$ ,  $\cos\varphi = Cte$ ;  $f = f_{dm}$**

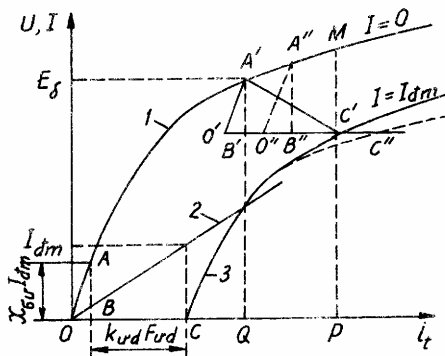
Theo quan hệ trên, với các giá trị khác nhau của  $I$  và  $\cos\varphi$  ta sẽ có các đường đặc tính tải khác nhau. Trong đó đặc biệt nhất là đường đặc tính tải thuần cảm, khi  $\cos\varphi = 0$ , ( $\varphi = 90^\circ$ ) và  $I = I_{dm}$  (đường 3 trên hình 4.8)



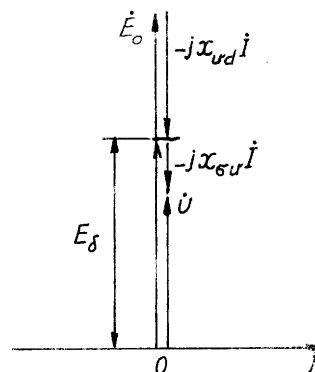
Hình 4.6 Đặc tính ngoài của máy phát điện đồng bộ



Hình 4.7 Đặc tính điều chỉnh



Hình 4.8 Đặc tính tải thuần cảm



Hình 4.9 Đồ thị s.d.đ máy đồng bộ tải thuần cảm

Bỏ qua  $r_u$  ta vẽ được đồ thị véc tơ như hình 4.9

### Tam giác điện kháng:

Lấy  $I_n = I_{dm}$  chiếu qua đặc tính ngắn mạch (2), chiếu xuống trục hoành được điểm C. Thì  $OC = I_m$  (dòng điện kích từ), dòng điện  $I_m$  gồm 2 phần:

Một phần  $BC = k_{\mu d} \cdot F_{\mu d}$  khắc phục phản ứng phần ứng, vậy  $BC \sim I_{dm}$

Một phần  $CB = OC - BC$  sinh ra  $E_{\sigma_{ur}} = I_{dm} \cdot x_{\sigma_{ur}} = AB$

Như vậy tam giác  $ABC$  có 2 cạnh  $AB$  và  $BC$  tỷ lệ với  $I_{dm}$ .

Xây dựng đặc tính tải thuần cảm từ đặc tính không tải và tam giác điện kháng. Tịnh tiến  $\Delta ABC$  (hoặc  $\Delta AOC$ ) sao cho đỉnh A nằm trên đường (1) thì đỉnh C sẽ vẽ nên đường (3) với  $\Delta A'B'C'$

Khi có xét đến bảo hoà đường (3) là đường đứt nét với  $\Delta A''B''C''$  (hoặc  $O''A''C''$ ).

### 4.3 Cách xác định các tham số của máy phát điện đồng bộ

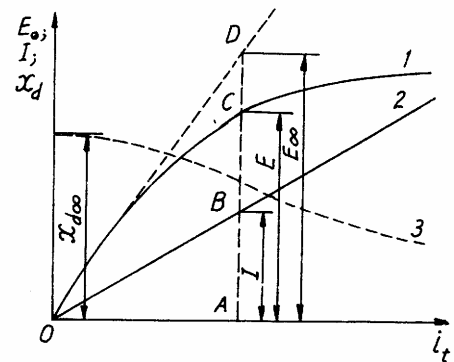
#### 1. $x_d$ và $x_q$

$$x_d = \frac{E}{I_n} = \frac{AC}{AB} \quad 4.6$$

Quan hệ  $x_d = f(I)$  là đường (3) khi mạch từ không bảo hoà, ta có:

$$x_{d\infty} = \frac{E_{\infty}}{I_n} = \frac{AD}{AB} = const \quad 4.7$$

$$\text{vì } \frac{E_{\infty}}{E} = k_{\mu d} \quad \text{nên} \quad x_d = \frac{x_{d\infty}}{k_{\mu d}} \quad 4.8$$



Hình 4.10 Xác định điện kháng đồng bộ dọc trục

Máy cực lồi thường  $x_q = 0,6 \cdot x_d$ ;

Máy cực ẩn  $x_d = x_q = x_{db}$

#### 2. Điện kháng tản $x_{\sigma_{ur}}$

Từ một điểm  $C'$  bất kỳ trên đường (3), dựng đoạn  $C'O' \parallel OC$ , từ  $O'$  vẽ đường  $\parallel$  với  $OA$  cắt đường (1) tại  $A'$ , từ  $A'$  hạ  $A'B' \perp C'O'$  thì  $x_{\sigma_{ur}} = A'B' / I$

Khi xét đến bảo hoà  $x_p = A''B'' / I$   $x_p > x_{\sigma_{ur}}$  là điện kháng Pôchiê

Máy cực ẩn  $x_p = (1,05 - 1,1) x_{\sigma_{ur}}$

Máy cực lồi  $x_p = (1,1 - 1,3) x_{\sigma_{ur}}$

### 4.5 Tổn hao và hiệu suất

Tổn hao đồng: trên điện trở dây quấn phần ứng  $p_{cu} = I^2 \cdot r_u$

Tổn hao thép: do dòng điện xoáy và từ trễ

Tổn hao kích từ: trên  $r_t$  và tiếp xúc chổi than

Tổn hao phụ: do từ trường tản và sự đập mạch của từ trường bậc cao

Tổn hao cơ: ma sát ổ bị, ổ đỡ, làm mát...

Hiệu suất của máy  $\eta = \frac{P_2}{P_2 + \sum p} =$  thường  $\eta = 0,98 \%$



## Chương 5.

# MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ LÀM VIỆC VỚI TẢI KHÔNG ĐỐI XỨNG

### 5.1 Đại cương.

Chế độ tải không đối xứng của máy điện đồng bộ xảy ra khi

- Tải của 3 pha không bằng nhau.

- Khi có ngắn mạch không đối xứng trong hệ thống điện lực, hoặc đầu cực máy phát

Chế độ tải không đối xứng thường gây nên các hiện tượng bất lợi, như: điện áp không đối xứng; các sóng điều hoà s.đ.đ và dòng điện bậc cao; làm tăng tổn hao; rôto nóng và máy rung.

Để phân tích chế độ tải không đối xứng ta dùng phương pháp phân lượng đối xứng. Phân dòng điện và điện áp thành 3 thành phần thứ tự thuận; ngược và không.

$$\begin{pmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \\ \dot{I}_0 \end{pmatrix} \quad 5-1$$

$$\begin{pmatrix} \dot{U}_a \\ \dot{U}_b \\ \dot{U}_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \\ \dot{U}_0 \end{pmatrix} \quad 5-2$$

trong đó:  $a = e^{j2\pi/3}$ ;  $a^2 = e^{j4\pi/3}$ ;  $1 + a + a^2 = 0$

Dòng điện kích từ  $i_f$  chỉ sinh ra s.đ.đ ứng với thành phần thứ tự thuận  $E_0 = E_1$  còn các s.đ.đ thứ tự ngược và không, không tồn tại  $E_2 = E_0 = 0$  như vậy:

$$\dot{E}_1 = \dot{U}_1 + \dot{I}_1 Z_1; \quad 0 = \dot{U}_2 + \dot{I}_2 Z_2; \quad 0 = \dot{U}_0 + \dot{I}_0 Z_0 \quad 5-3$$

Từ các phương trình 5-1; 5-2 và 5-3 ta suy ra

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_a &= (\dot{E}_0 - \dot{I}_1 Z_1) - \dot{I}_2 Z_2 - \dot{I}_0 Z_0 \\ \dot{U}_b &= a^2 (\dot{E}_0 - \dot{I}_1 Z_1) - a \dot{I}_2 Z_2 - \dot{I}_0 Z_0 \\ \dot{U}_c &= a (\dot{E}_0 - \dot{I}_1 Z_1) - a^2 \dot{I}_2 Z_2 - \dot{I}_0 Z_0 \end{aligned} \right\} \quad 5-4$$

Các phương trình 5-1; 5-2 và 5-3 là cơ sở để phân tích chế độ tải không đối xứng. Nó gồm 9 phương trình có chứa 12 ẩn số, ( $E_0, Z_1; Z_2; Z_0$  đã biết), muốn giải được tùy từng trường hợp cụ thể ta phải bổ sung thêm 3 phương trình nữa.

### 5-2 Các tham số của máy phát điện đồng bộ khi làm việc ở tải không đối xứng.

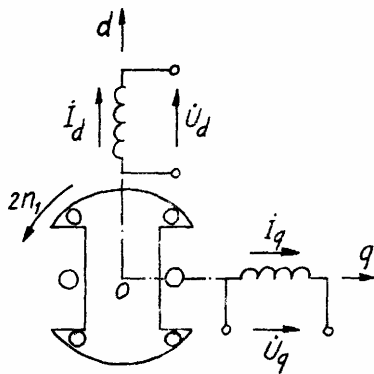
#### 1. Tổng trở thứ tự thuận $Z_1 = r_1 + jx_1$

Tổng trở thứ tự thuận  $Z_1$  chính là tổng trở của máy lúc tải đối xứng, với  $x_1 = x_{db}$  máy cực ẩn, máy cực lồi là  $x_d$  theo hướng dọc trục và  $x_q$  theo hướng ngang trục.

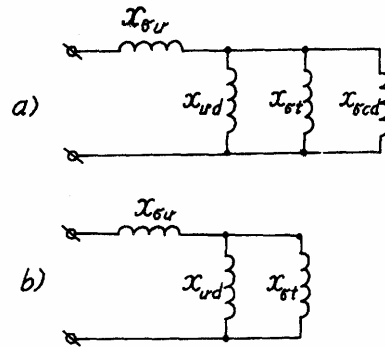
#### 2. Tổng trở thứ tự ngược $Z_1 = r_1 + jx_1$

S.t.đ của hệ thống ngược, quay ngược với tốc độ đồng bộ vì vậy tốc độ tương đối của nó so với rô to là  $2n_1$ . Nó cảm ứng dòng điện trong dây quấn rôto có tần số  $2f$ . Với máy cực lồi nếu ta coi rôto đứng yên thì từ trường quay ngược có tốc độ  $2n_1$  là do dòng điện 2 pha tần số  $2f$  ở stato lệch nhau về thời gian một góc  $90^\circ$  và không gian  $90^\circ$  tạo nên, hình 5-1.

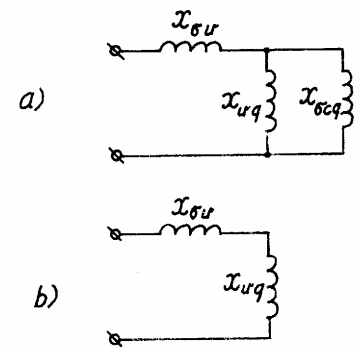
Như vậy từ trường do các dòng điện dọc trục và ngang trục như hình 5-1 sẽ không hồ cảm với nhau và ta có mạch điện thay thế theo hướng dọc trục như hình 5-2 và ngang trục như hình 5-3.



Hình 5-1 Mô hình máy phát đồng bộ ứng với thứ tự ngược



Hình 5-2 Hướng dọc trục có dây quấn cảm (a); không có (b)



Hình 5-3 Hướng ngang trục có dây quấn cảm (a); không có (b)

Trên các mạch điện thay thế:  $x_{\sigma u}$  điện kháng tản phần ứng;  $x_{ud}$  điện kháng dọc trục phần ứng;  $x_{uq}$  điện kháng ngang trục phần ứng;  $x_{\sigma t}$  điện kháng tản của dây quấn kích thích;  $x_{\sigma cd}$  điện kháng tản dọc dây quấn cảm;  $x_{\sigma cq}$  điện kháng tản ngang trục dây quấn cảm.

Theo các mạch điện thay thế trên ta xác định được điện kháng dọc trục và ngang trục.

- Khi có dây quấn cảm:

$$x_d'' = x_{\sigma u} + \frac{1}{\frac{1}{x_{ud}} + \frac{1}{x_{\sigma t}} + \frac{1}{x_{\sigma cd}}} \quad 5-5$$

$$x_q'' = x_{\sigma u} + \frac{1}{\frac{1}{x_{uq}} + \frac{1}{x_{\sigma cq}}} \quad 5-7$$

- Khi không có dây quấn cảm

$$x_d' = x_{\sigma u} + \frac{1}{\frac{1}{x_{ud}} + \frac{1}{x_{\sigma t}}} \quad 5-6$$

$$x_q' = x_{\sigma u} + x_{uq} = x_q \quad 5-8$$

Như vậy khi có dây quấn cảm  $x_2 = \frac{x_d'' + x_q''}{2}$ , thường  $x_d'' \approx x_q''$  nên  $x_2 = x_d'' = x_q''$  5-9

Khi không có dây quấn cảm  $x_2 = \frac{x_d' + x_q'}{2}$  5-10

Thường  $x_{\sigma u} < x_2 < x_1$ , với máy cực ẩn  $x_{2*} = 0,12 - 0,25$  còn máy cực lồi có dây quấn cảm  $x_{2*} = 0,15 - 0,35$  và không có dây quấn cảm  $x_{2*} = 0,3 - 0,6$ .

Điện trở thứ tự ngược  $r_2 = r_u + r_r/2$  (Với  $r_r$  là điện trở rôto đã quy đổi về phần ứng).

Xác định  $x_2$  và  $r_2$  bằng thí nghiệm: Đặt điện áp thấp vào dây quấn stato quay rôto ngược chiều từ trường quay với tốc độ  $n_1$  đo  $U_2$ ;  $I_2$ ;  $P_2$  của một pha từ đó tính được:

$$Z_2 = \frac{U_2}{I_2}; \quad r_2 = \frac{P_2}{I_2^2}; \quad x_2 = \sqrt{Z_2^2 - r_2^2}$$

### 3. Tổng trở thứ tự không $Z_0 = r_0 + jx_0$

Dòng điện thứ tự không  $I_0$  trong 3 pha cùng pha nhau về thời gian nhưng lệch pha nhau về không gian một góc  $120^\circ$  sinh ra trong khe hở các s.t.đ đập mạch cùng pha nhau về thời gian nhưng lệch pha về không gian  $120^\circ$ . Khi phân tích các s.t.đ thành các sóng điều hoà thì chỉ có các s.t.đ bội của 3 là tồn tại, như 3, 9, 15, ... Các dòng điện cảm ứng trong dây quấn kích thích và dây quấn cảm bởi từ trường đó rất bé, do đó  $x_0$  chủ yếu do từ trường tản rãnh và đầu nối gây nên. Với máy cực ẩ  $x_{0*} = 0,02 - 0,10$ ; máy cực lồi  $x_{0*} = 0,02 - 0,20$ .

Điện trở thứ tự không  $r_0$  lớn hơn  $r_u$  không nhiều nên thường coi  $r_0 = r_u$ .

Các tham số  $Z_0$ ;  $r_0$ ;  $x_0$  có thể xác định bằng thực nghiệm. Nối nối tiếp 3 pha dây quấn stato đặt điện áp thấp vào và cho rôto quay với tốc độ đồng bộ, xác định các giá trị  $U_0$ ;  $P_0$  và  $I_0$  từ đó suy ra:

$$Z_0 = \frac{U_0}{3I_0}; \quad r_0 = \frac{P_0}{3I_0^2}; \quad x_0 = \sqrt{Z_0^2 - r_0^2}$$

### 5.3 Ảnh hưởng của tải không đối xứng đối với máy phát điện đồng bộ

Khi tải không đối xứng trong máy chỉ có thành phần thứ tự thuận và ngược, còn thành phần thứ tự không thường rất bé hoặc không tồn tại vì dây quấn 3 pha thường được nối Y và trung tính nối đất. Từ trường do dòng điện thứ tự ngược thường gây nên các hiện tượng bất lợi cho máy phát, như: Điện áp không đối xứng làm tăng tổn hao, rôto nóng và máy rung động.

#### 1. Điện áp khi tải không đối xứng.

Khi tải không đối xứng điện áp đầu cực của máy phát sẽ không đối xứng, nghĩa là chúng có biên độ không bằng nhau và góc lệch pha khác  $120^\circ$ . Điều này ảnh hưởng xấu đến hệ dùng điện.

#### 2. Tổn hao tăng và rôto nóng.

Khi tải không đối xứng từ trường quay ngược sinh ra dòng điện có tần số  $2f$  ở rôto làm tăng tổn hao ở rôto và làm cho rôto nóng lên, đồng thời tăng tổn hao và giảm hiệu suất.

#### 3. Hiện tượng máy rung.

Khi tải không đối xứng do tác dụng tương hỗ giữa từ trường cực từ với từ trường quay ngược của stato và từ trường quay thuận với từ trường của các dòng điện có tần số  $2f$  ở rôto. chúng sẽ gây nên các mômen quay có dấu thay đổi và lực đập mạch với tần số  $2f$  tác dụng tiếp tuyến với bề mặt rôto làm cho máy bị rung động và gây ồn.

Thường chỉ cho phép máy đồng bộ làm việc lâu dài với tải không đối xứng khi dòng điện các pha không vượt quá định mức và mức độ sai lệch dòng điện các pha không quá 10% đối với máy cực ẩ; 20% với máy cực lồi.

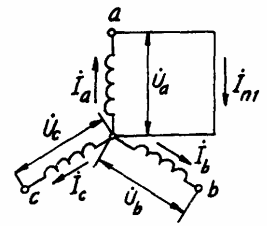
## 5.4 Ngắn mạch không đối xứng.

### 1. Ngắn mạch một pha.

Giả sử pha  $a$  bị ngắn mạch mạch, hình 5-4, ta có:

$$\dot{U}_a = 0 \quad 5-12$$

$$\dot{I}_b = \dot{I}_c = 0 \quad 5-13$$



Hình 5-4  
Ngắn mạch 1 pha

Ba phương trình này kết hợp với 9 phương trình (5-1); (5-2) và (5-4) thành hệ thống 12 phương trình 12 ẩn số và giải được.

Trước hết ta có:  $\dot{I}_a = \dot{I}_{n1}$  5-14

Từ (5-13) và (5-1) ta suy ra:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_2 \quad 5-15$$

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_1 = \dot{I}_2 = \frac{1}{3}\dot{I}_a = \frac{1}{3}\dot{I}_{n1} \quad 5-16$$

Thay (5-16) vào (5-4) ta được:

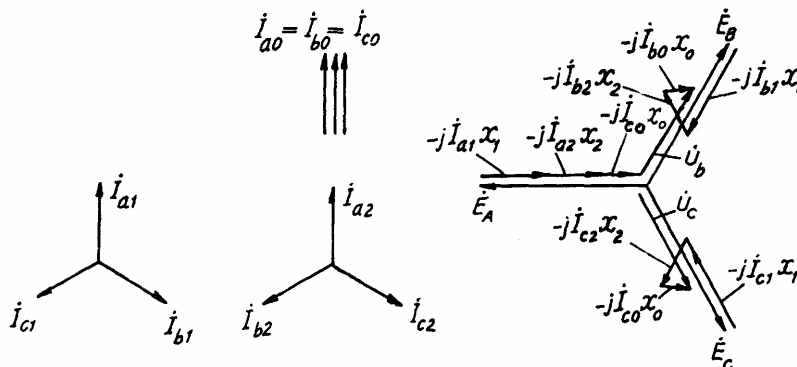
$$\dot{I}_0 = \dot{I}_1 = \dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_0}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad 5-17$$

và dòng điện ngắn mạch một pha có trị số:

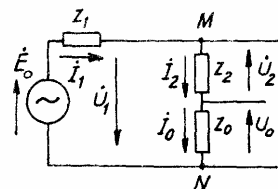
$$\dot{I}_{n1} = \dot{I}_a = 3\dot{I}_0 = \frac{3\dot{E}_0}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad 5-18$$

Điện áp các pha  $b$  và  $c$  xác định theo 2 biểu thức cuối của (5-4).

Bỏ qua  $r_u$  ta có đồ thị véc tơ của dòng điện và điện áp khi ngắn mạch một pha, hình 5-5.



Hình 5-5 Đồ thị véc tơ dòng điện và điện áp khi ngắn mạch 1 pha



Hình 5-6 Mạch điện thay thế khi ngắn mạch một pha

Từ sự phân tích trên ta lập mạch điện thay thế như hình 5-6. Với  $E_0$  biểu thị nguồn của máy phát với tổng trở thực tự thuận  $Z_1$ . và chỗ ngắn mạch  $Z_2$ ;  $Z_0$  giữa điểm  $M$  và  $N$ .

Mạch điện thay thế hình 5-6 hoàn toàn phù hợp với biểu thức (5-17). Điện áp  $U_1$  giữa hai điểm  $M$  và  $N$  đặc trưng cho chỗ ngắn mạch, còn các điện áp rơi trên  $Z_2$  và  $Z_0$  là  $U_2$  và  $U_0$ .

Mạch điện thay thế này có thể áp dụng cho ngắn mạch một pha trong lưới điện phức tạp. Lúc đó  $Z_1$ ;  $Z_2$  và  $Z_0$  là các tổng trở thực tự thuận, ngược và không của lưới.

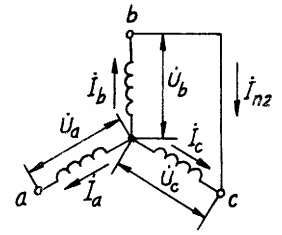
## 2. Ngắn mạch hai pha.

Giả sử ngắn mạch hai pha  $b$  và  $c$  như hình 5-7, ta có:

$$\dot{U}_b = \dot{U}_c \quad (5-19)$$

$$\dot{I}_a = 0 \quad (5-20)$$

$$\dot{I}_a + \dot{I}_c = 0 \quad (5-21)$$



Hình 5-7 Ngắn mạch hai pha máy phát đ.b

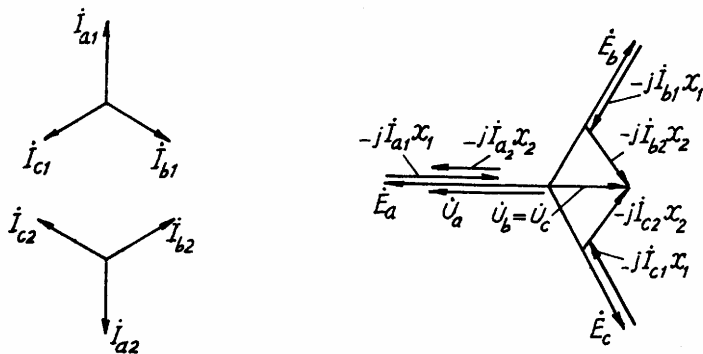
Để tìm trị số dòng điện ngắn mạch hai pha trước hết ta cộng các phương trình (5-1) sau đó kết hợp với (5-20); (5-21) và (5-22) ta được:

$\dot{I}_0 = 0$ ;  $\dot{U}_0 = 0$ ;  $\dot{I}_1 + \dot{I}_2 = 0$ . Từ (5-19) suy ra  $\dot{U}_b - \dot{U}_c = 0$  thế vào phương trình (5-2) ta có:  $\dot{U}_1 = \dot{U}_2$ , thay vào (5-3) được:

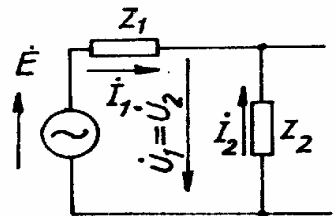
$$\dot{E}_0 = (Z_1 + Z_2)\dot{I}_1 \quad \text{hay là} \quad \dot{I}_1 = -\dot{I}_2 = \frac{\dot{E}}{Z_1 + Z_2}$$

$$\text{Cuối cùng ta được } \dot{I}_{n2} = \dot{I}_b = -\dot{I}_c = a^2\dot{I}_1 + a\dot{I}_2 = (a^2 - a)\dot{I}_1 = -j\sqrt{3}\dot{I}_1 = \frac{-j\sqrt{3}\dot{E}_0}{Z_1 + Z_2} \quad (5-22)$$

Bỏ qua  $r_u$  ta có đồ thị véc tơ dòng điện và điện áp khi ngắn mạch hai pha như hình 5-8 và mạch điện thay thế như hình 5-9.



Hình 5-8 Đồ thị véc tơ dòng và điện áp khi ngắn mạch 2 pha



Hình 5-9 Mạch điện thay thế khi ngắn mạch 2 pha

Từ sự phân tích ở trên so sánh ngắn mạch 1 pha, 2 pha ở chương này và ngắn mạch 3 pha ở chương 4 ta thấy: Vì  $Z_1 > Z_2 > Z_0$  nên theo các biểu thức (5-18); (5-22) và (4-1) thì với cùng một giá trị  $E$  như nhau sẽ có  $I_{n1} > I_{n2} > I_{n3}$ .

Như vậy ngắn mạch 1 pha sẽ có dòng điện lớn nhất. Khi số pha bị ngắn mạch tăng lên thì tác dụng của phản ứng phần ứng khử từ cũng tăng lên nên dòng điện ngắn mạch giảm xuống.

## Chương 5.

# MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ LÀM VIỆC VỚI TẢI KHÔNG ĐỐI XỨNG

### 5.1 Đại cương.

Chế độ tải không đối xứng của máy điện đồng bộ xảy ra khi

- Tải của 3 pha không bằng nhau.

- Khi có ngắn mạch không đối xứng trong hệ thống điện lực, hoặc đầu cực máy phát

Chế độ tải không đối xứng thường gây nên các hiện tượng bất lợi, như: điện áp không đối xứng; các sóng điều hoà s.đ.đ và dòng điện bậc cao; làm tăng tổn hao; rôto nóng và máy rung.

Để phân tích chế độ tải không đối xứng ta dùng phương pháp phân lượng đối xứng. Phân dòng điện và điện áp thành 3 thành phần thứ tự thuận; ngược và không.

$$\begin{pmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \\ \dot{I}_0 \end{pmatrix} \quad 5-1$$

$$\begin{pmatrix} \dot{U}_a \\ \dot{U}_b \\ \dot{U}_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \\ \dot{U}_0 \end{pmatrix} \quad 5-2$$

trong đó:  $a = e^{j2\pi/3}$ ;  $a^2 = e^{j4\pi/3}$ ;  $1 + a + a^2 = 0$

Dòng điện kích từ  $i_f$  chỉ sinh ra s.đ.đ ứng với thành phần thứ tự thuận  $E_0 = E_1$  còn các s.đ.đ thứ tự ngược và không, không tồn tại  $E_2 = E_0 = 0$  như vậy:

$$\dot{E}_1 = \dot{U}_1 + \dot{I}_1 Z_1; \quad 0 = \dot{U}_2 + \dot{I}_2 Z_2; \quad 0 = \dot{U}_0 + \dot{I}_0 Z_0 \quad 5-3$$

Từ các phương trình 5-1; 5-2 và 5-3 ta suy ra

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_a &= (\dot{E}_0 - \dot{I}_1 Z_1) - \dot{I}_2 Z_2 - \dot{I}_0 Z_0 \\ \dot{U}_b &= a^2 (\dot{E}_0 - \dot{I}_1 Z_1) - a \dot{I}_2 Z_2 - \dot{I}_0 Z_0 \\ \dot{U}_c &= a (\dot{E}_0 - \dot{I}_1 Z_1) - a^2 \dot{I}_2 Z_2 - \dot{I}_0 Z_0 \end{aligned} \right\} \quad 5-4$$

Các phương trình 5-1; 5-2 và 5-3 là cơ sở để phân tích chế độ tải không đối xứng. Nó gồm 9 phương trình có chứa 12 ẩn số, ( $E_0, Z_1; Z_2; Z_0$  đã biết), muốn giải được tùy từng trường hợp cụ thể ta phải bổ sung thêm 3 phương trình nữa.

### 5-2 Các tham số của máy phát điện đồng bộ khi làm việc ở tải không đối xứng.

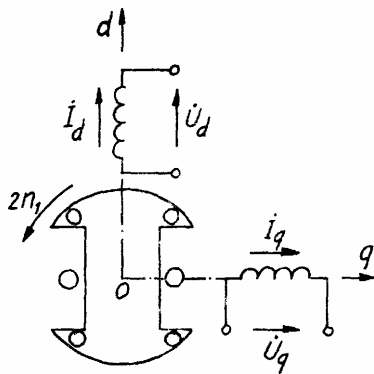
#### 1. Tổng trở thứ tự thuận $Z_1 = r_1 + jx_1$

Tổng trở thứ tự thuận  $Z_1$  chính là tổng trở của máy lúc tải đối xứng, với  $x_1 = x_{db}$  máy cực ẩn, máy cực lồi là  $x_d$  theo hướng dọc trục và  $x_q$  theo hướng ngang trục.

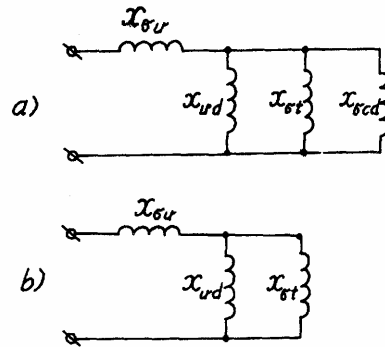
#### 2. Tổng trở thứ tự ngược $Z_1 = r_1 + jx_1$

S.t.đ của hệ thống ngược, quay ngược với tốc độ đồng bộ vì vậy tốc độ tương đối của nó so với rô to là  $2n_1$ . Nó cảm ứng dòng điện trong dây quấn rôto có tần số  $2f$ . Với máy cực lồi nếu ta coi rôto đứng yên thì từ trường quay ngược có tốc độ  $2n_1$  là do dòng điện 2 pha tần số  $2f$  ở stato lệch nhau về thời gian một góc  $90^\circ$  và không gian  $90^\circ$  tạo nên, hình 5-1.

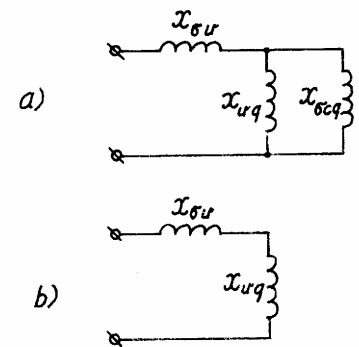
Như vậy từ trường do các dòng điện dọc trục và ngang trục như hình 5-1 sẽ không hồ cảm với nhau và ta có mạch điện thay thế theo hướng dọc trục như hình 5-2 và ngang trục như hình 5-3.



Hình 5-1 Mô hình máy phát đồng bộ ứng với thứ tự ngược



Hình 5-2 Hướng dọc trục có dây quấn cảm (a); không có (b)



Hình 5-3 Hướng ngang trục có dây quấn cảm (a); không có (b)

Trên các mạch điện thay thế:  $x_{\sigma u}$  điện kháng tản phần ứng;  $x_{ud}$  điện kháng dọc trục phần ứng;  $x_{uq}$  điện kháng ngang trục phần ứng;  $x_{\sigma t}$  điện kháng tản của dây quấn kích thích;  $x_{\sigma cd}$  điện kháng tản dọc dây quấn cảm;  $x_{\sigma cq}$  điện kháng tản ngang trục dây quấn cảm.

Theo các mạch điện thay thế trên ta xác định được điện kháng dọc trục và ngang trục.

- Khi có dây quấn cảm:

$$x_d'' = x_{\sigma u} + \frac{1}{\frac{1}{x_{ud}} + \frac{1}{x_{\sigma t}} + \frac{1}{x_{\sigma cd}}} \quad 5-5$$

$$x_q'' = x_{\sigma u} + \frac{1}{\frac{1}{x_{uq}} + \frac{1}{x_{\sigma cq}}} \quad 5-7$$

- Khi không có dây quấn cảm

$$x_d' = x_{\sigma u} + \frac{1}{\frac{1}{x_{ud}} + \frac{1}{x_{\sigma t}}} \quad 5-6$$

$$x_q' = x_{\sigma u} + x_{uq} = x_q \quad 5-8$$

Như vậy khi có dây quấn cảm  $x_2 = \frac{x_d'' + x_q''}{2}$ , thường  $x_d'' \approx x_q''$  nên  $x_2 = x_d'' = x_q''$  5-9

Khi không có dây quấn cảm  $x_2 = \frac{x_d' + x_q'}{2}$  5-10

Thường  $x_{\sigma u} < x_2 < x_1$ , với máy cực ẩn  $x_{2*} = 0,12 - 0,25$  còn máy cực lồi có dây quấn cảm  $x_{2*} = 0,15 - 0,35$  và không có dây quấn cảm  $x_{2*} = 0,3 - 0,6$ .

Điện trở thứ tự ngược  $r_2 = r_u + r_r/2$  (Với  $r_r$  là điện trở rôto đã quy đổi về phần ứng).

Xác định  $x_2$  và  $r_2$  bằng thí nghiệm: Đặt điện áp thấp vào dây quấn stato quay rôto ngược chiều từ trường quay với tốc độ  $n_1$  đo  $U_2$ ;  $I_2$ ;  $P_2$  của một pha từ đó tính được:

$$Z_2 = \frac{U_2}{I_2}; \quad r_2 = \frac{P_2}{I_2^2}; \quad x_2 = \sqrt{Z_2^2 - r_2^2}$$

### 3. Tổng trở thứ tự không $Z_0 = r_0 + jx_0$

Dòng điện thứ tự không  $I_0$  trong 3 pha cùng pha nhau về thời gian nhưng lệch pha nhau về không gian một góc  $120^\circ$  sinh ra trong khe hở các s.t.đ đập mạch cùng pha nhau về thời gian nhưng lệch pha về không gian  $120^\circ$ . Khi phân tích các s.t.đ thành các sóng điều hoà thì chỉ có các s.t.đ bội của 3 là tồn tại, như 3, 9, 15, ... Các dòng điện cảm ứng trong dây quấn kích thích và dây quấn cảm bởi từ trường đó rất bé, do đó  $x_0$  chủ yếu do từ trường tản rãnh và đầu nối gây nên. Với máy cực ẩ  $x_{0*} = 0,02 - 0,10$ ; máy cực lồi  $x_{0*} = 0,02 - 0,20$ .

Điện trở thứ tự không  $r_0$  lớn hơn  $r_u$  không nhiều nên thường coi  $r_0 = r_u$ .

Các tham số  $Z_0$ ;  $r_0$ ;  $x_0$  có thể xác định bằng thực nghiệm. Nối nối tiếp 3 pha dây quấn stato đặt điện áp thấp vào và cho rôto quay với tốc độ đồng bộ, xác định các giá trị  $U_0$ ;  $P_0$  và  $I_0$  từ đó suy ra:

$$Z_0 = \frac{U_0}{3I_0}; \quad r_0 = \frac{P_0}{3I_0^2}; \quad x_0 = \sqrt{Z_0^2 - r_0^2}$$

### 5.3 Ảnh hưởng của tải không đối xứng đối với máy phát điện đồng bộ

Khi tải không đối xứng trong máy chỉ có thành phần thứ tự thuận và ngược, còn thành phần thứ tự không thường rất bé hoặc không tồn tại vì dây quấn 3 pha thường được nối Y và trung tính nối đất. Từ trường do dòng điện thứ tự ngược thường gây nên các hiện tượng bất lợi cho máy phát, như: Điện áp không đối xứng làm tăng tổn hao, rôto nóng và máy rung động.

#### 1. Điện áp khi tải không đối xứng.

Khi tải không đối xứng điện áp đầu cực của máy phát sẽ không đối xứng, nghĩa là chúng có biên độ không bằng nhau và góc lệch pha khác  $120^\circ$ . Điều này ảnh hưởng xấu đến hệ dùng điện.

#### 2. Tổn hao tăng và rôto nóng.

Khi tải không đối xứng từ trường quay ngược sinh ra dòng điện có tần số  $2f$  ở rôto làm tăng tổn hao ở rôto và làm cho rôto nóng lên, đồng thời tăng tổn hao và giảm hiệu suất.

#### 3. Hiện tượng máy rung.

Khi tải không đối xứng do tác dụng tương hỗ giữa từ trường cực từ với từ trường quay ngược của stato và từ trường quay thuận với từ trường của các dòng điện có tần số  $2f$  ở rôto. chúng sẽ gây nên các mômen quay có dấu thay đổi và lực đập mạch với tần số  $2f$  tác dụng tiếp tuyến với bề mặt rôto làm cho máy bị rung động và gây ồn.

Thường chỉ cho phép máy đồng bộ làm việc lâu dài với tải không đối xứng khi dòng điện các pha không vượt quá định mức và mức độ sai lệch dòng điện các pha không quá 10% đối với máy cực ẩ; 20% với máy cực lồi.



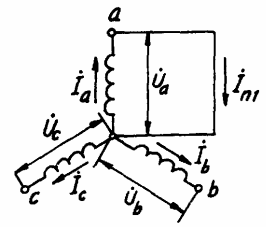
## 5.4 Ngắn mạch không đối xứng.

### 1. Ngắn mạch một pha.

Giả sử pha  $a$  bị ngắn mạch, hình 5-4, ta có:

$$\dot{U}_a = 0 \quad 5-12$$

$$\dot{I}_b = \dot{I}_c = 0 \quad 5-13$$



Hình 5-4  
Ngắn mạch 1 pha

Ba phương trình này kết hợp với 9 phương trình (5-1); (5-2) và (5-4) thành hệ thống 12 phương trình 12 ẩn số và giải được.

Trước hết ta có:  $\dot{I}_a = \dot{I}_{n1}$  5-14

Từ (5-13) và (5-1) ta suy ra:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_2 \quad 5-15$$

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_1 = \dot{I}_2 = \frac{1}{3}\dot{I}_a = \frac{1}{3}\dot{I}_{n1} \quad 5-16$$

Thay (5-16) vào (5-4) ta được:

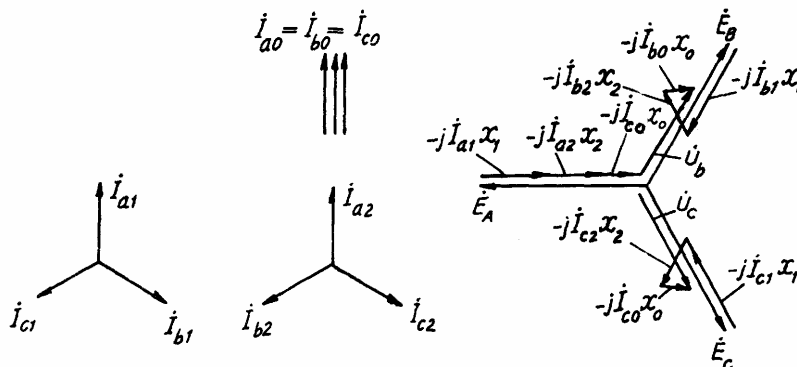
$$\dot{I}_0 = \dot{I}_1 = \dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_0}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad 5-17$$

và dòng điện ngắn mạch một pha có trị số:

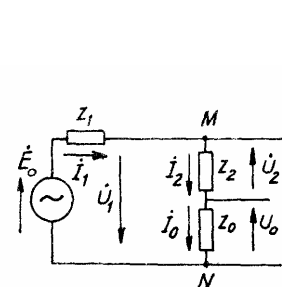
$$\dot{I}_{n1} = \dot{I}_a = 3\dot{I}_0 = \frac{3\dot{E}_0}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad 5-18$$

Điện áp các pha  $b$  và  $c$  xác định theo 2 biểu thức cuối của (5-4).

Bỏ qua  $r_u$  ta có đồ thị véc tơ của dòng điện và điện áp khi ngắn mạch một pha, hình 5-5.



Hình 5-5 Đồ thị véc tơ dòng điện và điện áp khi ngắn mạch 1 pha



Hình 5-6 Mạch điện thay thế khi ngắn mạch một pha

Từ sự phân tích trên ta lập mạch điện thay thế như hình 5-6. Với  $E_0$  biểu thị nguồn của máy phát với tổng trở thực tự thuận  $Z_1$ . và chỗ ngắn mạch  $Z_2$ ;  $Z_0$  giữa điểm  $M$  và  $N$ .

Mạch điện thay thế hình 5-6 hoàn toàn phù hợp với biểu thức (5-17). Điện áp  $U_1$  giữa hai điểm  $M$  và  $N$  đặc trưng cho chỗ ngắn mạch, còn các điện áp rơi trên  $Z_2$  và  $Z_0$  là  $U_2$  và  $U_0$ .

Mạch điện thay thế này có thể áp dụng cho ngắn mạch một pha trong lưới điện phức tạp. Lúc đó  $Z_1$ ;  $Z_2$  và  $Z_0$  là các tổng trở thực tự thuận, ngược và không của lưới.

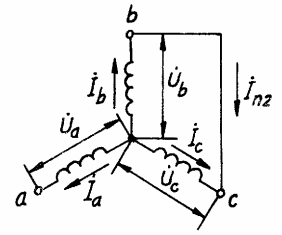
## 2. Ngắn mạch hai pha.

Giả sử ngắn mạch hai pha  $b$  và  $c$  như hình 5-7, ta có:

$$\dot{U}_b = \dot{U}_c \quad (5-19)$$

$$\dot{I}_a = 0 \quad (5-20)$$

$$\dot{I}_a + \dot{I}_c = 0 \quad (5-21)$$



Hình 5-7 Ngắn mạch hai pha máy phát đ.b

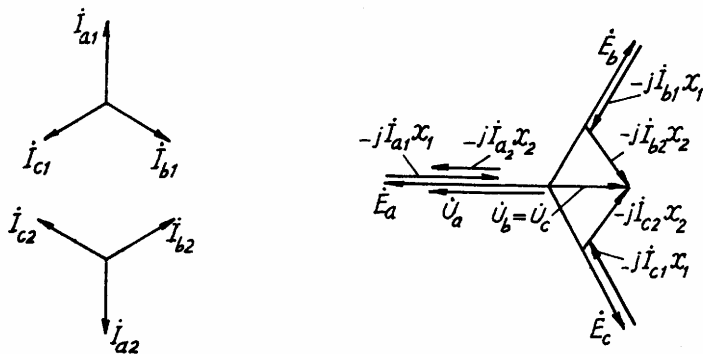
Để tìm trị số dòng điện ngắn mạch hai pha trước hết ta cộng các phương trình (5-1) sau đó kết hợp với (5-20); (5-21) và (5-22) ta được:

$\dot{I}_0 = 0$ ;  $\dot{U}_0 = 0$ ;  $\dot{I}_1 + \dot{I}_2 = 0$ . Từ (5-19) suy ra  $\dot{U}_b - \dot{U}_c = 0$  thế vào phương trình (5-2) ta có:  $\dot{U}_1 = \dot{U}_2$ , thay vào (5-3) được:

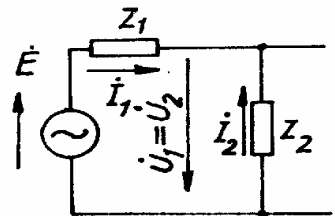
$$\dot{E}_0 = (Z_1 + Z_2)\dot{I}_1 \quad \text{hay là} \quad \dot{I}_1 = -\dot{I}_2 = \frac{\dot{E}}{Z_1 + Z_2}$$

$$\text{Cuối cùng ta được } \dot{I}_{n2} = \dot{I}_b = -\dot{I}_c = a^2\dot{I}_1 + a\dot{I}_2 = (a^2 - a)\dot{I}_1 = -j\sqrt{3}\dot{I}_1 = \frac{-j\sqrt{3}\dot{E}_0}{Z_1 + Z_2} \quad (5-22)$$

Bỏ qua  $r_u$  ta có đồ thị véc tơ dòng điện và điện áp khi ngắn mạch hai pha như hình 5-8 và mạch điện thay thế như hình 5-9.



Hình 5-8 Đồ thị véc tơ dòng và điện áp khi ngắn mạch 2 pha



Hình 5-9 Mạch điện thay thế khi ngắn mạch 2 pha

Từ sự phân tích ở trên so sánh ngắn mạch 1 pha, 2 pha ở chương này và ngắn mạch 3 pha ở chương 4 ta thấy: Vì  $Z_1 > Z_2 > Z_0$  nên theo các biểu thức (5-18); (5-22) và (4-1) thì với cùng một giá trị  $E$  như nhau sẽ có  $I_{n1} > I_{n2} > I_{n3}$ .

Như vậy ngắn mạch 1 pha sẽ có dòng điện lớn nhất. Khi số pha bị ngắn mạch tăng lên thì tác dụng của phản ứng phần ứng khử từ cũng tăng lên nên dòng điện ngắn mạch giảm xuống.

# PHẦN V

## MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

### Chương 6. DÂY QUẤN PHẦN ỨNG MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU.

#### 6.1 Đại cương.

Đây là phần dây quấn đặt trong các rãnh của lõi thép phần ứng, nó có thể có 1 hoặc nhiều mạch vòng kín. Dây quấn phần ứng là bộ phận tham gia trực tiếp quá trình biến đổi năng lượng điện từ trong máy và chiếm tỷ giá đáng kể của giá thành máy.

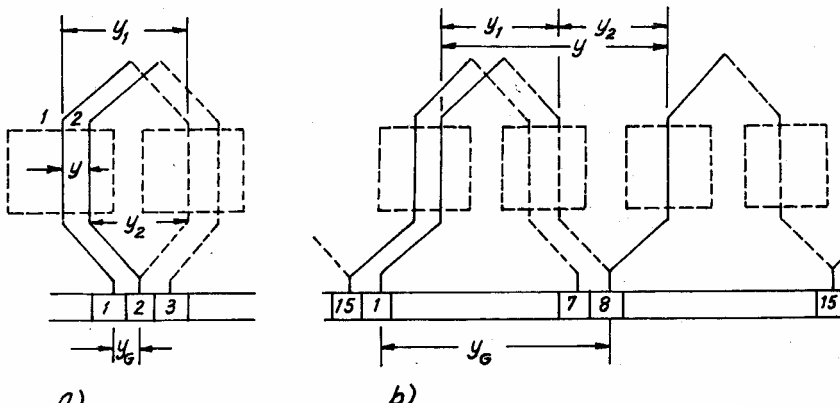
Yêu cầu đối với dây quấn phần ứng:

- Sinh ra được S.đ.đ cần thiết, cho  $I_{dm}$  đi qua lâu dài mà không phát nóng quá mức cho phép. Sinh ra được mômen đủ lớn và đổi chiều tốt.
- Tiết kiệm được vật liệu, kết cấu đơn giản, làm việc tin cậy và an toàn.
- Phân loại dây quấn:

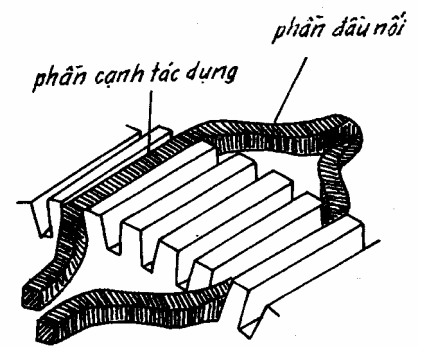
Dây quấn xếp đơn giản, phức tạp

Dây quấn sóng đơn giản, phức tạp

#### 1. Cấu tạo của dây quấn phần ứng.



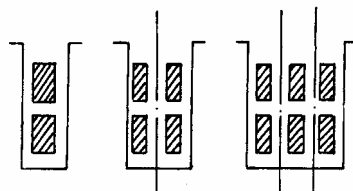
Hình 1.1 (a) dây quấn xếp, (b) dây quấn



Hình 1.2 Phần

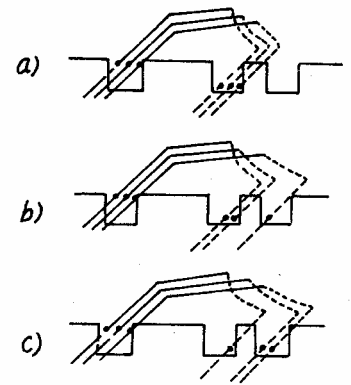
Dây quấn phần ứng gồm nhiều phần tử nối với nhau theo quy luật xếp hoặc sóng, như hình 1.1. Phần tử là phần cơ bản nhất của dq, nó là một bố dây có 1 hoặc nhiều vòng. Hai đầu của 1 phần tử nối với 2 phiến góp

Dây quấn phần ứng thường được thực hiện 2 lớp, nên 2 cạnh tác dụng của 1 phần tử được phân bố, 1 ở lớp trên và 1 ở lớp dưới, hình 1.2. Trong một rãnh có thể có 1 hoặc nhiều cặp cạnh tác dụng, hình 1.3. Gọi Z là số rãnh thực (số rãnh của lõi thép phần ứng) và  $Z_{ngt} = u.Z$  là số rãnh nguyên tố (số rãnh chứa các cặp cạnh tác dụng). Gọi S là số phần tử, G là số phiến góp, ta có quan hệ:  $S = G = Z_{ngt} = u.Z$



Hình 1.3 (a) u

= 1,



Hình 1.4 (a) dq đồng đều

Khi  $u > 1$  các phần tử dây quấn có thể thực hiện đồng đều hoặc phân cấp, hình 1.4

## 2. Các bước dây quấn.

Bước dây quấn thứ nhất, ký hiệu  $y_1$ , là khoảng cách giữa 2 cạnh tác dụng của 1 phần tử

Bước dây quấn thứ 2, ký hiệu  $y_2$ , là khoảng cách giữa cạnh tác dụng thứ 2 của phần tử thứ nhất và cạnh tác dụng thứ nhất của phần tử thứ hai

Bước tổng hợp, ký hiệu  $y$ , là khoảng cách giữa các cạnh tác dụng thứ nhất của phần tử thứ nhất và phần tử thứ hai

Bước phiên góp, ký hiệu  $y_G$ , là khoảng cách giữa hai phiên góp nối với hai đầu ra của một phần tử.

### 6.2 Dây quấn xếp đơn giản

#### 1. Các bước dây quấn.

a) Bước dây quấn thứ nhất.

Bước dây quấn thứ nhất, hình 1.5 được tính:  $y_1 = \frac{Z_{ngt}}{2p} \pm \varepsilon$  1.1

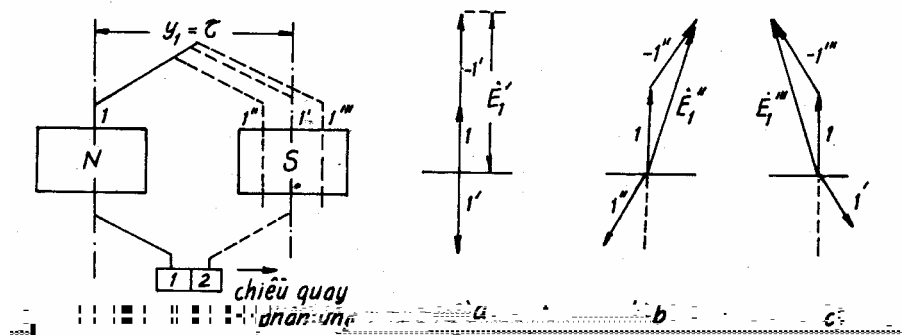
Nếu  $\varepsilon \neq 0$  dùng dây quấn bước ngắn đỡ tổn đồng hơn.

b) Bước  $y$  và  $y_G$

Dây quấn xếp đơn giản  
 $y = y_G = 1$  1.2

c) Bước dây quấn thứ hai.  
 Dây quấn xếp đơn giản

$y_2 = y_1 - y$  1.3



Hình 1.5 Bước  $y_1$ : (a) bước đủ, (b) bước ngắn, (c)

#### 2. Giảm độ khai triển dây quấn

Xét dây quấn xếp đơn giản

có  $Z_{ngt} = S = G = 16; 2p = 4$

a) Các bước dây quấn:

$$y_1 = \frac{Z_{ngt}}{2p} \pm \varepsilon = \frac{16}{4} = 4$$

dqbước đủ

$$y = y_G = 1 \text{ và } y_2 = y_1 - 1 = 4 - 1 = 3$$

3

b) Thứ tự nối các phần tử và giảm độ khai triển dây quấn, hình 1.6

**Quy ước:**

- Cạnh phần tử lớp trên vẽ bằng nét liền, lớp dưới nét đứt

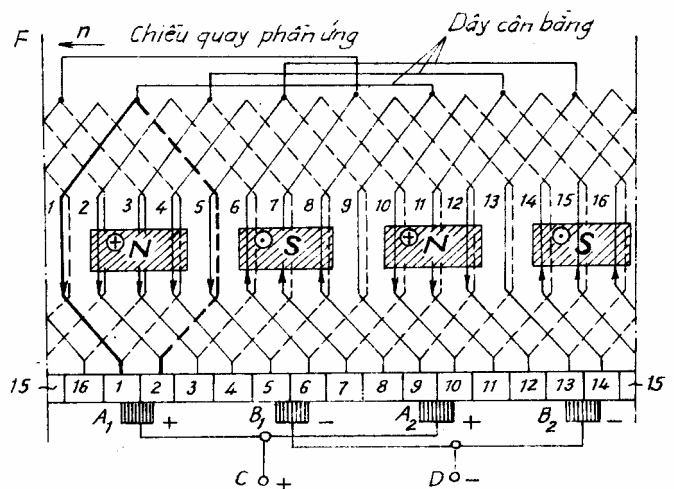
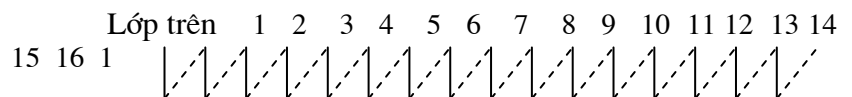
- Vị trí cực từ phải đối xứng, bề rộng

$b_c = b_G = 0,7\tau$ .

- Chiều quay, chiều s.đ.đ

- Chổi than đặt chính giữa trục cực từ

để có  $E_{max}$  và dòng điện trong phần tử bị nối ngắn mạch.



Hình 1.6 Giảm độ khai triển dq xếp

### 3. Số đôi mạch nhánh song song.

Xác định chiều s.đ.đ theo quy tắc bàn tay phải thì chiều  $A_1$  và  $A_2$  là cực (+), còn  $B_1$  và  $B_2$  là cực (-). Nối  $A_1$  với  $A_2$  và  $B_1$  với  $B_2$  nhìn từ ngoài vào ta được sơ đồ như hình 1.7.

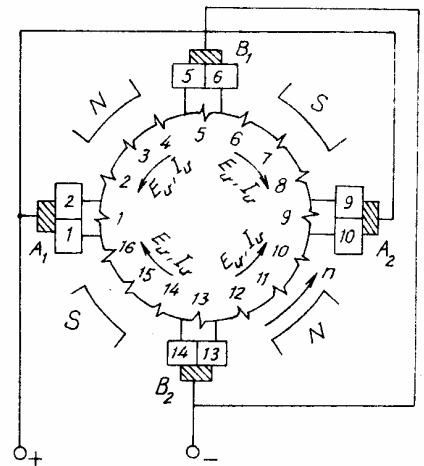
### 4. Đa giác sức điện động của dây quấn phân ứng.

Nếu từ cảm dưới cực từ phân bố hình sin thì  $E_{pt}$  là hình sin và ta có thể biểu diễn  $E_{pt}$  bằng 1 véc tơ mà trị tức thời là hình chiếu lên trục tung.

Góc lệch giữa 2 rãnh nguyên tố kề nhau.

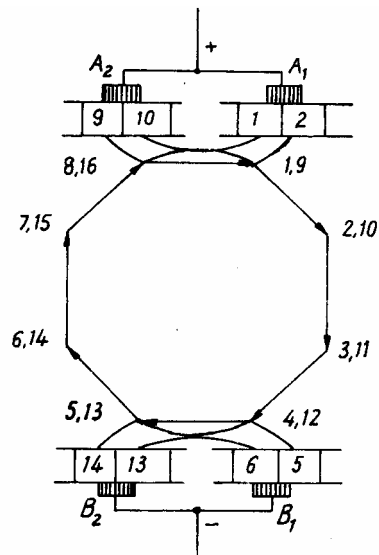
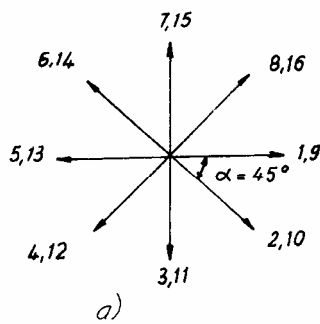
$$\alpha = \frac{p \cdot 360^\circ}{Z_{ngt}} = \frac{p \cdot 360^\circ}{S}$$

1.4



Hình 1.7 Sơ đồ ký hiệu của

Với thí dụ ở trên ta tính được  $\alpha = 45^\circ$  và vẽ được hình tia và đa giác s.đ.đ, hình 1.8



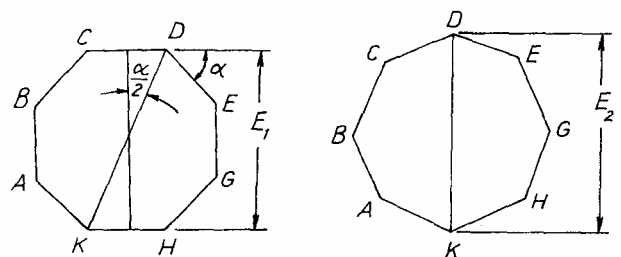
Hình 1.8 (a) hình sao sức điện động, (b) đa giác sức điện

- Đa giác s.đ.đ khép kín chứng tỏ tổng s.đ.đ trong mạch vòng bằng 0 điều kiện làm việc bình thường không có dòng cân bằng
- Hình chiếu đa giác s.đ.đ lên trục tung là  $E_{\Sigma}$  và thấy có sự đập mạch s.đ.đ
- Mỗi đa giác s.đ.đ ứng với một đôi mạch nhánh
- Đỉnh của đa giác s.đ.đ là các điểm đẳng thế, có thể nối dây cân bằng.

### 5. Sự đập mạch của điện áp ra.

$$U_1 = U_2 \cos(\alpha/2);$$

$$U_{tb} = \frac{U_1 + U_2}{2} = \frac{1}{2}(1 + \cos(\alpha/2)) \quad 1.5$$



Hình 1.9 Sự đập mạch của sức

$$\Delta U = U_2 - U_{tb} = U_{tb} - U_1 = \frac{1}{2} U_2 (1 - \cos \alpha / 2) \quad 1.6$$

Sự đập mạch đ/a ra được biểu thị trên hình 1.9 và được xác định:

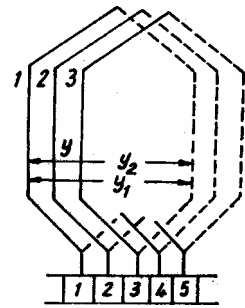
$$\frac{\Delta U}{U_{tb}} = \frac{0,5 \cdot U_2 (1 - \cos \alpha / 2)}{0,5 \cdot U_2 (1 + \cos \alpha / 2)} = \operatorname{tg}^2 \alpha / 2 \quad 1.7$$

$$\alpha = \frac{p \cdot 360^\circ}{S} = \frac{180^\circ}{S/2p} = \frac{180^\circ}{G/2p} \quad \text{Khi } G/2p = 8 \text{ thì độ đập mạch } < 1\%$$

### 6.3 Dây quấn xếp phức tạp.

#### 1. Bước dây quấn.

Sự khác nhau giữa dq xếp đơn và xếp phức là ở bước phiến góp  $y_G$ . Dq xếp phức có  $y_G = m$  ( $m = 2, 3, \dots$ ) thường  $m = 2$ . Nếu  $y_G = 2$  thì cạnh tác dụng của phần tử thứ nhất không nối với phần tử thứ 2 mà nối với phần tử thứ 3, cứ thế cho đến khi khép kín mạch. Nếu đi hết chu vi phần ứng mà một nửa số phần tử được chừa ra, ta thực hiện tiếp mạch vòng thứ hai. Dq xếp phức bây giờ gồm 2 dq xếp đơn xen kẽ nhau, hình 1.10.



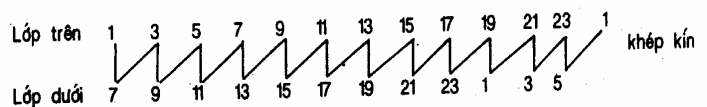
Hình 1.10  
Nối các pt ở dq

#### 2. Giản đồ khai triển dq.

Xét dq xếp phức tạp có  $y_G = m = 2$  với  $2p = 4$ ;  $Z_{nt} = S = G = 24$ .

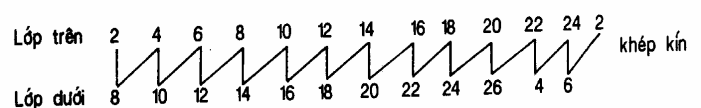
a) Các bước dq.

$$y_1 = \frac{Z_{nt}}{2p} \pm \varepsilon = \frac{24}{6} = 6; \quad y = y_G = 2; \quad y$$



b) Trình tự nối các phần tử.

Với các bước dây quấn đã xác định ở trên, ta thực hiện trình tự nối dây quấn và được 2 dây quấn xếp đơn độc lập với nhau, như hình bên.



c) Giản đồ khai triển dây quấn

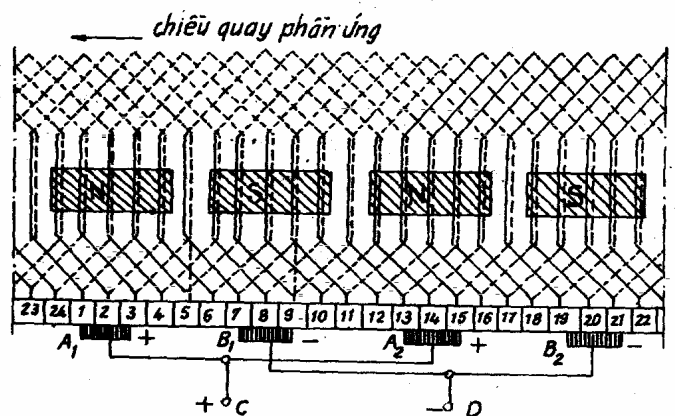
Theo thứ tự nối các phần tử dây quấn ta vẽ được giản đồ khai triển như hình 1.11

d) Hình tia và đa giác s.đ.đ

Với số liệu dây quấn trên ta xác định được góc lệch giữa hai phần tử liên tiếp là:

$$\alpha = \frac{p \cdot 360^\circ}{S} = \frac{2 \cdot 360^\circ}{24} = 30^\circ$$

Từ đây vẽ được hình tia và đa giác s.đ.đ như hình 1.12



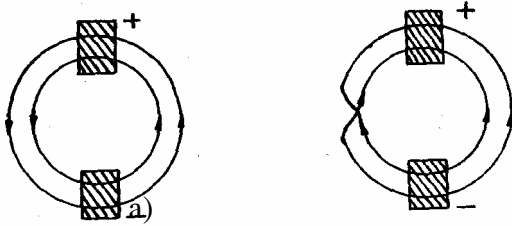
Hình 1.11 Giản đồ khai triển dq xếp phức

### 3. Số mạch nhánh song song

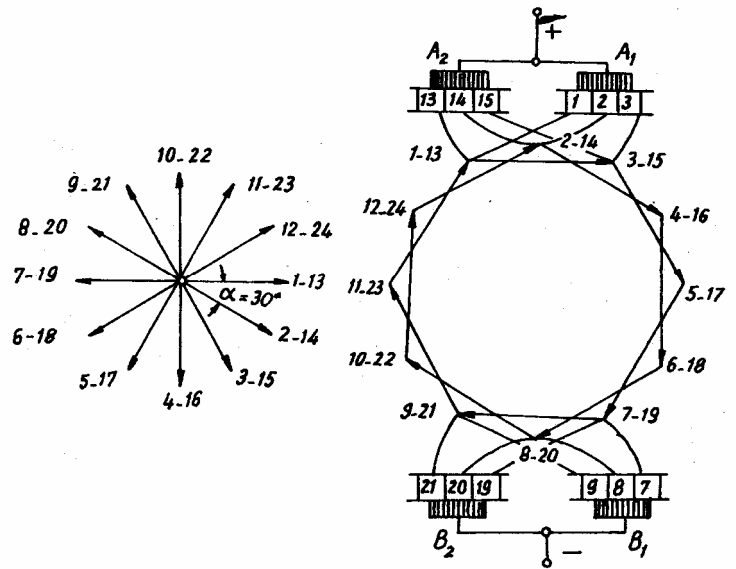
Dây quấn sóng phức tạp có số đôi mạch nhánh song song là  $a = mp$ . Với dây quấn đang xét có số đôi mạch nhánh song song  $a = mp = 2.2 = 4$

Khi  $y_1 = \frac{Z_{nt}}{2p} \pm \varepsilon$  nếu  $\varepsilon = 0$  ta có

dây quấn xếp phức gồm 2 mạch điện độc lập, còn nếu  $\varepsilon \neq 0$  ta có 2 mạch điện không độc lập như hình 1.13.



Hình 1.13 Dây quấn có: a) 2 mạch điện kín độc lập; b) không độc lập



Hình 1.12 Hình tia và đa giác s.d.d của dq

### 6.4 Dây quấn sóng đơn

#### 1. Bước dq.

Bước dây quấn thứ nhất như dây quấn xếp đơn;

$$\text{Bước dây quấn tổng hợp } y = y_G = \frac{G \pm 1}{p} \quad 1.8$$

Biểu thức 1.8 khi lấy dấu (-) ta có dây quấn trái (thường dùng), lấy dấu (+) ta có dây quấn phải

$$\text{Bước dây quấn thứ hai } y_2 = y - y_1 \quad 1.9$$

$$\text{Từ biểu thức 1.8 có thể viết: } y = y_G = \frac{G \pm 1}{p} = \frac{Z_{nt} \pm 1}{p} = \frac{Z_{nt}}{p} \pm \frac{1}{p}$$

Vì  $\frac{Z_{nt}}{p} = 2\tau$  nên hai cạnh tác dụng của hai phần tử nối tiếp nhau sẽ lệch nhau một góc  $1/p$  bước rãnh trong từ trường.

#### 2. Giảm độ khai triển dq.

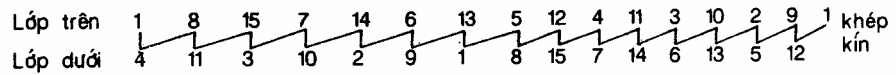
Xét một dây quấn sóng đơn có:  $G = S = Z_{nt} = 15; 2p = 4$ .

a) Bước dq

$$y_1 = \frac{Z_{nt}}{2p} \pm \varepsilon = \frac{15}{4} - \frac{3}{4} = 3 \text{ dây quấn bước ngắn; } y_G = y = \frac{G \pm 1}{p} = \frac{15 - 1}{2} = 7 \text{ dây quấn trái}$$

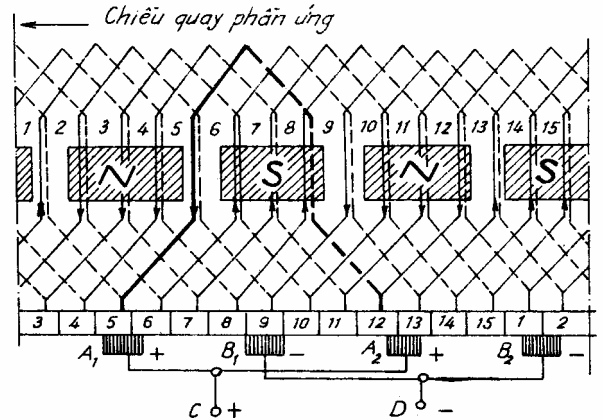
$$y_2 = y - y_1 = 7 - 3 = 4$$

b) Thứ tự nối các phân tử.



c) Giản đồ khai triển dây quấn

Từ thứ tự nối các phân tử dây quấn ta vẽ được giản đồ khai triển như hình 1.14. Trên giản đồ ta thấy phân tử 1 nối với phân tử 8 và 15 đều cách nhau 7 phân tử và đều nằm dưới cùng một cực tính (cực S), nhưng khi nối đến phân tử 5 trở đi thì chúng đều nằm dưới cực N. Như vậy quy luật nối là nối hết các phân tử nằm dưới các cực cùng cực tính lại rồi nối các phân tử ở dưới các cực tính khác cho đến hết.



Hình 1.14 Giản đồ khai triển dq

d) Hình tia và đa giác s.d.đ

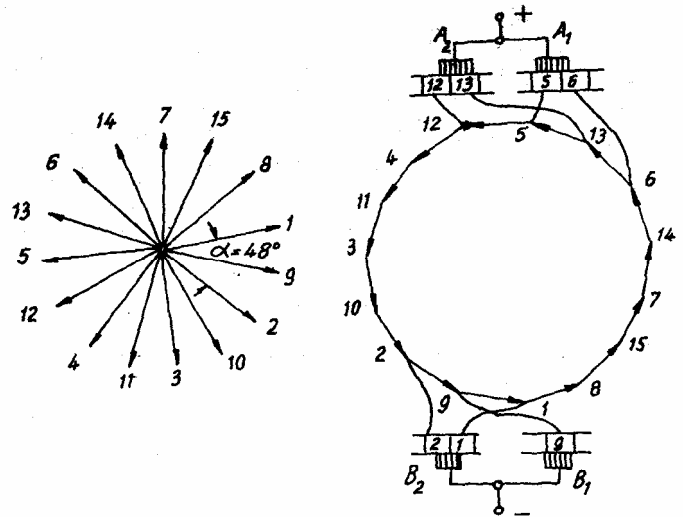
Với số liệu dây quấn trên ta xác định được góc lệch giữa hai phân tử liên tiếp là:

$$\alpha = \frac{p360^\circ}{S} = \frac{2.360^\circ}{15} = 48^\circ$$

Từ đây vẽ được hình tia và đa giác s.d.đ như hình 1.15

### 3. Số đôi mạch nhánh

Dây quấn sóng đơn có  $a = 1$



Hình 1.15 Hình tia và đa giác s.d.đ của dq

## 6.5 Dây quấn sóng phức tạp

### 1. Bước dây quấn.

Dây quấn sóng phức tạp, khi các phân tử nối tiếp nhau đi hết 1 vòng quanh bề mặt phân ứng nó không trở về bên cạnh phân tử xuất phát mà cách 2 hoặc  $m$  phân tử, từ đây khi nối hết tất cả các phân tử nó sẽ tạo nên 2 hoặc  $m$  mạch vòng kín khác nhau. Bước vành góp.

$$y = y_G = \frac{G \pm m}{p} \tag{1.10}$$

Các bước dây quấn khác giống như dây quấn xếp đơn giản.

### 2. Giản đồ khai triển.

Xét dây quấn xếp phức tạp có:  $m = 2$ ;  $2p = 4$ ;  $S = G = Z_{nt} = 18$



a) Các bước dây quấn.

$$y_1 = \frac{Z_{nt}}{2p} \pm \epsilon = \frac{18}{4} - \frac{2}{4} = 4$$

bước ngắn

$$y_G = y = \frac{G - m}{p} = \frac{18 - 2}{2} = 8$$

$$y_2 = y - y_1 = 8 - 4 = 4$$

b) Trình tự nối dây quấn

Dây quấn này có 2 mạch vòng kín.

c) Giản đồ khai triển.

Từ trình tự nối các phần tử ta vẽ được giản đồ khai triển dây quấn như hình 1.16

d) Hình tia và đa giác s.d.đ

Với số liệu dây quấn trên ta xác định được góc lệch giữa hai phần tử liên tiếp là:

$$\alpha = \frac{p360^\circ}{S} = \frac{2.360^\circ}{18} = 40^\circ$$

Từ đây vẽ được hình tia và đa giác s.d.đ như hình 1.17

### 3. Số đôi mạch nhánh.

Dây quấn sóng phức có:

$$a = m$$

#### 1.5 Dây quấn hỗn hợp

Dây quấn hỗn hợp là sự kết hợp giữa dq xếp và dq sóng, như hình 1.18.

#### 1.6 Dây cân bằng điện thế.

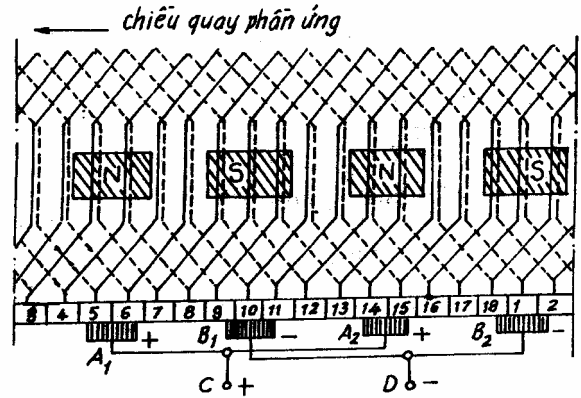
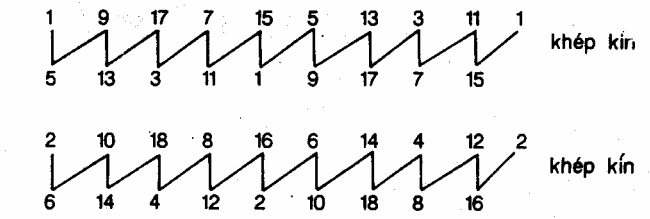
##### 1. Dây cân bằng loại một.

Dây cân bằng loại 1 dùng cho dây quấn xếp đơn, nối các điểm đẳng thế trên dq với nhau, điểm 1 và 9; 2 và 10; 3 và 11,... trên hình 1.6 và hình 1.8(b). Dây cân bằng loại một nhằm cân bằng điện thế của các nhánh dưới các cặp cực khác nhau.

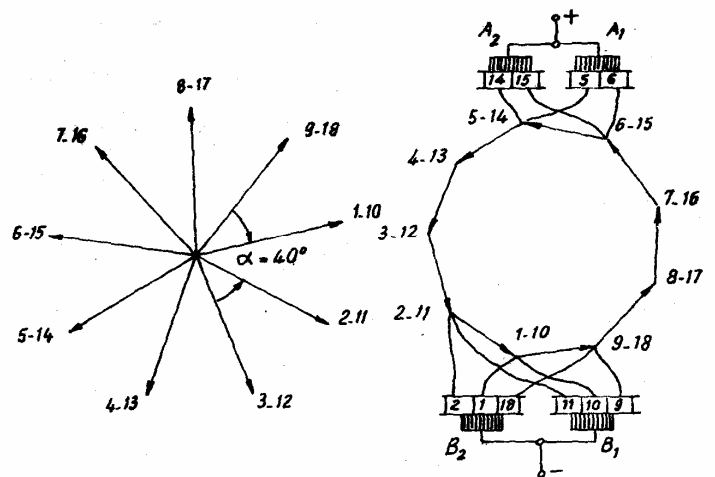
##### 2. Dây cân bằng loại hai.

Dây cân bằng loại 2 dùng cho dây quấn sóng phức tạp. Với dq xếp phức tạp thì các dq xếp đơn dùng dây cân bằng loại 1 giữa các dq xếp đơn dùng dây cân bằng loại 2.

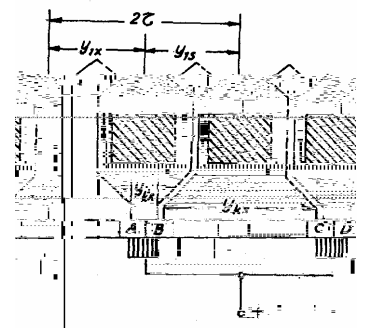
Dây cân bằng loại 2 thường được nối ở phía các phiến góp, để khắc phục sự phân bố điện áp giữa các phiến đổi chiều kề nhau không đều nhau.



Hình 1.16 Giản đồ dq sóng phức tạp với



Hình 1.17 Hình tia và đa giác s.d.đ của dq

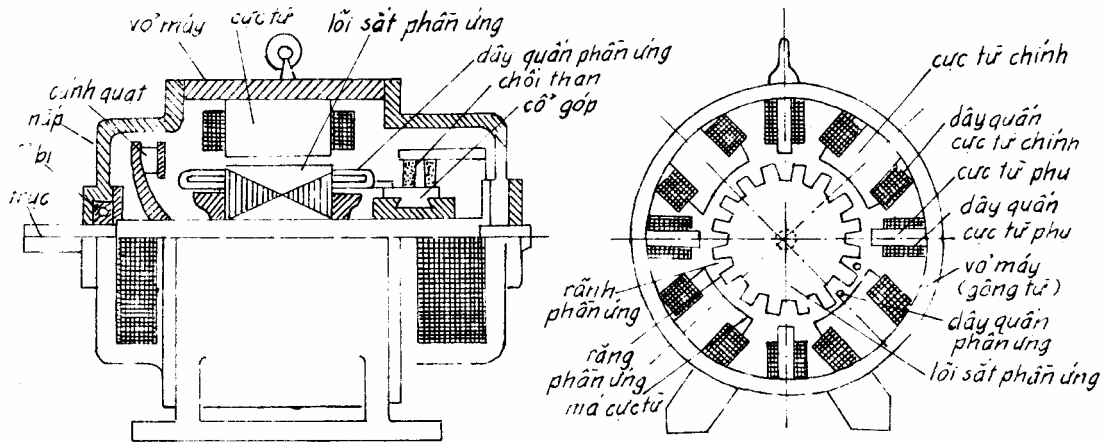


Hình 1.18 Dq

## Chương 7 ĐẠI CƯƠNG VỀ MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

### 7.1 Cấu tạo của máy điện 1 chiều.

#### Cấu tạo của máy điện một chiều như hình 2.1



Hình 2.1 Mặt cắt dọc và ngang của một máy điện một

#### 1. Phần tĩnh (Stato)

Phần tĩnh của máy điện 1 chiều gồm các bộ phận sau:

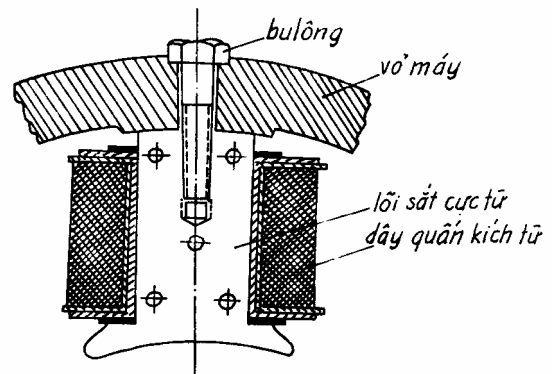
##### a) Cực từ chính

Đây là bộ phận sinh ra từ trường chính trong máy, nó bao gồm:

- Lõi cực từ: Hình dạng như hình 2.1, có thể làm bằng thép khối vì dẫn từ 1 chiều. Tuy nhiên để giảm kích thước, ngày nay nó được làm bằng thép kỹ thuật điện (KTĐ) cán lạnh không đẳng hướng.

- Dây quấn cực từ chính.

Được làm bằng dây dẫn tròn có bọc cách điện hoặc dây dẫn tiết diện chữ nhật quấn định hình rồi lồng vào thân cực từ. Các dây quấn kích thích đặt trên các cực từ chính thường được nối nối tiếp với nhau.



Hình 2.2 Cực từ

##### b) Cực từ phụ.

Đây là bộ phận dùng để cải thiện đổi chiều.

- Lõi cực có thể làm bằng thép khối

- Dây quấn cực từ phụ, đặt trên cực từ phụ và nối nối tiếp với dây quấn phản ứng qua các chổi than. Cực từ phụ được bố trí xen kẽ với cực từ chính.

##### c) Gông từ.

Làm mạch dẫn từ, nối liền các cực từ chính và phụ, đồng thời làm vỏ máy. Máy nhỏ và vừa gông từ làm bằng thép tấm, máy lớn làm bằng thép đúc.

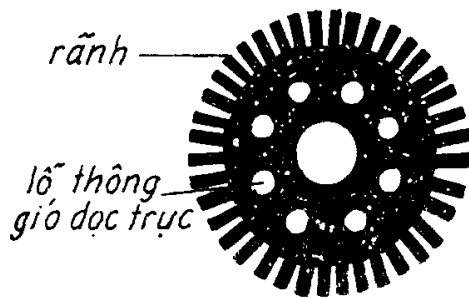
##### d) Các bộ phận khác.

- Nắp máy: Để che chắn các vật ngoài rơi vào máy và làm giá đỡ ổ bi

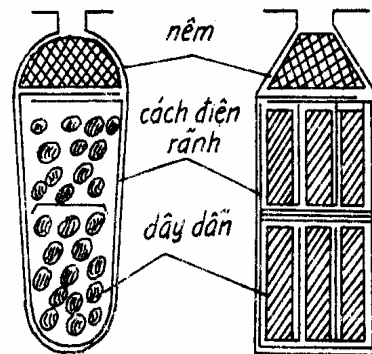
- Cơ cấu chổi than: Hộp chổi than và chổi than được cố định trên nắp máy

## 2. Phân quay (Roto)

### a) Lõi thép phân ứng.



Hình 2.3 Lá thép phân ứng



Hình 2.4 Rãnh lõi thép

Đây là bộ phận dẫn từ xoay chiều, nên làm bằng thép KTD, dày 0,35 - 0,5. Trên lõi thép có dập rãnh để bố trí dây quấn phân ứng. Máy nhỏ và vừa có lỗ thông gió hướng trục, máy lớn còn có kênh thông gió hướng kính, hình 2.3.

### b) Dây quấn phân ứng.

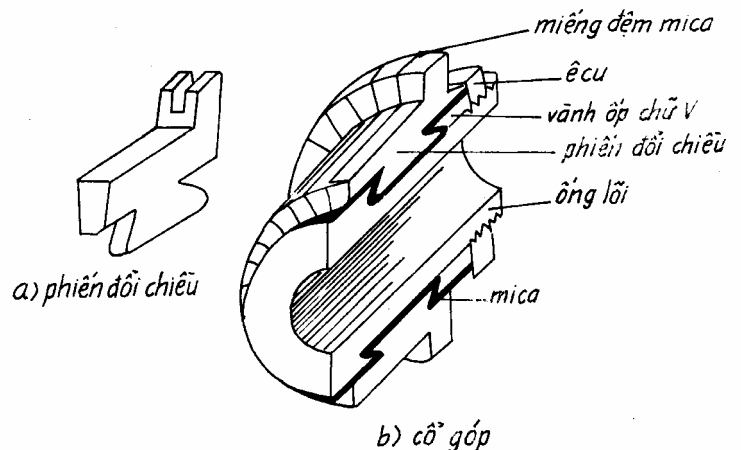
Đây là bộ phận tham gia trực tiếp quá trình biến đổi năng lượng điện từ, nó được phân bố trong các rãnh của lõi thép phân ứng, hình 2.4. Dây quấn phân ứng đã xét ở chương 1.

### c) Cổ góp.

Đây là bộ phận để đổi chiều dòng điện hay có thể coi nó là bộ chỉnh lưu cơ khí. Cổ góp bao gồm các phiến góp làm bằng đồng, được ghép và ép lại thành cổ góp hình trụ. Giữa các phiến góp có lớp cách điện bằng mica dày 0,4 - 1,2 mm.

### d) các bộ phận khác.

- Trục máy
- Quạt gió



Hình 2.5 Phiến góp và cổ góp

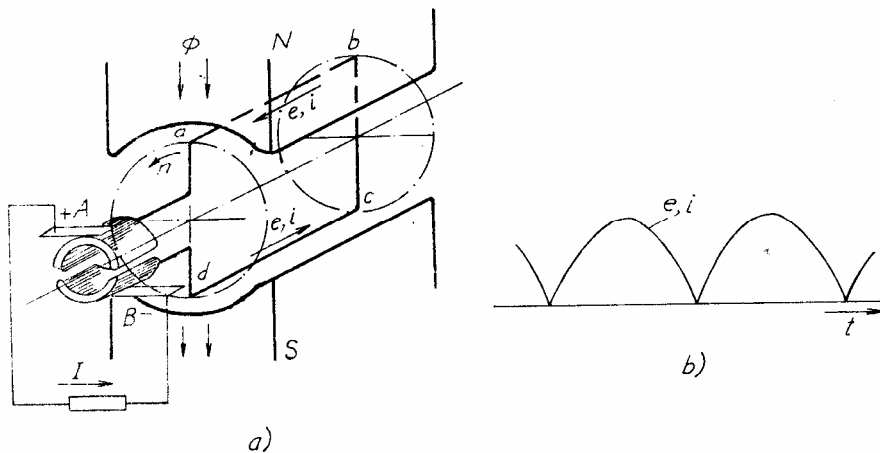
## 7.2 các trị số định mức.

Đối với máy điện một chiều các trị số định mức bao gồm:

- Công suất định mức  $P_{dm}$  (kW)
- Điện áp định mức  $U_{dm}$  (V)
- Dòng điện định mức  $I_{dm}$  (A)
- Tốc độ định mức  $n_{dm}$  (vg/ph)

Các thông số khác như kiểu máy, phương pháp và dòng điện kích thích...

### 7.3 Nguyên lý làm việc cơ bản của máy điện một chiều.



Hình 2.6 Sơ đồ nguyên lý làm việc của

Sơ đồ nguyên lý như hình 2.6. Nó gồm một khung dây  $abcd$  hai đầu nối với 2 phiến góp, đặt trong từ trường của nam châm vĩnh cửu  $N-S$ , hai chổi điện  $A$  và  $B$  đặt cố định và tựa sát lên trên 2 phiến góp.

Khi cho khung dây quay, theo định luật cảm ứng điện từ trong các thanh dẫn  $ab$  và  $cd$  sẽ cảm ứng được một s.đ.đ.

$$e = Blv \quad (v)$$

Trong đó: -  $B (T)$  là từ cảm của nam châm  $N-S$   
 -  $l (m)$  là chiều dài của thanh dẫn  
 -  $v (m/s)$  là vận tốc dài của thanh dẫn

Tại thời điểm trên hình 2.6 thanh dẫn  $ab$  nằm dưới cực  $N$  nên s.đ.đ có chiều hướng từ  $b$  đến  $a$ , thanh dẫn  $cd$  nằm dưới cực  $S$  có s.đ.đ chiều hướng từ  $d$  đến  $c$ . Lúc này dòng điện chạy trong mạch ngoài hướng từ chổi  $A (+)$  đến chổi  $B (-)$ . Khi khung dây quay được  $1/2$  vòng, thanh dẫn  $cd$  lúc này nằm dưới cực  $N$  nên chiều s.đ.đ và dòng điện hướng từ  $c$  đến  $d$ , còn trong thanh dẫn  $ab$  nằm dưới cực  $S$  và chiều  $e$  hướng từ  $a$  đến  $b$ . Như vậy ở mạch ngoài chổi  $A$  vẫn có dấu  $(+)$  và chổi  $B$  vẫn mang dấu  $(-)$ .

Như vậy mặc dầu chiều của s.đ.đ và dòng điện trong thanh dẫn thay đổi nhưng chiều của chúng ở mạch ngoài là không đổi. Chổi  $A$  luôn  $(+)$  và chổi  $B$  luôn  $(-)$ .

Sức điện động và dòng điện mạch ngoài như hình 2.6b.

Để có s.đ.đ lấy ra lớn và ít đập mạch ta bố trí nhiều khung dây nối tiếp và lệch nhau 1 góc nào đó (dây quấn phân ứng).

Trên đây là nguyên lý làm việc cơ bản của máy phát điện.

Nếu ta cho dòng điện 1 chiều chạy vào chổi  $A (+)$  và chạy ra ở chổi  $B (-)$  thì dòng điện trong thanh dẫn dưới cực  $N$  luôn hướng từ trước ra sau, và dòng điện trong thanh dẫn dưới cực  $S$  luôn hướng từ sau ra trước vì vậy lực (mômen) điện từ do chúng sinh ra sẽ có chiều không đổi nên nó làm cho khung dây quay với một chiều không đổi. Đó là nguyên lý làm việc của động cơ điện 1 chiều.

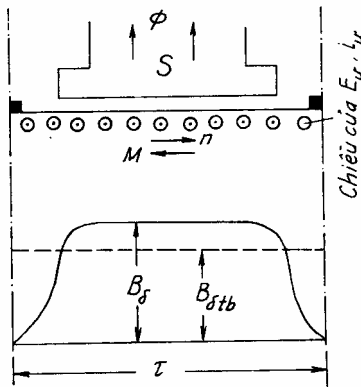
## Chương 8. QUÁ TRÌNH ĐIỆN TỪ TRONG MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

### 8.1 Sức điện động, mômen và công suất điện từ.

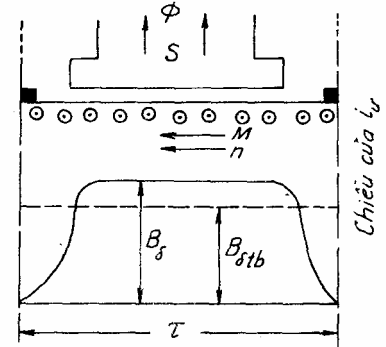
Giả sử chiều của  $\phi_\delta$  như hình 4.1, khi cho phần ứng quay với tốc độ  $n$ , giả sử theo chiều kim đồng hồ. Từ thông  $\phi_\delta$  quét qua dây quấn phần ứng và cảm ứng lên trong thanh dẫn s.đ.đ:

$$e_{td} = B_{tb} \cdot l \cdot v \quad 4.1$$

Trong đó:



Hình 4.1 S.đ.đ và mô men điện từ  
Trong máy phát điện 1 chiều



Hình 4.2 Mô men điện từ trong  
động cơ điện 1 chiều

$$v = \frac{\pi D n}{60} = 2 \tau p \frac{n}{60} \quad \text{và} \quad B_{tb} = \frac{\phi_\delta}{\tau l} \quad 4.2$$

$$\text{Vậy} \quad e_{td} = 2 p \phi_\delta \cdot \frac{n}{60} \quad 4.3$$

Nếu gọi  $N$  là tổng số thanh dẫn thì số thanh dẫn trong một nhánh song song là  $N/2a$ . Như vậy s.đ.đ của dây quấn phần ứng sẽ là:

$$E_u = \frac{N}{2a} e_{td} = \frac{pN}{60a} \phi_\delta n = C_e \phi_\delta n \quad (\text{V}) \quad \text{và} \quad E_u = C_e \phi_\delta n \quad 4.4$$

Trong đó:  $\phi_\delta$  tính bằng (Wb);  $n$  (vg/ph);  $C_e = pN/60a$  là hệ số S.đ.đ.

Khi trong thanh dẫn có dòng điện  $i_u$  với chiều như hình 4.1 và 4.2, thì thanh dẫn sẽ chịu một lực điện từ tác động, chiều xác định theo quy tắc bàn tay trái, độ lớn:

$$f_{dt} = B_{tb} \cdot l \cdot i_u, \quad \text{với} \quad i_u = I_u/2a \quad \text{thì} \quad f_{dt} = B_{tb} \cdot l \cdot I_u/2a \quad 4.5$$

$$\text{và} \quad M = N f D / 2 \quad \text{với} \quad D = 2 p \tau / \pi \quad \text{và} \quad B_{tb} = \phi_\delta / \tau l \quad 4.6$$

$$\text{Ta có:} \quad M = C_M \phi_\delta I_u \quad (\text{N.m}) \quad 4.7$$

Trong đó  $C_M = pN/2 \pi a$  là hệ số mômen

$$\text{Hoặc } M = \frac{1}{9,81} C_M \cdot \phi_\delta \cdot I_u \text{ (kg.m)} \quad 4.8$$

Trong chế độ máy phát  $M$  ngược chiều  $n$ ;  $E_u$  cùng chiều  $i_u$ . Chế độ động cơ ngược lại.  
- Công suất điện từ.

Đây là công suất ứng với  $M$  lấy vào ở chế độ máy phát và đưa ra ở chế độ động cơ.

$$P_{dt} = M \cdot \omega \text{ với } \omega = \frac{2\pi n}{60} \text{ là tốc độ góc của phân ứng.}$$

$$P_{dt} = \frac{2\pi n}{60} \cdot \frac{pN}{2\pi a} \phi_\delta \cdot I_u = \frac{pN}{60a} \phi_\delta \cdot n \cdot I_u = E_u I_u \text{ với } E_u = \frac{pN}{60a} \phi_\delta n$$

$$\text{Vậy } P_{dt} = E_u I_u \quad 4.9$$

Chế độ máy phát: Đầu vào c/s cơ  $P = M \cdot \omega$ ; Đầu ra c/s điện  $P = E_u I_u$

Chế độ động cơ: Đầu vào c/s điện  $P = E_u I_u$ ; Đầu ra c/s cơ  $P = M \cdot \omega$

## 8.2 Quá trình năng lượng và các phương trình cân bằng.

### 1. Tổn hao trong máy điện 1 chiều.

#### a) Tổn hao cơ ( $p_{cơ}$ )

Đây là tổn hao do ma sát ổ bi, chổi than và vành góp; tổn hao thông gió làm mát.  $p_{cơ}$  tỷ lệ với  $n$  và hiệu suất ổ bi,...

#### b) Tổn hao sắt ( $p_{fe}$ )

Nguyên nhân do từ trễ và dòng điện xoáy  $p_{fe} \sim f^{1,2-1,6}$  và  $B^2$

Tổn hao không tải:

$$P_0 = p_{cơ} + p_{fe} \text{ ta có } M_0 = p_0 / \omega$$

#### c) Tổn hao đồng ( $p_{cu}$ ):

Bao gồm:  $p_{cu,u}$  và  $p_{cu,t}$

$$p_{cu,u} = I_u^2 \cdot R_u \quad \text{với } R_u = r_u + r_f + r_{tx}$$

$$p_{cu,t} = U_r \cdot i_t$$

#### d) Tổn hao phụ ( $p_f$ )

Tổn hao phụ trong đồng và thép ( $p_f = 1\% P_{dm}$ )

## 2. Quá trình năng lượng và các phương trình cân bằng.

### a) Máy phát điện.

Gọi  $P_1$  là c/s cơ đưa vào đầu trục của máy phát, để biến thành c/s điện từ nó phải mất đi các tổn hao  $p_{cơ}$  và  $p_{fe}$ .

$$P_{dt} = P_1 - (p_{cơ} + p_{fe}) = P_1 - p_0 = E_u I_u$$

$$\text{Vậy } P_{dt} = P_1 - p_0 \text{ hay } M \cdot \omega = M_1 \cdot \omega - M_0 \cdot \omega$$

Hay ta có phương trình cân bằng mômen:  $M = M_1 - M_0$  4.10

Công suất điện đưa ra bé hơn công suất điện từ một lượng tổn hao trên  $R_u$

$$P_2 = P_{đt} - p_{cu.u} = E_u I_u - I_u^2 \cdot R_u = U \cdot I_u$$

Vậy ta được phương trình điện áp:

$$U = E_u - I_u \cdot R_u \quad 4.11$$

b) *Động cơ điện.*

Công suất lấy vào là c/s điện, c/s đưa ra là c/s cơ.

$$P_1 = P_{đt} + p_{cu.u} = E_u I_u + I_u^2 \cdot R_u = U \cdot I_u$$

Ta có pt cân bằng điện áp:

$$U = E_u + I_u \cdot R_u \quad 4.12$$

Công suất cơ đưa ra đầu trục bé hơn c/s điện lượng tổn hao không tải.

$$P_2 = P_{đt} - p_0 \text{ hay } P_{đt} = P_2 + p_0$$

$$\text{hoặc } M\omega = M_2\omega + M_0\omega$$

Ta có phương trình cân bằng mômen:

$$M = M_2 + M_0 \quad 4.13$$

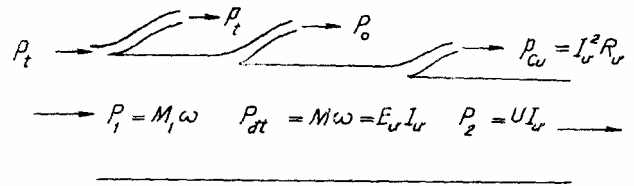
Từ sự phân tích trên ta vẽ được giản đồ năng lượng:

#### 4. Tính chất thuận nghịch của máy điện một chiều

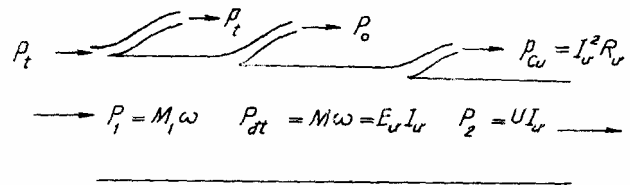
Giả sử máy đang làm việc chế độ máy phát với

$$I_u = \frac{E_u - U}{R_u} > 0$$

$E_u > U$  và  $M$  là mômen hãm. Nếu giảm  $I_t$  thì  $\phi_t$  giảm xuống, dẫn tới  $E_u$  giảm xuống, cho tới khi  $E_u < U$  thì  $I_u$  đổi dấu, máy chuyển sang chế độ động cơ.



Hình 4.3 Giản đồ năng lượng chế độ máy



Hình 4.4 Giản đồ năng lượng chế độ động

## Chương 9.

## ĐỔI CHIỀU DÒNG ĐIỆN TRONG M.Đ.1.C

### 9.1 Đại cương

Đổi chiều là toàn bộ các hiện tượng xảy ra của dòng điện trong phần tử dây quấn phân ứng, khi nó dịch chuyển từ vị trí bị chổi than nối ngắn mạch qua ranh giới tiếp theo. Xét 1 dây quấn xếp đơn giản, hình 5.1

Khi  $t = 0$ , Chổi than phủ hoàn toàn lên phiến 1. Lúc đó nếu dòng điện chạy trong phần tử b là  $(+ i_u)$ , thì tại thời điểm  $t = T_{dc}$  Chổi than rời khỏi phiến 1 và phủ hoàn toàn lên phiến 2, lúc này phần tử (b) đã chuyển sang một nhánh khác và dòng điện trong nó đổi chiều  $(- i_u)$ .

Vị trí trung gian khi  $0 < t < T_{dc}$  phần tử (b) bị nối ngắn mạch, dòng điện chạy trong phần tử (b) lúc này biến thiên theo những quy luật rất phức tạp, phụ thuộc vào quá trình quá độ trong phần tử (b) và các phần tử cùng đổi chiều ở các nhánh khác.

Thường  $T_{dc} < 0,001$  (s) nên  $f_{dc} = 1000 - 3000$  (Hz).

### 5.2 Quá trình đổi chiều.

Viết phương trình định luật K1 và K2 cho nút (1), (2) và mạch vòng của phần tử (b) ta có:

$$i_u + i - i_1 = 0 \quad 5.1$$

$$i_u - i - i_2 = 0 \quad 5.2$$

$$r_{pt}.i + (r_d + r_{tx1}).i_1 - (r_d + r_{tx2}).i_2 = \sum e \quad 5.3$$

Trong đó:

$i$  là dòng điện chạy trong phần tử (b) bị nối ngắn mạch;

$i_1$  và  $i_2$  là dòng điện chạy trong dây nối với phiến đổi chiều 1 và 2;

$r_{pt}$  là điện trở của phần tử dây quấn;

$r_d$  là điện trở dây nối;

$r_{tx1}$  và  $r_{tx2}$  là điện trở tiếp xúc giữa chổi than với phiến 1 và 2;

$\sum e$  là tổng các s.đ.đ cảm ứng được trong phần tử đổi chiều (b), nó gồm:

a) S.đ.đ tự cảm  $e_L$ , do sự biến thiên của dòng điện trong phần tử đổi chiều sinh ra.

b) S.đ.đ hổ cảm  $e_M$ , do các dòng điện đổi chiều trong các phần tử khác hổ cảm qua.

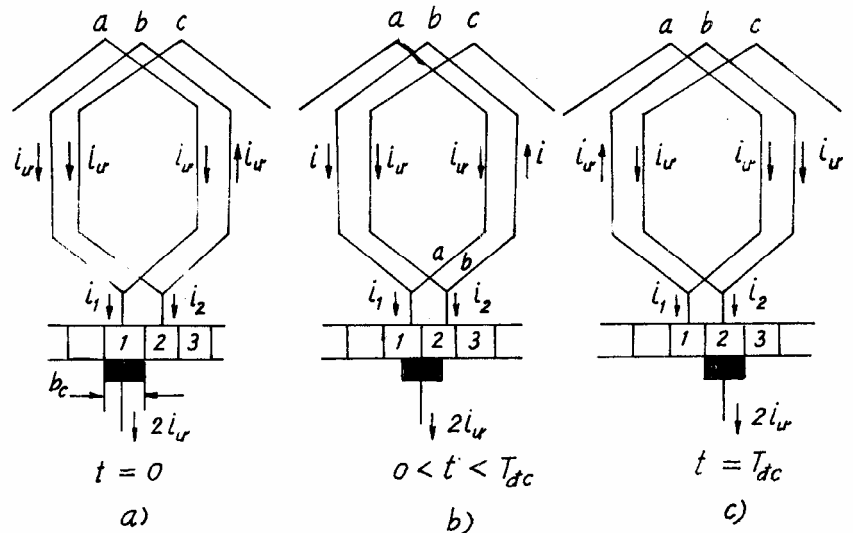
c) S.đ.đ đổi chiều  $e_{dc}$ , do phần tử đổi chiều chuyển động trong vùng trung tính hình học

có  $B \neq 0$ .

$$\text{Vậy } \sum e = e_L + e_M + e_{dc} = e_{pk} + e_{dc}.$$

5.4

Giải 3 phương trình trên, khi bỏ qua  $r_{pt}$  và  $r_d$  (vì chúng rất bé), ta được:



Hình 5.1 Quá trình đổi chiều trong dây quấn



$$i = \frac{r_{tx2} - r_{tx1}}{r_{tx1} + r_{tx2}} \cdot j_u + \frac{\sum e}{r_{tx1} + r_{tx2}} \quad 5.5$$

Giả thiết  $r_{tx1}$  và  $r_{tx2}$  tỷ lệ nghịch với bề mặt tiếp xúc  $S_{tx1}$  và  $S_{tx2}$  giữa chổi than và phiến góp 1 và 2. Nếu coi quá trình đổi chiều từ  $t = 0$  đến  $t = T_{dc}$ , nghĩa là  $b_c = b_G$  thì:

$$S_{tx1} = \frac{T_{dc} - t}{T_{dc}} S \quad \text{và} \quad S_{tx2} = \frac{t}{T_{dc}} S \quad 5.6$$

Trong đó:  $S$  là mặt tiếp xúc toàn phần giữa chổi than và phiến đổi chiều, thì  $r_{tx}$  là điện trở tiếp xúc toàn phần. Từ đây ta có:

$$r_{tx1} = \frac{S}{S_{tx1}} r_{tx} = \frac{T_{dc}}{T_{dc} - t} r_{tx} \quad r_{tx2} = \frac{S}{S_{tx2}} r_{tx} = \frac{T_{dc}}{t} r_{tx} \quad 5.7$$

Thay các giá trị trên vào (4) ta có:

$$i = \left(1 - \frac{2t}{T_{dc}}\right) \cdot i_u + \frac{\sum e}{r_n} \quad \text{với} \quad r_n = r_{tx} \cdot \frac{T_{dc}^2}{t(T_{dc} - t)} \quad 5.8$$

### 1. Đổi chiều đường thẳng.

Nếu  $\sum e = 0$  ta có  $i = \left(1 - \frac{2t}{T_{dc}}\right) \cdot i_u$

Quan hệ giữa  $i = f(t)$  là đường thẳng, trên hình vẽ ta có mật độ dòng điện:

$$\text{Phía ra} \quad j_1 = \frac{i_1}{S_{tx1}} = \frac{T_{dc}}{S} \cdot \frac{i_1}{T_{dc} - t} = \frac{T_{dc}}{S} \cdot \text{tg} \alpha_1$$

$$\text{Phía vào} \quad j_2 = \frac{i_2}{S_{tx2}} = \frac{T_{dc}}{S} \cdot \frac{i_2}{t} = \frac{T_{dc}}{S} \cdot \text{tg} \alpha_2$$

Vì  $\alpha_1 = \alpha_2$  nên  $j_1 = j_2$  nghĩa là mật độ dòng điện ở phía phiến góp đi ra bằng phía phiến góp đi vào, điều này rất thuận lợi cho quá trình đổi chiều.

### 2. Đổi chiều đường cong.

Thực tế  $\sum e \neq 0$ , nên ngoài dòng điện ở trên còn có dòng điện phụ:

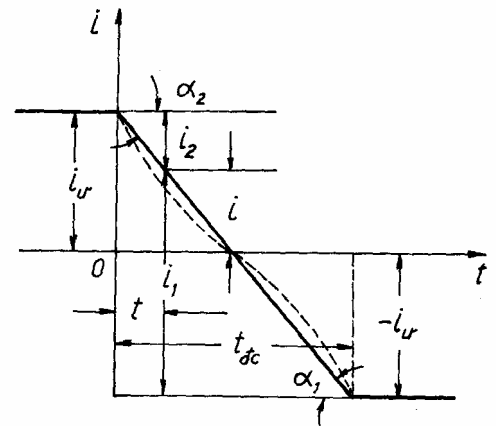
$$i_f = \frac{\sum e}{r_n} \neq 0 \quad 5.9$$

Đường biểu diễn  $r_n$  và  $i_f$  như hình 5.3.

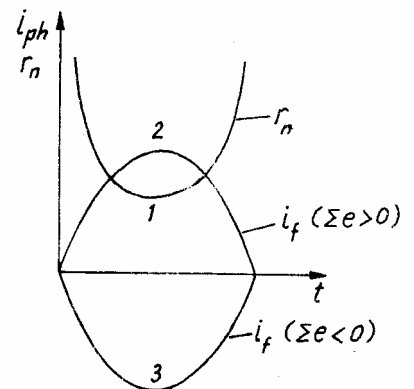
#### a) Đổi chiều trì hoãn ( $\sum e > 0$ )

Lúc này  $i = i_{cb} + i_f$  và dòng điện đổi chiều đi qua giá trị zero chậm hơn đổi chiều đường thẳng ( $a \rightarrow a'$ ), hình

5.4. Khi đổi chiều trì hoãn  $\alpha_1 > \alpha_2$  nên  $j_1 > j_2$  tia lửa xuất hiện ở phía chổi than đi ra. Điều này giống như tia lửa khi ta mở cầu dao có tải.



Hình 5.2 Đổi chiều đường



Hình 5.3 Dòng

b) **Đổi chiều vượt trước**  
( $\Sigma e < 0$ )

Lúc này  $i = i_{cb} - i_f$  và dòng điện đổi chiều đi qua giá trị zéro sớm hơn đổi chiều đường thẳng ( $a \rightarrow a''$ ), hình 5.5. Khi đổi chiều vượt trước  $\alpha_1 < \alpha_2$  nên  $j_1 < j_2$  tia lửa xuất hiện ở phía chổi than đi vào. Điều này giống như tia lửa khi ta đóng cầu dao có tải.

**9.3 Nguyên nhân sinh tia lửa và biện pháp khắc phục.**

**1. Nguyên nhân.**

a) *Nguyên nhân về cơ*

- Vành góp không đồng tâm với trục
- Sự cân bằng phần quay không tốt gây dao động hướng kính
- Cổ góp không tròn, lực ép chổi than không đủ.

b) *Nguyên nhân về điện*

- Sức điện động đổi chiều không triệt tiêu được s.đ.đ phản kháng  $\Sigma e \neq 0$
- Sự phân bố không đều của mật độ dòng điện trên bề mặt tiếp xúc
- Tác dụng nhiệt, hóa...

**2. Biện pháp khắc phục.**

a) *Giải quyết các tồn tại cơ khí*

a) *Bố trí cực từ phụ.*

Sức từ động của cực từ phụ  $F_f$  ngoài việc phải cân bằng được  $F_{uq}$  còn phải tạo nên được  $e_{dc}$  đủ lớn làm triệt tiêu  $e_{pk}$ .

c) *Xê dịch chổi than khỏi đường trung tính hình học*

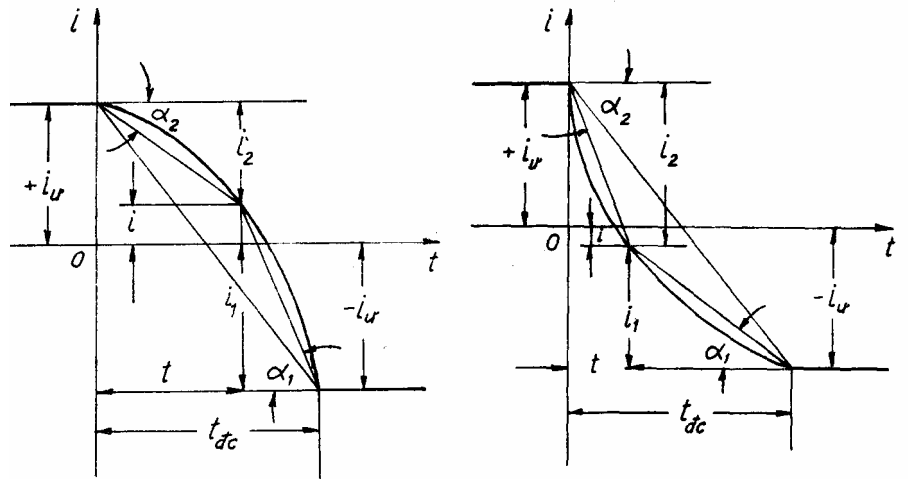
Những máy nhỏ không bố trí cực từ phụ, để cải thiện đổi chiều ta có thể xô dịch chổi than khỏi đường trung tính hình học.

Trường hợp máy phát ta xô dịch chổi than theo chiều quay một góc  $\beta = \alpha + \gamma$

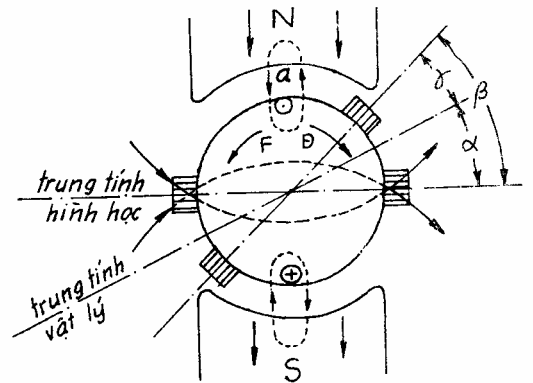
Trong đó: ứng với góc  $\alpha$  là đường trung tính vật lý, thêm một góc  $\gamma$  để tạo nên s.đ.đ đổi chiều đủ triệt tiêu s.đ.đ phản kháng  $e_{pk}$ . Hình 5.6

d) *Dây quấn bù.*

Tạo nên từ trường làm triệt tiêu từ trường phản ứng dưới bề mặt cực từ nhờ vậy mà từ trường khe hở sẽ phân bố đều đặn, thuận lợi cho quá trình đổi chiều.



Hình 5.4 Đổi chiều trì hoãn Hình 5.5 Đổi chiều



Hình 5.6 Xô dịch chổi than để

10.1 Đại cương.

1. Máy phát điện 1 chiều kích thích độc lập

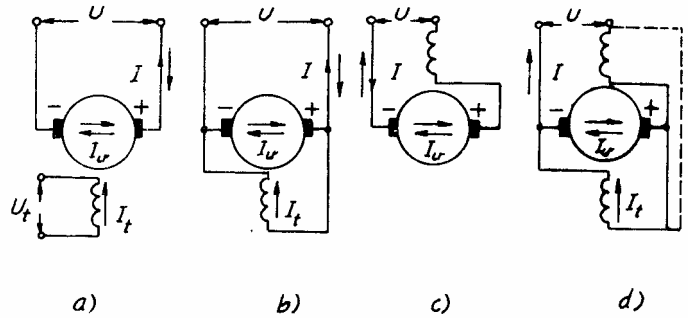
Gồm: máy phát 1 chiều kích thích bằng nam châm vĩnh cửu, chế tạo với công suất rất bé. Máy phát điện 1 chiều kích thích điện từ, nguồn kích thích chủ yếu lấy từ ắc quy, công suất lớn, điều chỉnh điện áp dễ dàng và dải rộng, hình 6.1a.

2. Máy phát điện 1 chiều tự kích thích.

- MF1C kích thích song song, hình 6.1b. Mạch kích thích nối song song với mạch phần ứng. Dq kích thích có số vòng dây nhiều, tiết diện dây bé.

- MF1C kích thích nối tiếp, hình 6.1c. Dq kích thích nối nối tiếp với dq phần ứng. Dq kích thích có số vòng dây ít, tiết diện dây lớn.

- MF1C kích thích hỗn hợp, hình 6.1d.



Hình 6.1 Nguyên lý kích thích của các loại

10.2 Các đặc tính của máy phát điện 1 chiều.

Máy phát điện 1 chiều có 4 đại lượng đặc trưng là:  $U$ ,  $I_w$ ,  $I_t$  và  $n$ . Trong đó  $n$  thường được giữ không đổi còn lại 3 đại lượng xác định cho ta 5 đường đặc tính.

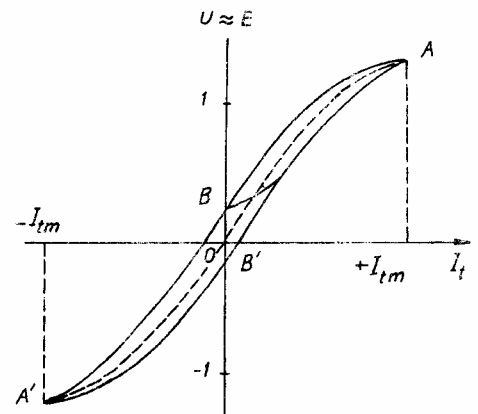
- |                        |                    |                                  |
|------------------------|--------------------|----------------------------------|
| 1) Đặc tính không tải  | $U_0 = E = f(I_t)$ | khi $I = 0, n = C^{te}$ ;        |
| 2) Đặc tính ngắn mạch  | $I_n = f(I_t)$     | khi $U = 0, n = C^{te}$ ;        |
| 3) Đặc tính ngoài      | $U = f(I)$         | khi $I_t = C^{te}; n = C^{te}$ ; |
| 4) Đặc tính điều chỉnh | $I = f(I_t)$       | khi $U = C^{te}, n = C^{te}$ ;   |
| 5) Đặc tính tải        | $U = f(I_t)$       | khi $I = C^{te}, n = C^{te}$ ;   |

Trong 5 đặc tính trên thì đặc tính không tải là trường hợp đặc biệt của đặc tính tải, khi  $I = 0$ ; Đặc tính ngắn mạch là trường hợp đặc biệt của đặc tính điều chỉnh khi  $U = 0$ .

Đặc tính không tải và ngắn mạch của các loại máy phát 1 chiều cơ bản giống nhau, nên ta xét chung. Các đặc tính khác ta xét riêng cho từng loại máy.

a) Đặc tính không tải

Để lấy đặc tính không tải ta làm thí nghiệm không tải. Lúc đó cầu dao nối với tải bên ngoài để hở, cho máy quay lên đến tốc độ  $n = n_{dm} = const$ . Tăng dần dòng kích từ  $I_t$  từ 0 đến  $I_{tm}$  lúc đó điện áp đầu cực máy đạt khoảng  $U = (1,15 - 1,25)U_{dm}$ . Giảm  $I_t$  cho đến lúc  $U = 0$ . Với máy kích từ độc lập đổi chiều dòng điện kích từ lại tăng và giảm theo chiều (-) ta được toàn bộ chủ trình từ trễ  $BABA'B'A$  như hình 6.2.



Hình 6.2 Đặc tính không tải của

Đoạn  $OB$  là s.d.đ  $E_{du} = (2 - 3)\%U_{dm}$  ứng với  $I_t = 0$  là do từ dư gây nên. Đường trung bình của chu trình từ trễ là đặc tính không tải của máy. Đây cũng chính là đặc tính từ hóa đã xác định ở phần tính toán từ trường không tải.

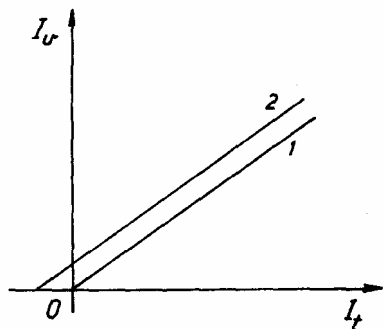
b) Đặc tính ngắn mạch

$$I_n = f(I_t), \text{ khi } U = 0, n = C^{te};$$

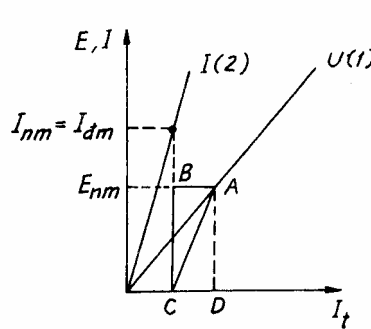
Để có đặc tính ngắn mạch tất cả các loại máy phát đều phải được kích từ độc lập. Nối ngắn mạch các chổi than, quay máy lên tốc độ  $n = n_{dm}$ , điều chỉnh  $I_t$  ta được các giá trị  $I$  tương ứng. Khi ngắn mạch,  $E_u = R_u I_u$  vì  $R_u$  rất bé nên để  $I_u = (1,25 - 1,5)I_{dm}$  thì  $I_t$  rất bé nên mạch từ không bão hòa do vậy quan hệ  $I_u = f(I_t)$  là đường thẳng. Đường 1 máy chưa khử từ; đường 2 máy đã khử từ.

c) Tam giác đặc tính.

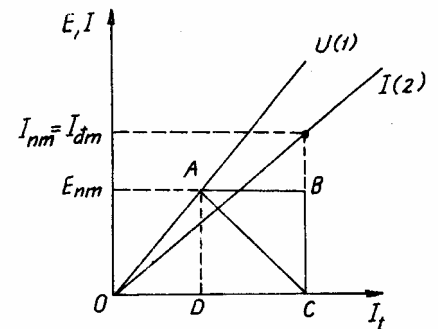
Trên cùng 1 trục tọa độ vẽ các đường đặc tính không tải (1) và đặc tính ngắn mạch (2), hình 6.4. Từ  $I_{nm} = I_{dm}$  chiếu sang (2) và chiếu xuống trục  $I_t$ , ta được  $I_t = OC$ . Dòng  $I_t$  này



Hình 6.3 Đặc tính ngắn



Hình 6.4 Dụng tam giác đặc tính: a) khi phản ứng phần



gồm 2 phần:  $OD$  để sinh ra  $E_{nm} = AD = BC$ , phần còn lại  $DC = AB$  để khắc phục phản ứng phần ứng lúc ngắn mạch. Tam giác  $ABC$  có cạnh  $AB$  và  $BC$  đều tỷ lệ với  $I$  gọi là tam giác đặc tính hình 6.4a. Với máy kích thích hỗn hợp dây quấn kích thích nối tiếp được nối thuận, bù thừa thì cạnh  $AB$  nằm bên phải cạnh  $BC$ , hình 6.4b.

1. Máy phát điện 1 chiều kích từ độc lập.

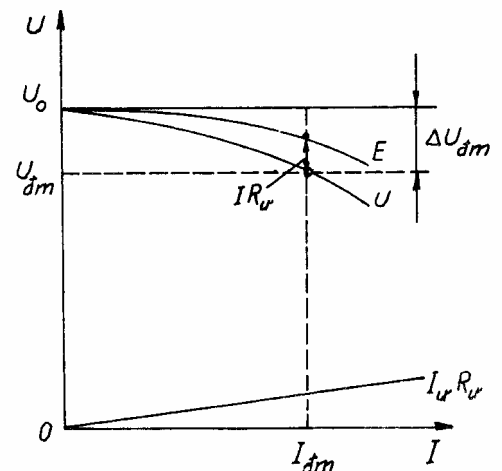
a) Đặc tính ngoài  $U=f(I)$  khi  $I_t=C^{te}$ ,  $n=C^{te}$ .

Theo phương trình điện áp máy phát điện 1 chiều  $U = E - R_u I_u$  nên khi  $I$  tăng,  $R_u I_u$  tăng và phản ứng phần ứng tăng, nên  $E$  giảm xuống, cuối cùng là  $U$  giảm xuống.

$$\Delta U_{dm} \% = \frac{U_0 - U_{dm}}{U_{dm}} 100 = (5 - 10)\%$$

- Xây dựng đặc tính ngoài bằng phương pháp vẽ:

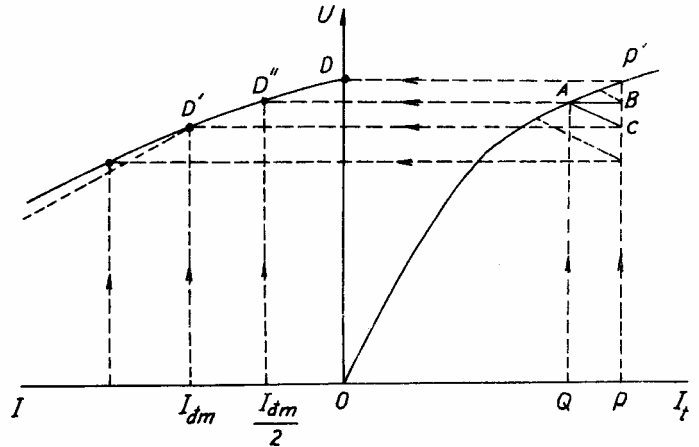
Trên hệ trục tọa độ  $UOI_t$  vẽ đặc tính  $U = f(I_t)$ . Trên trục  $I_t$  lấy  $I_t = OP = C^{te}$ , đặt tam giác đặc tính  $ABC$  có các cạnh  $AB$  và  $BC$  tỷ lệ với  $I_{dm}$ , sao cho đỉnh  $A$  nằm trên đặc tính không tải, cạnh  $BC$  nằm trên



Hình 6.5 Đặc tính ngoài máy phát

đường  $PP'$  thì đoạn  $PC = U$  khi  $I = I_{dm}$ . Dóng sang hệ trục  $UOI$  ta được điểm  $D'$  của đặc tính ngoài. Từ đây ta tìm tiếp được các điểm  $D''$ .. khác, hình 6.6.

Chứng minh: Khi không tải  $I = 0$ , dòng kích từ  $I_t = OP$  để sinh ra  $E = U_0 = PP' = OD$ . Khi tải định mức  $I = I_{dm}$ , dòng kích từ chỉ còn lại phần  $I_{t0} = OQ$  vì nó đã mất đi phần  $QP = AB$  để khắc phục phản ứng phần ứng. Như vậy s.đ.đ cảm ứng được trong dq phần ứng bây giờ là  $E_u = QA = PB$ . Điện áp trên đầu cực sẽ là  $U = E_u - R_u I_u = PB - BC = PC$ .

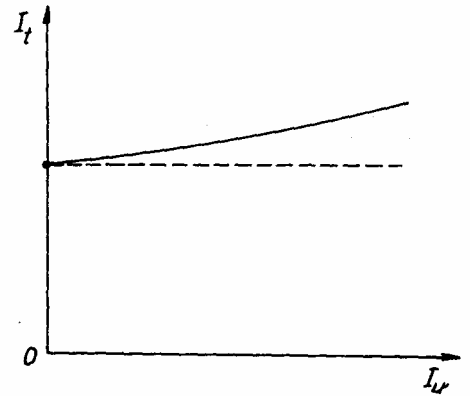


Hình 6.6 Đặc tính ngoài xây dựng theo phương

Thực tế do mạch từ có bảo hòa nên đường đặc tính ngoài thực nghiệm là đường đứt nét, nằm dưới.

b) Đặc tính điều chỉnh  $I_t = f(I)$  khi  $U = C^{te}$ ,  $n = C^{te}$ .

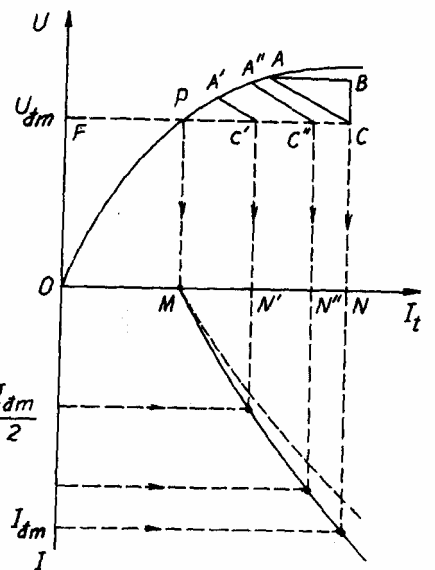
Đặc tính điều chỉnh cho biết hướng cần phải điều chỉnh  $I_t$  như thế nào để giữ cho  $U = C^{te}$ . Thường từ không tải đến tải  $I_{dm}$  để giữ  $U = U_{dm}$  dòng  $I_t$  phải tăng từ (15-25)%, hình 6.7.



Hình 6.7 Đặc tính điều

Xây dựng đặc tính điều chỉnh bằng phương pháp vẽ:

Vẽ đặc tính không tải, trên trục  $OU$  lấy  $U = U_{dm} = OF$ . Kẻ đường  $FD$  song song với trục hoành, cắt đặc tính không tải tại điểm  $M$ . Từ  $M$  hạ vuông góc với trục hoành xác định được điểm  $M'$  ứng với dòng kích từ  $I_{t0}$  khi không tải  $I = 0$ . Trên đường  $FD$  ta đặt tam giác đặc tính ứng với  $I = I_{dm}$ , sao cho đỉnh  $A$  nằm trên đặc tính không tải, đỉnh  $C$  nằm trên đường  $FD$  và  $BC \parallel OU$ . Từ điểm  $C$  ta xác định được điểm  $N$ , thì  $ON = I_{tdm}$ , ứng với  $I_{dm}$ .



Hình 6.8 Dựng tam giác

Cứ làm như vậy ta xây dựng được đặc tính điều chỉnh, hình 6.8.

Đường đặc tính điều chỉnh thực nghiệm là đường đứt nét do có ảnh hưởng của bảo hòa.

## 2. Máy phát điện 1 chiều kích từ song song.

a) Điều kiện tự kích thích.

Từ đường đặc tính không tải ta thấy, khi máy điện 1 chiều ngừng hoạt động, trong lõi thép cực từ chính, gông từ vẫn còn một lượng từ thông dư. Khi quay máy đến tốc độ định mức  $n = n_{dm}$ , ban đầu  $I_t = 0$ , lúc này đầu cực của máy phát vẫn có một điện áp do  $\phi_{dư}$  cảm ứng nên,  $U = E_{dư} = (2-3)\% U_{dm}$ . Nếu mạch kích từ được nối kín trong nó sẽ

có dòng điện kích từ  $I_{t0}$  chạy qua. Dòng  $I_{t0}$  sinh ra từ thông kích từ đầu tiên  $\phi_{dur}$ . Nếu  $\phi_{t0}$  cùng chiều với  $\phi_{dur}$  thì điện áp đầu cực của máy phát sẽ tăng trưởng, quá trình thành lập điện áp sẽ được thiết lập. Nếu  $\phi_{t0}$  ngược chiều với  $\phi_{dur}$  chúng sẽ triệt tiêu nhau và máy không tự kích được.

Điện áp xác lập đầu cực máy phát là giao điểm của đường đặc tính từ hóa của mạch từ và đường đặc tính Vol-Ampe của mạch kích thích, hình 6.9. Từ đó ta có  $tg\alpha = U/I_t = R_t$ . Nếu  $R_t$  quá lớn thì điện áp sẽ xác lập tại điểm ứng với  $E_{dur}$ .

Vậy điều kiện để máy tự kích là:

- Máy phải có từ dư
- Chiều quay của máy phải phù hợp để  $\phi_{t0}$  cùng chiều với  $\phi_{dur}$
- $R_t$  đủ nhỏ để  $U$  đạt giá trị yêu cầu.

b) Đặc tính ngoài  $U=f(I)$  khi  $R_t=C^{te}$ ,  $n=C^{te}$ .

Dạng của đặc tính ngoài như hình 6.10, đường 1 của máy phát kích thích song song, đường 2 của máy kích thích độc lập. Ta thấy đường 1 dốc hơn đường 2 đó là vì, với máy phát kích thích song song, khi tải tăng ( $I$  tăng), ngoài 2 nguyên nhân là cho điện áp đầu cực giảm xuống là:

- Sụt áp trên  $R_t I$  tăng
- Phản ứng phân ứng tăng làm  $E$  giảm

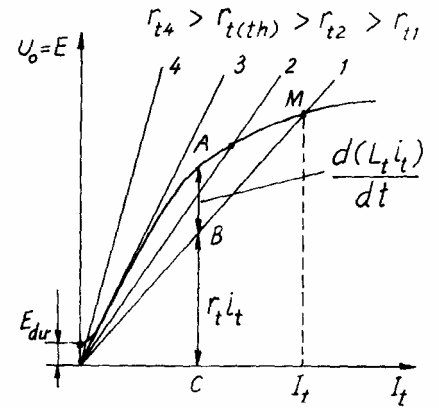
Nó còn nguyên nhân thứ 3 là khi  $U$  giảm thì  $I_t = U/R_t$  sẽ giảm, dẫn tới  $\phi_t$  giảm và  $E$  giảm nhiều.

Từ đường đặc tính ta thấy khi tải tăng đến một giá trị tới hạn  $I_{th}$  ứng với điểm  $K$  thì sau đó điện áp tụt nhanh về zéro, với dòng điện ngắn mạch xác lập  $I_0$  ứng với  $E_{dur}$ . Điểm  $K$  là điểm ứng với điểm chớm bão hòa trên đường đặc tính không tải, sau đó là phần tuyến tính nên điện áp sẽ giảm nhanh.

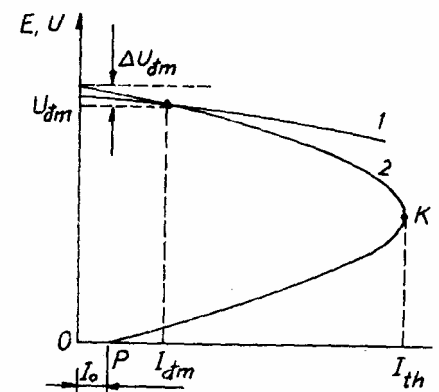
Đặc tính ngoài của máy phát kích thích song song xây dựng theo phương pháp vẽ như trên hình 6.11. Vì ở máy phát kích thích song song  $I_t$  phụ thuộc vào  $U$  nên đường  $U = R_t I_t$  là đường  $OP$  đi qua gốc tọa độ.

b) Đặc tính điều chỉnh  $I_t = f(I)$  khi  $U=C^{te}$ ,  $n = C^{te}$ .

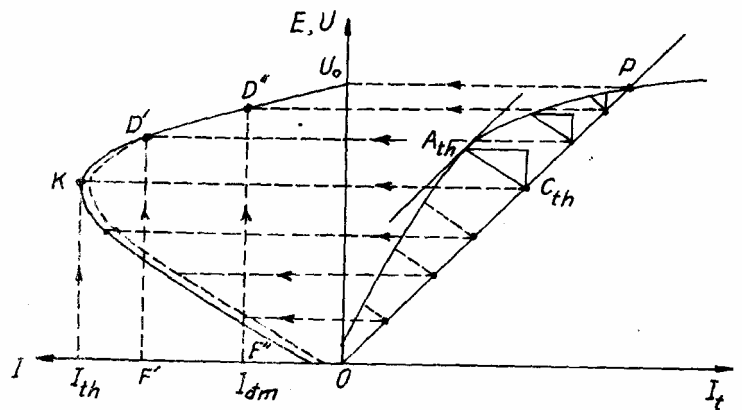
Vì việc điều chỉnh dòng điện  $I_t$  không phụ thuộc nguồn kích từ lấy từ đâu nên đường đặc tính điều chỉnh của máy phát kích thích song song cũng giống như máy phát kích thích nối tiếp, tuy nhiên do điện áp của MF kích thích song song thay đổi nhiều hơn nên  $I_t$  phải điều chỉnh nhiều hơn.



Hình 6.9 quá trình



Hình 6.10 Đặc tính



Hình 6.11 Đặc tính ngoài xây dựng theo phương

### 3. Máy phát điện 1 chiều kích thích hỗn hợp.

Máy phát điện 1 chiều kích thích hỗn hợp có 2 dây quấn kích thích là song song và nối tiếp. Tùy theo cách nối dây quấn nối tiếp mà từ trường kích thích của 2 dây quấn có thể cùng chiều (nối thuận) hoặc ngược chiều (nối ngược). Nối ngược chỉ dùng cho máy phát hàn điện 1 chiều.

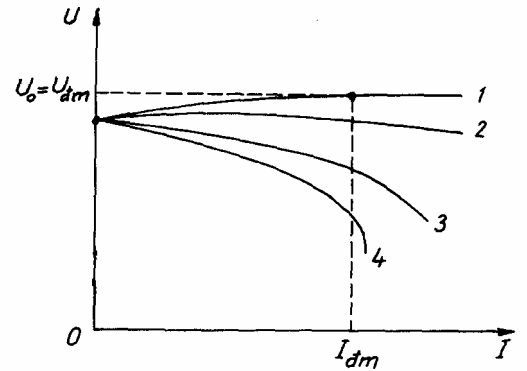
a) Đặc tính ngoài  $U = f(I)$  khi  $n = C^{te}$

Cuộn dây kích từ nối tiếp có thể nối thuận hoặc nối ngược, nên dạng các đặc tính ngoài như hình 6.12. Đường 1, nối thuận, bù thừa; đường 2, nối thuận, bù đủ; đường 3, kích thích song song; đường 4, nối ngược

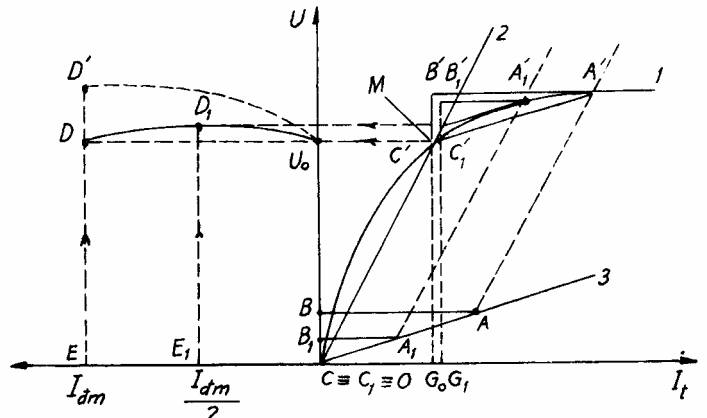
Phương pháp dựng đặc tính ngoài từ đặc tính không tải và tam giác đặc tính tương tự như máy phát kích thích song song. Trên hình 6.13, đường (1) là đặc tính không tải, đường (2) là là quan hệ  $U = r_t I_t$ , đường (3) là điện áp rơi trên  $R_a I_a$ . Giao điểm của đường (1) và (2) là điểm  $M$  ứng với  $I_a = 0$  dóng sang trục tung ta được  $U_0$ , điện áp lúc không tải. Tam giác  $ABC$  ứng với  $I_{dm}$  và trường hợp bù thừa. Cho  $ABC$  tịnh tiến theo đường thẳng 2, sao cho  $A'$  nằm trên đường (1),  $C'$  nằm trên đường (2) thì  $G_0 C' = U_{dm}$ , dóng sang bên trái cắt đường  $I_{dm}$  cho ta điểm  $D$  là điểm của đặc tính ngoài ứng với  $I_{dm}$ . Làm tương tự với tam giác  $A_1 B_1 C_1$  ứng với  $I_{dm}/2$  ta được điểm  $D_1$ . Nối các điểm  $U_0, D_1, D$  ta được đặc tính ngoài. Khi cần bù điện áp trên đường dây tải ta tăng dòng kích từ nối tiếp và đặc tính ngoài là đường đứt nét (ứng với điểm  $D'$ )

b) Đặc tính điều chỉnh  $I_t = f(I)$  khi  $U = C^{te}$ ,  $n = C^{te}$ .

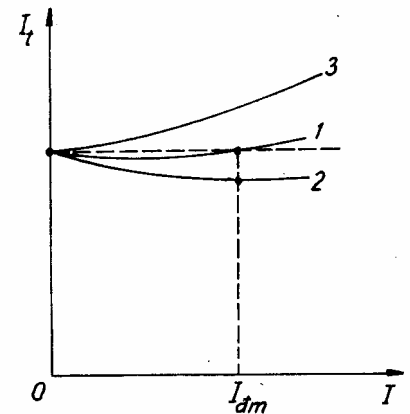
Đặc tính điều chỉnh của máy kích từ hỗn hợp như hình 6.14 với đường 1, nối thuận, bù đủ; đường 2, nối thuận, bù thừa; đường 3, nối ngược



Hình 6.12 Đặc tính ngoài MF-



Hình 6.13 Đặc tính ngoài theo phương



Hình 6.14 Đặc tính điều chỉnh máy PĐ1C kích

### 10.3 Máy phát điện một chiều làm việc song song.

#### 1. Điều kiện ghép song song các máy phát.

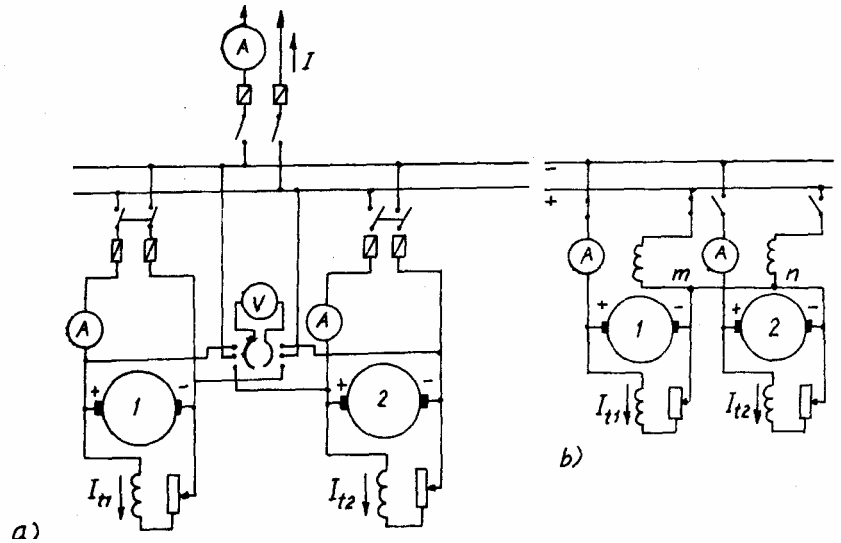
Giả sử máy phát 1 đang phát điện lên thanh cái, ta cần ghép máy phát 2 vào làm việc song song với máy 1, hình 6.15. Để việc ghép được thuận lợi thì phải đảm bảo các điều kiện sau:

1. Cực tính của máy phát phải nối đúng cực tính của thanh cái
2. S.đ.đ của máy phát bằng điện áp của thanh cái ( $E_2 = U$ )
3. Với máy kích từ hỗn hợp cần phải có dây cân bằng điện thế

Điều kiện thứ nhất bắt buộc phải đảm bảo: nếu không khi nối máy 2 vào lưới thì cả hai máy đều bị ngắn mạch.

Điều kiện thứ 2 nếu không đảm bảo: khi ghép máy 2 vào lưới thì hoặc là máy 2 sẽ phải nhận tải đột ngột (nếu  $E_2 > U$ ), hoặc là máy 2 sẽ chuyển sang làm việc theo chế độ động cơ (nếu  $E_2 < U$ ).

Điều kiện thứ 3 nếu không đảm bảo: Máy kích từ hỗn hợp, cuộn kích từ nối tiếp thường được nối thuận. Do đó nếu khi vận hành vì một lý do nào đó giả sử tốc độ của máy 1 tăng lên, lúc đó s.d.đ  $E_1$  tăng lên, thì  $I_1$  tăng lên và  $E_1$  tiếp tục tăng. Cứ như thế cho đến khi máy 1 dành hết tải và bị quá tải, còn máy 2 chuyển sang làm việc ở chế độ động cơ.



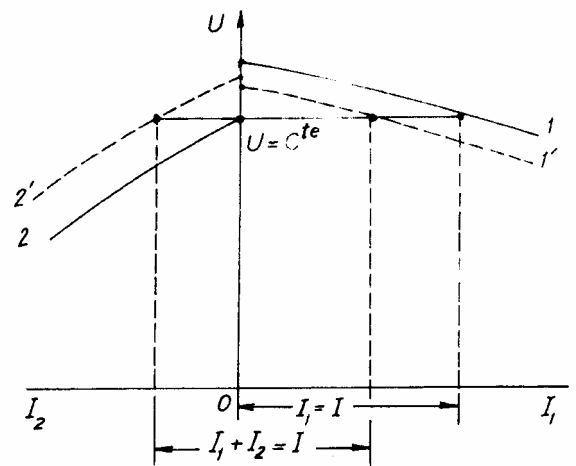
Hình 6.15 Máy phát điện một chiều làm việc

## 2. Phân phối và chuyển tải giữa các máy phát.

Giả sử máy phát 1 đang làm việc với tải  $I$ , có đặc tính ngoài, đường (1) trên hình vẽ. Nếu máy phát 2 có đặc tính ngoài dạng như đường (2), ta cần chuyển tải từ máy 1 qua máy 2, quá trình được tiến hành như sau: Tăng kích từ của máy 2 để đẩy đường (2) lên phía trên, đồng thời giảm kích từ của máy (1) để hạ thấp đường (1) xuống, sao cho  $U = C^{te}$  và  $I = I_1 + I_2$ . Nếu muốn chuyển toàn bộ tải sang máy 2 ta cứ tiến hành như trên, cho đến khi  $E_1 = U$ , thì cắt hẳn máy 1 ra khỏi lưới và máy 2 sẽ mang tải toàn bộ, hình 6.16

Chú ý rằng: Nếu ta giảm  $I_{t1}$  qua nhanh mà  $E_1 < U$  thì máy 1 sẽ chuyển sang làm việc ở chế độ động cơ. Điều này rất nguy hiểm nếu các máy phát được kéo bằng động cơ nhiệt.

Từ hình 6.16 ta nhận thấy rằng muốn sự phân phối tải giữa các máy hợp lý và thuận lợi thì các máy phải có đặc tính ngoài có độ dốc như nhau.



Hình 6.16 Phân phối tải giữa



**11.1 Đại cương**

Động cơ điện 1 chiều được sử dụng nhiều trong giao thông và những nơi cần điều chỉnh tốc độ liên tục trong dải rộng.

Phân loại động cơ 1 chiều cũng như máy phát: kích thích độc lập, song song, nối tiếp và hỗn hợp

**11.2 Mở máy động cơ điện 1 chiều.**

Yêu cầu:

- Mômen mở máy càng lớn càng tốt để dễ dàng thích ứng với tải
- Dòng điện mở máy càng bé càng tốt

Các phương pháp mở máy.

**1. Mở máy trực tiếp**

Theo phương pháp này khi cần mở máy ta chỉ việc đóng thẳng động cơ vào lưới.

Đặc điểm của phương pháp: Tại  $t = 0$ , khi đó  $n = 0$  nên  $E = C_e \phi n = 0$ , dòng điện mở máy lúc đó là:

$$I_{mm} = \frac{U - E}{R_u} = \frac{U}{R_u} \text{ vì } R_u \text{ rất bé, thường } R_{u*} = 0,2 -$$

$0,1$  nên  $I_{mm} = (5-10)I_{dm}$

Phương pháp này chỉ được áp dụng cho các động cơ có công suất bé, vì với các động cơ này  $R_u$  tương đối lớn

**2. Mở máy nhờ biến trở.**

Sơ đồ mở máy như hình 7.1.

Do có biến trở mắc nối tiếp vào mạch phân ứng nên dòng điện mở máy được tính.

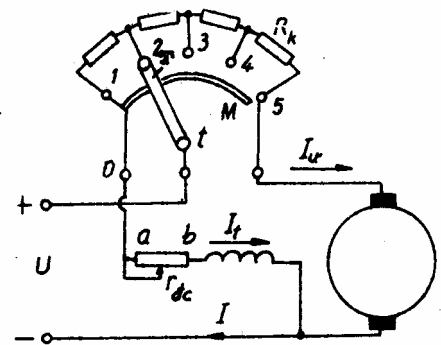
$$I_{mm} = \frac{U - E}{R_u + R_f} = \frac{U}{R_u + R_f}.$$

Điện trở  $R_f$  được chọn sao cho  $I_{mm} = (1,4-1,7)I_{dm}$  đối với động cơ lớn và  $I_{mm} = (2,0-2,5)I_{dm}$  với động cơ bé.

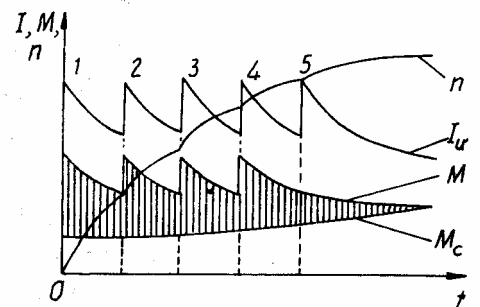
Theo sơ đồ hình 7.1 quá trình mở máy được tiến hành như sau:

Khi  $t < 0$ , con trượt của  $R_{dc}$  để ở vị trí  $b$  để  $\phi_t$  có giá trị cực đại, chuyển mạch  $CM$  đặt ở vị trí số 1, toàn bộ điện trở phụ được nối nối tiếp với dq phần ứng

Khi  $t = 0$ , động cơ được đóng vào lưới điện, có dòng điện  $I_u$  và  $\phi_t$  phần ứng sẽ xuất hiện mômen  $M = C_M \phi_t I_u$  nếu  $M > M_C$  động cơ sẽ quay, tốc độ động cơ tăng từ 0 đến 1 giá trị nào đó, s.đ.đ tăng theo  $n$ , ( $E = C_e \phi_t n$ ). Khi  $E$  tăng lên thì  $I_u = \frac{U - E}{R_u + R_f}$  giảm xuống,



Hình 7.1 Mở máy nhờ biến trở



Hình 7.2 Quá trình mở máy nhờ biến trở mắc vào mạch phân

dẫn tới  $M$  giảm xuống, gia tốc giảm xuống.  $I_u$  và  $M$  giảm theo quy luật hàm mũ, phụ thuộc vào hằng số thời gian  $R_u-L_u$  của dây quấn phần ứng.

Tại thời điểm  $t = t_1$  khi  $I_u = (1,1 - 1,3)I_{dm}$  quay chuyển mạch sang vị trí 2, cắt bớt một phần  $R_f$  ra khỏi mạch phần ứng, dòng điện  $I_u$  lại tăng lên,  $M$  tăng lên và  $n$  lại tiếp tục tăng.  $I_u$  và  $M$  tăng gần như tức thời vì  $R_u$  rất bé. Quá trình cứ tiếp tục như vậy cho đến khi toàn bộ  $R_f$  được cắt ra khỏi mạch phần ứng và tốc độ động cơ đạt đến giá trị định mức, hình 7.2.

### 3. Mở máy bằng cách giảm điện áp.

Phương pháp mở máy này gần giống như mở máy nhờ biến trở nhưng cần phải có một bộ nguồn có thể điều chỉnh được điện áp.

### 11.3 Đặc tính cơ của động cơ điện một chiều.

Đặc tính cơ của động cơ điện một chiều là quan hệ  $n = f(M)$ , đây là đặc tính quan trọng nhất của động cơ.

Từ biểu thức s.d.đ và phương trình điện áp của động cơ 1 chiều ta có:

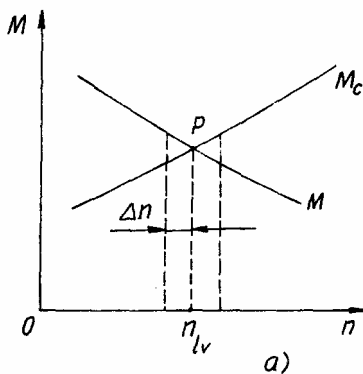
$$n = \frac{E}{C_e \phi} = \frac{U - IR_u}{C_e \phi} \quad 7.1$$

$$\text{vì } M = C_M \phi I \quad \text{nên} \quad n = \frac{U}{C_e \phi} - \frac{R_u M}{C_M C_e \phi^2} \quad 7.2$$

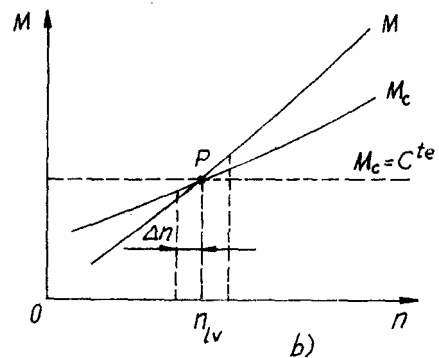
Xét sự làm việc ổn định của động cơ theo sự phối hợp đặc tính cơ của động cơ và đặc tính cơ của tải, hình 7.3a,b

Trường hợp hình 7.3a, vì một lý do nào đấy tốc độ của động cơ tăng lên  $n = n_{lv} + \Delta n$  thì  $M_C > M$  và động cơ sẽ bị hãm lại để trở về  $n_{lv}$  ban đầu ứng với điểm  $P$ . Cũng vậy nếu tốc độ của động cơ giảm xuống thì  $M_C < M$  và động cơ sẽ được gia tốc để trở về điểm  $P$ .

Sự phối hợp đặc tính cơ của động cơ và của tải như hình 7.3b thì ngược lại. Nếu tốc độ



Hình 7.3 (a) chế độ làm việc ổn định,



(b) chế độ làm việc không

của động cơ tăng lên thì  $M_C < M$  và động cơ tiếp tục được gia tốc và tăng mãi. Nếu tốc độ của động cơ giảm thì nó tiếp tục giảm về  $n = 0$ .

Vậy điều kiện để hệ làm việc:

$$\text{ổn định là} \quad \frac{dM}{dn} < \frac{dM_C}{dn} \quad 7.4$$

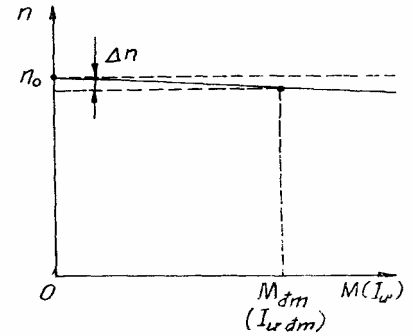
$$\text{và không ổn định} \quad \frac{dM}{dn} > \frac{dM_C}{dn} \quad 7.5$$

### 1. Đặc tính cơ động cơ điện 1 chiều kích thích song song hoặc độc lập.

Nếu  $U = U_{dm} = C^{te}$  và  $I_t = C^{te}$ , thì khi  $M$  thay đổi,  $\phi$  vẫn không đổi, ảnh hưởng làm giảm  $\phi$  do phản ứng phần ứng ngang trục rất bé không đáng kể nên ta có phương trình đặc tính cơ:

$$n = n_0 - \frac{R_u \cdot M}{K} \quad 7.6$$

Đặc tính  $n = f(M)$  là đường thẳng, hình 7.4. Vì  $R_u$  rất bé nên từ không tải đến định mức,  $\Delta n = (2-8)\%$ , hai loại động cơ trên có đặc tính cơ rất cứng, phù hợp cho các máy cắt gọt kim loại.



Hình 7.4 Đặc tính cơ động cơ

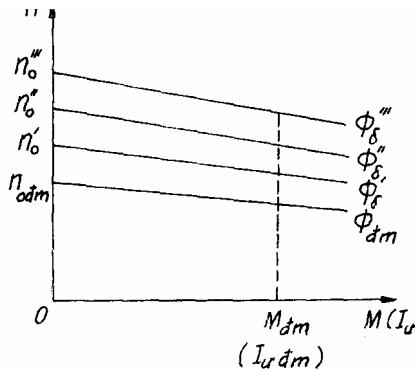
a) Điều chỉnh  $n$  bằng cách thay đổi  $\phi$ .

Từ phương trình đặc

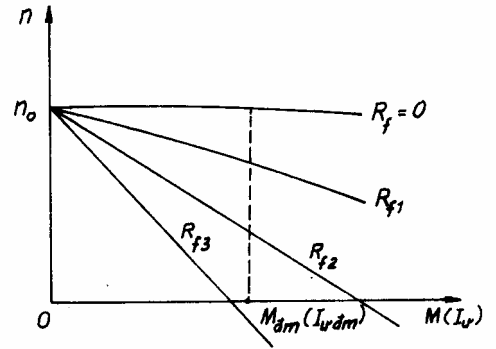
$$\text{tính cơ } n = \frac{U}{C_e \phi} - \frac{R_u M}{C_M C_e \phi^2}$$

Khi tăng  $R_{dc}$  ta chỉ có thể giảm được từ thông  $\phi$ , khi đó ta được một họ đường đặc tính cơ có độ dốc khác nhau ứng với:

$$\phi_{dm} > \phi' > \phi'' > \phi''' \quad \text{và} \quad n_{dm} < n_1 < n_2 < n_3$$



Hình 7.5 Điều chỉnh n bằng



Hình 7.6 Điều chỉnh n bằng cách

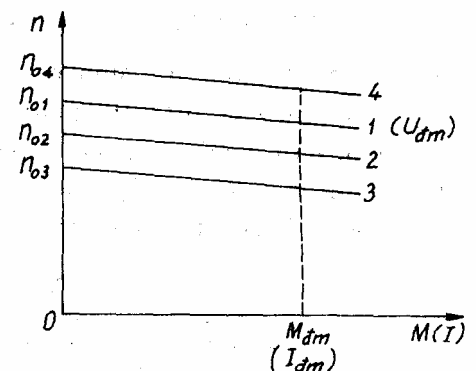
Như vậy theo phương pháp này ta có thể điều chỉnh  $n > n_{dm}$  hình 7.5

b) Điều chỉnh  $n$  bằng cách thay đổi  $R_f$ .

Khi đưa thêm  $R_f$  vào mạch phần ứng, đặc tính cơ là:

$$n = n_0 - \frac{(R_u + R_f) \cdot M}{K} \quad 7.7$$

Theo phương pháp này  $n_0 = C^{te}$ , khi tăng  $R_f$  độ dốc của đặc tính cơ tăng lên, tức là tốc độ thay đổi nhiều hơn khi tải thay đổi, hình 7.6.



Hình 7.7 Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi

c) Điều chỉnh  $n$  bằng cách thay đổi  $U$ .

Vì chỉ có thể thay đổi được  $U < U_{dm}$ , nên khi giảm  $U$  ta sẽ được một họ đặc tính cùng độ dốc (độ cứng), hình 7.7

$$U_{dm} > U_1 > U_2 \quad \text{và} \quad n_{dm} > n_1 > n_2$$

Phương pháp này chỉ có thể điều chỉnh được

$n < n_{dm}$  và chỉ áp dụng cho các động

## 2. Đặc tính cơ động cơ điện một chiều kích thích nối tiếp

Loại động cơ này có  $I_t = I_u = I$  và  $\phi = K_\phi I$ , trong đó  $K_\phi = C^{te}$  khi  $I < 0,8I_{dm}$ , còn khi  $I > 0,8I_{dm}$  thì  $K_\phi$  giảm xuống một ít do ảnh hưởng bão hòa của mạch từ.

$$\text{Từ } M = C_M \phi I_u = C_M \frac{\phi^2}{K_\phi}$$

7.8

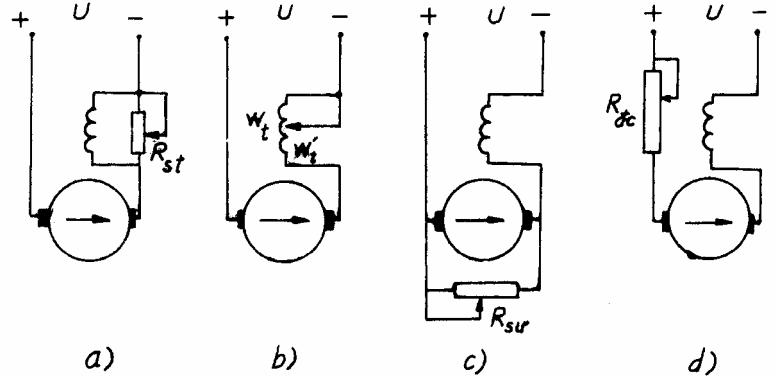
$$\text{suy ra } \phi = \frac{\sqrt{K_\phi} \sqrt{M}}{\sqrt{C_M}}$$

thay vào biểu thức

$$n = \frac{U}{C_e \phi} - \frac{R_u M}{C_M C_e \phi^2} \text{ ta có:}$$

$$n = \frac{\sqrt{C_M} \cdot U}{C_e \sqrt{K_\phi} \sqrt{M}} - \frac{R_u}{C_e K_\phi}$$

7.9



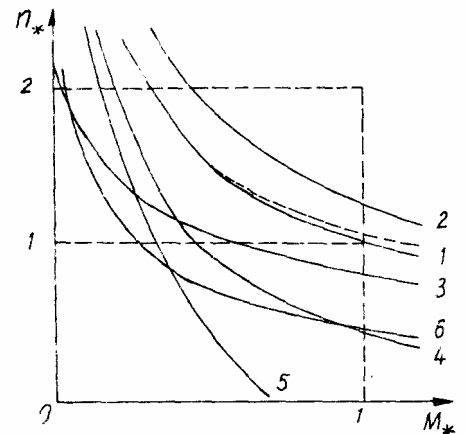
Hình 7.9 Các sơ đồ đ/c tốc độ đ.c.đ.1.c kích từ

bỏ qua  $R_u$  thì  $n \sim \frac{U}{\sqrt{M}}$  hay  $M = \frac{C^2}{n^2}$

7.10 Vậy đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp sẽ có dạng đường hypecon, hình 7.8 (đường 1)

Từ đường đặc tính cơ ta thấy ở động cơ kích từ nối tiếp khi  $M$  tăng  $n$  giảm rất nhiều. Đặc biệt khi không tải ( $I = 0, M = 0$ ), tốc độ có trị số rất lớn. Điều này rất nguy hại vì nó có thể làm gãy trục, vì vậy với loại động cơ này không được để mất tải (truyền động đai). Chỉ cho phép làm việc với công suất tối thiểu  $P_2 = (0,2-0,25)P_{dm}$

Khi xét đến bão hòa, đường  $M = f(n)$  là đường đứt nét.



Hình 7.8 Đặc tính cơ đ.c.đ.1.c với

a) Điều chỉnh  $n$  bằng cách thay đổi từ thông  $\phi$ .

Với động cơ kích từ nối tiếp việc thay đổi từ thông  $\phi$  được thực hiện bằng cách: mắc sun dây quấn kích thích, hình 7.9a; điều chỉnh số vòng dây kích thích, hình 7.9b; mắc sun vào phần ứng, hình 7.9c.

Hai sơ đồ 7.9a và 7.9b đều có cùng một kết quả, đường 2 hình 7.8.

Lúc đầu  $I_t = I$ , sau khi mắc sun hoặc điều chỉnh  $W_t$  thì  $I_t = K \cdot I$

Khi mắc sun  $K = \frac{R_{st}}{R_t + R_{st}} < 1$

Khi thay đổi  $W_t$ ,  $K = \frac{W_t'}{W_t} < 1$

Như vậy hai phương pháp này cho từ thông  $\phi$  giảm nên  $n$  tăng, ( $n > n_{dm}$ )

Biện pháp thứ 3 mắc sun vào mạch phân ứng, lúc này điện trở toàn mạch giảm xuống  $I$  tăng lên và  $I_t = I$  tăng lên,  $\phi$  tăng dần tới  $n < n_{dm}$ , đường 3 hình 7.8.

b) Điều chỉnh  $n$  bằng cách thêm  $R_{đc}$  vào mạch phân ứng hình 7.8d

Lúc này điện trở tổng của toàn mạch tăng lên nên  $I_t = I$  đều giảm xuống, đ/c  $n < n_{dm}$ , đường 4 và 5, hình 7.8.

c) Điều chỉnh bằng cách thay đổi điện áp.

Vì chỉ có thể đ/c  $U < U_{dm}$  nên  $n < n_{dm}$ , đường 6, hình 7.8.

### 3. Đặc tính cơ đ.c kích thích hỗn hợp.

Động cơ kích từ hỗn hợp thường cuộn kích thích nối tiếp được nối thuận (bù kích thích) do đó đặc tính cơ có dạng trung gian giữa kích thích song song và kích thích nối tiếp, hình 7.10.

Đường 1 kích thích hỗn hợp bù thuận; đường 2 kích thích hỗn hợp ngược; đường 3 kích thích song song và đường 4 kích thích nối tiếp.

### 11.4 Các đặc tính làm việc của động cơ điện một chiều.

Các đặc tính làm việc của động cơ điện một chiều là quan hệ:  $n, M, \eta = f(I_u)$  khi  $U = U_{dm} = C^{te}$ .

Đặc tính  $n = f(I_u)$  giống như đặc tính cơ  $n = f(M)$  vì  $M \sim I_u$ . Đường 1 ứng với động cơ kích thích song song, đường 2, 3 với động cơ kích thích hỗn hợp khi dq nối tiếp nối thuận và nối ngược; đường 4 với động cơ kích từ nối tiếp, hình 7.11

Đặc tính  $M = f(I_u)$  khi  $U = U_{dm} = C^{te}$ . Đây chính là quan hệ  $M = C_M \phi I_u$

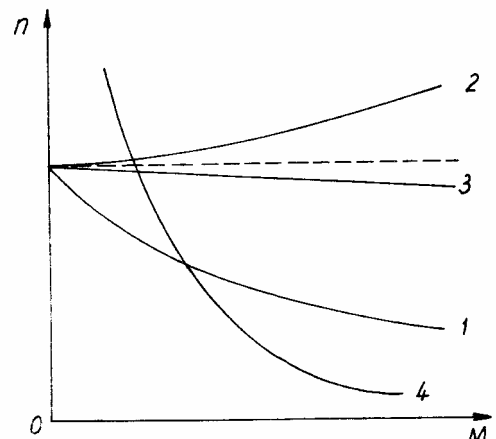
Với động cơ kích thích song song  $\phi = C^{te}$  nên đường  $M = f(I_u)$  là đường thẳng (đường I).

Động cơ kích từ nối tiếp  $\phi \sim I_u$  nên  $M \sim I_u^2$  đặc tính mômen là đường parabol (đường IV). Động cơ kích từ hỗn hợp có đặc tính mômen trung gian giữa kích thích song song và nối tiếp (đường II và III).

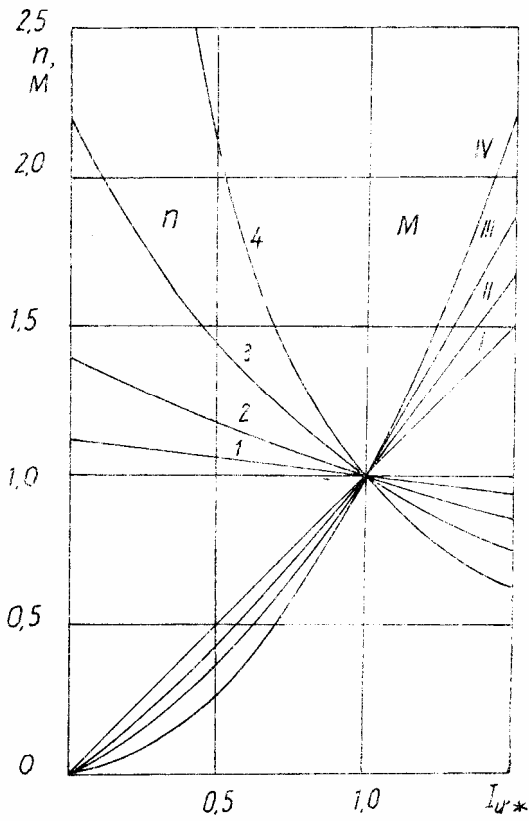
Đặc tính hiệu suất  $\eta = f(I_u)$  khi  $U = U_{dm} = C^{te}$  như hình 7.12.

Hiệu suất cực đại thường được thiết kế ứng với  $I_u = 0,75 I_{dm}$

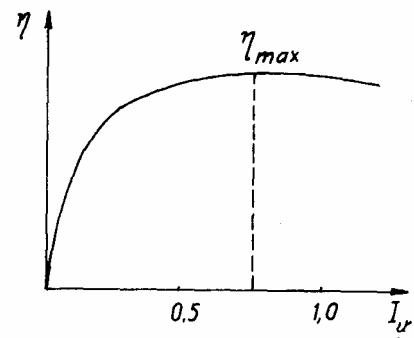
Thường  $\eta = 0,75 - 0,85$  với động cơ công suất bé và  $\eta = 0,85 - 0,94$  với động cơ công suất trung bình và lớn.



Hình 7.10 Đặc tính cơ đ.c.đ.1.c kích thích hỗn hợp so với các loại đ.c



Hình 7.11 Các đặc tính l/việc của



Hình 7.12 Hiệu suất

## Chương 8 : ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT PHA CÓ VÀNH GÓP

Động cơ 1 pha có vành góp có kết cấu tương tự như động cơ điện 1 chiều, nhưng điện áp đặt vào là điện áp xoay chiều 1 pha. Loại động cơ này được dùng nhiều trong các máy sinh hoạt dân dụng.

### 8.1 Sức điện động biến áp và sức điện động quay.

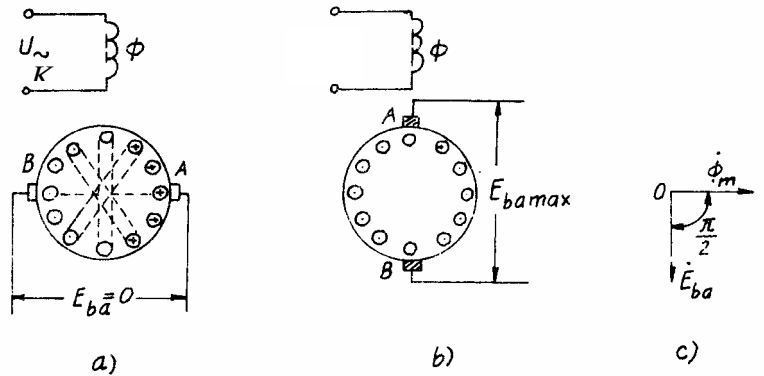
Khi động cơ điện 1 pha có vành góp làm việc trong dây quấn phần ứng cảm ứng được 2 loại sức điện động là: s.đ.đ biến áp và s.đ.đ quay.

#### 1. S.đ.đ biến áp, $E_{ba}$ .

Đặt điện áp xoay chiều 1 pha  $U_{\sim}$  vào dây quấn kích từ  $K$  trên phần tĩnh, từ thông  $\phi$  do dòng điện xoay chiều tạo nên sẽ đập mạch với tần số  $f$  của lưới điện. Khi  $n = 0$  từ thông đó sẽ biến thiên và xuyên qua dây quấn phần ứng và cảm ứng nên trong các thanh dẫn của dây quấn phần ứng các sức điện động như trong máy biến áp,  $E_{ba}$  dây quấn kích thích là dây quấn sơ cấp và dây quấn phần ứng là thứ cấp. Chiều của s.đ.đ ở hai phía trục dây quấn kích từ  $K$  sẽ trái dấu nhau.

Nếu chổi than đặt trên đường trung tính hình học thì s.đ.đ trong các thanh dẫn ở hai phía trục dây quấn kích từ sẽ triệt tiêu nhau, hình 8.1a, nên  $E_{ba} = 0$ .

Nếu chổi than đặt trên trục dây quấn kích từ thì  $E_{ba} = E_{ba\max}$ , hình 8.1b.



Hình 8.1 S.đ.đ  $E_{ba}$  do từ trường đập mạch sinh ra

Trị hiệu dụng của s.đ.đ biến áp là:

$$E_{ba} = 4,44 f W k_{dq} \phi_{\max} \quad 8.1$$

S.đ.đ biến áp chậm sau  $\phi$  một góc  $90^\circ$ , hình 8.1c.

Khi chổi than lệch với đường trung tính hình học một góc  $\alpha$ , hình 8.2, thì:

$$E_{ba}(\alpha) = E_{ba} \sin \alpha \quad 8.2$$

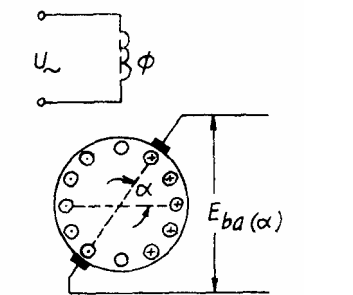
#### 2. Sức điện động quay $E_q$

Nếu  $\phi_m = const$ , khi phần ứng quay với tốc độ  $n$ , các thanh dẫn của dây quấn phần ứng quét qua từ trường kích từ  $\phi$  và sẽ cảm ứng được s.đ.đ xoay chiều có tần số  $f = pn/60$ , nhưng s.đ.đ lấy ra ở 2 đầu chổi than là s.đ.đ 1 chiều, như trong máy điện một chiều,

$$E_q = \frac{pN}{60.a} \phi_m . n \quad 8.3$$

Khi chổi than nằm trên trục trung tính hình học  $E_q = E_{q\max}$  và khi chổi than nằm trên trục dây quấn kích thích thì  $E_q = 0$ .

Khi chổi than lệch với đường trung tính hình học một góc  $\alpha$ , thì:



Hình 8.2  $E_{ba}$  khi chổi than lệch TTHH,

$$E_q(\alpha) = E_q \cos \alpha. \quad 8.4$$

Nếu từ thông đập mạch với tần số  $f$  và phân ứng quay với tốc độ  $n$  thì trong mỗi phần tử dây quấn sẽ tồn tại cả 2 loại s.đ.đ: S.đ.đ quay có tần số  $f_q = pn/60$  và s.đ.đ biến áp có tần số  $f_{ba} = f$ .

Khi chổi than đặt trên đường trung tính hình học thì  $E_{ba} = 0$  còn  $E_q \equiv \phi_m$  khi  $n = const$ . Chiều của  $E_q$  phụ thuộc chiều của  $n$  như hình 8.3.

Khi chổi than lệch so với trung tính hình học một góc  $\alpha$  nào đó thì sẽ tồn tại cả hai loại  $E_{ba}$  và  $E_q$  có cùng tần số  $f$ .

$$E = \sqrt{E_{ba}^2 \sin^2 \alpha + E_q^2 \cos^2 \alpha} \quad 8.5$$

## 8.2 Động cơ nối tiếp một pha

### 1. Sơ lược cấu tạo và nguyên lý làm việc.

Về kết cấu động cơ điện một pha giống như động cơ điện một chiều kích thích nối tiếp. Nhưng vì nó được dùng với lưới điện xoay chiều nên mạch từ của nó được làm bằng thép kỹ thuật điện. Động cơ nhỏ thường có cấu tạo cực lõi, động cơ lớn có cấu tạo cực ản. Trên cực từ ngoài dq kích thích  $K$ , để cải thiện đổi chiều người ta cũng bố trí dq bù  $B$  và cực từ phụ  $F$  như động cơ điện một chiều, hình 8.4.

Nguyên lý: Khi đặt đ/a xoay chiều một pha vào động cơ, từ thông  $\phi$  tác dụng với dòng điện  $I$  chạy dây quấn phần ứng tạo nên mô men làm cho động cơ quay. Vì phần ứng nối tiếp với dây quấn kích thích nên  $\phi$  và  $I$  luôn cùng dấu với nhau, do đó mômen luôn dương hay động cơ luôn quay theo một chiều xác định.

Loại động cơ 1 pha này được dùng nhiều trong các máy sinh hoạt.

### 2. Mômen của động cơ.

Giả sử:

$$i_u = I_{um} \sin \omega t \quad 8.6$$

$$\phi = \phi_m \sin(\omega t - \gamma) \quad 8.7$$

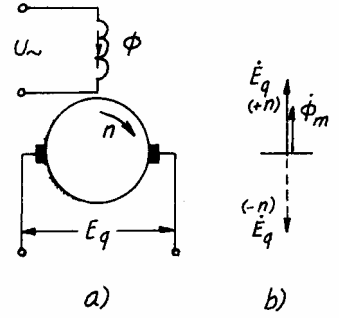
với  $\gamma$  là góc lệch giữa  $i_u$  và  $\phi$  do tổn hao sắt từ  
Giống như máy điện 1 chiều, ta có mômen tức thời

$$M_t = \frac{pN}{\pi} i_u \phi = \frac{pN}{\pi} I_{um} \phi_m \sin \omega t \sin(\omega t + \gamma) \quad 8.8$$

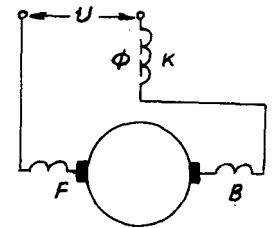
Mômen trung bình

$$M = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi M_t dt = \frac{pN}{2\pi} I_u \phi_m \cos \gamma = C_M I_u \phi_m \cos \gamma \quad 8.9$$

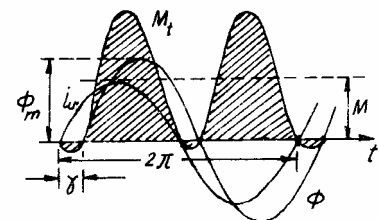
Với  $I_u$  là trị hiệu dụng dòng điện trong một nhánh song song của dây quấn phần ứng.  $\phi_m$  là biên độ từ thông kích từ,  $\gamma$  rất nhỏ nên  $\cos \gamma \approx 1$  nên mômen của động cơ khá lớn. Đường cong dòng điện, từ thông và mômen của động cơ 1 pha có vánh góp như hình 8.5.



Hình 8.3



Hình 8.4  
Đ/cơ điện nối tiếp

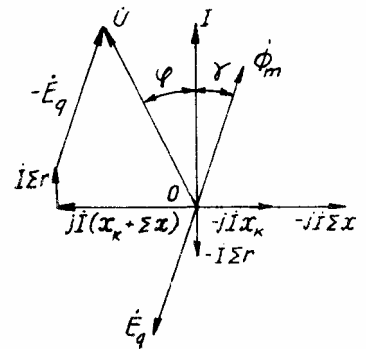


Hình 8.5 Đường cong  $i$ ,  $\phi$  và  $M$  của động cơ



### 3. Đồ thị véc tơ

Giả sử động cơ quay với tốc độ  $n$  và chổi than đặt trên trung tính hình học, thì khi đặt điện áp  $U$  vào động cơ, dòng điện  $I$  chạy trong các dây quấn chậm pha so với  $U$  một góc  $\varphi$ . Từ thông chính  $\Phi$  chậm pha so với  $I$  một góc  $\gamma$  (tổn hao sắt). Sức điện động quay  $E_q$  ngược pha so với,  $\Phi$  (chế độ động cơ,  $E$  ngược chiều  $I$ ). Sức điện động biến áp  $E_{ba} = 0$  (vì chổi than đặt trên trung tính hình học). Sức điện động rơi trên điện kháng của các dây quấn chậm pha so với  $I$  một góc  $90^\circ$ : S.đ.đ cảm ứng trên dây quấn kích thích  $-jI x_K$  ( $x_K$  là điện kháng của dây quấn kích thích); s.đ.đ tổng của các dây quấn khác  $-jI \sum x$  (với  $\sum x$  là tổng điện kháng của dây quấn phần ứng, dây quấn bù và dây quấn cực từ phụ). Sụt áp trên các điện trở  $-I \sum r$  (với  $\sum r$  là tổng điện trở của các dây quấn kể cả điện trở tiếp xúc của chổi than)



Hình 8.6 Đồ thị

Phương trình điện áp của động cơ nối tiếp một pha.

$$\dot{U} = -\dot{E}_q + I \sum r + jI(x_K + \sum x) \quad 8.10$$

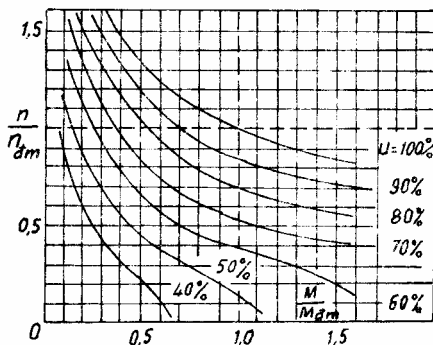
Từ sự phân tích ở trên và phương trình 8.10 ta vẽ được đồ thị véc tơ như hình 8.6.

Động cơ nối tiếp 1 pha có  $\cos \varphi = 0,7 - 0,95$  tốc độ càng cao hệ số  $\cos \varphi$  càng cao.

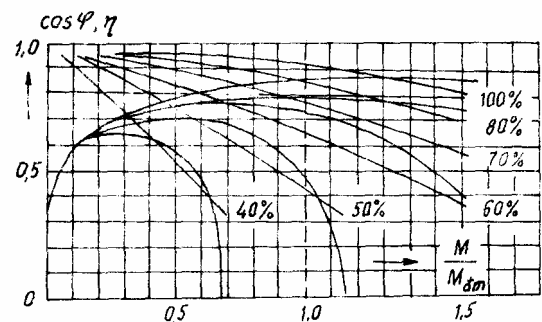
### 4. Các đặc tính làm việc.

Đặc tính cơ  $n = f(M)$  như động cơ điện 1 chiều kích thích nối tiếp, hình 8.7. Đặc tính hiệu suất  $\eta = f(M)$  và  $\cos \varphi = f(M)$  như hình 8.8

Để nâng cao hệ số  $\cos \varphi$  thường các loại động cơ này được chế tạo với khe hở rất bé, với máy bé hơn  $100 \text{ kW}$ ,  $\delta = 1,5 - 2,5 \text{ mm}$ ; máy có công suất lớn hơn  $\delta = 2 - 4 \text{ mm}$



Hình 8.7 Đặc tính cơ  $n$

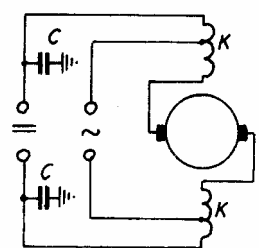


Hình 8.8 Đặc tính  $\eta = f(M)$  và  $\cos \varphi$

### 5. ứng dụng.

Động cơ điện có vành góp 1 pha được dùng nhiều trong lĩnh vực đường sắt, đầu máy xe điện,... Với khả năng đạt tốc độ cao (3000 - 30.000 vg/ph) và phạm vi điều chỉnh tốc độ rộng nên nó được dùng cho máy hút bụi, máy mài, máy khâu,...

Với nguyên lý trên người ta chế các động cơ vạn năng để có thể sử dụng lưới điện xoay chiều hoặc một chiều, sơ đồ nguyên lý như hình 8.9. Tụ điện  $C$  để giảm nhiễu vô tuyến.



Hình 8.9 Đ/cơ

### 8.3 Động cơ điện đẩy.

#### 1. Động cơ điện đẩy 2 dây quấn phân tĩnh

Động cơ này phân tĩnh có 2 dây quấn, kích từ  $K$  và bù  $B$  nối nối tiếp, đặt vuông trục với nhau, dây quấn phân ứng được nối ngắn mạch. Khi đặt một điện áp xoay chiều vào dây quấn phân tĩnh hình 8.8a.

Nếu chổi than đặt trên đường trung tính hình học, ban đầu khi  $n = 0$ , S.đ.đ  $E_q = 0$ , từ thông của cuộn bù  $B$  cảm ứng nên  $E_{bamax}$ , hình b. Vì dây quấn phân ứng nối ngắn mạch nên trong nó có dòng  $I_2$ . Dòng điện này tác dụng với  $\phi_K$  tạo nên mômen quay làm động cơ quay. Lúc đấy ta thấy dường như có một sự đẩy giữa từ trường phân ứng và từ trường cực từ để tạo ra mômen quay, nên nó có tên là động cơ điện đẩy.

Khi chổi than nằm trùng với trục dây quấn  $K$  thì  $E_{ba} = 0$ , hình c, nên  $I_2 = 0$  và mômen bằng không nên động cơ không quay.

Biểu thức mômen quay vẫn có dạng quen thuộc:

$$M = C_m I_2 \phi_K \cos(\dot{I}_2, \dot{\phi}_K) \quad 8.11$$

Vì góc giữa  $I_2$  và  $\phi_K$  gần bằng không nên:

$$M \approx C_m I_2 \phi_K \quad 8.12$$

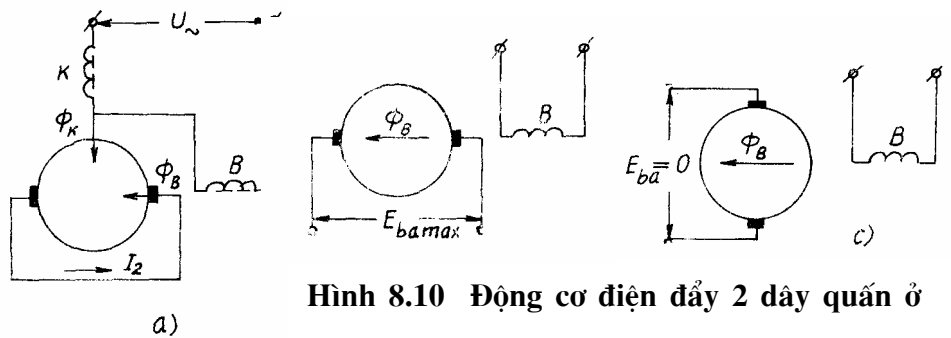
#### 2 Động cơ điện đẩy có một dây quấn trên phân tĩnh (Đ/c Tômxon)

Trên phân tĩnh chỉ có một dây quấn  $w$ , hình 8.11a, nhưng chổi than có thể xê dịch một góc  $\alpha$  bất kỳ. Lúc này ta phân  $w$  thành hai phần  $w_1 = w \sin \alpha$  đóng vai trò cuộn  $K$  và  $w_2 = w \cos \alpha$  đóng vai trò cuộn  $B$ , hình 8.11b. Chiều quay của loại động cơ này phụ thuộc vào chiều xê dịch chổi than đối với trục của của  $w$ .

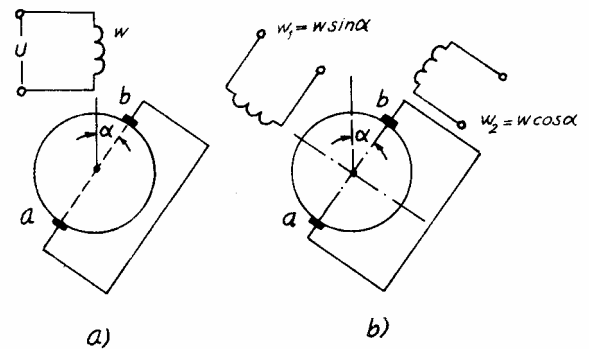
Khi  $\alpha = 90^\circ$ ,  $E_{ba} = 0$ ,  $M = 0$ , đây là chế độ không tải, hình 8.12a.

Khi  $\alpha = 0$ ,  $E_{ba} = E_{bamax}$  và trong dây quấn phân ứng có dòng điện  $I_2$ , dòng điện này ngược với dòng điện kích thích nên  $M = 0$ . Tại vị trí này của chổi than động cơ được xem như m.b.a làm việc ngắn mạch, vị trí chổi than được coi là vị trí ngắn mạch, hình 8.12b.

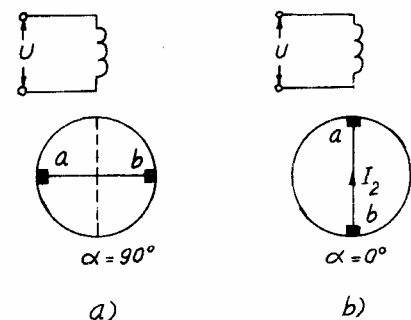
Tại các vị trí góc  $\alpha$  khác đặc tính cơ và các đặc tính làm việc giống như động cơ kích thích nối tiếp. Việc điều chỉnh  $n$  bằng cách xê dịch vị trí của chổi than.



Hình 8.10 Động cơ điện đẩy 2 dây quấn ở



Hình 8.11 Đ/cơ chỉ có 1 dây quấn



Hình 8.12 Vị trí chổi than khi không tải (a) và ngắn

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT TP. HCM

KHOA ĐIỆN

BỘ MÔN: CƠ SỞ KỸ THUẬT ĐIỆN

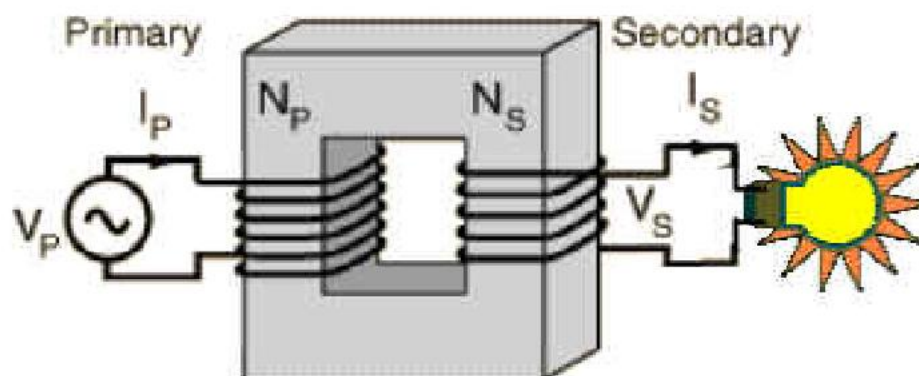
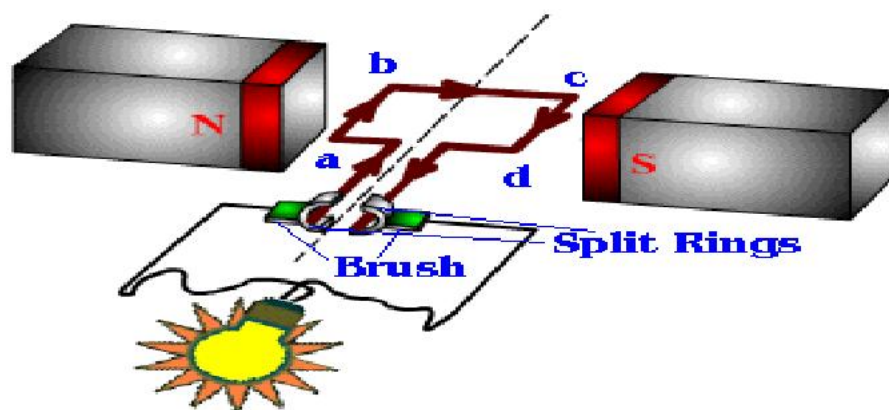
-----0-----

GVC-ThS.NGUYỄN TRỌNG THẮNG

GVC-ThS.NGÔ QUANG HÀ

GIÁO TRÌNH

# MÁY ĐIỆN I



TP. HCM Tháng 12 / 2005

## LỜI NÓI ĐẦU

Giáo trình MÁY ĐIỆN I là một cuốn sách trong bộ GIÁO TRÌNH MÁY ĐIỆN gồm 2 tập nhằm giúp sinh viên bậc đại học hoặc cao đẳng ngành Điện Công Nghiệp, Điện Tự Động của trường Đại Học Sư Phạm Kỹ Thuật TP.HCM làm tài liệu học tập, hoặc có thể dùng làm tài liệu tham khảo cho sinh viên ngành Công nghệ Điện- Điện tử, Công nghệ Điện tử – Viễn thông và các ngành khác liên quan đến lĩnh vực điện – điện tử.

Giáo trình máy điện trình bày những lý thuyết cơ bản về: cấu tạo; nguyên lý làm việc; các quan hệ điện từ; các đặc tính cũng như các hiện tượng vật lý xảy ra trong: Máy điện một chiều; Máy biến áp; Máy điện không đồng bộ và Máy điện đồng bộ.

Toàn bộ giáo trình máy điện được chia làm 2 tập:

Tập I gồm 2 phần: Máy điện một chiều và Máy biến áp.

Tập II gồm 3 phần: Những vấn đề lý luận chung của các máy điện xoay chiều (dạng máy điện quay); Máy điện không đồng bộ; Máy điện đồng bộ.

Để giúp sinh viên dễ dàng tiếp thu kiến thức môn học, giáo trình trình bày nội dung một cách ngắn gọn, cơ bản. Ở mỗi chương có ví dụ minh họa, câu hỏi và bài tập để sinh viên có thể hiểu sâu hơn những vấn đề mình đã học.

Các tác giả

## MỤC LỤC

	Trang
Mở đầu	01
<b>Phần I: Máy điện một chiều (MĐMC)</b>	
Chương 1: Đại cương về máy điện một chiều	07
Chương 2: Mạch từ lúc không tải của MĐMC	13
Chương 3: Dây quấn phần ứng của MĐMC	22
Chương 4: Quan hệ điện từ trong MĐMC	40
Chương 5: Từ trường lúc có tải của MĐMC	48
Chương 6: Đổi chiều	56
Chương 7: Máy phát điện một chiều	68
Chương 8: Động cơ điện một chiều	83
Chương 9: Máy điện một chiều đặc biệt công suất nhỏ	96
<b>Phần II: Máy biến áp (MBA)</b>	
Chương 1: Khái niệm chung về MBA	107
Chương 2: Tổ nối dây và mạch từ của MBA	116
Chương 3: Quan hệ điện từ trong MBA	125
Chương 4: Chế độ làm việc ở tải xác lập đối xứng của MBA	138
Chương 5: Các loại máy biến áp đặc biệt	149

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- 1- Vũ Gia Hanh, Trần Khánh Hà, Phan Tử Thụ, Nguyễn Văn Sáu, Máy điện I,II . NXB khoa học và kỹ thuật - 1998 .
- 2- Nguyễn Trọng Thắng, Nguyễn Thế Kiệt, Công nghệ chế tạo và tính toán sửa chữa Máy điện , NXB Giáo dục, 1995 .
- 3- A.E. Fitzgerald, Charles kingsley . Electrical Machines. Mc. Graw - Hill, 1990 .
- 4- Jimmie J. Cathey . Electric machines Analysis and Design Applying Matlab . Mc. Graw - Hill - 2001 .
- 5- E.V.Armensky, G.B.Falk, Fractional Horsepower Electrical machines, Mir Publishers, Moscow, 1985.
- 6- Mohamed E. El-Hawary, Principle of Electric Machines with Power Electronic Applications, Prentice-Hall, 1986.
- 7- M.Kostenko, L.Piotrovsky, Electrical machines, vol.1,2, Mir Publishers Moscow, 1974.
- 8- Stephen J. Chapman, Electric machinery and Power System fundamental, Mc Graw Hill, 2002.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT TP. HCM  
KHOA ĐIỆN

BOÀI MÔN: CƠ SỞ KỸ THUẬT ĐIỆN

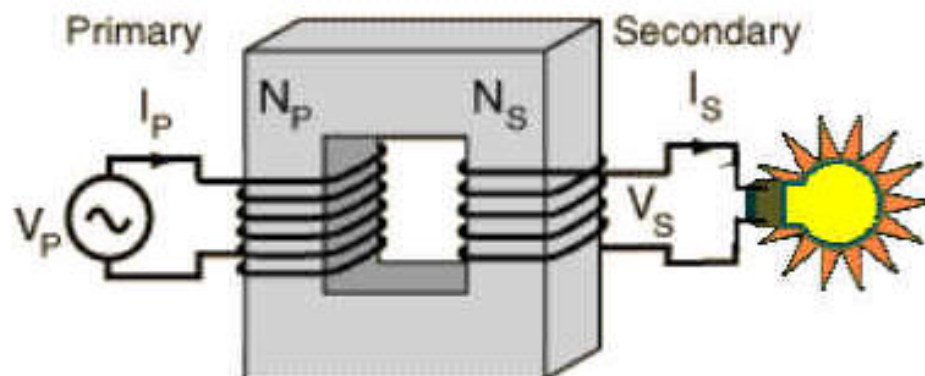
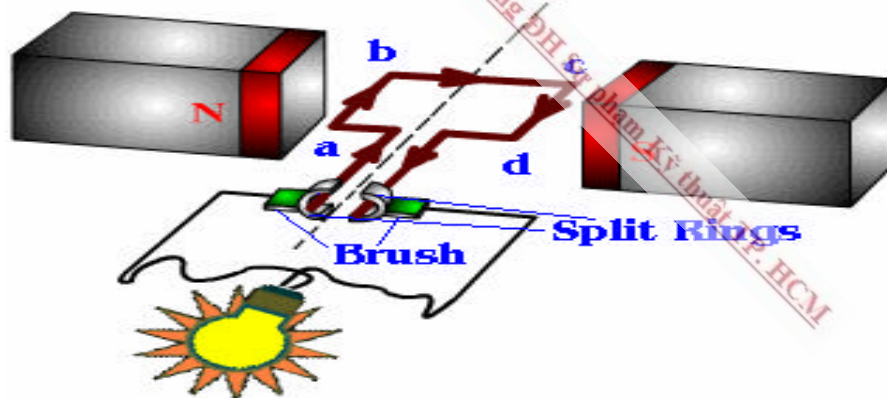
-----0-----

GVC-ThS. NGUYỄN TRỌNG THẮNG

GVC-ThS. NGOÀI QUANG HẠ

## GIẢI TRÌNH

# MAÙY ĐIỆN I



TP. HCM Tháng 12 / 2005

## LỜI NÓI ĐẦU

Giáo trình MÁY NHIỆN I là một cuốn sách trong bộ GIÁO TRÌNH MÁY NHIỆN gồm 2 tập nhằm giúp sinh viên bậc đại học hoặc cao đẳng ngành Điện Công Nghiệp, Điện Tỏi Nông của Trường Đại Học Sư Phạm Kỹ Thuật TP.HCM làm tài liệu học tập, hoặc có thể dùng làm tài liệu tham khảo cho sinh viên ngành Công nghệ Điện- Điện tử Công nghệ Điện tử-Viện thông và các ngành khác liên quan đến lĩnh vực điện - điện tử

Giáo trình máy điện trình bày những lý thuyết cơ bản về cấu tạo; nguyên lý làm việc; các quan hệ điện tử các đặc tính cũng như các hiện tượng vật lý xảy ra trong: Máy điện một chiều; Máy biến áp; Máy điện không đồng bộ và Máy điện đồng bộ

Toàn bộ giáo trình máy điện được chia làm 2 tập:

- Tập I gồm 2 phần : Máy điện một chiều và Máy biến áp.
- Tập II gồm 3 phần : Những vấn đề lý luận chung của các máy điện xoay chiều (đang máy điện quay); Máy điện không đồng bộ và Máy điện đồng bộ

Nếu giúp sinh viên dễ dàng tiếp thu kiến thức môn học, giáo trình trình bày nội dung một cách ngắn gọn, cô đọng. Ở mỗi chương có ví dụ minh họa, câu hỏi và bài tập để sinh viên có thể hiểu sâu hơn những vấn đề mình đã học.

Các tác giả



# MỞ ĐẦU

## 1. Các loại máy điện và vai trò của chúng trong nền kinh tế quốc dân

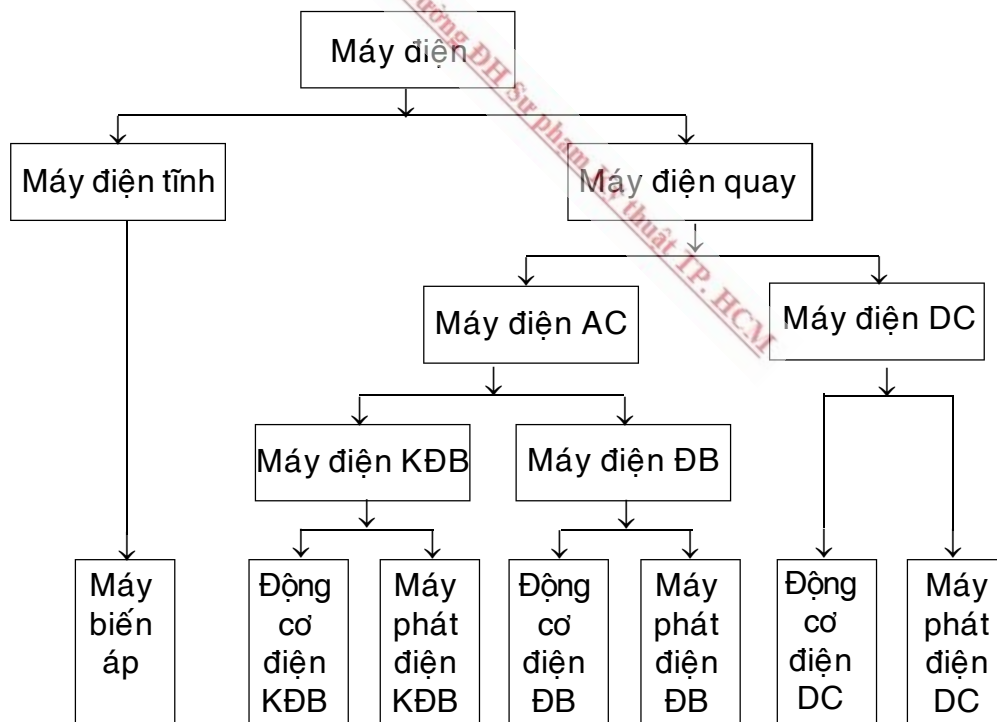
Điện năng ngày càng được sử dụng rộng rãi trong sản xuất và đời sống của nhân dân. Việc điện khí hóa, tự động hóa trong công nghiệp, nông nghiệp, giao thông vận tải ngày càng đòi hỏi các thiết bị điện khác nhau. Trong đó các loại máy điện chiếm một vai trò chủ yếu để biến cơ năng thành điện năng và ngược lại hoặc để biến đổi dạng điện năng này thành dạng điện năng khác (xoay chiều đến một chiều).

Biến đổi cơ năng thành điện năng nhờ các máy phát điện có động cơ sơ cấp kéo như tuốc bin hơi, tuốc bin nước, động cơ đốt trong.

Biến đổi điện năng thành cơ năng dùng trong truyền động điện người ta dùng các loại động cơ điện.

Việc truyền tải và phân phối điện năng xoay chiều từ trạm phát điện đến các hộ tiêu thụ điện, việc biến đổi điện áp được thực hiện nhờ máy biến áp.

Trong sản xuất thường dùng cả dòng điện xoay chiều và một chiều nên người ta chia các loại máy điện thành hai loại máy điện xoay chiều và máy điện một chiều. Có thể được mô tả bằng một sơ đồ tổng quát sau:



Ngoài ra do các yêu cầu khác nhau của ngành sản xuất, giao thông vận tải nên xuất hiện các loại máy điện đặc biệt như máy điện xoay chiều có vành góp, máy khuếch đại điện tử, các máy điện cực nhỏ ...

**2. Đại cương về các máy điện:** Nguyên lý làm việc của các máy điện dựa trên cơ sở của định luật cảm ứng điện từ ( $e = -d\phi / dt$ ). Sự biến đổi năng lượng trong máy điện được thực hiện thông qua từ trường. Để tạo được những 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 các định luật cảm ứng điện từ một máy điện có thể làm việc ở chế độ máy phát điện hoặc chế độ động cơ điện. Nhưng vì đặc tính kỹ thuật người ta chỉ tính toán thiết kế để làm việc ở một chế độ nhất định. Trong các máy điện, năng lượng được biến đổi với hiệu suất cao từ 93% đến 95%. Khi làm việc do tổn hao của dòng Fucô (Foucault) trên lõi thép và tác dụng Joule trên dây quấn nên máy nóng, ta có thể làm nguội máy bằng nhiều cách.

### 3. Phương pháp nghiên cứu máy điện

Như đã nói ở trên sự biến đổi năng lượng trong các máy điện được thực hiện thông qua từ trường trong máy. Như vậy việc nghiên cứu các máy điện có thể xuất phát từ lý thuyết trường điện từ. Song do cấu trúc vật lý và hình học phức tạp của các bộ phận trong máy điện, việc xác định cường độ điện trường E và cường độ từ trường H ở khe hở không khí từ hệ phương trình Maxwell gặp rất nhiều khó khăn. Vì vậy khi nghiên cứu các máy điện người ta không dùng trực tiếp lý thuyết trường mà dùng lý thuyết mạch để nghiên cứu.

### 4. Các đơn vị: Trong máy điện thường sử dụng hai loại hệ đơn vị

- Hệ đơn vị tuyệt đối là các đơn vị có thứ nguyên. Hiện nay thường sử dụng hai loại đơn vị tuyệt đối là CGS $\mu_0$  và SI.

#### Quan hệ giữa các đơn vị của hệ MKSA, SI và CGS $\mu_0$

Tên các đại lượng	Tên và kí hiệu các đơn vị của hệ MKSA và SI		Tên và kí hiệu các đơn vị của hệ CGS $\mu_0$		Đơn vị MKSA bằng bao nhiêu đơn vị của hệ CGS $\mu_0$
Thời gian	Giây	s	Giây	s	1
Tần số	Hertz	Hz	Hertz	Hz	1
Chiều dài	Mét	m	centimetre	cm	10 <sup>2</sup>
Tốc độ dài	Mét trên giây	m/ s	cent. trên giây	cm/s	10 <sup>2</sup>
Gia tốc	Mét trên giây <sup>2</sup>	m/s <sup>2</sup>	cent.trên giây	cm/s <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>
Khối lượng	Kilogramme	Kg	Gramme	g	10 <sup>3</sup>
Từ thông	Weber	Wb	Maxwell	Mx	10 <sup>8</sup>
Từ cảm	Weber/mét <sup>2</sup>	Wb/m <sup>2</sup>	Gauss	G	10 <sup>4</sup>
Điện dung	(hệ MKSA) Farad	F			
Điện trở	Tesla (hệ SI) Ohm	T $\Omega$			

- Trong khi nghiên cứu, tính toán, thiết kế các máy điện để tiện lợi người ta còn dùng hệ đơn vị tương đối.

$$I^* = \frac{I}{I_{dm}} \quad U^* = \frac{U}{U_{dm}} \quad P^* = \frac{P}{P_{dm}}$$

Trong đó:

I: Dòng điện có đơn vị là A

U: Điện áp có đơn vị là V

P: Công suất có đơn vị W

$I_{dm}$ ,  $U_{dm}$ ,  $P_{dm}$ : Là các đại lượng định mức của dòng điện, điện áp, công suất.

## 5. Sơ lược về các vật liệu chế tạo máy điện.

Các vật liệu dùng trong chế tạo máy điện gồm có:

- Vật liệu tác dụng: Bao gồm vật liệu dẫn điện và vật liệu dẫn từ dùng chủ yếu 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 giữa các bộ phận dẫn điện với nhau.
- Vật liệu kết cấu dùng để chế tạo các chi tiết máy và các bộ phận chịu lực tác dụng cơ giới như trục, vỏ máy, khung máy, ổ bi... nó bao gồm gang, sắt thép và các kim loại màu, hợp kim của chúng. Ta xét sơ lược đặc tính của vật liệu dẫn từ, dẫn điện cách điện dùng trong chế tạo máy điện.

### a. Vật liệu dẫn từ.

Người ta dùng thép lá kỹ thuật điện, thép lá thông thường là thép đúc, thép rèn để chế tạo mạch từ.

Các thép lá kỹ thuật điện (tôn silic) thường được dùng có các mã hiệu: 311, 312, 313, 321, 322, 323, 310..

Trong đó - 3 chỉ thép lá kỹ thuật (3lektrotexnik)

- Số thứ nhất chỉ hàm lượng silic chứa trong thép, số càng cao hàm lượng silic càng nhiều thép dẫn từ càng tốt, nhưng dòn dễ gãy.
- Số thứ hai: Chỉ chất lượng của thép về mặt tổn hao, số càng cao thì tổn hao càng ít.
- Số thứ ba: Số 0 chỉ thép cán nguội (thép dẫn từ có hướng), thường sử dụng trong chế tạo máy biến áp.

Ngoài ra còn các loại thép kỹ thuật điện mang mã hiệu 3404, 3405, ..., 3408 có chiều dày 0,3 mm, 0,35 mm

Để giảm tổn hao do dòng điện xoáy, các lá tôn silic trên thường được phủ một lớp sơn cách điện mỏng sau đó mới được ghép chặt lại với nhau, từ đó sinh ra một hệ số ép chặt  $K_c$ : Là tỉ số giữa chiều dài của lõi thép thuần thép với chiều dài

thực của lõi thép kể cả cách điện sau khi ghép.

### **b. Vật liệu dẫn điện**

Dùng chủ yếu là đồng (Cu) và nhôm (Al) vì chúng có điện trở bé, chống ăn mòn tốt. Tùy theo yêu cầu về cách điện và độ bền cơ học người ta còn dùng hợp kim của đồng và nhôm. Có chỗ còn dùng cả thép để tăng sức bền cơ học và giảm kim loại màu như vành trượt.

### **c. Vật liệu cách điện**

Vật liệu cách điện dùng trong máy điện phải đạt các yêu cầu:

- Cường độ cách điện cao.
- Chịu nhiệt tốt, tản nhiệt dễ dàng.
- Chống ẩm tốt, bền về cơ học.

Các chất cách điện dùng trong máy điện có thể ở thể hơi như không khí, thể lỏng (dầu máy biến áp) và thể rắn.

Các chất cách điện ở thể rắn có thể chia làm 4 loại:

- Các chất hữu cơ thiên nhiên như giấy, vải, lụa ..
- Các chất vô cơ như mi ca, amiăng, sợi thủy tinh ...
- Các chất tổng hợp.
- Các chất men, sơn cách điện, các chất tẩm sấy từ các vật liệu thiên nhiên và tổng hợp.

Tùy theo tính chịu nhiệt, các vật liệu cách điện được chia thành các cấp sau:

- **Cấp Y:** Nhiệt độ giới hạn cho phép  $90^{\circ}\text{C}$ , làm bằng vật liệu sợi xen lu lô hay lụa gỗ, các tông không tẩm hay không quét sơn.
- **Cấp A:** Nhiệt độ giới hạn cho phép  $105^{\circ}\text{C}$ , làm bằng vật liệu cách điện cấp Y có tẩm sơn cách điện.
- **Cấp E:** Nhiệt độ giới hạn cho phép  $120^{\circ}\text{C}$ , làm bằng các sợi pô ly me.
- **Cấp B:** Nhiệt độ giới hạn cho phép  $130^{\circ}\text{C}$ , làm bằng các sản phẩm mi ca, amiăng, sợi thủy tinh.
- **Cấp F:** Nhiệt độ giới hạn cho phép  $155^{\circ}\text{C}$ , làm bằng vật liệu cấp B dùng kết hợp với các chất tẩm sấy tương ứng.
- **Cấp H:** Nhiệt độ giới hạn cho phép  $180^{\circ}\text{C}$ , làm bằng vật liệu mi ca không chất độn hoặc độn bằng vật liệu vô cơ, vải thủy tinh tẩm sơn.
- **Cấp C:** Nhiệt độ giới hạn cho phép trên  $180^{\circ}\text{C}$ , làm bằng vật liệu gốm mi ca, gốm thủy tinh, thạch anh dùng kết hợp với các chất vô cơ.

Cấp cách điện	Y	A	E	B	F	H	C
$t^{\circ}$ cao nhất cho phép ( $^{\circ}\text{C}$ )	90	105	120	130	155	180	>180
Độ tăng nhiệt $\Delta t$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	50	65	80	90	115	140	>140

Độ tăng nhiệt độ  $\Delta t$  có thể tính:  $\Delta t = t_1 - t_2$

Trong đó:  $t_1$ : Nhiệt độ của máy.

$t_2$ : Nhiệt độ môi trường.

Theo TCVN: Nhiệt độ môi trường là 40°C còn của máy điện ta đo bình quân.

Hiện nay thường dùng các cấp cách điện A, E, B.

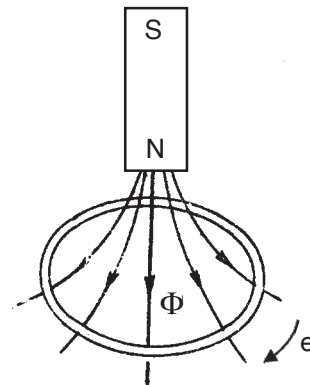
Chú ý: Trên nhiệt độ cho phép 10% thì tuổi thọ của máy giảm đi 1/2 nên không được cho máy làm việc quá tải trong thời gian dài.

## 6. Các định luật điện từ cơ bản dùng trong máy điện

### a. Định luật cảm ứng điện từ:

#### α. Trường hợp từ thông biến thiên qua vòng dây

Năm 1833 nhà vật lý học người Nga là Lenxơ đã phát hiện ra qui luật về chiều s.đ.đ cảm ứng. Định luật cảm ứng điện từ được phát biểu như sau: Khi từ thông đi qua một vòng dây biến thiên sẽ làm xuất hiện một s.đ.đ trong vòng dây, gọi là s.đ.đ cảm ứng. Sức điện động cảm ứng có chiều sao cho dòng điện do nó sinh ra có tác dụng chống lại



Hình 1.1 Qui ước chiều dương cho vòng dây có từ thông xuyên qua.

sự biến thiên của từ thông sinh ra nó. Chiều quay của cán vận nút chai sẽ là chiều dương của vòng dây. Sức điện động cảm ứng trong vòng dây sẽ được xác định theo công thức Mắcxoen

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

Nếu cuộn dây có W vòng, sức điện động cảm ứng trong cuộn dây sẽ là:

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

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

$\Phi$  tính bằng Wb (vêbe), e tính bằng (V).

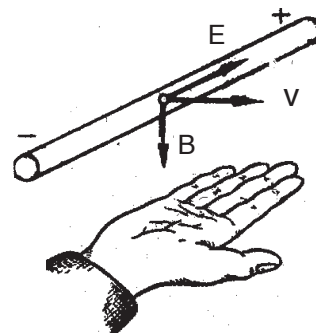
#### β. Trường hợp thanh dẫn chuyển động thẳng trong từ trường

Khi thanh dẫn chuyển động thẳng trong từ trường, trong thanh dẫn sẽ cảm ứng s.đ.đ e có trị số là

$$e = B.l.v$$

e: S.đ.đ cảm ứng (V); B: Từ cảm (T); l: Chiều dài thanh dẫn trong từ trường (m).

Chiều của s.đ.đ được xác định bằng qui tắc bàn tay phải: Cho đường sức từ đi vào lòng bàn tay phải. Ngón tay cái choãi ra chỉ chiều chuyển động của dây dẫn, thì chiều từ cổ tay tới ngón tay chỉ chiều s.đ.đ.



Hình 1.2 Qui tắc bàn tay phải.

### b. Định luật lực điện từ

Lực điện từ có ứng dụng rất rộng rãi trong kỹ thuật, là cơ sở để chế tạo máy điện và khí cụ điện. Trường hợp đơn giản nhất là lực của từ trường tác dụng lên dây dẫn thẳng mang dòng điện. Nếu một dây dẫn thẳng có dòng điện vuông góc với đường sức của từ trường, thanh dẫn sẽ chịu tác động của lực điện từ là:

$$F = B.i.l \text{ (N)}$$

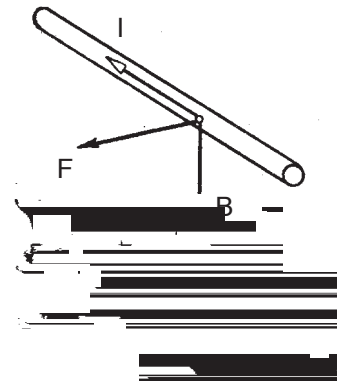
B: Từ cảm (T); i: Dòng điện chạy trong thanh dẫn (A); l: Chiều dài thanh dẫn (m).

Chiều của lực điện từ được xác định bằng qui tắc bàn tay trái: Ngửa bàn tay trái cho đường sức từ (hoặc véc tơ từ cảm B) xuyên qua lòng bàn tay, chiều từ cổ tay đến ngón tay chỉ chiều dòng điện thì ngón tay cái choãi ra chỉ chiều lực điện từ.

### c. Các định luật về mạch từ.

Các phần tử làm bằng vật liệu sắt từ ghép với nhau để từ thông khép kín trong mạch được gọi là mạch từ. Vì thép kỹ thuật điện có từ dẫn nhỏ hơn nhiều so với các vật liệu khác, nên từ thông tập trung chủ yếu trong mạch từ. Phần từ thông chạy ra ngoài mạch từ gọi là từ thông tản. Để tạo ra từ thông trong mạch cần có nguồn gây từ, thông thường là cuộn dây quấn trên mạch, gọi là cuộn dây từ hoá. Khi cuộn dây có dòng điện I đi qua, nó tạo ra s.t.đ  $F = IW$ , W là số vòng của cuộn dây.

$$\oint H dl = \sum I = \sum_{i=1}^n H_i L_i = \sum_{j=1}^m IW$$



Hình 1.3 Qui tắc bàn tay trái.

# PHẦN MỘT MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

## Chương 1

### ĐẠI CƯƠNG VỀ MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

Trong nền sản xuất hiện đại máy điện một chiều vẫn luôn luôn chiếm một vị trí quan trọng, bởi nó có các ưu điểm sau:

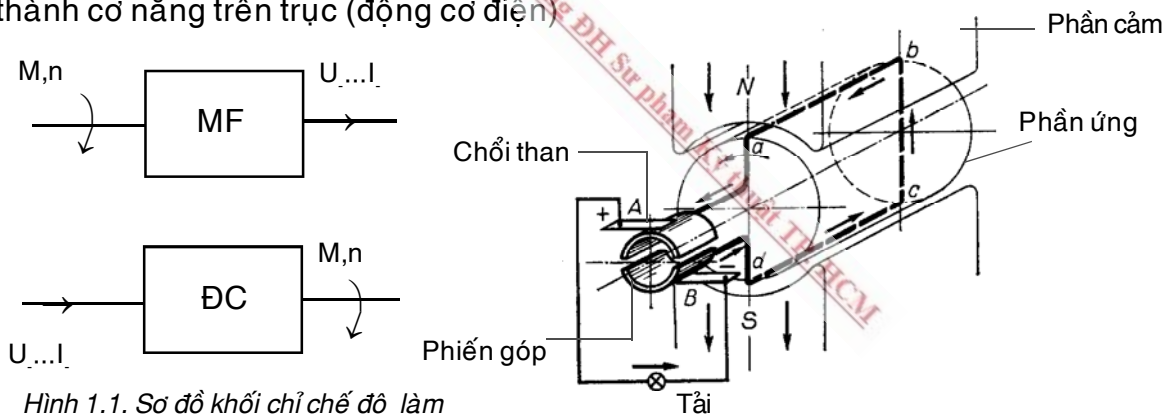
Đối với động cơ điện một chiều: Phạm vi điều chỉnh tốc độ rộng, bằng phẳng vì vậy chúng được dùng nhiều trong công nghiệp dệt, giấy, cán thép, ...

Máy phát điện một chiều dùng làm nguồn điện một chiều cho động cơ điện một chiều, làm nguồn kích từ cho máy phát điện đồng bộ, dùng trong công nghiệp mạ điện vv ...

Nhược điểm: Giá thành đắt do sử dụng nhiều kim loại màu, chế tạo và bảo quản cố góp phức tạp.

#### §1.1 NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CƠ BẢN CỦA MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

Người ta có thể định nghĩa máy điện một chiều như sau: Là một thiết bị điện từ quay, làm việc dựa trên nguyên lý cảm ứng điện từ để biến đổi cơ năng thành điện năng một chiều (máy phát điện) hoặc ngược lại để biến đổi điện năng một chiều thành cơ năng trên trục (động cơ điện)



Hình 1.1. Sơ đồ khối chỉ chế độ làm việc của máy điện một chiều

Hình 1.2. Sơ đồ nguyên lý của máy điện một chiều

#### 1. Máy phát điện

Máy gồm một khung dây  $abcd$  hai đầu nối với hai phiến góp, khung dây và phiến góp được quay quanh trục của nó với một vận tốc không đổi trong từ trường của hai cực nam châm. Các chổi than  $A$  và  $B$  đặt cố định và luôn luôn tiếp xúc vào phiến góp. Khi cho khung quay theo định luật cảm ứng điện từ trong thanh dẫn sẽ cảm ứng nên sức điện động theo định luật Faraday ta có:

$$e = B.l.v \text{ (V)}$$

$B$ : Từ cảm nơi thanh dẫn quét qua. (T)

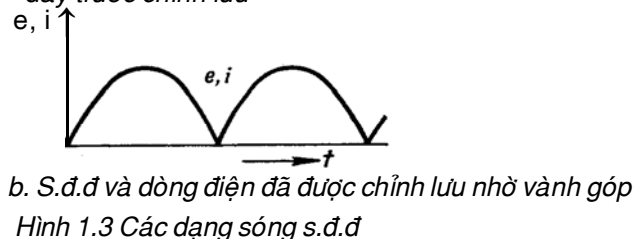
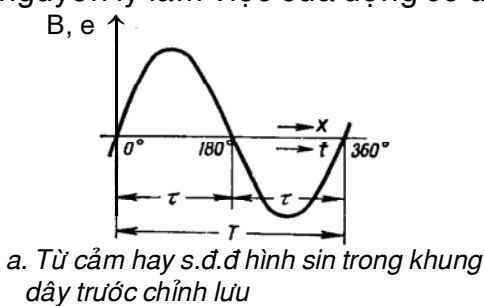
$l$ : Chiều dài của thanh dẫn nằm trong từ trường. (m)

$v$ : Tốc độ dài của thanh dẫn (m/s).

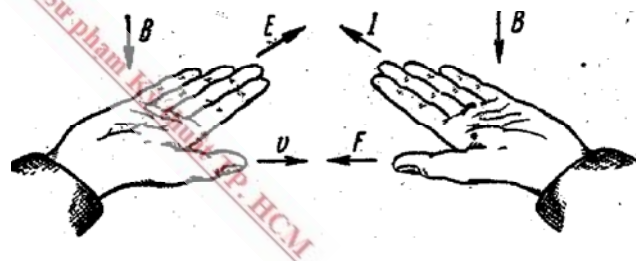
Chiều của sức điện động được xác định theo qui tắc bàn tay phải như vậy theo hình vẽ sức điện động của thanh dẫn cd nằm dưới cực S có chiều đi từ d đến c, còn thanh ab nằm dưới cực N có chiều đi từ b đến a. Nếu mạch ngoài khép kín qua tải thì sức điện động trong khung dây sẽ sinh ra ở mạch ngoài một dòng điện chạy từ A đến B. Nếu từ cảm B phân bố hình sin thì e biến đổi hình sin dạng sóng sức điện động cảm ứng trong khung dây như hình 1.3a. Nhưng do chổi than A luôn luôn tiếp xúc với thanh dẫn nằm dưới cực N, chổi than B luôn luôn tiếp xúc với thanh dẫn nằm dưới cực S nên dòng điện mạch ngoài chỉ chạy theo chiều từ A đến B. Nói cách khác sức điện động xoay chiều cảm ứng trong thanh dẫn và dòng điện tương ứng đã được chỉnh lưu thành sức điện động và dòng điện một chiều nhờ hệ thống vành góp và chổi than, dạng sóng sức điện động một chiều ở hai chổi than như hình 1.3b. Đó là nguyên lý làm việc của máy phát điện một chiều.

## 2. Động cơ điện

Nếu ta cho dòng điện một chiều đi vào chổi than A và ra ở B thì do dòng điện chỉ đi vào thanh dẫn dưới cực N và đi ra ở các thanh dẫn nằm dưới cực S, nên dưới tác dụng của từ trường sẽ sinh ra một mô men có chiều không đổi làm cho quay máy. Chiều của lực điện từ được xác định theo qui tắc bàn tay trái. Đó là nguyên lý làm việc của động cơ điện một chiều.



Hình 1.3 Các dạng sóng s.đ.đ



Hình 1.4. Qui tắc bàn tay phải và qui tắc bàn tay trái

Trong đó:

B: Từ cảm

E: Sức điện động cảm ứng

I: Dòng điện

F: Lực điện từ

## §1.2 CẤU TẠO CỦA MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

Kết cấu của máy điện một chiều có thể phân làm hai thành phần chính là phần tĩnh và phần quay.

### 1. Phần tĩnh hay stator

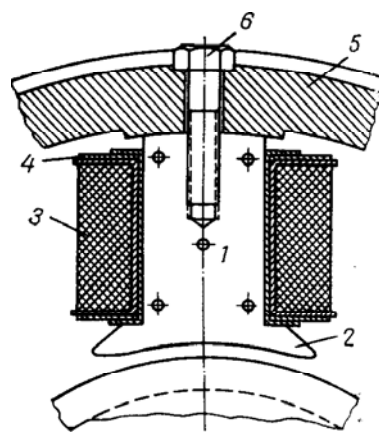
Đây là phần đứng yên của máy nó gồm các bộ phận chính sau:

#### a. Cực từ chính

Là bộ phận sinh ra từ trường gồm có lõi sắt cực từ và dây quấn kích từ lồng ngoài lõi sắt cực từ. Lõi sắt cực từ làm bằng thép lá kỹ thuật điện hay thép các



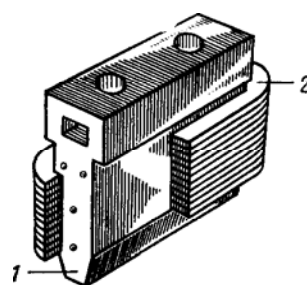
bon dày 0,5 đến 1mm ghép lại bằng đinh tán. Lõi magnet từ 2 được kéo dài ra (lõm vào) để tăng thêm đường đi của từ trường. Vành cung của cực từ thường bằng  $\frac{2}{3} \tau$  ( $\tau$ : Bước cực, là khoảng cách giữa hai cực từ liên tiếp nhau). Trên lõi cực có cuộn dây kích từ 3, trong đó có dòng một chiều chạy qua, các dây quấn kích từ được quấn bằng dây đồng mỗi cuộn đều được cách điện kỹ thành một khối, được đặt trên các cực từ và mắc nối tiếp với nhau. Cuộn dây được quấn vào khung dây 4, thường làm bằng nhựa hoá học hay giấy bakêlit cách điện. Các cực từ được gắn chặt vào thân máy 5 nhờ những bu lông 6.



Hình 1.5. Cực từ chính  
1) Lõi cực  
2) Mặt cực  
3) Dây quấn kích từ  
4) Khung dây  
5) Vỏ máy  
6) Bu lông bắt chặt cực từ vào vỏ máy

### b. Cực từ phụ

Được đặt giữa cực từ chính dùng để cải thiện đổi chiều, triệt tia lửa trên chổi than. Lõi thép của cực từ phụ cũng có thể làm bằng thép khối, trên thân cực từ phụ có đặt dây quấn, có cấu tạo giống như dây quấn của cực từ chính. Để mạch từ của cực từ phụ không bị bão hòa thì khe hở của nó với rotor lớn hơn khe hở của cực từ chính với rotor.



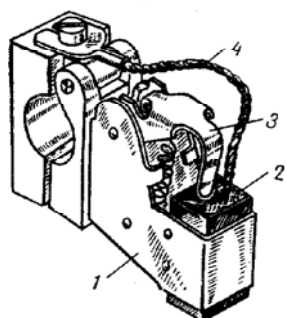
Hình 1.6. Cực từ phụ  
1) Lõi; 2) Cuộn dây

### c. Vỏ máy (Gông từ)

Làm nhiệm vụ kết cấu đồng thời dùng làm mạch từ nối liền các cực từ. Trong máy điện nhỏ và vừa thường dùng thép tấm để uốn và hàn lại. Máy có công suất lớn dùng thép đúc có từ (0,2 - 2)% chất than.

### d. Các bộ phận khác

- Nắp máy: Để bảo vệ máy khỏi bị những vật ngoài rơi vào làm hư hỏng dây quấn. Trong máy điện nhỏ và vừa nắp máy có tác dụng làm giá đỡ ổ bi.
- Cơ cấu chổi than: Để đưa điện từ phần quay ra ngoài hoặc ngược lại.

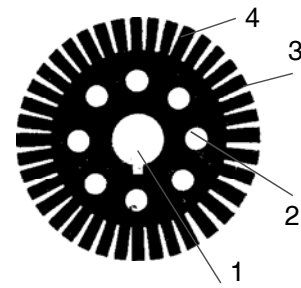


Hình 1.7. Cơ cấu chổi than  
1) Hộp chổi than  
2) Chổi than  
3) Lò so ép  
4) Dây cáp dẫn điện

## 2. Phần quay hay rotor

### a. Lõi sắt phần ứng:

Để dẫn từ thường dùng thép lá kỹ thuật điện dày 0,5 mm có sơn cách điện cách điện hai mặt rồi ép chặt lại để giảm tổn hao do dòng điện xoáy gây nên. Trên các lá thép có dập các rãnh để đặt dây quấn. Rãnh có thể hình thang, hình quả lê hoặc hình chữ nhật... Trong các máy lớn lõi thép thường chia thành từng thếp và cách nhau một khoảng hở để làm nguội máy, các khe hở đó gọi là rãnh thông gió ngang trục. Ngoài ra người ta còn dập các rãnh thông gió dọc trục.



Hình 1.8. Lõi thép phần ứng

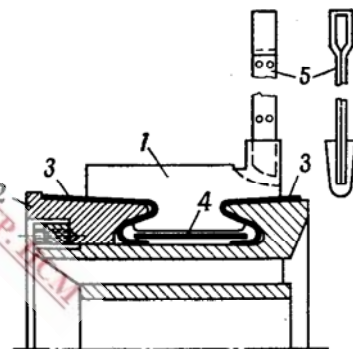
- 1) Trục máy
- 2) Lỗ thông gió dọc trục
- 3) Rãnh
- 4) Răng

### b. Dây quấn phần ứng

Là phần sinh ra sức điện động và có dòng điện chạy qua. Dây quấn phần ứng thường làm bằng dây đồng có bọc cách điện. Trong máy điện nhỏ thường dùng dây có tiết diện tròn, trong máy điện vừa và lớn có thể dùng dây tiết diện hình chữ nhật. Dây quấn được cách điện cẩn thận với rãnh và lõi thép. Để tránh cho khi quay bị văng ra ngoài do sức ly tâm, ở miệng rãnh có dùng nêm để đè chặt và phải đai chặt các phần đầu nối dây quấn. Nêm có thể dùng tre gỗ hoặc ba kê lít.

### c. Cổ góp

Dây quấn phần ứng được nối ra cổ góp. Cổ góp thường được làm bởi nhiều phiến đồng mỏng được cách điện với nhau bằng những tấm mica có chiều dày 0,4 đến 1,2 mm và hợp thành một hình trụ tròn. Hai đầu trụ tròn dùng hai vành ép hình chữ V ép chặt lại, giữa vành ép và cổ góp có cách điện bằng mica hình V. Đuôi cổ góp cao hơn một ít để hàn các đầu dây của các phần tử dây quấn vào các phiến góp được dễ dàng.



Hình 1.9. Hình cắt dọc của cổ góp kiểu trụ

- 1) Phiến góp
- 2) Vành ép hình V
- 3) Mica cách điện hình V
- 4) Ống cách điện
- 5) Đầu hàn dây

### d. Chổi than

Máy có bao nhiêu cực có bấy nhiêu chổi than. Các chổi than dương được nối chung với nhau để có một cực dương duy nhất. Tương tự đối với các chổi than âm cũng vậy.

### e. Các bộ phận khác

- Cánh quạt dùng để quạt gió làm nguội máy.
- Trục máy, trên đó có đặt lõi thép phần ứng, cổ góp, cánh quạt và ổ bi. Trục máy thường được làm bằng thép các bon tốt.

### §1.3 CÁC TRỊ SỐ ĐỊNH MỨC

Chế độ làm việc định mức của các máy điện là chế độ làm việc trong những điều kiện mà nhà chế tạo đã qui định. Chế độ đó được đặc trưng bởi những đại lượng ghi trên nhãn máy gọi là các đại lượng định mức.

- Công suất định mức:  $P_{dm}$  (W hay KW) là công suất đầu ra của máy điện

- Điện áp định mức:  $U_{dm}$  (V hay KV):

Là điện áp ở hai đầu tải ở chế độ định mức (máy phát)

Là điện áp đặt vào động cơ ở chế độ định mức (động cơ)

- Dòng điện định mức  $I_{dm}$  (A):

Là dòng điện cung cấp cho tải ở chế độ định mức (máy phát)

Là dòng điện cung cấp cho động cơ ở chế độ định mức (động cơ)

- Tốc độ định mức:  $n_{dm}$  (vòng / phút).

- Hiệu suất định mức:  $\eta_{dm}$

Ngoài ra còn ghi kiểu máy, cấp cách điện, phương pháp kích từ, dòng điện kích từ, chế độ làm việc vv ...

Hersteller .....	
Typ .....	
G-Motor	Nr.
220 V	3,6 A
0,620 kW	
1300 min <sup>-1</sup>	
Fremderregung 220 V	0,5 A
Isol.-Kl. F	IP 23
VDE 0530	

Hình 1.10. Nhãn máy của một động cơ điện một chiều

### Câu hỏi

1. Hãy định nghĩa máy điện một chiều?
2. Trình bày nguyên lý làm việc của máy phát điện và động cơ điện một chiều?
3. Nêu cấu tạo của máy điện một chiều?
4. Nêu các đại lượng định mức của máy điện một chiều và ý nghĩa của chúng?

### Bài tập

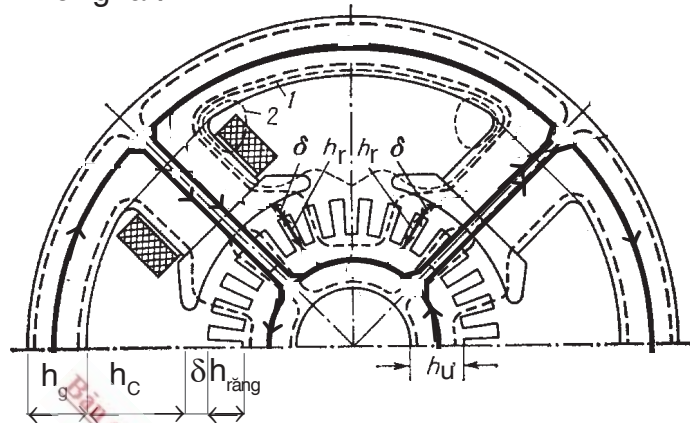
1. Máy phát điện một chiều có công suất định mức  $P_{dm} = 85\text{KW}$ ;  $U_{dm} = 230\text{ V}$ ;  $n_{dm} = 1470\text{v/phút}$ ;  $\eta_{dm} = 0.895$ . Tính dòng điện và Moment của động cơ sơ cấp ở chế độ định mức.
2. Máy phát điện một chiều có  $P_{dm} = 95\text{ Kw}$ ,  $U_{dm} = 115\text{V}$ ;  $n_{dm} = 2820\text{v/ph}$ ;  $\eta_{dm} = 0,792$ . Ở chế độ định mức, tính:
  - a. Công suất cơ của động cơ sơ cấp kéo máy phát  $P_1$ .
  - b. Dòng điện cung cấp cho tải.
  - c. Moment cơ của động cơ sơ cấp kéo máy phát  $M_1$ .

## Chương II

### MẠCH TỪ CỦA MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU KHI KHÔNG TẢI.

#### § 2.1 Đại cương

Chương này nhằm trình bày các phương pháp xác định sức từ động cần thiết của cực từ chính  $F_0$  để tạo ra từ thông chính  $\Phi_0$  trong khe hở không khí giữa stator và rotor khi không tải.



Hình 2-1. Mạch từ của máy điện một chiều khi không tải

Trong đó:  $\delta$ : Chiều rộng khe hở không khí

$h_g$ : Chiều cao của gông stator .

$h_{\text{răng}}$ : Chiều cao răng phần ứng.

$h_u$ : Chiều cao của lưng phần ứng .

$h_c$ : Chiều cao của cực từ .

$L_g$ : Chiều dài trung bình đường sức từ của gông từ .

$L_u$ : Chiều dài trung bình đường sức từ của lưng phần ứng .

Trên hình 2-1 vẽ sơ lược một phần của máy điện một chiều 4 cực và vẽ hình từ thông do các cực chính gây nên. Từ thông đi từ cực N qua khe hở và phần ứng rồi trở về 2 cực S nằm kề bên. Do máy hoàn toàn đối xứng, nên từ thông do mỗi cực tạo nên bị chia đôi với đường trục cực thành hai phần tạo thành hai mạch vòng từ giống nhau, đặt đối xứng cả về hai phía đối với đường trục cực đã cho. Số mạch vòng bằng số cực của máy, nhưng khi tính sức từ động chỉ cần xét một trong các mạch vòng đó. Phần từ thông đi vào phần ứng gọi là từ thông chính hay từ thông khe hở  $\Phi_0$ . Từ thông này cảm ứng nên s.đ.đ trong dây quấn khi phần ứng quay và tác dụng với dòng điện trong dây quấn để sinh ra mômen.

Một phần từ thông không đi qua phần ứng gọi là từ thông tản  $\Phi_\sigma$ . Nó không cảm ứng nên sức điện động trong phần ứng nhưng nó vẫn tồn tại làm cho độ bão hoà từ trong cực từ và gông từ tăng.

Nếu  $\Phi_c$  là toàn bộ từ thông do cực từ gây nên thì:

$$\Phi_c = \Phi_0 + \Phi_\sigma = \Phi_0 \left( 1 + \frac{\Phi_\sigma}{\Phi_0} \right) = \sigma_t \cdot \Phi_0 \quad (2-1)$$

$\sigma_t$  là hệ số tản từ của cực từ chính.  $\sigma_t = 1,15 - 1,28$ .

Sức từ động  $F_0$  cần thiết để tạo ra từ thông chính là sức từ động chính.

Theo định luật toàn dòng điện:

$$\oint Hdl = \sum_{n=1}^n HiLi = F = IW \quad (2-2)$$

Trong đó:

$L_i$ : Chiều dài trung bình của đường sức từ trên đoạn thứ  $i$ .

$H_i$ : Cường độ từ trường trên đoạn thứ  $i$ .

$W$ : Số vòng dây của một đôi cực từ.

$I$ : Cường độ dòng điện chạy qua dây quấn kích từ.

Đường cong từ khép kín là sự nối tiếp của các đoạn đường sức từ, các đoạn này đi qua các phần mạch từ có độ từ thẩm khác nhau, trong máy điện một chiều gồm 5 đoạn: Khe hở không khí, răng phần ứng, phần ứng, cực từ và gông từ. Các đoạn này được ký hiệu tương ứng bằng các chỉ số:  $\delta$ , răng,  $u$ ,  $c$  và  $g$ .

Ta có:  $F_0 = 2H_\delta \delta + 2H_{\text{răng}} h_{\text{răng}} + H_u L_u + 2H_c h_c + H_g L_g$ .

$$F_0 = F_\delta + F_{\text{răng}} + F_u + F_c + F_g \quad (2-3)$$

Do đó để tính sức từ động tổng của một đôi cực từ  $F_0$  ta phải tính sức từ động trên từng phần mạch từ trên.

Từ phương trình (2-3) ta thấy muốn tính S.t.đ đối với mỗi đoạn trong 5 đoạn cần phải tìm cường độ từ trường  $H$  tương ứng và nhân nó với chiều dài mạch từ đó.

Nếu đã biết từ thông  $\Phi$  và kích thước hình học của các đoạn thì có thể tính  $B$  từ cảm của các đoạn mạch từ theo công thức  $B = \frac{\Phi}{S}$ . Trong đó  $S$  là tiết diện của các phần mạch từ.

Trong không khí  $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$  H/m. Nhưng trong sắt từ  $\mu \neq C^{te}$  nên ta không trực tiếp tính  $H$  được mà tìm  $H$  theo đường đặc tính từ hóa của vật liệu  $B = f(H)$  khi biết  $B$ .

Sau khi phân đoạn tính được s.t.đ trên các đoạn có thể tìm được s.t.đ tổng dưới mỗi đôi cực từ  $F_0$ .

## § 2.2 Tính sức từ động khe hở $F_\delta$

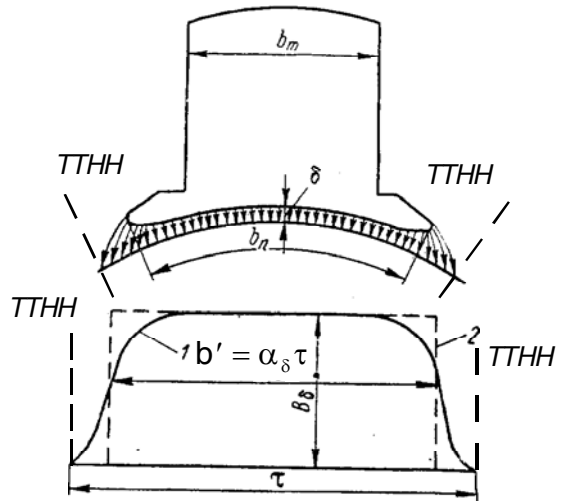
Khe hở là trở lực chính đối với từ thông. do đó S.t.đ khe hở  $F_\delta$  thường chiếm không dưới 60% s.t.đ chính  $F_0$ . Để tính  $F_\delta$  ta tiến hành :

- Trước tiên ta giả sử bề mặt phần ứng phẳng không có rãnh và răng, khe hở ở giữa cực từ là bé nhất thì sự phân bố từ cảm dưới cực từ có dạng như hình 2-2. Hình dáng của nó phụ thuộc vào bề rộng của mặt cực từ và chiều dài của khe hở. Ở giữa từ cảm  $B$  lớn nhất, ở hai mép cực thì nhỏ đi nhiều và bằng không ở đường trung

tính hình học (TTHH). Để dễ tính  $F_{\delta}$  chúng ta đơn giản hóa đường phân bố từ cảm theo phương pháp đẳng trị, nghĩa là coi đường phân bố từ cảm là hình chữ nhật có chiều cao  $B_{\delta} = B_{\delta_{\max}}$ , chiều đáy là  $b' = \alpha_{\delta} \cdot \tau$  sao cho diện tích hình chữ nhật bằng diện tích đường cong. Trong đó:

$\tau = \frac{\pi D_u}{2p}$  là bước cực: khoảng cách giữa 2 cực từ

$D_u$ : đường kính phần ứng;  $p$ : số đôi cực từ  
 $\alpha_{\delta}$ : hệ số tính toán cung cực từ;  $b'$  chiều dài tính toán cung cực từ. Trong các máy điện một chiều không có cực từ phụ  $\alpha_{\delta} = 0,7 - 0,8$ . Các máy điện một chiều có cực từ phụ  $\alpha_{\delta} = 0,62 - 0,72$ .



Hình 2-2. Đường phân bố thực tế (1) và đẳng trị (2) của từ trường trong khe hở không khí trên tiết diện ngang của phần ứng nam

- Trên thực tế mặt cực từ còn có răng và rãnh, nên từ trường trong khe hở phân bố càng không đều, trên răng đường sức từ dày, còn ở rãnh thì thưa thớt hơn. Kích thước của răng và rãnh có ảnh hưởng đến đường đi của đường sức từ. Vì vậy khi tính toán  $F_{\delta}$  cần phải dùng chiều dài khe hở tính toán  $\delta'$ :  $\delta' = k_{\delta} \cdot \delta$ . Trong đó:

$k_{\delta}$ : hệ số khe hở, được cho trong các sổ tay thiết kế máy điện. Đối với rãnh chữ nhật ta có thể dùng công thức:

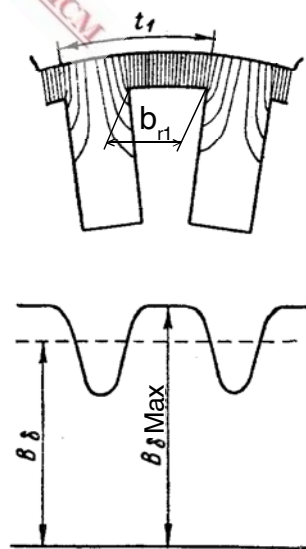
$$k_{\delta} = \frac{t_1 + 10\delta}{b_{r1} + 10\delta} \quad (2-4)$$

$t_1$ : bước răng theo chu vi phần ứng.

$b_{r1}$ : chiều rộng của đỉnh răng.

- Đối với máy điện công suất lớn, theo chiều dài lõi sắt có các rãnh thông gió hướng kính nên từ cảm dọc trục cũng phân bố không đều.

Thay đường cong phân bố từ cảm thực tế bằng hình chữ nhật có chiều rộng  $B_{\delta} = B_{\delta_{\max}}$  và chiều dài  $l_{\delta} = 0,5(l_c + l)$ .



Hình 2-3. Từ cảm trong khe hở không khí khi phần ứng có răng và rãnh

Trong đó :

$l_{\delta}$  là chiều dài tính toán của phần ứng .

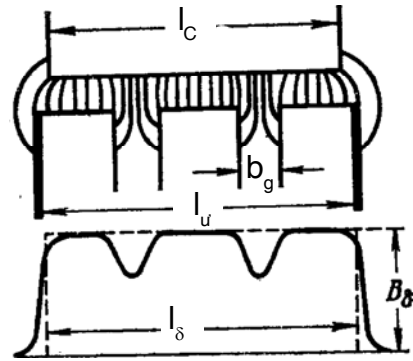
$l_c$  là chiều dài của cực từ theo hướng dọc trục.

$l = l_u - n_g \cdot b_g$  chiều dài thực của lõi sắt phần ứng không tính đến rãnh thông gió.

$l_u$  chiều dài thực của lõi sắt.

$n_g, b_g$  : số rãnh và chiều rộng rãnh thông gió.

Như vậy với 1 từ thông chính  $\Phi_0$  nào đó thì từ cảm là :



Hình 2-4. Hình thật và hình tính đối của từ trường trong khe hở trên tiết diện dọc của phần ứng

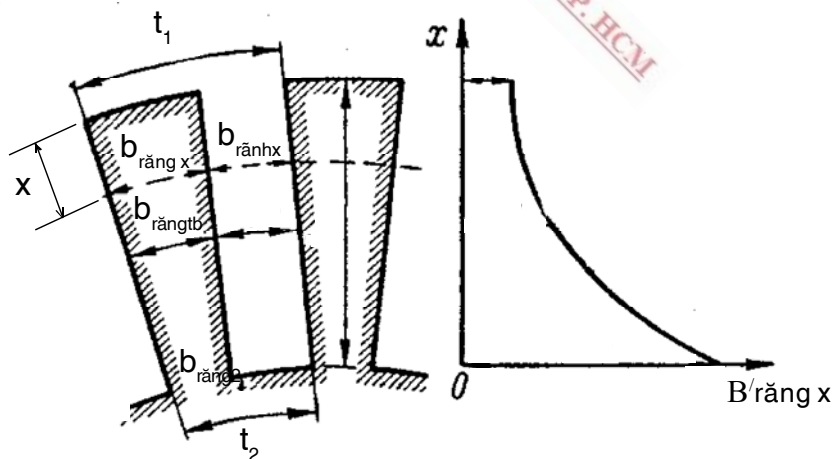
$$B_{\delta} = \frac{\Phi_0}{\alpha_{\delta} \cdot \tau \cdot l_{\delta}}$$

Và sức từ động trong khe hở không khí là:

$$F_{\delta} = \frac{2}{\mu_0} B_{\delta} \cdot k_{\delta} \cdot \delta \quad (\text{A/đôi cực}) \quad (2-5)$$

### § 2.3 Tính sức từ động răng

Rãnh phần ứng có nhiều kiểu. Để đơn giản ta lấy một kiểu rãnh là hình chữ nhật (răng sẽ là hình thang). Từ thông  $\Phi_0$  sau khi đi qua khe hở không khí thì phân làm 2 mạch song song đi vào răng và rãnh. Do từ dẫn của thép lớn hơn không khí nên đại bộ phận  $\Phi_0$  đi vào răng.



Hình 2-5. Sức từ động răng

Từ thông trong khe hở đối với một bước răng (chỉ cần tính S.t.đ của các răng đối với 1 bước răng là đủ vì tất cả các răng đều dẫn từ thông song song với nhau và tất cả chúng đều nằm trong những điều kiện từ trường giống nhau, trên chiều dài của cung cực b') bằng:



$$\Phi_t = B_\delta \cdot t_1 \cdot l_\delta \quad (2-6)$$

Lấy một tiết diện đồng tâm với mặt phần ứng cách đỉnh răng một khoảng  $x$  để xét, thì từ thông  $\Phi_t$  đi qua tiết diện đó gồm 2 phần:

- $\Phi_{r\grave{a}ng\ x}$  đi qua răng.
- $\Phi_{r\grave{a}nh\ x}$  đi qua rãnh.

Ta có:

$$\Phi_t = \Phi_{r\grave{a}ng\ x} + \Phi_{r\grave{a}nh\ x} \quad (2-7)$$

Chia hai vế của (2-7) cho tiết diện mặt cắt của răng, ta có:

$$\frac{\Phi_t}{S_{r\grave{a}ng\ x}} = \frac{\Phi_{r\grave{a}ng\ x}}{S_{r\grave{a}ng\ x}} + \frac{\Phi_{r\grave{a}nh\ x}}{S_{r\grave{a}ng\ x}} \quad (2-8)$$

$\frac{\Phi_t}{S_{r\grave{a}ng\ x}} = B'_{r\grave{a}ng\ x}$ : Gọi là từ cảm tính toán của răng. Ý nghĩa của nó là coi như toàn bộ từ thông đều đi qua răng. Khi  $B'_{r\grave{a}ng\ x} > 1,8T$  thì do mạch từ trên răng tương đối bão hòa nên từ thông trong rãnh không thể bỏ qua được, phải phân biệt  $B'_{r\grave{a}ng\ x}$  và  $B_{r\grave{a}ng\ x}$

$$\frac{\Phi_{r\grave{a}ng\ x}}{S_{r\grave{a}ng\ x}} = B_{r\grave{a}ng\ x} : \text{từ cảm thực tế trong răng.}$$

Có thể viết:

$$\begin{aligned} \frac{\Phi_{r\grave{a}nh\ x}}{S_{r\grave{a}ng\ x}} &= \frac{\Phi_{r\grave{a}nh\ x}}{S_{r\grave{a}nh\ x}} \cdot \frac{S_{r\grave{a}nh\ x}}{S_{r\grave{a}ng\ x}} \\ &= B_{r\grave{a}nh\ x} \cdot k_{r\grave{a}ng\ x} = \mu_0 \cdot H_{r\grave{a}nh\ x} \cdot k_{r\grave{a}ng\ x} \end{aligned} \quad (2-9)$$

Trong đó:  $S_{r\grave{a}nh\ x}$ : Tiết diện ngang của rãnh.

$B_{r\grave{a}nh\ x}$ : từ cảm tiết diện trong rãnh đã cho.

$H_{r\grave{a}nh\ x}$ : cường độ từ trường trong tiết diện rãnh đã cho.

$k_{r\grave{a}ng\ x}$ : hệ số răng.

$$k_{r\grave{a}ng\ x} = \frac{S_{r\grave{a}nh\ x}}{S_{r\grave{a}ng\ x}} = \frac{S_{t_x} - S_{r\grave{a}ng\ x}}{S_{r\grave{a}ng\ x}} = \frac{t_x \cdot l_\delta}{b_{r\grave{a}ng\ x} \cdot l \cdot k_c} - 1 \quad (2-10)$$

Trong đó:

$S_{t_x}$ : Tiết diện bước răng ở độ cao  $x$ .

$t_x$ : Bước răng ở độ cao  $x$ .

$l$ : Chiều dài lõi thép thuần ứng (không kể rãnh thông gió hướng kín).

$k_c$ : Hệ số ép chặt lõi thép (tỷ số giữa chiều dài thuần thép của lõi thép với chiều dài thực của lõi thép).

Thường  $k_c = 0,91 - 0,93$  (khi giữa các lá thép có bôi sơn cách điện).

Như vậy công thức (2 - 8) trở thành:

$$B'_{răngx} = B_{răngx} + B_{rãnhx} \cdot k_{răngx} = B_{răngx} + \mu_o \cdot H_{rãnhx} \cdot k_{răngx} \quad (2 - 11)$$

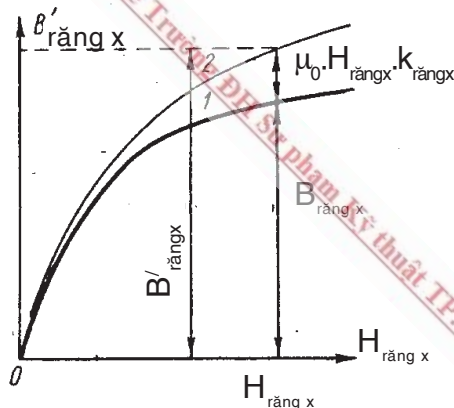
Giả thiết các mặt hình trụ cắt ngang răng và rãnh ở các độ cao x khác nhau là những mặt đẳng thế. Trong trường hợp này từ áp rơi theo chiều cao của răng và rãnh bằng nhau, do đó:

$$H_{rãnhx} = H_{răngx} \text{ và công thức (2 - 11) trở thành:}$$

$$B'_{răngx} = B_{răngx} + \mu_o H_{răngx} \cdot k_{răngx} \quad (2 - 12)$$

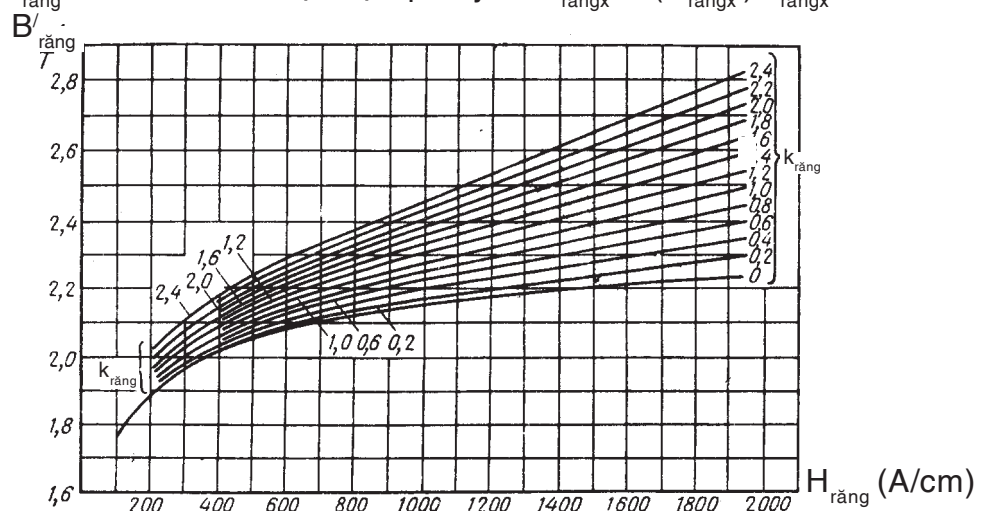
Muốn dùng được công thức trên để tính sức từ động của các răng ta tiến hành như sau:

- Vẽ đường cong từ hóa của thép dùng làm phần ứng.
- Tính hệ số  $k_{răng}$  theo (2 - 10).
- Cho trước từ cảm thực trong răng  $B_{răng}$  xác định  $H_{răng}$  theo đường 1.
- Tính trị số  $\mu_o H_{răngx} \cdot k_{răngx}$ .
- Dùng công thức (2-12) tính  $B'_{răngx}$  tiến hành tính toán như thế đối với nhiều trị số  $B_{răng}$  ta vẽ được đường 2 là quan hệ  $B'_{răngx} = f(H_{răngx})$  với nhiều trị số  $k_{răng}$  đã cho.



Hình 2-6. Các đường cong  $B'_{răngx} = f(H_{răngx})$

Với những trị số  $k_{răng}$  khác nhau ta được họ đặc tuyến  $B'_{răngx} = f(H_{răngx})/k_{răng}$  như hình 2-7:



Hình 2-7. Các đường cong  $B'_{răngx} = f(H_{răngx})$  đối với thép kỹ thuật điện  $\geq 11, \geq 12, \geq 13$

Biết những đường cong đó ta có thể sử dụng chúng theo trình tự ngược lại, tức là đầu tiên tính từ cảm tính toán  $B'_{\text{răngx}}$  và  $k_{\text{răngx}}$ , sau đó ta có thể tìm ra  $H_{\text{răngx}}$  và  $B_{\text{răngx}}$  từ đường 2 và 1.

Từ cảm tính toán của răng  $B'_{\text{răngx}}$  ở các độ cao  $x$  có thể tính:

$$B'_{\text{răngx}} = \frac{B_{\delta} \cdot t_1 \cdot l_{\delta}}{b_{\text{răngx}} \cdot l k_c} \quad (2-13)$$

Khi tính toán sức từ động của răng chỉ cần tính từ cảm ở 3 vị trí đầu, giữa và chân răng:

$$B'_{\text{răng1}} = \frac{B_{\delta} \cdot t_1 \cdot l_{\delta}}{b_{\text{răng1}} \cdot l k_c} \quad \text{tính } k_{\text{răng1}}$$

Dùng đường cong hình (2 - 7) ta tìm được  $H_{\text{răng1}}$ .

$$B'_{\text{răngtb}} = \frac{B_{\delta} \cdot t_1 \cdot l_{\delta}}{b_{\text{răngtb}} \cdot l k_c} \quad \text{tính } k_{\text{răngtb}}$$

Dùng đường cong hình (2 - 7) ta tìm được  $H_{\text{răngtb}}$ .

$$B'_{\text{răng2}} = \frac{B_{\delta} \cdot t_1 \cdot l_{\delta}}{b_{\text{răng2}} \cdot l k_c} \quad \text{tính } k_{\text{răng2}}$$

Dùng đường cong hình (2 - 7) ta tìm được  $H_{\text{răng2}}$ .

Trị số tính toán của cường độ từ trường trung bình:

$$H_{\text{răng}} = 1/6 (H_{\text{răng1}} + 4H_{\text{răngtb}} + H_{\text{răng2}}) \quad (2 - 14)$$

$$\text{Suy ra: } F_{\text{răng}} = 2H_{\text{răng}} \cdot h_{\text{răng}} \quad (\text{A/đôi cực}) \quad (2 - 15)$$

Thường để tính toán đơn giản người ta chỉ xác định từ cảm và cường độ từ trường tương ứng trong một tiết diện cách chân răng 1/3 chiều cao. lúc đó:

$$F_{\text{răng}} = 2H_{\text{răng1/3}} \cdot h_{\text{răng}} \quad (\text{A/đôi cực}) \quad (2 - 16)$$

## § 2.4. Tính sức từ động ở lưng phần ứng

Trong trường hợp chung từ thông ở lưng phần ứng là :

$$\Phi_{\text{ư}} = \frac{\Phi_0}{2} \quad (\text{Wb})$$

Trị số từ cảm trung bình ở tiết diện trung bình của lưng phần ứng là :

$$B_{\text{ư}} = \frac{\Phi_{\text{ư}}}{S_{\text{ư}}} = \frac{\Phi_0}{2h_{\text{ư}} \cdot l k_c} \quad (\text{T})$$

Trong đó

$S_{\text{ư}} = h_{\text{ư}} \cdot l \cdot k_c$  là tiết diện lưng phần ứng .

$h_{\text{ư}}$  : chiều cao của lưng phần ứng

$$h_{\text{ư}} = \frac{D_{\text{ư}} - d}{2} - h_r - \frac{2}{3} m_{a2} \cdot d_{a2}$$

$D_u, d$  : đường kính ngoài và trong của phần ứng.

$h_{răng}$  : chiều cao của răng.

$m_{a2}$  : số lớp lỗ thông gió hướng trục theo chiều cao của lưng phần ứng (thường  $m_{a2} = 1$ )

$d_{a2}$  : đường kính lỗ thông gió. Khi không có lỗ thông gió thì  $2/3m_{a2} \cdot d_{a2} = 0$ .

Biết  $B_u$  (T) dựa vào đường cong từ hóa, suy ra  $H_u$  (A/m). Từ đó ta có sức từ động trên lưng phần ứng :

$$F_u = H_u \cdot L_u \quad (\text{A/đôi cực})$$

$L_u$  : chiều dài trung bình đường sức từ của lưng phần ứng

$$L_u = \frac{\pi(D_u - 2h_{răng} - h_u)}{2p} + h_u \quad (\text{m})$$

## § 2.5 Sức từ động của cực từ và gông từ

Khi tính toán phần này ta phải xét đến ảnh hưởng của từ thông tản  $\Phi_\sigma$

### 1. Tính S.t.đ trên cực từ $F_c$ :

Từ thông  $\Phi_c$  ở lõi cực lớn hơn  $\Phi_0$  1 lượng bằng từ thông tản  $\Phi_\sigma$  :  $\Phi_c = \Phi_0 + \Phi_\sigma = \sigma_t \cdot \Phi_0$  , ( $\sigma_t = 1,15 - 1,28$ ).

Từ cảm trung bình ở cực từ :

$$B_c = \frac{\Phi_c}{S_c} = \frac{\sigma_t \Phi_0}{S_c} \quad \text{thường } B_c = 1,2 - 1,6 \text{ (T)}$$

Trong đó :  $S_c = b_c \cdot l_c \cdot k_c$  tiết diện lõi cực từ. ( $m^2$ )

Từ  $B_c$  dựa vào đường cong từ hoá của thép chế tạo cực từ suy ra  $H_c$ .

Sức từ động của 1 đôi cực là :

$$F_c = 2H_c \cdot h_c \quad (\text{A/đôi cực})$$

Trong đó  $h_c$  : Chiều cao cực từ (m).

### 2. S.t.đ gông stator ( $F_g$ ) :

Từ thông ở gông Stator là  $\frac{\sigma_t \Phi_0}{2}$  . Trị số từ cảm trung bình ở gông Stator lấy ở tiết diện trung bình của gông là :

$$B_g = \frac{\sigma_t \Phi_0}{2S_g} \text{ (T);} \quad S_g = h_g \cdot l_g \text{ (m}^2\text{);} \quad l_g : \text{Chiều dài gông từ}$$

Thường  $B_g = 0,8 \div 1,4 \text{ Wb/m}^2$  nếu gông làm bằng thép, bằng khoảng 1/2 trị số trên nếu gông làm bằng gang.

Từ đường cong từ hóa của vật liệu chế tạo gông từ ta suy ra  $H_g$ .

$$\text{S.t.đ trên gông từ } F_g = H_g \cdot L_g$$

Trong đó  $L_g$  chiều dài đường sức từ trung bình trên gông stator:

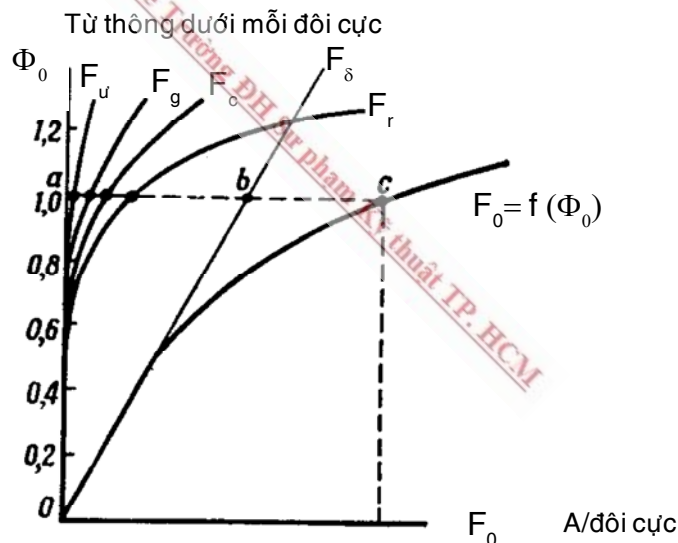
$$L_g = \frac{\pi(D_u + 2\delta + 2h_c + h_g)}{2p} + h_g \quad (\text{m})$$

## § 2.6 Đường cong từ hóa của máy điện

Muốn sinh ra 1 từ thông  $\Phi_0$  nào đó cần phải có S.t.đ  $F_0$  khi  $F_0$  biến thiên thì  $\Phi_0$  biến thiên theo. Đường biểu diễn quan hệ giữa  $\Phi_0$  và  $F_0$  gọi là đường cong từ hóa của máy điện. Ta cho rằng trị số định mức của từ thông chính  $\Phi_{0dm} = 1$  tương ứng với trị số điện áp định mức :  $U_{dm}$ . Tựa cho một loạt trị số của từ thông chính, ví dụ : 0,5 ; 0,8 ; 1,1 ; 1,2 ta có thể tính  $F_0$  đối với mỗi giá trị đó, và được quan hệ  $\Phi_0 = f(F_0)$ . Trong phần đầu đường cong từ hóa thực tế có tính chất đường thẳng và ứng với các trị số  $\Phi_0$  nhỏ thép của máy ít bão hòa nên sức từ động của mạch từ hầu như tiêu hao trên khe hở. Khi  $\Phi_0$  tăng lên lõi thép bắt đầu bão hòa, đường cong từ hoá nghiêng về bên phải. Kéo dài phần đường thẳng của đường cong từ hóa ta được quan hệ  $F_\delta = f(\Phi)$  khi  $\Phi_0 = \Phi_{dm}$  thì sức điện động khe hở bằng đoạn ab. Đoạn bc chỉ sức điện động rơi trên các phần sắt của mạch từ.

Tỷ số  $k_\mu = \frac{F_0}{F_\mu} = \frac{ac}{ab}$  là hệ số bão hòa của mạch từ.

Trong những máy thông thường, điện áp định mức của máy thiết kế ở đoạn bắt đầu cong với  $k_\mu = 1,1-1,35$ .



Hình 2-7. Đường cong từ hoá của máy điện một chiều

### Câu hỏi

1. Mục đích của việc tính toán mạch từ của máy điện một chiều khi không tải.
2. Phương pháp này có thể áp dụng cho việc tính toán mạch từ lúc không tải đối với các loại máy điện quay khác không? cơ sở của việc tính toán mạch từ?

### Bài tập

Cho máy điện một chiều có  $D_u = 200\text{mm}$ ;  $2p = 4$ ;  $l_u = 180\text{ mm}$ ;  $\delta = 1,5\text{ mm}$ ; số rãnh phần ứng  $Z = 33$ ;  $\alpha_s = 0,65$ ; chiều rộng rãnh chữ nhật  $b_{\text{rãnh}} = 8\text{ mm}$ ;  $n_g = 2$ ;  $b_g = 10\text{ mm}$ . Tính từ thông chính trong khe hở không khí  $\Phi_0$  và sức từ động  $F_\delta$ .

Biết ;  $l_u = l_c$ ;  $B_\delta = 0,8T$ ;  $\mu_0 = 4 \pi 10^{-7}\text{ H/m}$ .

## Chương 3

### DÂY QUẤN CỦA MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

#### § 3.1. Đại cương

Dây quấn phần ứng là phần dây đồng đặt trong các rãnh của phần ứng và tạo thành một hoặc nhiều mạch vòng kín. Nó là phần quan trọng nhất của máy điện vì nó trực tiếp tham gia các quá trình biến đổi năng lượng từ điện năng thành cơ năng hay ngược lại. Về mặt kinh tế, giá thành của dây quấn cũng chiếm tỉ lệ khá cao trong giá thành của máy.

Yêu cầu đối với dây quấn là :

- Sinh ra một sức điện động và mô men điện từ theo yêu cầu thiết kế, đồng thời bảo đảm đổi chiều dòng điện tốt.
- Tiết kiệm vật liệu, kết cấu đơn giản, làm việc chắc chắn và an toàn.

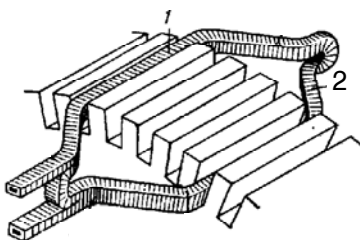
Dây quấn phần ứng có thể chia thành các loại:

- Dây quấn xếp đơn và xếp phức tạp.
- Dây quấn sóng đơn và sóng phức tạp.
- Dây quấn hỗn hợp là sự kết hợp của hai dây quấn xếp và sóng, thường dùng trong các máy điện một chiều công suất lớn.

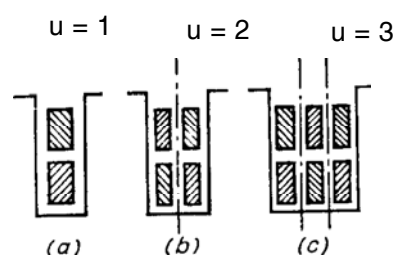
#### 1. Cấu tạo của dây quấn phần ứng

**a. Phần tử dây quấn (bối dây):** Dây quấn phần ứng gồm nhiều phần tử dây quấn nối với nhau theo 1 qui luật nhất định. Phần tử thường là 1 bối dây gồm 1 hay nhiều vòng dây mà 2 đầu của nó nối vào 2 phiến góp. Mỗi phần tử có hai cạnh tác dụng, đó là phần đặt vào rãnh của lõi thép. Phần nối 2 cạnh tác dụng nằm ngoài lõi thép gọi là phần đầu nối (hình 3.1).

**b. Rãnh thực và rãnh nguyên tố:** Rãnh thực nằm ở hai răng kề nhau. Nếu trong rãnh phần ứng gọi là rãnh thực chỉ đặt 2 cạnh tác dụng (1 cạnh nằm ở lớp trên và 1 cạnh nằm ở lớp dưới rãnh) thì ta gọi rãnh đó là rãnh nguyên tố (hình 3.2a).



Hình 3.1 Vị trí của phần tử trong rãnh  
1. Cạnh tác dụng  
2. Phần đầu nối



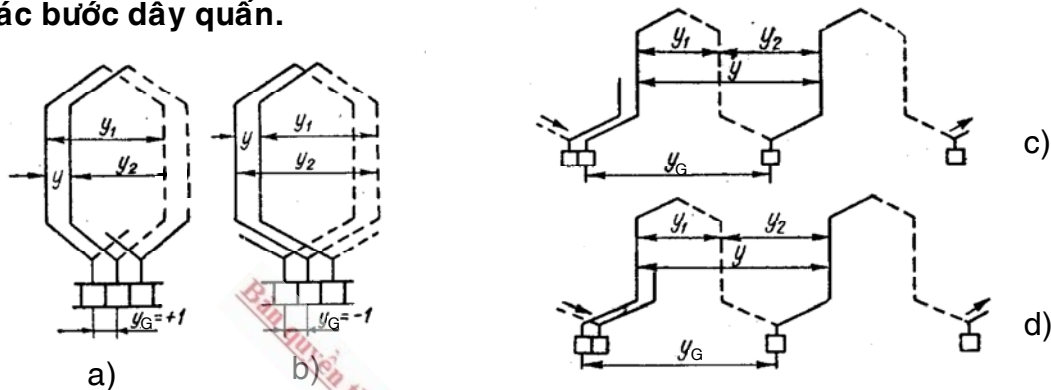
Hình 3.2 Rãnh thực có 1, 2, 3 rãnh nguyên tố

Nếu trong 1 rãnh thực đặt  $2u$  cạnh tác dụng (trong đó  $u = 1, 2, 4, \dots, n$ ) thì ta có thể chia rãnh thực đó ra làm  $u$  rãnh nguyên tố (h3.2 b, c) :  $Z_{nt} = u.Z$ .

Mối quan hệ giữa  $Z_{nt}$ ,  $S$ ,  $G$ : Trong đó  $S$  là số phần tử,  $G$  là số phiến góp, mỗi phần tử có 2 đầu nối với 2 phiến góp đồng thời ở mỗi phiến góp lại nối 2 đầu của 2 phần tử khác nhau nên  $S = G$ .

Mặt khác trong mỗi rãnh nguyên tố đặt 2 cạnh tác dụng mà mỗi phần tử cũng có 2 cạnh tác dụng nên ta có:  $Z_{nt} = S = G$

## 2. Các bước dây quấn.



Hình 3.3 Các bước dây quấn

a. Dây quấn xếp tiến    b. Dây quấn xếp lùi    c. Dây quấn sóng trái    d. Dây quấn sóng phải

Qui luật nối các phần tử dây quấn có thể xác định bằng 4 loại bước dây quấn sau (hình 3.3):

- Bước dây quấn thứ nhất  $y_1$ : Là khoảng cách giữa hai cạnh tác dụng của 1 phần tử.
- Bước dây quấn thứ hai  $y_2$ : Là khoảng cách giữa cạnh tác dụng thứ 2 của phần tử thứ nhất với cạnh tác dụng thứ nhất của phần tử thứ hai kế tiếp nó.
- Bước dây tổng hợp  $y$ : Là khoảng cách giữa hai cạnh đầu của hai phần tử kế tiếp nhau.

Cả ba loại bước dây quấn trên được tính bằng số rãnh nguyên tố.

- Bước cổ góp  $y_G$ : Đó là khoảng cách giữa hai phiến góp có hai cạnh tác dụng của một phần tử nối vào, đo bằng số phiến góp.

## § 3.2 Dây quấn xếp đơn

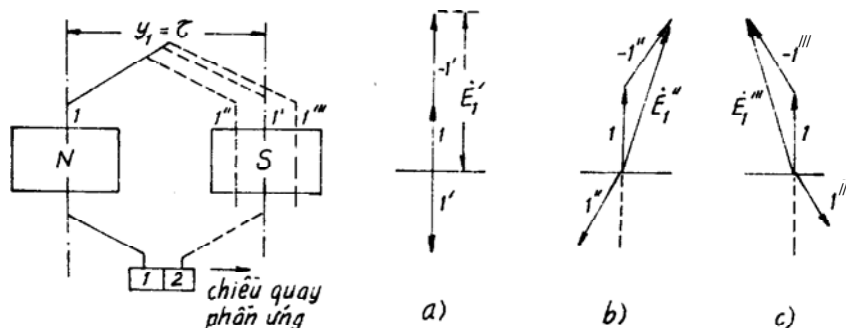
### 1. Bước dây quấn.

#### a. Bước dây quấn thứ nhất $y_1$ .

Bước dây quấn thứ nhất phải chọn sao cho sức điện động cảm ứng trong phần tử lớn nhất. Muốn thế thì hai cạnh tác dụng của phần tử phải cách nhau 1 bước cực  $\tau$  vì lúc đó trị số tức thời sức điện động của hai cạnh tác dụng bằng nhau về trị số và ngược chiều nhau. Do trong một phần tử đuôi của hai cạnh tác dụng nối với nhau nên sức điện động tổng của 1 phần tử bằng tổng số học của hai sức

điện động của hai cạnh tác dụng. Nếu biểu thị sức điện động của mỗi cạnh tác dụng bằng 1 véc tơ như hình 3.4 và số rãnh nguyên tố dưới mỗi bước cực :

$y_1 = \tau = \frac{Z_{nt}}{2p}$  Nếu  $y_1 = Z_{nt} / 2p$  không phải là số nguyên thì phải chọn  $y_1$  bằng số nguyên gần bằng  $Z_{nt} / 2p$ .



Hình 3.4 Sức điện động khi bước đủ (a), bước ngắn (b), bước dài (c)

Tổng quát ta có :

$$y_1 = \frac{Z_{nt}}{2p} \pm \varepsilon = \text{Số nguyên}$$

$$y_1 = \frac{Z_{nt}}{2p} \text{ bước đủ, } y_1 = \frac{Z_{nt}}{2p} - \varepsilon \text{ bước ngắn, } y_1 = \frac{Z_{nt}}{2p} + \varepsilon \text{ bước dài.}$$

Dây quấn được chế tạo bước ngắn hay bước dài thì S.đ.đ của phần tử cũng hơi nhỏ hơn so với bước đủ. Thực tế dây quấn được chế tạo theo bước ngắn để đỡ tốn dây đồng.

### b. Bước dây tổng hợp $y$ và bước vành góp $y_G$

Đặc điểm của dây quấn xếp đơn là 2 đầu của 1 phần tử nối liền vào 2 phiến góp đối chiều kề nhau nên đối với dây quấn xếp tiến  $y_G = 1$ , đối với dây quấn xếp lùi  $y_G = -1$ . Từ đó ta thấy bước tổng hợp  $|y|$  cũng phải bằng 1 :

$$|y| = |y_G| = 1$$

### c. Bước dây thứ hai $y_2$ .

Theo định nghĩa các bước dây quấn, ta có thể xác định  $y_2$  theo  $y_1$  và  $y$

$$y_2 = y_1 - y$$

Từ hình vẽ ta thấy do đặc điểm về bước dây của kiểu dây này nên các phần tử nối tiếp nhau đều xếp lên nhau gọi là dây quấn xếp.

## 2. Giản đồ khai triển của dây quấn.

Là hình vẽ khai triển của dây quấn khi cắt bề mặt phần ứng theo trục rồi trải ra thành mặt phẳng. Căn cứ vào kiểu dây quấn và các bước dây tính được, ta vẽ sơ đồ khai triển của dây quấn. Để hiểu rõ cách phân tích hơn có thể xét một thí dụ sau. Thí dụ : Vẽ sơ đồ khai triển của dây quấn xếp đơn  $Z_{nt} = S = G = 16, 2p = 4$

### a. Các bước dây quấn.

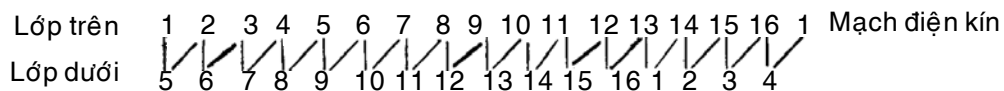
$$y_1 = \frac{Z_{nt}}{2p} \pm \varepsilon = \frac{16}{4} = 4 \qquad y = y_G = 1$$

$$y_2 = y_1 - y = 4 - 1 = 3$$



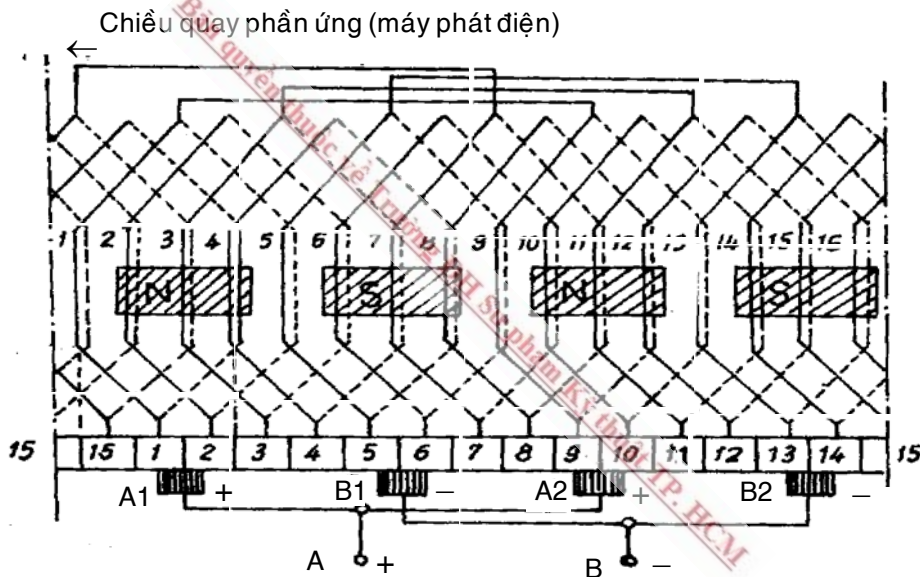
### b. Thứ tự nối các phần tử.

Căn cứ vào bước dây quấn có thể bố trí cách nối các phần tử để thực hiện dây quấn. Đánh số các rãnh từ 1 - 16. Phần tử thứ nhất có cạnh tác dụng 1 (coi như đặt nằm trên rãnh) đặt vào rãnh nguyên tố 1 thì cạnh tác dụng thứ 2 đặt vào phía dưới rãnh nguyên tố 5 (vì  $y_1 = 5 - 1 = 4$ ), 2 đầu của phần tử nối vào 2 phiến góp 1 và 2. Cạnh tác dụng đầu của phần tử 2 phải đặt vào rãnh nguyên tố thứ hai và nằm ở lớp trên (vì  $y_2 = 5 - 2 = 3$ ) cứ tiếp tục như vậy cho đến khi khép kín mạch. Ta có thể biểu thị bằng sơ đồ sau :



### c. Giải đồ khai triển:

Dựa vào sơ đồ thứ tự nối các phần tử ta vẽ giải đồ khai triển dây quấn (h3.5)



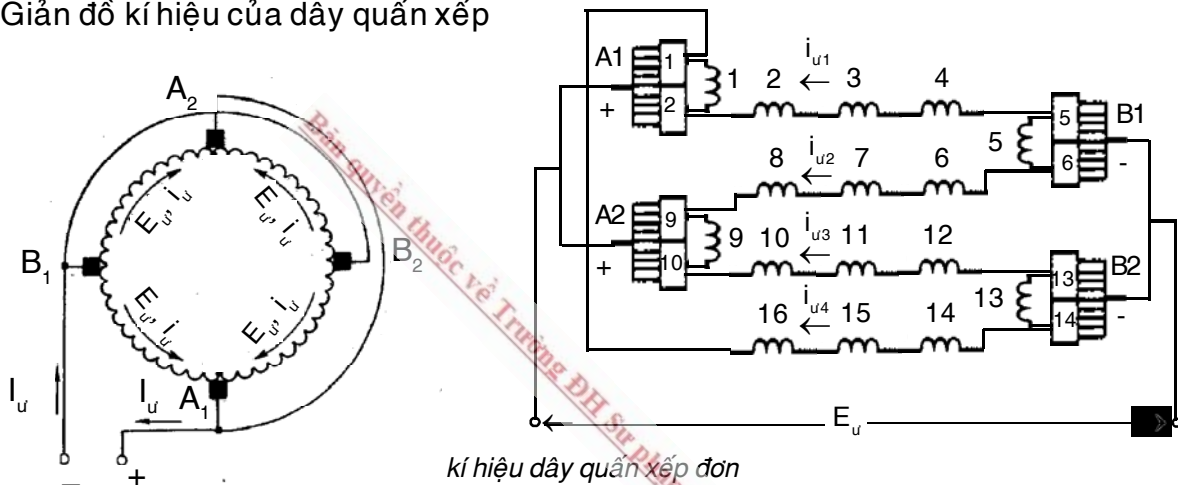
Hình 3.5 Giải đồ khai triển dây quấn xếp đơn

- Theo cực tính của cực từ và chiều quay của phần ứng khi làm việc ở chế độ máy phát suy ra chiều sức điện động.
- Vị trí của cực từ phải đối xứng, thường  $b_c \approx (0,65 - 0,75)\tau$ . Trong đó  $b_c$  bề rộng của cực từ.
- Vị trí của chổi than trên cổ góp điện cũng phải đối xứng, trong dây quấn xếp đơn chiều rộng của chổi than có thể lấy bằng chiều rộng của 1 phiến góp.
- Chổi than phải đặt ở vị trí nào để lấy ra sức điện động trong một mạch nhánh song song là lớn nhất, mặt khác để dòng điện trong phần tử bị chổi than ngắn mạch là nhỏ nhất. Dòng điện trong phần tử ngắn mạch nhỏ nhất khi 2 cạnh của phần tử nằm ở vị trí trùng với đường trung tính hình học của phần ứng và như vậy vị trí của chổi than trên vành góp phải trùng với trục cực từ.

### 3. Số đôi mạch nhánh.

Giả thiết ở 1 thời điểm nào đó dây quấn phần ứng quay đến vị trí như trong giản đồ khai triển trên, ta thấy sức điện động của các phần tử giữa 2 chổi than cùng chiều và chổi than  $A_1, A_2$  cùng cực tính (cực +).  $B_1, B_2$  cùng cực tính (cực âm) vì vậy thường nối  $A_1, A_2$  và  $B_1, B_2$  lại với nhau. Từ đó ta thấy dây quấn là 1 mạch điện gồm 4 mạch song song ghép lại như hình 3.6. Khi phần ứng quay vị trí của các phần tử thay đổi nhưng nhìn từ ngoài vào vẫn là 4 mạch song song. Ở ví dụ trên máy có 4 cực nên có 4 mạch nhánh song song. Nếu số cực là  $2p$  thì số mạch nhánh song song là  $2p$ . Vì vậy đối với dây quấn xếp đơn: Số mạch nhánh song song bằng số cực từ:  $2a = 2p$  hay số đôi mạch nhánh song song:  $a = p$ .

Giản đồ kí hiệu của dây quấn xếp



Sức điện động của máy  $E_u$  là sức điện động của 1 mạch nhánh song song.

Dòng điện phần ứng  $I_u$  là tổng dòng điện các mạch nhánh song song.

$$I_u = i_{u1} + i_{u2} \dots + i_{u4}$$

### 4. Dùng đa giác sức điện động nghiên cứu dây quấn phần ứng:

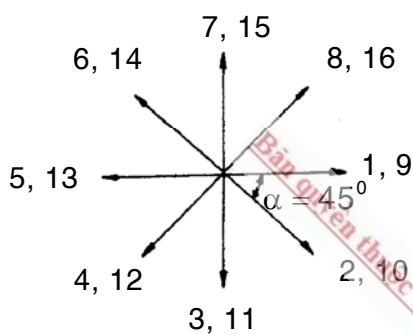
Giả thiết từ cảm dưới cực từ phân bố hình sin, như vậy các phần tử của dây quấn khi quét qua từ trường thì sức điện động cảm ứng trong phần tử cũng biến đổi hình sin. Trong toán học người ta có thể biểu diễn 1 đại lượng hình sin bằng một véc tơ quay mà trị số tức thời của nó là hình chiếu của véc tơ lên trục tung. Như vậy có thể biểu thị sức điện động của tất cả các phần tử bằng hình sao sức điện động. Vì cứ qua 1 đôi cực, S.đ.đ biến đổi 1 chu kỳ tức  $360^\circ$  và số rãnh nguyên tố dưới mỗi đôi cực là  $Z_{nt}/p$  nên nếu coi các phần tử dây quấn phân bố đều trên bề mặt phần ứng thì góc độ điện giữa 2 rãnh nguyên tố (cũng là góc độ điện về sức điện động của 2 phần tử kề nhau) sẽ là:  $\alpha = \frac{360^\circ}{Z_{nt}/p} = \frac{p360^\circ}{Z_{nt}}$

Theo thí dụ trên:  $p = 2, Z_{nt} = S = G = 16$  thì ta có:

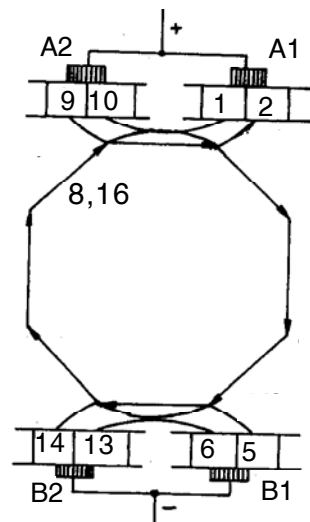
$\alpha = \frac{2.360^\circ}{16} = 45^\circ$ . Do phần tử 1 nằm trên đường trung tính hình học nên chọn véc tơ S.đ.đ của phần tử 1 làm chuẩn và có vị trí nằm ngang. Từ đó ta vẽ đồ thị

hình tia sức điện động của dây quấn. Từ hình vẽ ta thấy rãnh 1 ÷ 8 phân bố dưới 1 đôi cực (chiếm 360° điện), còn rãnh 9 ÷ 16 phân bố dưới 1 đôi cực khác. Hai tổ véc tơ trùng nhau như hình vẽ (như véc tơ 2 và 10, 3 và 11, 4 và 12...). Sở dĩ như vậy vì chúng có vị trí tương đối giống nhau ở dưới cực từ nên sức điện động hoàn toàn giống nhau.

Khi đã có hình tia sức điện động nếu theo cách đấu của các phần tử để nối tiếp các véc tơ của chúng lại thì được đa giác sức điện động. Theo thí dụ trên các véc tơ 1, 2, 3... nối tiếp nhau nên vẽ ra ta thấy dây quấn này có hai đa giác sức điện động trùng nhau.



Hình 3.7 Hình tia s.d.đ của dây quấn xếp đơn ở hình 3.4

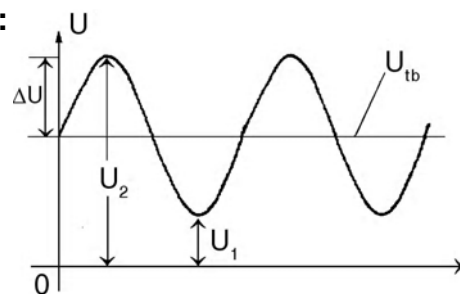
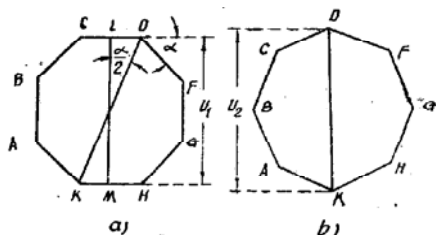


Hình 3.8 Đa giác s.d.đ của dây quấn xếp đơn ở hình 3.4

Dùng đa giác s.d.đ có thể nhận thấy được các vấn đề sau :

- Nếu đa giác s.d.đ khép kín thì chúng tỏ tổng sức điện động trong mạch vòng phần ứng bằng 0 trong điều kiện làm việc bình thường không có dòng điện cân bằng.
- Muốn cho s.d.đ lấy ra ở 2 đầu chổi than là cực đại thì chổi than phải đặt ở các phần tử ứng với các véc tơ ở đỉnh và đáy của đa giác s.d.đ. Khi phần ứng quay hình chiếu của đa giác trên trục tung có hay đổi ít theo chu kỳ. Vì vậy điện áp phần ứng lấy từ chổi than có đập mạch.
- Cứ mỗi đa giác s.d.đ tương ứng với 1 đôi mạch nhánh song song.
- Những điểm trùng nhau trên đa giác là những điểm đẳng thế của dây quấn. Do đó ta có thể nối dây cân bằng điện thế như nối điểm 1-9, 2-10, 3-11...

### 5. Sự đập mạch của điện áp ở các chổi than :



Hình 3.9 Sự đập mạch của điện áp ở chổi than với số phần tử chẵn trong nhánh dây quấn phần ứng

Khi roto quay thì đa giác quay, ta thấy hình chiếu của đa giác trên trục tung có thể thay đổi chút ít theo chu kỳ. Nếu số cạnh của đa giác S.đ.đ không nhiều thì S.đ.đ lấy ra ở chổi than đập mạch trong giới hạn từ  $U_1$  (hình 3.9 a) đến  $U_2$  một cách chu kỳ. Từ hình vẽ  $U_1 = U_2 \cdot \cos \frac{\alpha}{2}$

Trị số điện áp trung bình trên chổi than :

$$U_{tb} = \frac{U_1 + U_2}{2} = \frac{1}{2} U_2 (1 + \cos \frac{\alpha}{2})$$

Hiệu số điện áp giữa  $U_1$  hay  $U_2$  với  $U_{tb}$

$$\Delta U = U_2 - U_{tb} = U_{tb} - U_1 = \frac{1}{2} U_2 (1 + \cos \frac{\alpha}{2})$$

Sự đập mạch của điện áp được xác định bởi quan hệ :

$$\frac{\Delta U}{U_{tb}} = \frac{\frac{1}{2} U_2 (1 - \cos \frac{\alpha}{2})}{\frac{1}{2} U_2 (1 + \cos \frac{\alpha}{2})} = \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{4}$$

Ta biết  $\alpha = \frac{p \cdot 360^\circ}{S} = \frac{180^\circ}{G/2p}$

Trong đó:  $G/2p$  : số phiến góp / 1 cực từ.

Độ đập mạch của điện áp phụ thuộc vào số phiến góp trên cực từ. Nếu  $G/2p$  càng lớn thì  $\alpha$  càng giảm, như vậy sự đập mạch càng ít.

$G/2p$	1	2	3	5	8	15	30
$\frac{\Delta U}{U_{tb}}$	100	17	7,2	2,5	0,97	0,28	0,07

Khi  $G/2p = 8$  thì sự đập mạch đã nhỏ hơn 1% nên khó nhận thấy và điện áp của máy điện coi như không đổi.

### § 3.3. Dây quấn xếp phức tạp

#### 1. Bước dây quấn :

Dây quấn xếp phức tạp là dây quấn có bước trên vành góp  $y_G = m$  với  $m = 2, 3 \dots$ , số nguyên. Thường dây quấn xếp phức tạp chỉ thực hiện với  $m = 2$  đối với các máy thật lớn người ta mới dùng  $m > 2$ . Khi  $y = y_G = 2$  thì cạnh cuối của phần tử thứ nhất không nối với cạnh đầu của phần tử thứ hai kế tiếp nó mà nối với cạnh đầu của phần tử thứ ba và cứ như vậy cho đến khi khép kín mạch.

Nếu  $Z_{nt}$  và  $m$  có ước số chung lớn nhất là  $t$  thì dây quấn có  $t$  mạch kín độc lập.

## 2. Giản đồ khai triển :

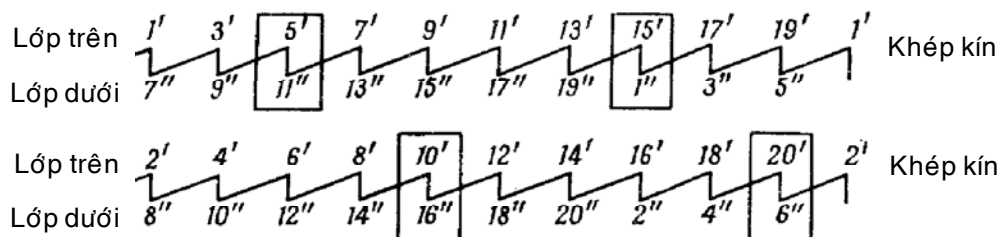
Để thấy rõ các bước xây dựng giản đồ khai triển của dây quấn ta nêu một thí dụ để phân tích.

Thí dụ : dây quấn xếp phức tạp  $2p = 4$  ,  $S = G = Z_{nt} = 20$ , dây quấn bước dài.

a. Các bước dây quấn :

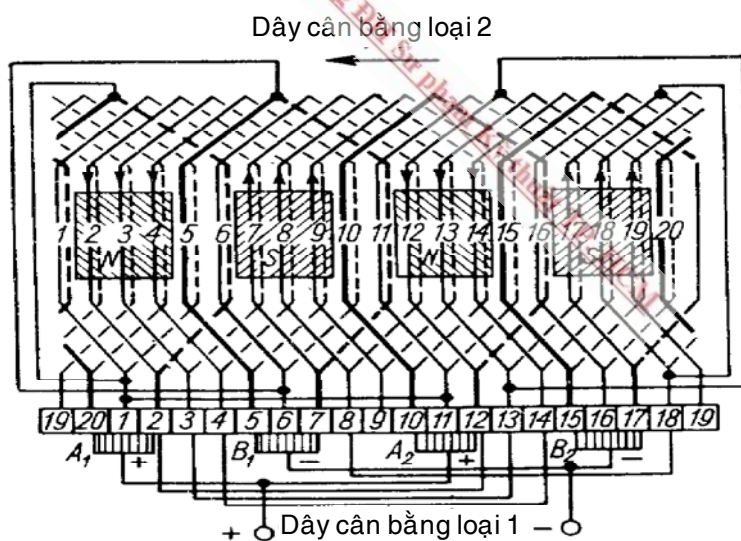
$$y = y_G = 2, \quad y_1 = \frac{Z_{nt} \pm \varepsilon}{2p} = \frac{20}{4} + 1 = 6, \quad y_2 = 6 - 2 = 4$$

b. Thứ tự nối các phần tử :



c. Giản đồ khai triển

Theo sơ đồ thứ tự nối các phần tử ta có thể vẽ giản đồ khai triển của dây quấn. Cách bố trí các cực từ, chổi than như dây quấn xếp đơn, chỉ có khác là bề rộng chổi than ít nhất là bằng 2 lần bề rộng phiến góp để có thể đồng thời lấy điện ở cả 2 dây quấn ra được.



Hình 3.10 Giản đồ khai triển dây quấn xếp phức tạp

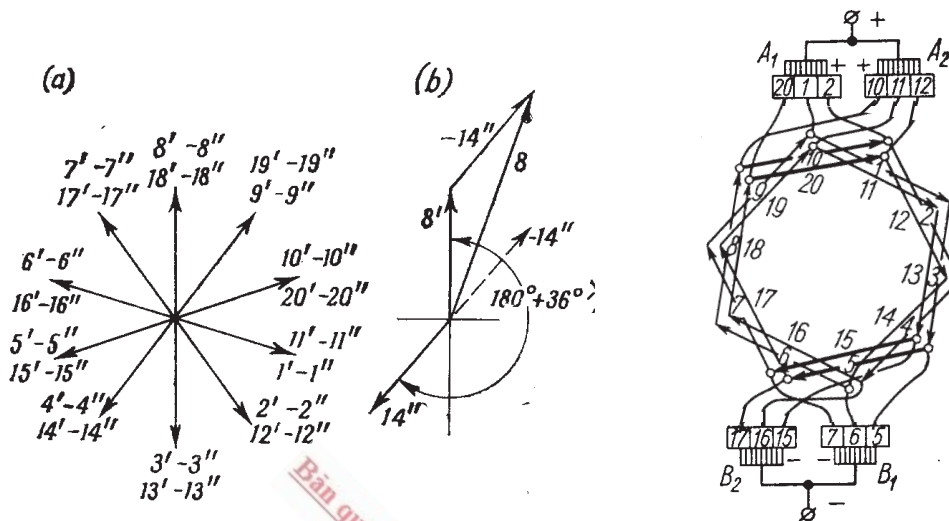
## 3. Số đôi mạch nhánh :

Dây quấn xếp phức tạp thực tế do 2 hay m dây quấn xếp đơn hợp lại cùng đấu chung với chổi than do đó từ phía ngoài nhìn vào số mạch nhánh song song của dây quấn xếp phức tạp gấp đôi hay m lần số mạch nhánh song song của dây quấn xếp đơn. Vì vậy ta có số đôi mạch nhánh song song của dây quấn xếp phức tạp bậc m là

$$a = mp$$

Ta cũng có thể dùng hình tia S.đ.đ và đa giác S.đ.đ để nghiên cứu dây quấn xếp phức tạp. Với thí dụ trên ta có :

$$\alpha = \frac{p.360^\circ}{Z_{nt}} = \frac{2.360^\circ}{20} = 36^\circ$$



Hình 3.11 a. Đồ thị hình tia S.đ.đ cạnh của các phần tử  
 b. Véc tơ S.đ.đ của phần tử  
 c. Đa giác S.đ.đ của các phần tử.

### § 3.4. Dây quấn sóng đơn

Đặc điểm của dây quấn sóng là 2 đầu của phần tử nối với 2 phiến góp cách rất xa nhau và 2 phần tử nối tiếp nhau cũng cách xa nhau nên nhìn cách đấu gần giống như làn sóng (hình 3.3).

#### 1. Bước dây quấn :

$$y_1 = \frac{Z_{nt} \pm \epsilon}{2p}$$

$$y_G = \frac{G \pm 1}{p}$$

Trong đó: Dấu "+" ứng với dây quấn sóng phải

Dấu "-" ứng với dây quấn sóng trái

Thường sử dụng dây quấn sóng trái để đỡ tốn dây đồng

$$y_2 = y_G - y_1$$

#### 2. Giảm đồ khai triển :

Để hiểu được các bước xây dựng giảm đồ khai triển của dây quấn ta xét một thí dụ sau: Dây quấn sóng đơn  $S = G = Z_{nt} = 17$  ,  $2p = 4$ .

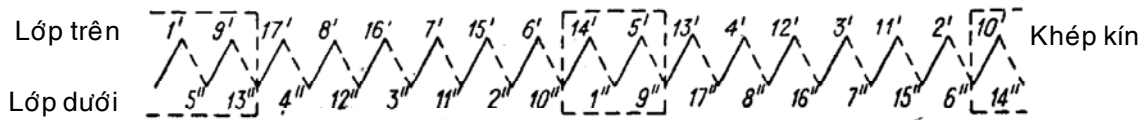
##### a. Bước dây quấn.

$$y_1 = \frac{Z_{nt} \pm \epsilon}{2p} = \frac{17}{4} - \frac{1}{4} = 4$$

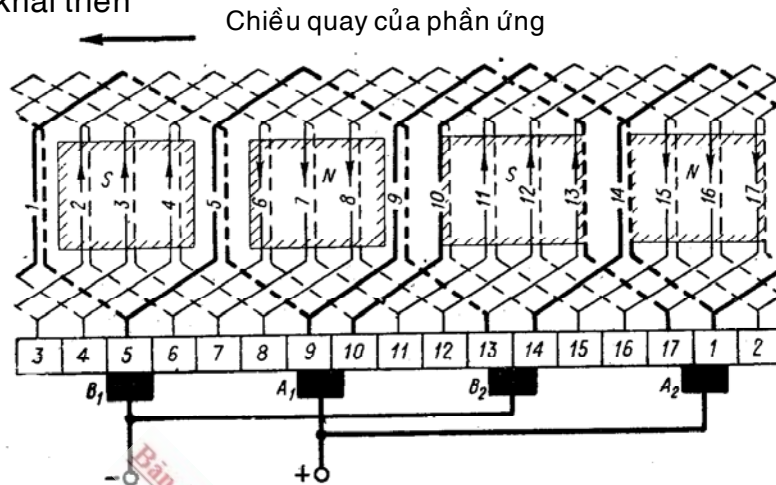
$$y_G = \frac{17-1}{2} = 8$$

$$y_2 = 8 - 4 = 4$$

b. Trình tự nối các phần tử



c. Giản đồ khai triển



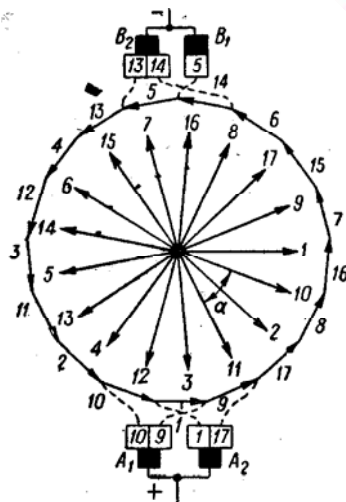
Hình 3.12 Giản đồ khai triển dây quấn sóng đơn

3. Số đôi mạch nhánh :

Vẽ đồ thị hình tia và đa giác S.đ.đ ta nhận thấy dây quấn sóng đơn chỉ có 1 đa giác S.đ.đ. Do đó số đôi mạch nhánh song song :  $a = 1$ .

Góc độ điện giữa 2 rãnh nguyên tố kề nhau.

$$\alpha = \frac{p \cdot 360^\circ}{Z_{nt}} = \frac{2 \cdot 360^\circ}{17} = 42,3^\circ$$



Hình 3.13 Đồ thị hình tia và đa giác S.đ.đ của dây quấn sóng đơn hình 3.12

§ 3.5. Dây quấn sóng phức tạp

Trong dây quấn sóng nếu các phần tử nối tiếp nhau đi 1 vòng quanh bề mặt phần ứng, không trở về vị trí gần phần tử đầu mà cách 2 hay m phần tử thì được gọi là dây quấn sóng phức tạp.

### 1. Các bước dây quấn

$$y_1 = \frac{Z_{nt} \pm \epsilon}{2p}$$

$$y_G = \frac{G \pm m}{p}$$

$$y_2 = y_G - y_1$$

### 2. Giản đồ khai triển :

Để vẽ giản đồ khai triển của dây quấn ta xét một thí dụ sau: Dây quấn sóng phức tạp  $S = G = Z_{nt} = 18$ ,  $2p = 4$ ,  $m = 2$

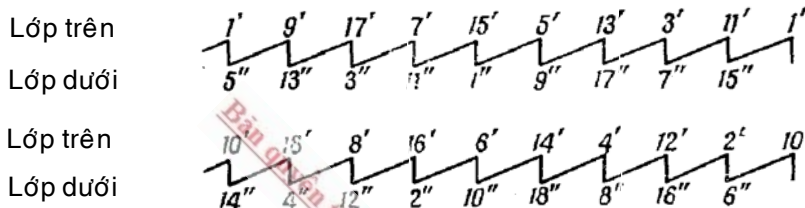
a. Các bước dây quấn :

$$y_1 = \frac{Z_{nt} \pm \epsilon}{2p} = \frac{18}{4} - \frac{2}{4} = 4$$

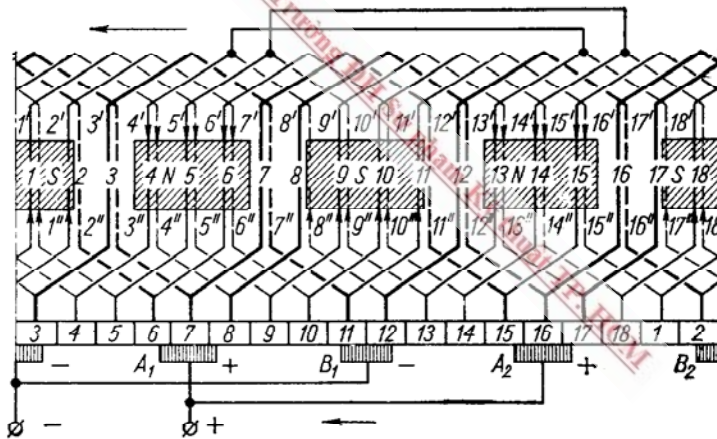
$$y_G = \frac{18 - 2}{2} = 8$$

$$y_2 = 4$$

b. Trình tự nối các phần tử.



c. Giản đồ khai triển :



Hình 3.14 Giản đồ khai triển của dây quấn sóng phức tạp.

### 3. Số đôi mạch nhánh đa giác S.đ.đ :

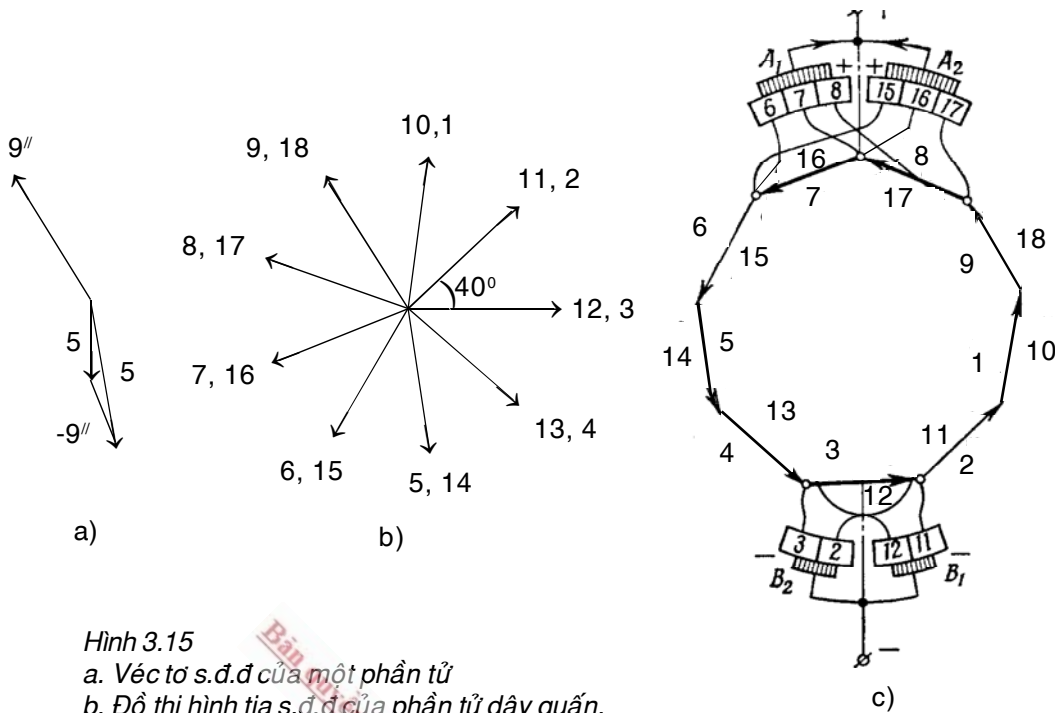
Dây quấn sóng phức tạp có thể coi gồm m dây quấn sóng đơn gộp lại. Do đó số đôi mạch nhánh  $a = m$ .

Góc độ điện giữa 2 phần tử kề nhau, ở thí dụ trên :

$$\alpha = \frac{p \cdot 360^\circ}{Z_{nt}} = \frac{2 \cdot 360^\circ}{18} = 40^\circ$$

Đồ thị hình tia S.đ.đ và đa giác S.đ.đ như sau :





Hình 3.15  
 a. Véc tơ s.đ.đ của một phần tử  
 b. Đồ thị hình tia s.đ.đ của phần tử dây quấn.  
 c. Đồ thị đa giác s.đ.đ.

### § 3.5. Dây cân bằng điện thế

Dây quấn MĐDC tương ứng như 1 mạch điện gồm 1 số mạch nhánh song song ghép lại. Trong điều kiện làm việc bình thường, S.đ.đ sinh ra trong các mạch nhánh là bằng nhau, khi có tải dòng điện phân bố đều trên các mạch nhánh. Nếu vì nguyên nhân nào đó dòng điện trong các mạch nhánh phân bố không đều nhau thì sự làm việc của máy không có lợi. Để tránh tình trạng đó ta nối dây cân bằng điện thế để bảo đảm phân phối đều dẫn dòng điện trong các mạch nhánh.

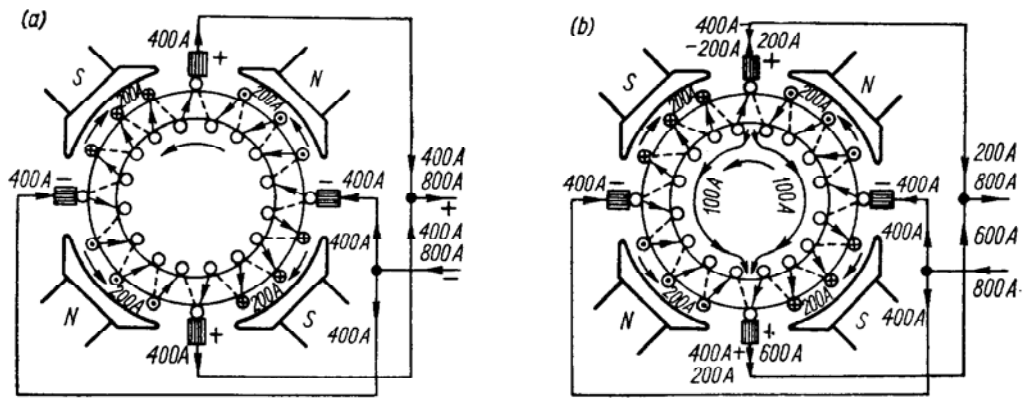
Trong tất cả các loại dây quấn trừ dây quấn hỗn hợp, khi  $a > 1$  đều phải đặt dây cân bằng điện thế.

Có 2 loại dây cân bằng :

- Dây cân bằng loại 1 : dùng cho dây quấn xếp đơn
- Dây cân bằng loại 2 : dùng cho dây quấn xếp phức và sóng phức.

#### 1. Dây cân bằng loại 1 :

Khi khe hở không khí đều, S.đ.đ trong các mạch nhánh bằng nhau. Ví dụ  $E_v = 100V$  và dòng điện có cùng trị số chạy trong các mạch nhánh, ví dụ là 200A thì dòng điện trên chổi than là 400A phân phối đều, máy làm việc bình thường (hình 3.16a).



Hình 3.16 Sự phân bố dòng điện trong dây quấn phần ứng  
 a. Khi S.đ.đ của các mạch nhánh đối xứng  
 b. Khi S.đ.đ của các mạch nhánh không đối xứng

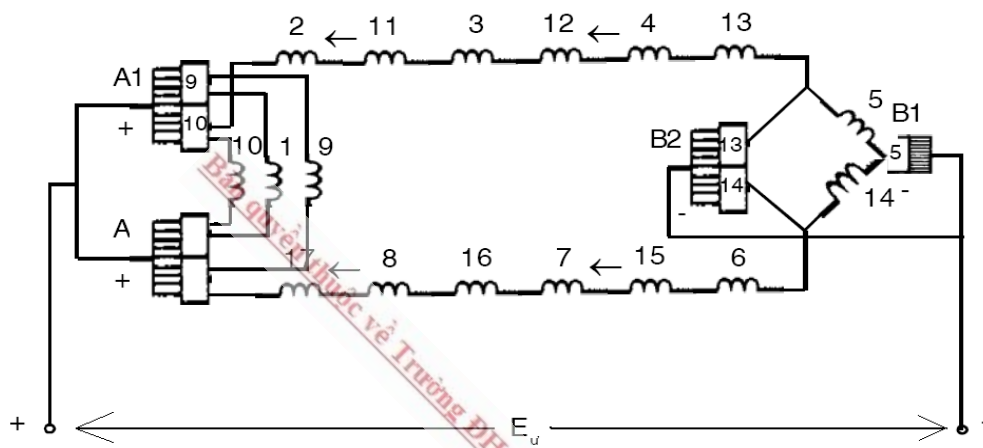
Trên thực tế, do chế tạo lắp ghép không tốt hoặc làm việc lâu ngày ổ bị mòn dẫn đến khe hở giữa các cực không bằng nhau vì vậy từ thông giữa các cực từ khác nhau, S.đ.đ khác nhau dẫn đến sự không cân bằng s.đ.đ trong các mạch nhánh làm cho trong dây quấn sinh ra dòng điện cân bằng  $I_{cb}$ . Vì điện trở dây quấn rất nhỏ nên khi có sự không cân bằng rất nhỏ của S.đ.đ cũng đủ gây ra  $I_{cb}$  lớn làm cho máy khi có tải dòng điện trong các mạch nhánh không đối xứng làm tăng tổn hao đồng máy nóng. Ngoài ra do dòng điện qua chổi than không đối xứng, có thể chổi than quá tải làm đổi chiều khó khăn (tia lửa sinh ra trên chổi than quá lớn).

Ta khảo sát dây quấn xếp đơn  $2a = 2p = 4$ . Nếu tất cả các mạch nhánh dây quấn đều làm việc đối xứng thì trong các mạch nhánh dây quấn có s.đ.đ đồng nhất ví dụ  $E_v = 100V$  và có dòng điện cùng trị số chạy theo mỗi mạch nhánh ví dụ  $I_v = 200A$  thì dòng điện tương ứng trong chổi than là 400A và dòng điện ở mạch ngoài là 800A. Giả sử khe hở không khí không đều, khe hở trên rộng hơn khe hở dưới ta có: S.đ.đ  $E_v$  ở 2 mạch nhánh trên là 99V, s.đ.đ  $E_v$  ở 2 mạch nhánh dưới là 101V, sự chênh lệch điện áp giữa chổi than dương là 2V. Giả sử điện trở của mạch nhánh song song của phần ứng  $r_u = 0,01\Omega$  điện trở của nửa dây quấn phần ứng  $2r_u = 2 \cdot 0,01\Omega$  cho nên trên mỗi nửa dây quấn phần ứng có  $I_{cb} = 2/2 \cdot 0,01 = 100A$ . Chổi than trên bị giảm tải còn 200A. Chổi than dưới tăng tải là 600A, làm sinh ra tia lửa ở cổ góp. Để tránh các hiện tượng trên người ta nối các điểm về lí luận là đẳng thế lại với nhau. Ta có khoảng cách giữa hai điểm đẳng thế cạnh nhau gọi là bước thế, bước thế  $y_t$  được xác định bằng số phiên đổi chiều dưới mỗi đôi cực. Trong dây quấn xếp đơn  $a = p$  nên  $y_t = \frac{G}{P} = \frac{G}{a}$ . Trong thực tế người ta chỉ nối chừng 3 - 4 dây cân bằng đối với các máy nhỏ. Đối với các máy trung bình nối 1/4 đến 1/3 dây số dây cân bằng điện thế có thể có. Nối toàn bộ dây cân bằng điện thế đối với máy lớn.

Tác dụng của dây cân bằng loại 1 làm mất sự không đối xứng của mạch từ trong máy điện để cân bằng điện thế ở trong các mạch nhánh của dây quấn xếp nằm dưới các cực từ có cùng cực tính.

Đối với dây quấn sóng đơn chỉ có 1 đôi mạch nhánh nên không có các điểm đẳng thế. Thực tế dây quấn sóng đơn cũng không cần nối dây cân bằng điện thế vì các phần tử nối tiếp để làm thành 1 mạch nhánh song song đều phân bố đều ở dưới các cực từ nên dù từ thông dưới các cực từ khác nhau thì S.đ.đ trong 2 mạch nhánh vẫn bằng nhau.

Thí dụ : Giải đồ kí hiệu dây quấn sóng đơn ở § 3.4



## 2. Dây cân bằng loại 2:

Trong dây quấn xếp và sóng phức có  $a > 1$ , có nhiều mạch điện kín làm việc song song với nhau thông qua các chổi than. Do vấn đề chế tạo nên điện trở tiếp xúc của chổi than với các mạch điện kín của các mạch nhánh song song cũng không giống nhau, do đó sẽ xuất hiện dòng điện cân bằng. Để thấy rõ điều này ta khảo sát dây quấn sóng phức tạp có hai mạch điện kín độc lập ở hình 3.17 là sơ đồ thay thế của dây quấn hình 3-14.

Trong đó:

$E_1, E_2$ : S.đ.đ của mỗi mạch nhánh dây quấn ( $E_1 = E_2$ )

$i_1, i_2$ : dòng điện của mỗi dây quấn

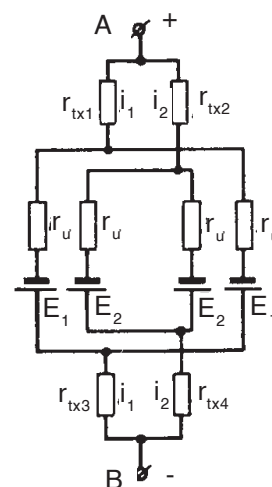
$r_u$ : điện trở của 1 mạch nhánh dây quấn

$r_{tx1} - r_{tx4}$ : điện trở tiếp xúc của chổi than với vành góp.

Điện áp giữa 2 đầu A và B được tính :

$$U_{AB} = E_1 - i_1(r_{tx1} + r_{tx3} + \frac{1}{2} r_u)$$

$$U_{AB} = E_2 - i_2(r_{tx2} + r_{tx4} + \frac{1}{2} r_u)$$



Hình 3.17 Sơ đồ thay thế của dây quấn h3.14

Vì  $E_1 = E_2$  nên :

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{r_{tx2} + r_{tx4} + \frac{1}{2} r_{ur}}{r_{tx1} + r_{tx3} + \frac{1}{2} r_{ur}}$$

Do đó  $i_1 = i_2$  khi  $r_{tx1} + r_{tx3} = r_{tx2} + r_{tx4}$

Thực tế điều này khó có thể xảy ra nên  $i_1 \neq i_2$  làm xuất hiện sự chênh lệch điện áp giữa các phiến góp cạnh nhau và làm xấu sự làm việc của máy . Để khắc phục nhược điểm này cần nối dây cân bằng loại 2 . Bước thế

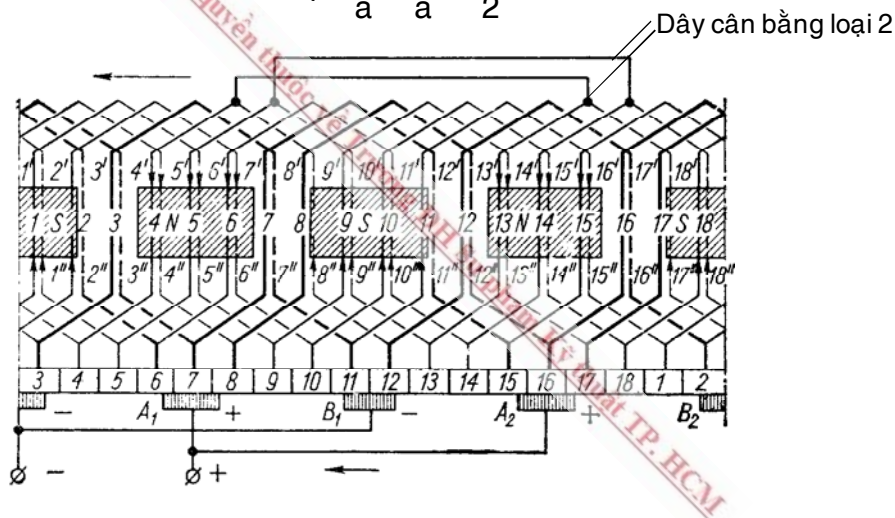
$$y_t = \frac{S}{a} = \frac{G}{a}$$

Dây cân bằng điện thế dùng để làm mất sự phân bố không đối xứng của điện áp trên vành góp gọi là dây cân bằng loại 2.

Từ đa giác s.d.đ của dây quấn sóng phức tạp hình 3-14, ta có:

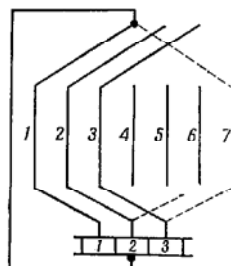
Bước thế của dây cân bằng loại 2 :

$$y_t = \frac{S}{a} = \frac{G}{a} = \frac{18}{2} = 9$$



Đối với dây quấn xếp phức tạp:

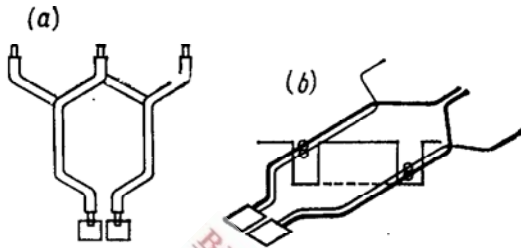
Trong dây quấn phức tạp thì các dây quấn đơn phải dùng dây cân bằng loại 1 và giữa các dây quấn xếp đơn đó phải dùng dây cân bằng loại hai để phân phối đồng đều dòng điện giữa các dây quấn sóng đơn. Để đảm bảo sự phân bố đúng điện áp giữa các phiến cạnh nhau dây cân bằng loại 2, cần nối điểm giữa của phần tử 1 nằm ở phần đầu nối với đầu phần tử 2.



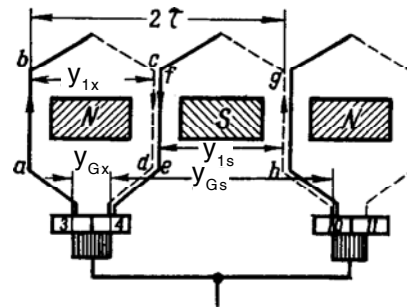
Hình 3.18 Cách đặt dây cân bằng loại 2

### § 3.6 Dây quấn hỗn hợp

Trong máy điện một chiều công suất lớn đôi khi người ta dùng dây quấn hỗn hợp hoặc gọi là dây quấn kiểu ếch do La tua (LATYROM) phát hiện năm 1910, nó là kết hợp của các dây quấn xếp đơn giản và sóng phức tạp, ở đó không cần chế tạo các dây nối cân bằng. Cả hai dây quấn cùng nối lên các phiến đổi chiều chung, vì vậy ở dây quấn này mỗi phiến đổi chiều có 4 thanh dẫn nối vào. Trong dây quấn xếp đơn giản có  $a = p$  đôi mạch nhánh song song, nên dây quấn sóng phức tạp phải được thực hiện với cùng một số đôi mạch nhánh song song  $a = p$



Hình 3.19 a. Phần tử của dây quấn hỗn hợp  
b. cách đặt phần tử trong rãnh



Hình 3.20 Dây quấn hỗn hợp

Điều kiện để nối dây quấn xếp và sóng thành dây quấn hỗn hợp:

a. Các dây quấn sóng và xếp có số mạch nhánh như nhau

$$2a_x = 2a_s = m_x (2p) = 2 m_s$$

$m_x, m_s$ : Bậc của dây quấn xếp và sóng

b. Có số thanh dẫn như nhau để đảm bảo có s.đ.đ như nhau

$$N_x = N_s$$

c. Đảm bảo điều kiện đối xứng của dây quấn ít nhất phải có  $z/p$  và  $G/p$  là số nguyên

d. S.đ.đ trong mạch kín hợp thành do dây dẫn nối các chổi than cùng tên và các phần tử của dây quấn xếp và sóng phải bằng không.

Trong các công thức trên, các kí hiệu nhỏ "x" và "s" là để chỉ dây quấn xếp và sóng.

Muốn thực hiện điều kiện thứ nhất thì khi dây quấn xếp là xếp đơn thì dây quấn sóng phải là sóng phức:  $y_G = \pm m_s = \pm m_x p$

Thường dây quấn hỗn hợp gồm dây quấn xếp đơn và dây quấn sóng phức. Số đôi mạch nhánh của dây quấn hỗn hợp bằng:

$$a_{hh} = a_x + a_s$$

Để không có dòng điện cân bằng trong mạch dây quấn cần phải thoả mãn

$$y_{1x} = y_{1s} = \frac{z_{nt}}{2p}$$

$$y_{2x} = y_{2s}$$

$$y_x = y_s = \frac{z_{nt}}{p}$$

$y_{Gs}$  cần phải chọn sao cho dây quấn sóng là một mạch kín. Trong dây quấn hỗn hợp dây quấn sóng có tác dụng như dây nối cân bằng cho dây quấn xếp và ngược lại dây quấn xếp là dây nối cân bằng cho dây quấn sóng.

Mặc dù dây quấn hỗn hợp có một số khuyết điểm như chế tạo, sửa chữa khó khăn, hệ số lấp đầy rãnh thấp, điều kiện làm nguội kém nhưng vẫn được áp dụng trong các trường hợp sau;

- Khi cần nâng cao công suất và tốc độ quay của máy điện một chiều.
- Trong các máy điện có đường kính phần ứng cần thu nhỏ lại và không có dây cân bằng.
- Trong các máy điện có tốc độ cao, đường kính phần ứng tương đối nhỏ và việc bố trí dây cân bằng khó khăn.

**Thí dụ:** Dây quấn hỗn hợp có  $Z_{nt} = S = G = 24, 2p = 6$

Chọn dây quấn xếp đơn

$$y_{Gx} = + 1$$

$$y_{1x} = \frac{Z_{nt}}{2p} - \varepsilon = \frac{24}{6} = 4$$

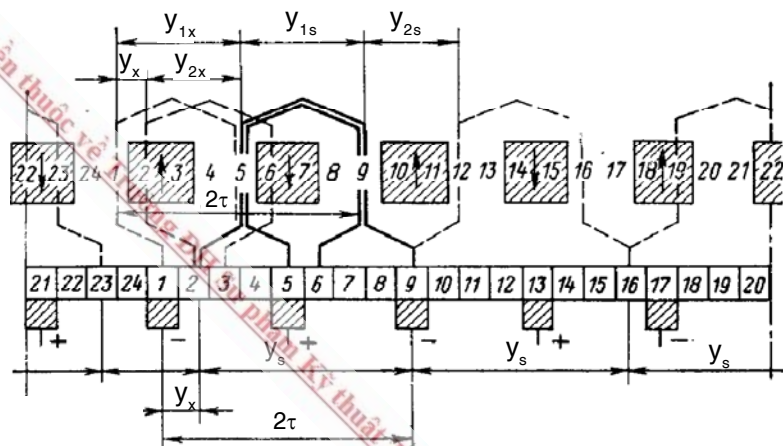
$$y_{2x} = y_{1x} - y_{Gx} = 4 - 1 = 3$$

Dây quấn sóng ba trái

$$y_{Gs} = \frac{G - m}{p} = \frac{24 - 3}{3} = 7$$

$$y_{1s} = \frac{Z_{nt}}{2p} + \varepsilon = \frac{24}{6} = 4$$

$$y_{2s} = y_{Gs} - y_{1s} = 7 - 4 = 3$$



Hình 3.21 Dây quấn hỗn hợp  $Z = 24$

### Câu hỏi

1. Qui luật nối các phần tử dây quấn xếp và sóng có những điểm nào khác nhau. Quan hệ giữa đôi mạch nhánh của chúng như thế nào?
2. Nếu một máy 4 cực dây quấn xếp đơn đổi thành sóng đơn mà số thanh dẫn và những điều kiện khác không thay đổi thì điện áp và dòng điện của máy sau khi thay đổi sẽ như thế nào? công suất định mức của máy có thay đổi không?
3. Sự khác nhau chính giữa dây quấn xếp đơn và xếp phức tạp, sóng đơn và sóng phức tạp như thế nào?
4. Dây cân bằng điện thế dùng để làm gì? Tác dụng của dây cân bằng điện thế loại 1 và loại 2 khác nhau như thế nào?

## Bài tập

1. Một dây quấn xếp đơn quấn phải, có các số liệu sau:  $S = G = Z_{nt} = 24$ ,  $p = 3$ ,  $u = 1$ , có lắp 1/3 tổng số dây cân bằng điện thế. Vẽ giản đồ khai triển dây quấn.

2. Một máy phát điện kích thích ngoài, công suất 10Kw, điện áp định mức là 6V, số đôi cực  $2p = 4$ . Hỏi nếu dòng điện trong mỗi mạch nhánh không được vượt quá 300A thì phải sử dụng dây quấn gì?

Đáp số: Dây quấn xếp phức với  $m = 2$  hay sóng phức với  $m = 3$

3. Một dây quấn sóng đơn, quấn trái có các số liệu sau:  $Z_{nt} = 19$   $p = 2$ . Hỏi:

- Các bậc dây quấn  $y_1, y_2, y$  và  $y_G$
- Vẽ giản đồ khai triển.
- Vẽ hình tia và đa giác s.đ.đ.
- Số đôi mạch nhánh

Đáp số:  $y_1 = 5, y_2 = 5, y = y_G = 10; a = 1$

4. Một máy điện một chiều với  $S = G = Z_{nt} = 16$ ,  $p = 2$ . Hỏi nếu chọn  $m \leq 2$  thì có thể quấn theo loại dây quấn nào? Lúc đó tìm:

- Các bậc dây quấn  $y_1, y_2, y$  và số mạch nhánh
- Tỉ số điện áp và dòng điện định mức của các loại dây quấn đó.

Đáp số: Xếp đơn hoặc xếp kép

a.  $y_1 = 4, y_2 = 1$  hoặc 2,  $y = 3$  hoặc 2;  $a = 2$  hoặc 4.

b. Tỉ số điện áp bằng 2, dòng điện bằng 1/2

5. Phần ứng của máy điện một chiều có các số liệu sau: Tổng số thanh dẫn  $N = 96$ ; số vòng dây của mỗi phần tử  $w_s = 3$ ,  $2p = 4$ , dây quấn xếp đơn tiến:

- Tính các bậc dây quấn  $y_1, y_2, y$  và  $y_G$
- Thành lập sơ đồ thứ tự nối các phần tử
- Vẽ đồ thị khai triển của dây quấn. Vẽ đồ thị hình tia và đa giác sức điện động

6. Phần ứng máy điện một chiều có các số liệu sau:  $Z_{nt} = S = G = 22$ ;  $2p = 4$ . Dây quấn xếp đôi ( $m = 2$ ).

- Tính các bậc dây quấn  $y_1, y_2, y$  và  $y_G$
- Thành lập sơ đồ thứ tự nối các phần tử
- Vẽ giản đồ khai triển của dây quấn. Vẽ hình tia và đa giác s.đ.đ.

7. Vẽ giản đồ khai triển của dây quấn phần ứng máy điện một chiều có  $Z_{nt} = S = G = 13$ ;  $2p = 4$ . Dây quấn sóng đơn trái.

8. Vẽ giản đồ khai triển của dây quấn phần ứng máy điện một chiều có  $Z_{nt} = S = G = 20$ ;  $2p = 4$ . Dây quấn sóng đôi trái.

9. Vẽ giản đồ khai triển của dây quấn phần ứng máy điện một chiều có  $Z_{nt} = S = G = 20$ ;  $2p = 6$ . Dây quấn xếp đơn.

## Chương 4

### QUAN HỆ ĐIỆN TỬ TRONG MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

#### § 4.1. Sức điện động cảm ứng trong dây quấn phần ứng

Cho một dòng điện kích thích vào dây quấn kích thích thì trong khe hở sinh ra 1 từ thông  $\Phi_\delta$ . Khi phần ứng quay với 1 tốc độ nhất định nào đó thì trong dây quấn sẽ cảm ứng 1 sức điện động. Sức điện động đó là sức điện động của một mạch nhánh song song và bằng tổng sức điện động cảm ứng của các thanh dẫn nối tiếp trong 1 mạch nhánh đó.

Sức điện động cảm ứng của 1 thanh dẫn:

$$e_x = B_{\delta x} \cdot l_\delta \cdot v$$

Trong đó:  $B_{\delta x}$  Từ cảm nơi thanh dẫn x quét qua.

$l_\delta$  : Chiều dài tác dụng của thanh dẫn.

$v$ : Tốc độ dài của thanh dẫn.

Nếu số thanh dẫn của 1 mạch nhánh là  $\frac{N}{2a}$  thì

$$\begin{aligned} E_u &= e_1 + \dots + e_{N/2a} = \sum_{x=1}^{N/2a} e_x \\ &= (B_{\delta 1} + \dots + B_{\delta N/2a}) \cdot l_\delta \cdot v = \sum_{x=1}^{N/2a} B_{\delta x} \cdot l_\delta \cdot v \end{aligned}$$

Nếu số thanh dẫn đủ lớn thì  $\sum_{x=1}^{N/2a} B_{\delta x}$  bằng trị số trung bình  $B_{tb}$  nhân với tổng số thanh dẫn trong 1 mạch nhánh :

$$\sum_{x=1}^{N/2a} B_{\delta x} = \frac{N}{2a} B_{tb} \quad \text{nên} \quad E_u = \frac{N}{2a} B_{tb} l_\delta v = \frac{N}{2a} E_{tb}$$

với  $v$  : tốc độ dài của phần ứng.

$$v = \frac{\pi D_u n}{60} = 2p \frac{\pi D_u}{2p} \cdot \frac{n}{60} = \frac{2p \cdot \tau \cdot n}{60}$$

$\Phi_\delta$  từ thông dưới mỗi cực từ trong khe hở không khí:  $\Phi_\delta = B_\delta \cdot l_\delta \cdot \tau$

Từ đó :

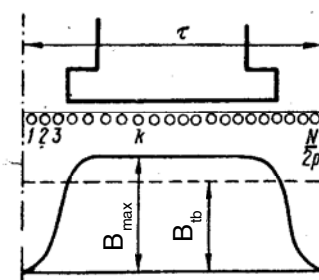
$$E_u = \frac{N}{2a} B_{tb} \cdot l_\delta \cdot \frac{2p \cdot \tau \cdot n}{60} = \frac{pN}{60 a} \cdot \Phi_\delta \cdot n \quad (4-1)$$

Trong đó:  $p$ : Số đôi cực từ kích thích

$N$  Tổng số thanh dẫn của phần ứng

$n$ : Tốc độ quay của phần ứng (vòng/phút)

$a$ : Số đôi mạch nhánh song song



Hình 4.1 Xác định S.đ.đ phần ứng



Đặt:  $C_E = \frac{\rho N}{60a}$  : Hệ số kết cấu của máy điện

Ta có  $E_u = C_E \Phi_\delta n$  (4-2)

#### § 4.2. Mô men và công suất điện từ

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 mô men điện từ trên trục máy. Theo định luật Faraday, lực điện từ tác dụng nên thanh dẫn mang dòng điện là:

$$f = B_\delta i_u l_\delta$$

Trong đó:  $B_\delta$ : Từ cảm nơi thanh dẫn quét qua

$i_u$ : Dòng điện trong thanh dẫn (cũng là dòng điện trong 1 mạch nhánh song song).

$l_\delta$ : Chiều dài tác dụng của thanh dẫn

Với  $i_u = \frac{I_u}{2a}$

$I_u$ : Dòng điện phần ứng

$N$ : Tổng số thanh dẫn của phần ứng

$D_u$ : Đường kính ngoài của phần ứng

Thì mô men điện từ của máy điện một chiều là:

$$M_{dt} = fN \frac{D_u}{2}$$

$$M_{dt} = B_\delta \frac{I_u}{2a} l_\delta N \frac{D_u}{2}$$

Với

$$B_\delta = \frac{\Phi_\delta}{\tau l_\delta} \quad D_u = \frac{2p\tau}{\pi}$$

Thay vào công thức tính mô men điện từ ta được:

$$M_{dt} = \frac{\rho N}{2\pi a} \Phi_\delta I_u \quad (\text{Nm})$$

Trong đó:  $\Phi_\delta$  tính bằng weber (wb)

$I_u$  tính bằng Ampe (A)

Nếu chia hai vế của biểu thức trên cho 9,81 thì  $M_{dt}$  tính bằng Kgm

Đặt:  $C_M = \frac{\rho N}{2\pi a}$  hệ số kết cấu máy

Ta có:  $M_{dt} = C_M \Phi_\delta I_u$  (4-4)

Công suất điện từ của máy điện một chiều

$$P_{dt} = M_{dt} \omega$$

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (\text{rad/giây})$$

Với n tính bằng vòng /phút. Thay vào biểu thức tính  $P_{dt}$  ta có

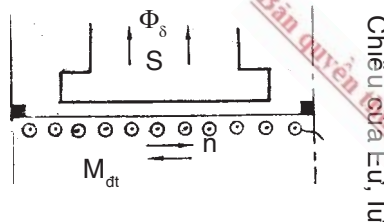
$$P_{dt} = \frac{\rho N}{2\pi a} \Phi_{\delta} I_u \frac{2\pi n}{60}$$

$$P_{dt} = E_u I_u \quad (4-5)$$

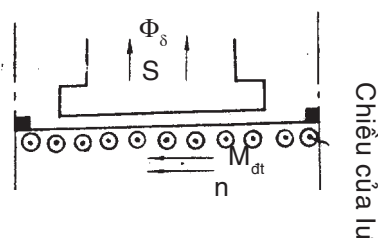
Trong đó:  $E_u$  tính bằng volt (V)

$I_u$  tính bằng Ampe (A)

Máy điện 1 chiều có thể làm việc ở hai chế độ :



Hình 4.2 Xác định  $E_u$  và  $M_{dt}$  trong máy phát điện một chiều



Hình 4.3 Xác định  $E_u$  và  $M_{dt}$  trong động cơ điện một chiều

– Đối với máy phát điện:  $M_{dt}$  ngược với chiều quay của máy nên khi máy cung cấp cho tải càng lớn thì công suất cơ cung cấp cho máy phải càng tăng vì  $M_{dt}$  luôn có chiều ngược với chiều quay của phần ứng.

Chiều của  $E_u$ ,  $I_u$  phụ thuộc vào chiều của  $\Phi_{\delta}$  và  $n$ , được xác định bằng qui tắc bàn tay phải. Chiều của  $M_{dt}$  xác định bằng qui tắc bàn tay trái.

– Đối với động cơ điện khi cho dòng điện vào phần ứng thì dưới tác dụng của từ trường, trong dây quấn sẽ sinh ra 1  $M_{dt}$  kéo máy quay, vì vậy chiều quay của máy cùng chiều  $M_{dt}$ .

### § 4.3 Quá trình năng lượng và các phương trình cân bằng

#### I. Tổn hao trong máy điện một chiều.

**1. Tổn hao cơ  $\Delta p_{cc}$ :** bao gồm tổn hao ở ổ bi, ma sát giữa chổi than và vành góp, của không khí với cánh quạt v.v... Tổn hao này phụ thuộc chủ yếu vào tốc độ quay của máy, thông thường  $\Delta p_{cc} = (2 \div 4)\% P_{dm}$

**2. Tổn hao sắt  $\Delta p_{Fe}$ :** Do từ trễ và dòng điện xoáy trong lõi thép gây nên. Được xác định bằng công thức :

$$\Delta p_{Fe} = k_{\delta} \cdot P(1/50) \cdot \left(\frac{f}{50}\right)^{\beta} \cdot B^2 \cdot G_c \quad (\text{watt/kg})$$

$k_{\delta}$ : hệ số kinh nghiệm xét đến sự tăng thêm tổn hao thép do gia

công, lắp ghép lõi thép, từ thông phân bố không đều v.v . . . thường chọn  $k_s = 3,6$

$p_{(1/50)}$ : suất tổn hao của thép khi  $B = 1T$ ,  $f = 50$  Hz

$f$ : Tần số dòng điện ;  $B$  từ cảm tính toán ( $1T = 10^4$  Gauss)

$G_c$ : Trọng lượng của sắt tính bằng kg

$\beta$ : số mũ đối với thép hợp kim thấp  $\beta = 1,5$  ; đối với thép hợp kim cao thì  $\beta = 1,2 \div 1,3$ .

Hai loại tổn hao trên khi không tải đã tồn tại nên gọi là tổn hao không tải

$$P_o = p_{cđ} + p_{Fe}$$

Nó sinh ra mô men không tải mang tính chất hãm

$$M_o = \frac{P_o}{\omega}$$

**3. Tổn hao đồng  $\Delta p_{cu}$**  tổn hao đồng bao gồm 2 phần :

- Tổn hao đồng trong mạch phần ứng  $p_{cu}$  bao gồm tổn hao đồng trong dây quấn phần ứng  $I_u^2 r_u$ , cực từ phụ  $I_u^2 r_f$ , tổn hao tiếp xúc giữa chổi than và vành góp  $p_{tx}$ :

$$\Delta p_{tx} = 2\Delta U_{tx} I_u$$

$$\Delta p_{cu} = I_u^2 R_u$$

$$R_u = r_u + r_f + r_{tx}$$

$r_u$ : điện trở phần ứng

$r_f$ : điện trở của dây quấn cực từ phụ

$r_{tx}$ : điện trở tiếp xúc của chổi than với vành góp

- Tổn hao đồng trong mạch kích từ  $p_{cut}$ :

$$\Delta P_{cut} = U_t I_t$$

$U_t$ : điện áp đặt trên mạch kích thích

$I_t$ : dòng điện kích thích

**4. Tổn hao phụ  $\Delta p_f$** : sinh ra trong thép cũng như ở trong đồng của máy điện.

Tổn hao phụ trong thép có thể do từ trường phân bố không đều trên bề mặt phần ứng, ảnh hưởng của răng và rãnh làm xuất hiện từ trường đập mạch dọc trục.

Tổn hao phụ trong đồng : dòng điện phân bố không đều trên chổi than, khi đổi chiều, từ trường phân bố không đều trong rãnh làm cho trong dây quấn sinh ra dòng điện xoáy, tổn hao trong dây nối cân bằng v.v . . . Thường trong máy điện một chiều lấy

$$\begin{aligned}\Delta p_f &= 1\% P_{dm} \text{ nếu máy không có dây quấn bù.} \\ &= 0,5\% P_{dm} \text{ nếu máy có dây quấn bù.}\end{aligned}$$

Tổng tổn hao trong máy là :

$$\Sigma p = \Delta p_{c\sigma} + \Delta p_{Fe} + \Delta p_{cuu} + \Delta p_{cut} + \Delta p_f$$

Nếu gọi  $P_1$  là công suất đưa vào máy

$P_2$  là công suất đưa ra của máy thì

$$P_1 = P_2 + \Sigma p \qquad P_2 = P_1 - \Sigma p$$

Hiệu suất của máy được tính theo %

$$\eta\% = \frac{P_2}{P_1} 100 = \frac{P_2}{P_2 + \Sigma p} 100 = \frac{P_1 - \Sigma p}{P_1} 100 = \left(1 - \frac{\Sigma p}{P_1}\right) 100$$

## II. Quá trình năng lượng trong máy điện một chiều và các phương trình cân bằng :

### 1. Máy phát điện:

Ta hãy xét quá trình biến đổi năng lượng. Ví dụ như của máy phát điện một chiều kích thích độc lập được quay với tốc độ  $n = C^{\omega}$ . Khi kích thích độc lập thì tổn hao trong mạch kích thích không tính vào công suất  $P_1$  đưa từ động cơ sơ cấp vào máy phát điện. Khi biến đổi năng lượng 1 phần  $P_1$  tiêu phí vào các tổn hao  $p_{c\sigma}$ ,  $p_{Fe}$ ,  $p_f$  và phần còn lại biến thành năng lượng điện từ, do đó:

$$P_{dt} = E_u \cdot I_u = P_1 - (\Delta p_{c\sigma} + \Delta p_{Fe} + \Delta p_f)$$

Công suất có ích  $P_2 = U \cdot I_u$  do máy phát điện đưa vào lưới nhỏ hơn  $P_{dt}$  một trị số bằng tổn hao đồng trong máy :

$$P_2 = P_{dt} - \Delta p_{cuu} = E_u \cdot I_u - I_u^2 \cdot R_u = U \cdot I_u$$

Chia 2 vế trên cho  $I_u$  ta có :

$$U = E_u - I_u \cdot R_u$$

Đó là phương trình cân bằng sức điện động của máy phát điện

## Giản đồ năng lượng của máy phát điện một chiều

Ta có thể viết công thức :

$$P_1 = P_{dt} + P_o$$

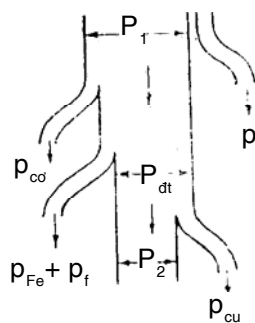
hay

$$M_1 \omega = M_{dt} \omega + M_o \omega$$

Chia 2 vế cho  $\omega$

$$M_1 = M_{dt} + M_o$$

Đó là phương trình cân bằng mô men của máy phát điện một chiều với  $M_1$ : Mômen cơ đưa vào trục máy phát điện;  $M_{dt}$ : mômen điện từ phát ra của máy phát.



Hình 4.4 Giản đồ năng lượng của máy phát điện một chiều

## 2. Động cơ điện :

Xét một động cơ điện một chiều kích thích song song làm việc ở  $n = C^{te}$ . Công suất điện mà động cơ nhận từ lưới vào:  $P_1 = U(I_u + I_t)$

Một phần công suất đó bù vào tổn hao đồng trên mạch kích từ :  $p_t = U \cdot I_t$  và tổn hao trên mạch phần ứng  $p_{cuu}$  còn đại bộ phận chuyển thành  $P_{dt}$

$$P_1 = P_{dt} + \Delta p_{cuu} + \Delta p_{cut} \Rightarrow P_{dt} = P_1 - \Delta p_{cuu} - \Delta p_{cut} \quad (1)$$

$$P_2 = \Delta P_{dt} - \Delta p_{co} - \Delta p_{Fe} - \Delta p_f$$

$$\text{Từ (1) ta có: } E_u \cdot I_u = U(I_u + I_t) - U \cdot I_t - I_u^2 \cdot R_u = U \cdot I_u - I_u^2 \cdot R_u$$

$$\text{nên } U \cdot I_u = E_u \cdot I_u + I_u^2 \cdot R_u$$

$$U = E_u + I_u \cdot R_u$$

Đó là phương trình cân bằng s.d.đ của động cơ điện một chiều.

Giản đồ năng lượng của động cơ điện một chiều được trình bày trên hình 4.5.

Phương trình cân bằng mômen xuất phát từ

$$P_2 = P_{dt} - P_o$$

$$M_2 \omega = M_{dt} \omega - M_o \omega$$

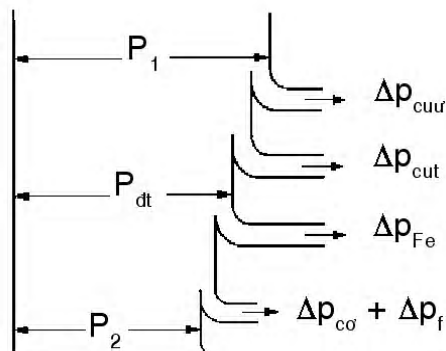
$$M_2 = M_{dt} - M_o$$

Đó là phương trình cân bằng mô men của động cơ điện một chiều

$M_2$ : Mômen đưa ra đầu trục

$M_o$ : Mômen không tải

$M_{dt}$ : Mômen điện từ



Hình 4.5 Giản đồ năng lượng của động cơ điện một chiều

#### § 4.4 Thí dụ

1. Một máy phát điện một chiều lúc quay không tải ở tốc độ  $n_0 = 1000$  V/ph thì s.đ.đ phát ra  $E_0 = 222$  V. Hỏi lúc không tải muốn phát ra s.đ.đ định mức  $E_{0dm} = 220$  V thì tốc độ  $n_{0dm}$  phải bằng bao nhiêu khi giữ dòng điện kích từ không đổi ?

Giải

Giữ dòng điện kích từ không đổi nghĩa là từ thông không đổi .

Theo công thức tính s.đ.đ (4-2) ta có :

$$\frac{E_0}{E_{0dm}} = \frac{C_E \Phi_\delta n_0}{C_E \Phi_\delta n_{0dm}} = \frac{n_0}{n_{0dm}}$$

Do đó khi  $E_{0dm} = 220$  V, tốc độ tương ứng sẽ là :

$$n_{0dm} = n_0 \frac{E_{0dm}}{E_0} = 1000 \frac{220}{222} = 990 \text{ V/ph}$$

2. Một động cơ điện một chiều kích thích song song công suất định mức  $P_{dm} = 5,5$  kW,  $U_{dm} = 110$  V,  $I_{dm} = 58$  A (tổng dòng điện đưa vào bao gồm dòng điện phần ứng  $I_U$  và kích từ  $I_t$ ),  $n_{dm} = 1470$  V/ph. Điện trở phần ứng  $R_U = 0,15\Omega$ , điện trở mạch kích từ  $r_t = 137\Omega$ , điện áp rơi trên chổi than  $2\Delta U_{tx} = 2$  V. Hỏi s.đ.đ phần ứng, mômen điện từ của động cơ.

Giải

Dòng điện kích từ :

$$I_t = \frac{U}{r_t} = \frac{110}{137} = 0,8 \text{ A}$$

Dòng điện phần ứng :

$$I_U = I_{dm} - I_t = 58 - 0,8 = 57,2 \text{ A}$$

S.đ.đ phần ứng :

$$E_U = U - I_U R_U - 2\Delta U_{tx} = 110 - (57,2 \times 0,15) - 2 = 99,4 \text{ V}$$

Mômen điện từ :

$$M = \frac{E_U I_U}{\omega} = \frac{E_U I_U}{2\pi n} = \frac{99,4 \times 57,2}{2\pi \times 1470} = 36,9 \text{ Nm}$$

Nếu tính ra kGm thì :  $M = \frac{36,9}{9,81} = 3,76 \text{ kG.m}$

## Câu hỏi

1. S.đ.đ trong máy điện phụ thuộc vào những yếu tố gì ?
2. Tự phân tích giản đồ năng lượng của máy phát và động cơ điện một chiều, từ đó dẫn ra các quan hệ về công suất, mô men, dòng điện và s.đ.đ.

## Bài tập

1. Một động cơ điện một chiều kích từ song song có số liệu sau:  $U_{dm} = 220 \text{ V}$ ,  $R_u = 0.4 \Omega$ , dòng điện định mức của động cơ  $I_{dm} = 52 \text{ A}$ , điện trở mạch kích từ  $r_t = 110 \Omega$  và tốc độ không tải lý tưởng  $n_0 = 1100 \text{ V/ph}$ .

Tìm :

- S.đ.đ phần ứng lúc tải định mức .
- Tốc độ lúc tải định mức
- Công suất điện từ và mô men điện từ lúc tải định mức, biết  $I_{dm} = I_{udm} + I_{tdm}$

Đáp số:  $E_{udm} = 200\text{V}$ ;  $n_{dm} = 1000 \text{ vg/ph}$

$P_{dt} = 10\text{Kw}$ ;  $M_{dt} = 95,5 \text{ Nm}$

2. Một động cơ điện một chiều kích từ song song có số liệu sau:  $P_{dm} = 96 \text{ Kw}$ ,  $U_{dm} = 440 \text{ V}$ ,  $R_u = 0.078 \Omega$ ,  $I_{dm} = 255 \text{ A}$ , dòng điện mạch kích từ  $I_t = 5 \text{ A}$ ,  $n_{dm} = 500 \text{ V/ph}$ . Tìm:

- Mô men định mức ở đầu trục  $M_2$
- Mô men điện từ khi tải định mức
- Tốc độ quay lúc không tải lý tưởng ( $I_u = 0$ ), biết  $I_{dm} = I_{udm} + I_{tdm}$

Đáp số:  $M_2 = 1833,5 \text{ Nm}$

$M_{dt} = 2007,7 \text{ Nm}$

$n_0 = 523 \text{ vg/ph}$

3. Một máy phát điện một chiều kích thích độc lập có :  $U_{dm} = 220 \text{ V}$ ,  $n_{dm} = 1000\text{V/ph}$ . Biết rằng ở tốc độ  $n = 750 \text{ V/ph}$  thì s.đ.đ lúc không tải  $E_0 = 176 \text{ V}$ . Hỏi s.đ.đ và dòng điện phần ứng lúc tải định mức của máy là bao nhiêu, biết rằng điện trở phần ứng  $R_u = 0,4 \Omega$ .

Đáp số:  $E_{udm} = 234,6 \text{ V}$

$I_{udm} = 36,5 \text{ A}$

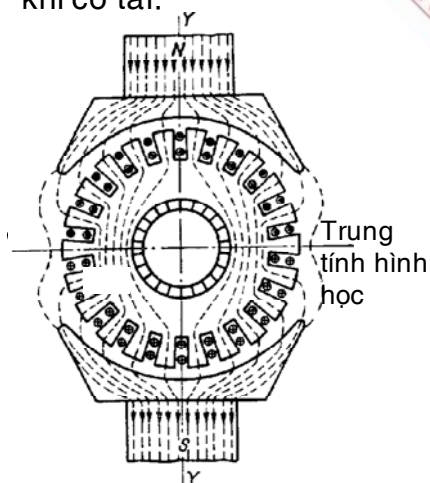
## Chương 5

### TỪ TRƯỜNG LÚC CÓ TẢI CỦA MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

#### § 5.1. Đại cương

Khi máy làm việc không tải, trong máy chỉ tồn tại sức từ động của các cực từ chính và sinh ra từ thông  $\Phi_0$ .

Lúc có tải, sức từ động phần ứng sinh ra do dòng điện chạy trong dây quấn phần ứng tác dụng với sức từ động của cực từ chính tạo nên sức từ động tổng trong khe hở không khí. Tác dụng của sức từ động phần ứng với sức từ động cực từ chính gọi là phản ứng phần ứng. Khi có tải ngoài từ trường phần ứng còn có từ trường cực từ phụ và dây quấn bù. Khi phân tích các hiện tượng đó người ta thường dùng phương pháp xếp chồng các từ thông. Nội dung của nó là: Thành lập riêng rẽ sự phân bố từ trường cực từ chính, từ trường phần ứng, từ trường cực từ phụ và từ trường dây quấn bù sau đó kết hợp chúng lại, ta được từ trường tổng trong khe hở không khí khi có tải.



Hình 5.1 Từ trường cực từ chính

#### § 5.2. Từ trường cực từ chính

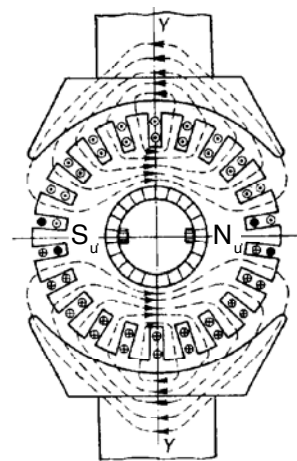
Khi không tải từ thông chính được sinh ra bởi dòng điện trong dây quấn kích từ. Hình vẽ của từ trường do máy 2 cực được biểu thị trên hình 5-1. Từ trường có tính chất đối xứng với trục của cực từ chính.

Khi phần ứng của máy phát điện quay ngược chiều kim đồng hồ với vận tốc  $n$  thì trong dây quấn phần ứng sẽ sinh ra s.d.đ có chiều như hình vẽ. Ở các thanh dẫn phía trên s.d.đ có chiều đi ra và ở các thanh dẫn phía dưới s.d.đ có chiều đi vào. Đường thẳng góc với trục cực từ và đi qua điểm có từ cảm bằng 0 được gọi là đường trung tính hình học (TTHH).

#### § 5.3. Từ trường phần ứng

##### 1. Chiều của từ trường phần ứng

Giả sử máy không được kích thích và không quay ( $I_t = 0, n = 0$ ). Ta đặt các chổi than trên đường trung tính hình học và đưa dòng điện vào phần ứng sao cho chiều dòng điện trong các thanh dẫn cùng chiều với s.d.đ ở hình 5-1. Từ trường do các dòng điện đó sinh ra phân bố đối xứng với các điểm nằm trên đường TTHH (h5-2). Rõ ràng là nửa bên phải



Hình 5.2 Từ trường của phần ứng



của phần ứng là cực bắc ( $N_U$ ), còn nửa bên trái của phần ứng là cực nam ( $S_U$ ). Như vậy trục từ trường phần ứng trùng với trục chổi than hay trùng với đường trung tính hình học.

## 2. Sự phân bố của từ trường trên bề mặt phần ứng

Để phân tích định lượng của từ trường phần ứng cần phải xác định s.t.đ của phần ứng. Với mục đích đó ta đưa phần ứng có răng, rãnh thật về phần ứng nhẵn mặt có lớp thanh dẫn phân bố đều, nhưng có khe hở tính toán  $\delta'$  để giống như máy thực.

Gọi  $N$  là tổng số thanh dẫn của phần ứng,  $i_U = \frac{I_U}{2a}$  là dòng điện trong thanh dẫn ( $I_U$  là dòng điện phần ứng) thì số ampe thanh dẫn trên đơn vị chiều dài của chu vi phần ứng được gọi là phụ tải đường A :

$$A = \frac{Ni_U}{\pi D_U} \quad \text{A/m}$$

Theo định luật toàn dòng điện nếu lấy mạch vòng đối xứng với điểm giữa của 2 chổi than thì một điểm cách góc một khoảng  $x$ , S.t.đ phần ứng sẽ là:

$$F_{ux} = A \cdot 2x \quad (\text{A/đôi cực}).$$

Mặt khác ta có:

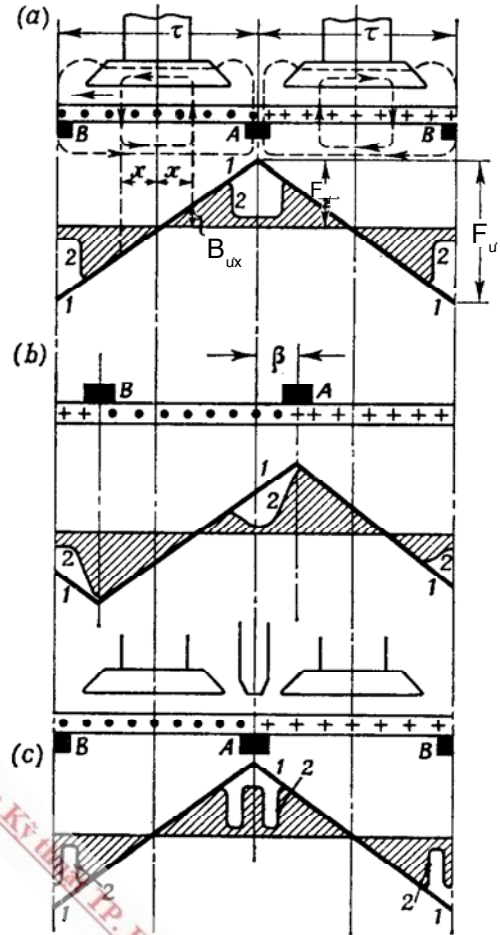
$$F_{ux} = \oint \vec{H} dl = \sum_k i_k = A2x = H_{ux} 2\delta$$

(bỏ qua s.t.đ trên các đoạn sắt từ). S.t.đ ở khe hở không khí:

$$\frac{1}{2} F_{ux} = H_{ux} \delta' = Ax$$

Tại  $x = 0$  ta có  $\frac{1}{2} F_{ux} = 0$ . Tại  $x = \frac{\tau}{2}$  ta có  $\frac{1}{2} F_{ux} = A \frac{\tau}{2}$ . Sự phân bố s.t.đ phần ứng được biểu diễn như đường 1 - 1 - 1 của hình 5-3. Từ cảm phần ứng dưới mặt cực từ bằng:

$$B_{ux} = \mu_o \cdot H_{ux} = \mu_o \cdot \frac{F_{ux}}{2\delta} = \mu_o \cdot \frac{A}{\delta'} \cdot x \quad (1)$$



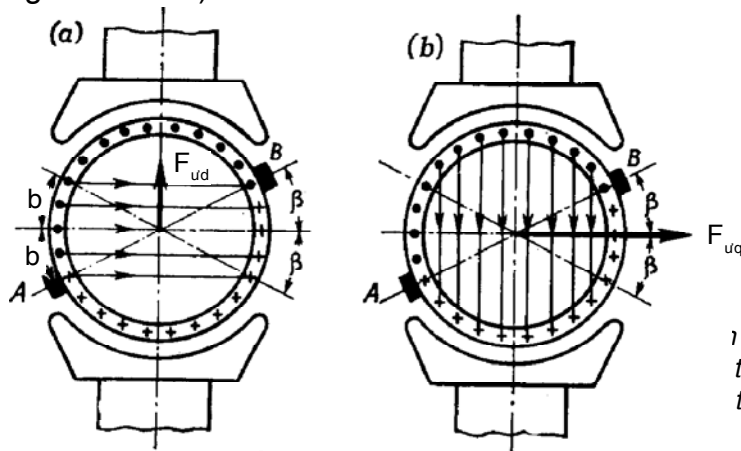
Hình 5.3 Các đường cong từ cảm của phần ứng:

a. Trong máy không có cực từ phụ khi các chổi than ở đường trung tính hình học.

b. cũng như vậy khi chổi than di chuyển khỏi đường trung tính.

c. Trong máy có cực từ phụ không được kích thích khi các chổi than đặt ở đường trung tính hình học.

Từ công thức (1) ta thấy từ cảm phần ứng dưới mặt cực giống như đường cong s.t.đ nhưng ở giữa hai cực từ, từ cảm giảm đi rất nhiều do chiều dài đường từ trong không khí tăng lên, cho nên đường cong từ cảm có dạng hình yên ngựa (đường 2 hình 5-3).



1 5.4 Sức từ động ngang trục và trục của phần ứng khi xô dịch than khỏi đường trung tính hình

Nếu chổi than không ở trên đường trung tính hình học mà lệch đi một góc tương đương với một khoảng cách  $b$  trên chu vi phần ứng (hình 5.4) thì dưới mỗi bước cực trong phạm vi  $2b$  dòng điện sinh ra s.t.đ dọc trục  $F_{ud}$  và trong phạm vi  $(\tau - 2b)$  dòng điện sinh ra sức từ động ngang trục  $F_{uq}$  do đó ta có:

$$F_{ud} = 2A.b$$

$$F_{uq} = A(\tau - 2b)$$

### 3. Phản ứng phần ứng trong máy điện một chiều.

#### a. Khi chổi than đặt trên đường trung tính hình học.

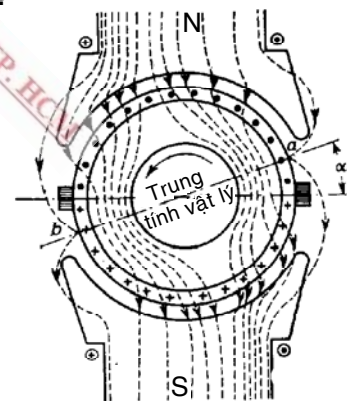
Sự phân bố của từ thông tổng do từ trường cực từ chính và từ trường phần ứng hợp lại như hình 5-5, cũng có thể dùng hình khai triển của nó như hình 5-6 để phân tích sự thay đổi của từ thông khi có phản ứng phần ứng.

Đường cong 1 thể hiện sự phân bố của từ trường cực từ chính.

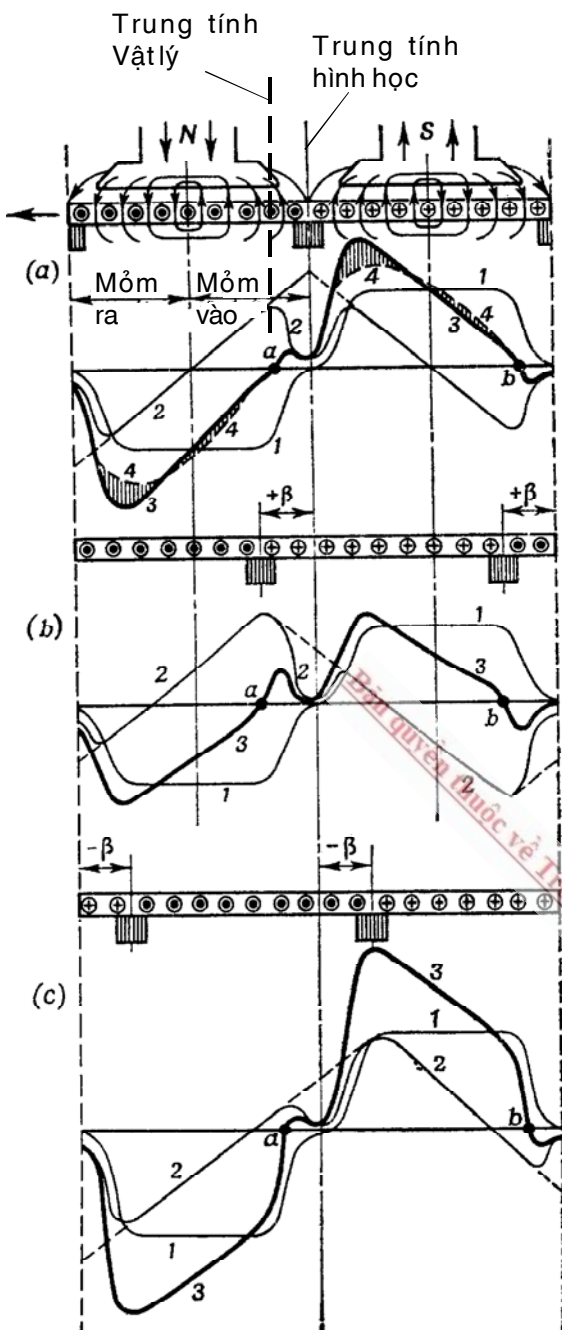
Đường yên ngựa 2: Chỉ sự phân bố của từ trường phần ứng

Khi mạch từ không bão hòa  $\mu = C^{te}$  thì theo nguyên

lý xếp chồng đường 3 là sự phân bố của từ trường tổng. Do đó từ thông tổng  $\Phi$  bằng từ thông chính  $\Phi_0$ . Khi mạch từ bão hòa dùng nguyên lý xếp chồng không chính xác nữa (vì  $\Phi$  không tăng tỉ lệ với s.t.đ) nên đường 4 là đường phân bố từ trường tổng khi kể đến sự bão hoà của mạch từ.



Hình 5.5 Sự phân bố từ trường tổng của máy khi các chổi than đặt trên đường trung tính hình học



Hình 5.6 Các đường phân bố từ trường của máy khi chổi than ở các vị trí khác nhau.  
 Đường 1: Từ trường cực từ chính  
 Đường 2: Từ trường phản ứng.  
 Đường 3: Từ trường tổng khi mạch từ không bão hoà.  
 Đường 4: Từ trường tổng khi mạch từ bão hoà.

Kết luận:

- Khi chổi than nằm trên đường trung tính hình học thì phản ứng phần ứng ngang trục ( $F_u = F_{uq}$ ) làm méo từ trường trong khe hở. Nếu mạch từ không bão hoà thì từ trường tổng không đổi vì tác dụng trợ từ và khử từ như nhau. Nếu mạch từ bão hoà thì từ thông dưới mỗi cực giảm đi một ít, nghĩa là phản ứng phần ứng ngang trục cũng có một ít tác dụng khử từ.

- Từ cảm ở đường trung tính hình học khác 0, do đó đường mà trên đó bề mặt phần ứng có từ cảm bằng 0 gọi là đường trung tính vật lý (đường đi qua điểm a và b trên hình 5-6).

### b. Khi xô dịch chổi than lệch khỏi đường trung tính hình học.

Lúc đó S.t.đ phần ứng có thể chia làm 2 thành phần:

- Thành phần ngang trục  $F_{uq}$  làm méo từ trường của cực từ chính và khử một ít từ nếu mạch từ bão hoà.

- Thành phần dọc trục  $F_{ud}$  trực tiếp ảnh hưởng đến từ trường của cực từ chính và có tính chất trợ từ hay khử từ tùy theo chiều xô dịch của chổi than.

Nếu xô dịch chổi than theo chiều quay của máy phát (hay ngược chiều quay của động cơ) thì phản ứng dọc trục  $F_{ud}$  có tính chất khử từ và ngược lại nếu quay chổi than ngược chiều quay của máy phát và thuận chiều động cơ thì  $F_{ud}$  có tính chất trợ từ.

### § 5.4. Từ trường cực từ phụ

Cực từ phụ được đặt giữa hai cực từ chính và nằm trên đường trung tính hình học. Các chổi than cũng được đặt cố định trên đường TTHH ở bất kỳ khi không tải hay có tải. Tác dụng của cực từ phụ là sinh ra một s.t.đ triệt tiêu s.t.đ

phần ứng ngang trục  $F_{uq}$  đồng thời tạo ra một từ trường ngược chiều với từ trường phần ứng ở khu vực đối chiều. Vì vậy cực tính của cực từ phụ phải trùng với cực tính của cực từ chính mà phần ứng sẽ chạy vào nếu máy làm việc ở chế độ máy phát. Để triệt tiêu  $F_{uq}$  với bất kỳ tải nào thì từ trường của cực từ phụ phải tỉ lệ với  $I_u$  nên dây quấn của cực từ phụ phải được nối nối tiếp với dây quấn phần ứng và mạch từ của nó không bị bão hòa. Xét 3 ảnh hưởng của cực từ phụ đến cực từ chính hình 5-8:

a. Khi chổi than nằm trên đường trung tính hình học: Cực từ phụ không ảnh hưởng đến từ trường cực từ chính vì trong phạm vi 1 bước cực tác dụng khử từ và trợ từ của các cực từ phụ bằng nhau nên bù cho nhau.

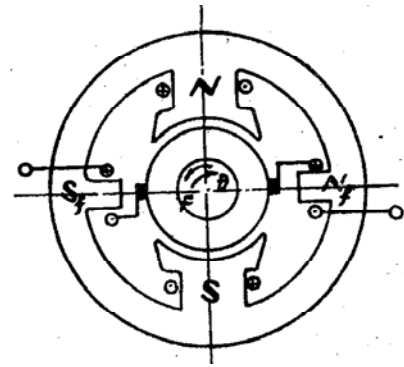
b. Nếu xô dịch chổi than khỏi đường trung tính hình học, ví dụ theo chiều quay của phần ứng ở chế độ máy phát (hay ngược chiều quay đối với động cơ) thì trong phạm vi một bước cực  $\tau$  tác dụng khử từ của cực từ phụ lớn hơn tác dụng trợ từ của nó, làm cho máy bị khử từ.

c. Nếu xô dịch chổi than ngược chiều quay của máy phát (thuận chiều quay của động cơ) thì cực từ phụ có tác dụng trợ từ.

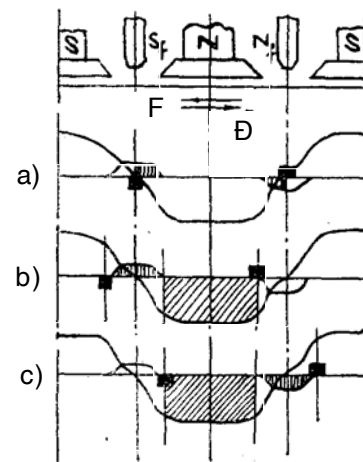
Tóm lại: Ảnh hưởng của từ trường cực từ phụ đối với từ trường cực từ chính như phản ứng phần ứng dọc trục  $F_{ud}$ .

Sự phân bố của từ trường tổng khi có cực từ phụ không có dây quấn bù:

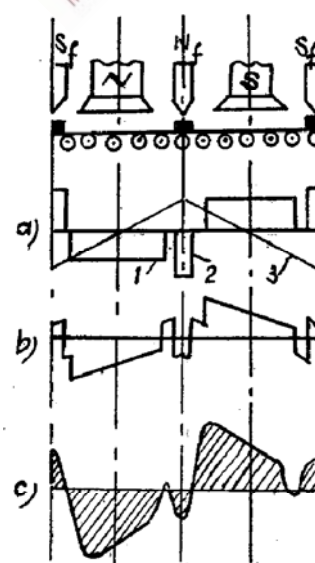
Sự phân bố từ trường tổng khi có cả từ trường cực từ phụ như ở hình 5.9, trong đó đường 1, 2, 3 ở hình 5.9a là đường phân bố của s.t.đ của cực từ chính, cực từ phụ và s.t.đ phần ứng; Hình 5.9b là đường phân bố s.t.t tổng; Hình 5.9c là đường phân bố từ cảm tổng trong khe hở không khí.



Hình 5.7 Cách bố trí và đấu dây của cực từ phụ trong máy điện một chiều



Hình 5.8 Ảnh hưởng của từ trường cực từ phụ đến từ trường chính.



Hình 5.9 S.t.đ và đường cong từ trường tổng của máy một chiều có cực từ phụ.

## § 5.5. Từ trường của dây quấn bù

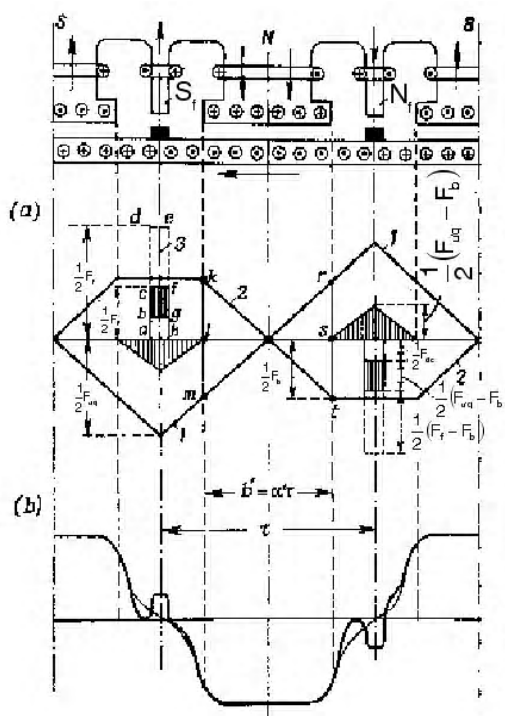
Mục đích của dây quấn bù là làm giảm đến mức độ cao nhất sự biến dạng của từ trường chính do phản ứng phần ứng. Muốn vậy dây quấn bù được đặt vào trong các rãnh ở các mặt cực chính và quấn theo sơ đồ hình 5-10. để có thể bù được ở bất cứ một phụ tải nào thì phải nối dây quấn bù nối tiếp với dây quấn phần ứng sao cho s.t.đ của hai dây quấn ngược chiều nhau. Khi có tải để không có sự biến dạng của từ trường chính trên phạm vi bề mặt cực từ thì phải bù hoàn toàn s.t.đ phần ứng trong phạm vi dưới mặt cực từ

$$b' = \alpha_{\delta} \cdot \tau.$$

Muốn thế phải thực hiện dây quấn bù sao cho đoạn  $kl = tS = \frac{1}{2} F_b$  phải bằng với đoạn  $ml = rs = \frac{1}{2} \alpha_{\delta} \cdot F_{uq}$ , nghĩa là sao cho :

$$F_b = \alpha_{\delta} \cdot F_{uq} = \alpha_{\delta} \cdot \tau \cdot A = b' \cdot A$$

Hình chữ nhật adch biểu thị cho S.t.đ của các cực phụ khi máy không có dây quấn bù. Khi có dây quấn bù thì  $F'_f = F_f - F_b$ , nghĩa là nhỏ hơn nhiều trong các máy không có dây quấn bù,  $F'_f$  biểu thị bằng hình acfh. Lúc đó phần biểu thị bằng hình chữ nhật bcfg của s.t.đ để bù vào phần còn lại của hiệu số  $F_{uq} - F_b$  trong không gian giữa các cực, còn hình chữ nhật abgh xác định s.t.đ đối chiều  $F_{dc}$  cần thiết để thành lập từ thông đối chiều  $\Phi_{dc}$  tạo nên s.đ.đ đối chiều trong các thanh dẫn ở vùng đối chiều.



Hình 5.10 Các đường S.t.đ và từ trường tổng của máy một chiều có cực từ phụ và dây quấn bù.

## § 5.6 Thí dụ

Một máy phát điện một chiều có  $p = 2$ , số phần tử  $S = 95$ . Số vòng của mỗi phần tử  $w_s = 3$ . Đường kính ngoài phần ứng  $D_u = 17\text{cm}$ , dòng điện định mức  $I_{dm} = 36\text{A}$ , chổi than nằm trên đường trung tính hình học.

1. Nếu dây quấn phần ứng là dây quấn sóng đơn, tính phụ tải đường A và s.t.đ ngang trục lúc tải đầy.

2. Nếu dây quấn phần ứng là xếp đơn, tính phụ tải đường A và s.t.đ ngang trục lúc tải đầy.

3. Nếu chổi than dịch khỏi đường trung tính hình học  $16^\circ$  (góc độ điện), dòng điện phần ứng vẫn là  $36\text{A}$ , tính s.t.đ ngang trục và dọc trục của hai loại dây quấn sóng đơn và xếp đơn.

*giải*

1. Tổng số thanh dẫn :  $N = 2w_s S = 2 \times 3 \times 95 = 570$ .

Với dây quấn sóng đơn, lúc tải đầy dòng điện trong mỗi mạch nhánh bằng :

$$i_u = I_{dm} / 2a = 36 / 2 \times 1 = 18\text{A}.$$

(Trong dây quấn sóng đơn  $a = 1$ ).

Phụ tải đường khi tải đầy với dây quấn sóng đơn :

$$A = Ni_u / \pi D_u = 570 \times 18 / \pi \times 17 = 191 \text{ A/cm}.$$

Bước cực  $\tau = \pi D_u / 2p = \pi \times 17 / 4 = 13,35\text{cm}$ .

s.t.đ ngang trục :

$$F_{uq} = A \cdot \tau = 191 \times 13,35 = 2560 \text{ A/đôi cực}.$$

2. dòng điện trong mỗi mạch nhánh của dây quấn xếp đơn :

$$i_u = I_{dm} / 2a = 36 / 2 \times 2 = 9 \text{ A}$$

( Trong dây quấn xếp đơn  $a = p = 2$ ).

Phụ tải đường khi tải đầy với dây quấn xếp đơn :

$$A = Ni_u / \pi D_u = 570 \times 9 / \pi \times 17 = 95,5 \text{ A/cm}.$$

s.t.đ ngang trục :  $F_{uq} = A\tau = 95,5 \times 13,35 = 1280 \text{ A/đôi cực}.$

3. Chiều dài trên chu vi phần ứng ứng với  $16^\circ$  góc độ điện bằng :

$$b = 16^\circ / 180^\circ \times \pi D_u / 2p = 16 / 180 \times \pi \times 17 / 2 \times 2 = 1,19\text{cm}.$$

Nếu dòng điện phần ứng vẫn bằng  $36\text{A}$  thì ta có :

Đối với dây quấn sóng đơn :

$$F_{ud} = Ax2b = 191 \times 2 \times 1,19 = 456 \text{ A/đôi cực}.$$

$$F_{uq} = A(\tau - 2b) = 191(13,35 - 2 \times 1,19) = 2104 \text{ A/đôi cực}.$$

Đối với dây quấn xếp đơn :

$$F_{ud} = Ax2b = 95,5 \times 2 \times 1,19 = 228 \text{ A/đôi cực}.$$

$$F_{uq} = A(\tau - 2b) = 95,5(13,35 - 2 \times 1,19) = 1052 \text{ A/đôi cực}.$$

## Câu hỏi

1. Tính chất của từ trường phần ứng?
2. Khi nào thì phản ứng phần ứng ngang trục có tính chất khử từ? tại sao?
3. Nếu chổi than không ở trên đường trung tính hình học và dòng điện kích từ lúc có tải không đổi, hỏi khi máy phát quay thuận và quay ngược thì điện áp ở đầu cực máy phát có bằng nhau không? có thể dùng phương pháp này để tìm đường trung tính vật lý không?

## Bài tập

1. Một động cơ điện kích từ song song có các số liệu sau:  $P_{dm} = 550\text{kw}$ ,  $U_{dm} = 600\text{v}$ ,  $I_{dm} = 1000\text{A}$ ,  $p = 3$ ,  $n_{dm} = 500\text{vg/ph}$ . Dòng điện kích từ  $I_t = 19\text{ A}$ , phụ tải đường  $A = 270\text{ A/cm}$ . Đường kính ngoài phần ứng  $D_u = 92\text{ cm}$ . Dây quấn xếp phức tạp với  $m = 2$ . Điện áp rơi trên phần ứng  $I_u R_u = 40\text{ v}$ .

- a) Tính s.t.đ phần ứng khi chổi than nằm trên đường trung tính hình học (TTHH).
- b) Tính từ thông  $\Phi$  của máy.
- c) Tính  $F_{ud}$ ,  $F_{uq}$  khi xô dịch chổi điện  $10^\circ$  (góc độ điện) khỏi đường TTHH. (s.t.đ của động cơ điện một chiều có thể tính theo công thức  $E_u = U - I_u R_u$  và ở động cơ điện một chiều kích thích song song  $I_{dm} = I_{udm} + I_t$ ).

Đáp số: a.  $F_u = 13000\text{ A}$

b.  $\Phi = 0.14\text{ Wb}$

c.  $F_{ud} = 1441.8\text{ A}$ ;  $F_{uq} = 11564.2\text{ A}$

2. Một máy phát điện một chiều có các số liệu sau:  $P_{dm} = 24\text{ Kw}$ ,  $U_{dm} = 230\text{ V}$ ,  $I_{dm} = 104.5\text{A}$ ,  $I_t = 1.5\text{ A}$ ,  $n = 1300\text{vg/ph}$ ,  $2p = 4$ . Dây quấn sóng đơn, tổng số thanh dẫn  $N = 556$ , số vòng dây của mỗi phần tử  $W_s = 2$ ;  $D_u = 294\text{ mm}$ ,  $I_u R_u = 19.4\text{ V}$ . Trong đó  $I_u = I_{dm} + I_t$ . Tính:

a.  $E_u$ ,  $\Phi$ ,  $A$

b.  $F_u$  khi chổi than nằm trên đường trung tính hình học.

c.  $F_{uq}$  và  $F_{ud}$  khi xô dịch chổi điện đi một góc  $10^\circ$  góc độ điện.

Đáp số: a.  $E_u = 249.4\text{ A}$ ;  $\Phi = 0.01\text{Wb}$ ;  $A = 319\text{ A/cm}$

b.  $F_u = 7362.2\text{ A}$

c.  $F_{ud} = 818.53\text{ A}$ ;  $F_{uq} = 6523.16\text{ A}$

3. Một máy phát điện một chiều có các số liệu sau:  $P_{dm} = 13.3\text{kw}$ ,  $U_{dm} = 230\text{v}$ ,  $I_{udm} = 58\text{A}$ ,  $2p = 4$ , tổng số thanh dẫn  $N = 834$ ,  $D_u = 24.5\text{ cm}$ , dây quấn xếp đơn. Tính s.t.đ phần ứng khi chổi than trên đường trung tính hình học và khi xô dịch đi một phần cho biết  $G = 139$ .

Đáp số:  $F_u = 3019\text{ A}$

$F_{ud} = 172.7\text{ A}$ ;  $F_{uq} = 2841.7\text{ A}$

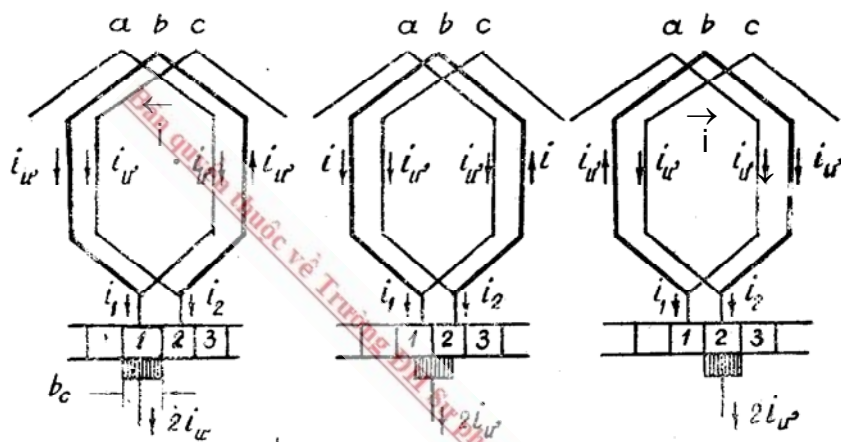
## Chương 6 : ĐỔI CHIỀU

### § 6.1. Đại Cương

Khi máy điện một chiều làm việc phần ứng quay tròn, các phần tử dây quấn sẽ lần lượt đi vào vùng trung tính ở dưới chổi than, dòng điện trong các phần tử sẽ lần lượt thay nhau đổi chiều khi chuyển từ mạch nhánh này sang mạch nhánh kia.

Quá trình đổi chiều của dòng điện khi phần tử di chuyển trong vùng trung tính và bị chổi than nối ngắn mạch được gọi là sự đổi chiều.

Để có khái niệm cụ thể hình 6-1 trình bày quá trình đổi chiều dòng điện trong phần tử b của dây quấn xếp đơn.

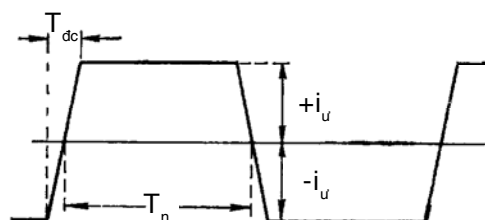


Hình 6.1 Quá trình đổi chiều

$t = 0$	$0 < t < T_{dc}$	$t = T_{dc}$
$i_1 = 2i_u$	$i_1 \neq 0$	$i_1 = 0$
$i_2 = 0$	$i_2 \neq 0$	$i_2 = 2i_u$
$i = +i_u$		$i = -i_u$

Sau 1 thời gian  $T_{dc}$  gọi là chu kỳ đổi chiều của phần tử, dòng điện trong phần tử b thay đổi từ  $+i_u$  cho đến  $-i_u$  nghĩa là thay đổi  $2i_u$ . Quá trình đó gọi là quá trình đổi chiều.

Đường biểu diễn dòng điện của phần tử



Hình 6.2 Đường biểu diễn dòng điện của phần tử



$T_n$  : là thời gian mà sau khi kết thúc đổi chiều phần tử chuyển từ chổi than đã biết đến chổi than khác dấu bên cạnh (thường  $T_{dc} \approx 0,001s$  ,  $T_n \approx 0,02s$ ) cho nên đường biểu diễn dòng điện trong phần tử khi phần ứng quay có dạng như hình 6-2.

Chu kỳ đổi chiều  $T_{dc}$ : là khoảng thời gian cần thiết để vành góp quay đi 1 góc ứng với bề rộng chổi than nghĩa là :

$$T_{dc} = \frac{b_c}{V_G} \quad (6 - 1)$$

$b_c$ : bề rộng chổi than;  $V_G$  : tốc độ dài của vành góp

Gọi  $D_G$  là đường kính của vành góp

$$b_G = \frac{\pi D_G}{G} \text{ bước góp (bề rộng của phiến góp)}$$

Đặt  $\beta_G = \frac{b_c}{b_G}$  ,  $V_G = \pi D_G \cdot n = b_G \cdot G \cdot n$ ;  $n$ : Tốc độ quay của phần ứng.

Thì chu kỳ đổi chiều của dây quấn xếp đơn có dạng :

$$T_{dc} = \frac{b_c}{V_G} = \frac{b_c}{b_G \cdot G \cdot n} = \beta_G \frac{1}{G \cdot n} \quad (6 - 2)$$

Đối với dây quấn xếp phức tạp có bước vành góp  $y_G = m$  ( $m$  khác 1) thì giữa đầu và cuối mỗi phần tử có  $(m-1)$  phiến. Vì thế phần tử sẽ bị chổi than nối ngắn mạch trong khoảng thời gian để vành góp quay đi một cung  $b_c - (m-1)b_G$ , do đó

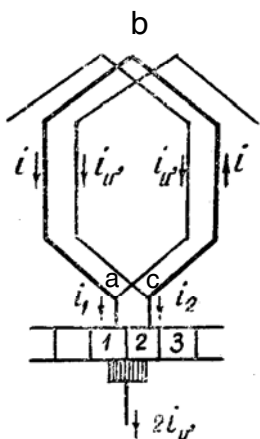
$$T = \frac{b_c - (m-1)b_G}{v_G}$$

Thay  $b_c = \beta_G b_G$ ,  $m = a/p$  và  $v_G = b_G \cdot G \cdot n$  ta được

$$T_{dc} = \frac{\beta_G - \left(\frac{a}{p} - 1\right)}{G \cdot n} \quad (6 - 3)$$

Quá trình đổi chiều tuy xảy ra rất ngắn ( $T_{dc} \approx 0,001s$ ) nhưng nếu đổi chiều không tốt thường sinh ra tia lửa lớn dưới chổi than hoặc tạo thành vòng lửa giữa hai chổi than ảnh hưởng xấu đến quá trình làm việc của máy.

### § 6.2. Quá trình đổi chiều



Hình 6.3

Ta hãy nghiên cứu qui luật đổi chiều xảy ra ở phần tử của dây quấn xếp đơn trên hình 6-3. Theo định luật kirchhoff2 viết cho mạch vòng của phần tử abc ta có :

$$i \cdot r_{pt} + i_1(r_d + r_{tx1}) - i_2(r_d + r_{tx2}) = \Sigma e$$

Nếu tính gần đúng ta giả thiết  $r_{pt} = 0$ ,  $r_d = 0$  ta có:

$$i_1 r_{tx1} - i_2 r_{tx2} = \Sigma e \quad (6-4)$$

Trong đó:

$i$  : dòng điện ngắn mạch chạy trong phần tử đổi chiều.

$i_1, i_2$  : dòng điện chạy qua dây nối với các phiến góp 1,2.

$r_{pt}$  : điện trở của phần tử.  $r_d$  : điện trở của dây nối.

$r_{tx1}, r_{tx2}$  : điện trở tiếp xúc của chổi than với phiến đổi chiều 1 và 2.

$\Sigma e$  : tổng các s.đ.đ cảm ứng trong phần tử đổi chiều bao gồm :

**S.đ.đ tự cảm  $e_L$**  : phần tử đổi chiều có hệ số tự cảm  $L_c$  do đó khi đổi chiều, trong phần tử sẽ cảm ứng nên một sức điện động.

$$e_L = -L_c \frac{di}{dt}$$

Khi đổi chiều dòng điện thay đổi từ  $i = +i_u$  (khi  $t = 0$ ) đến  $i = -i_u$  (khi  $t = T_{dc}$ ), từ đó suy ra  $\frac{di}{dt} < 0$  suy ra  $e_L > 0$ . Theo định luật Lenz  $e_L$  có xu hướng làm cho sự đổi chiều chậm lại.

Giá trị trung bình của s.đ.đ tự cảm :

$$e_{Ltb} = \frac{1}{T_{dc}} \int_0^{T_{dc}} -L_c \frac{di}{dt} dt = -\frac{L_c}{T_{dc}} i \Big|_0^{T_{dc}} = L_c \frac{2i_u}{T_{dc}}$$

**S.đ.đ hỗ cảm  $e_M$**  : Do ảnh hưởng của sự đổi chiều đồng thời của các phần tử khác nằm trong cùng một rãnh. Sức điện động hỗ cảm  $e_M$

$e_M = \sum_{n=1}^n e_{Mn} = -\sum e_n \frac{di_n}{dt}$  Suy ra giá trị s.đ.đ hỗ cảm trung bình trong phần tử đổi chiều là:

$$|e_M|_{tb} = \frac{2i_u}{T_{dc}} \sum M_n$$

**S.đ.đ đổi chiều  $e_{dc}$**  : Sinh ra khi phần tử đổi chiều chuyển động trong từ trường tổng hợp tại vùng trung tính.

S.đ.đ  $e_L$  và  $e_M$  có tác dụng với quá trình đổi chiều và cách tính toán như nhau và tổng của chúng được gọi là s.đ.đ phản kháng  $e_{pk} = e_L + e_M$

$$|e_{pk}|_{tb} = (L_c + \sum M_n) \frac{2i_u}{T_{dc}}$$

Để quá trình đổi chiều được tiến hành thuận lợi thì  $e_{dc}$  luôn luôn phải ngược với  $e_{pk}$ .

Theo định luật kirkhoff1, có thể viết phương trình dòng điện lần lượt tại các điểm nút a và c như sau :

Nút a:  $i_u + i - i_1 = 0$

Nút c:  $i_u - i - i_2 = 0$  (6-5)

Thay các giá trị của  $i_1, i_2$  vào biểu thức (6-1) ta có :

$$i = \frac{r_{tx2} - r_{tx1}}{r_{tx2} + r_{tx1}} i_u + \frac{\sum e}{r_{tx1} + r_{tx2}} \quad (6-6)$$

Nếu giả thiết quá trình đổi chiều bắt đầu từ  $t = 0$  và kết thúc khi  $t = T_{dc}$  với điều kiện

$b_c = b_G$  ta có:

$$\begin{aligned} S_{tx1} &= \frac{T_{dc} - t}{T_{dc}} S \\ S_{tx2} &= \frac{t}{T_{dc}} S \end{aligned} \quad (6-7)$$

Trong đó

$S_{tx1}, S_{tx2}$ : diện tích tiếp xúc giữa chổi than và phiến góp 1, 2.

$S$ : là diện tích bề mặt tiếp xúc toàn phần giữa chổi than và phiến đổi góp.

Vì  $r_{tx1}, r_{tx2}$  tỉ lệ nghịch với  $S_{tx1}, S_{tx2}$  nên:

$$\begin{aligned} r_{tx1} &= \frac{S}{S_{tx1}} r_{tx} = \frac{T_{dc}}{T_{dc} - t} r_{tx} \\ r_{tx2} &= \frac{S}{S_{tx2}} r_{tx} = \frac{T_{dc}}{t} r_{tx} \end{aligned} \quad (6-8)$$

$r_{tx}$ : điện trở tiếp xúc toàn phần ứng với mặt tiếp xúc toàn phần  $S_{tx}$ .

Thay (6-8) vào (6-6) ta có quan hệ giữa  $i$  và  $t$  như sau:

$$i = \left(1 - \frac{2t}{T_{dc}}\right) i_u + \frac{\sum e}{r_{tx} \left(\frac{T_{dc}}{T_{dc} - t} + \frac{T_{dc}}{t}\right)}$$

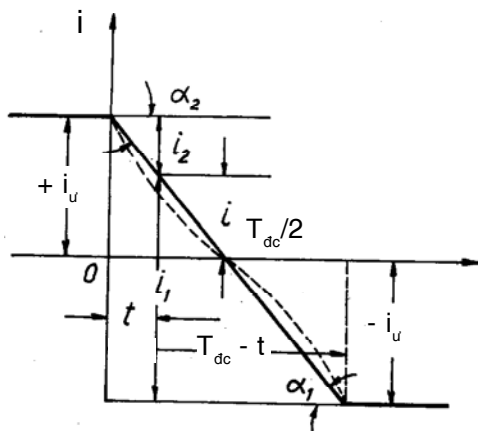
Đặt  $i_c = \left(1 - \frac{2t}{T_{dc}}\right) i_u$  (6-9)

Và  $i_f = \frac{\sum e}{r_{tx} \left(\frac{T_{dc}}{T_{dc} - t} + \frac{T_{dc}}{t}\right)}$

$i_c$ : là dòng điện đổi chiều chính hay là dòng điện đổi chiều đường thẳng

$i_f$ : dòng điện đổi chiều phụ hay dòng điện đổi chiều đường cong.

### 1. Dòng điện đổi chiều đường thẳng:



Hình 6.4 Đổi chiều đường thẳng

Xảy ra khi  $e_{dc} = e_{pk}$  (tổng  $\sum e = 0$ )

Khi đó:  $i = \left(1 - \frac{2t}{T_{dc}}\right) i_u = i_c$  (6-10)

Đường biểu diễn dòng điện  $i = f(t)$  trong trường hợp này là đường thẳng như h6- 4.

Nếu gọi  $J_1, J_2$  là mật độ dòng điện ở bề mặt tiếp xúc phía đi ra và phía đi vào chổi than thì:

$$J_1 = \frac{i_1}{S_{tx1}} = \frac{T_{dc} i_1}{S(T_{dc} - t)} \quad (6-11)$$

$$J_2 = \frac{i_2}{S_{tx2}} = \frac{T_{dc} i_2}{S t}$$

$$\frac{i_1}{T_{dc} - t} = \text{tg}\alpha_1 \quad \text{và} \quad \frac{i_2}{t} = \text{tg}\alpha_2$$

Từ đồ thị ta nhận thấy:

Mà  $\alpha_1 = \alpha_2$  nên  $J_1 = J_2 = \text{const.}$  có nghĩa là mật độ dòng điện phân bố dưới phần tiếp xúc của chổi than giống nhau.

Khi chổi than rời khỏi phiến góp 1 tức là  $i = -i_u$  mà  $i_1 = i_u + i$  nên  $i_1 = 0$

Do vậy khi rời khỏi phiến 1 không phát sinh tia lửa trên chổi than.

## 2. Dòng điện đổi chiều đường cong :

Trên thực tế  $e_{dc} + e_{pk} \neq 0$  có nghĩa là  $\Sigma e \neq 0$  cho nên trong phần tử đổi chiều sẽ xuất hiện dòng điện đổi chiều phụ xác định theo số hạng thứ 2 của biểu thức (6-9) lúc này  $i = i_c + i_f$  khiến cho quan hệ  $i = f(t)$  không còn là đường thẳng nữa, ta có đổi chiều đường cong.

a. Nếu  $e_{pk} > e_{dc}$  hay  $\Sigma e > 0$ : giả sử  $r_{tx} = \text{const.}$  từ biểu thức (6-9) ta thấy:

$$i_f = \frac{\Sigma e}{r_{tx} \left( \frac{T_{dc}}{t} + \frac{T_{dc}}{T_{dc} - t} \right)} = \frac{\Sigma e}{R_{tx}}$$

Trong đó:

$R_{tx}$  : Là điện trở tiếp xúc của chổi than đối với dòng điện đổi chiều phụ  $i_f$  ở từng thời điểm. Khi  $t = 0$  và  $t = T_{dc}$  thì  $R_{tx} = \infty$  và khi  $t = \frac{T_{dc}}{2}$  thì  $R_{tx} = 4r_{tx}$ . Đường biểu diễn  $R_{tx} = f(t)$  là đường 1 trên hình 6.5.

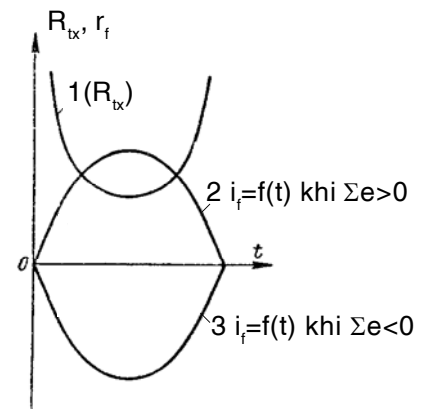
Nếu  $\Sigma e = C^{te}$  và  $\Sigma e > 0$  thì  $i_f$  biến đổi theo đường cong 2 hình 6.5 và dòng điện đổi chiều  $i = i_c + i_f$  biến đổi theo đường cong trên h6-6.

Ở trường hợp này đổi chiều mang tính chất trì hoãn, nghĩa là dòng điện  $i$  thay đổi chậm hơn so với đổi chiều đường thẳng.

$$\text{Tại } t = \frac{T_{dc}}{2} \text{ thì } i \neq 0$$

$$\text{Tại } t > \frac{T_{dc}}{2} \text{ thì } i = 0$$

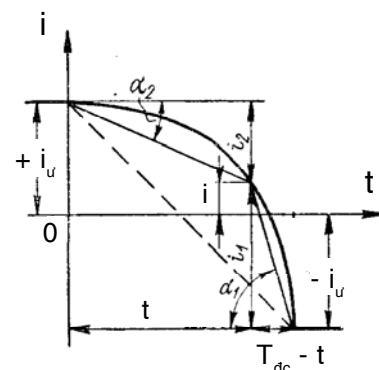
Sở dĩ có sự trì hoãn đó là do tác dụng của  $e_{pk}$  chống lại sự biến đổi của dòng điện  $i$ . Từ h 6-6 ta thấy  $\alpha_1 > \alpha_2$  và  $J_1 > J_2$  mật độ dòng điện đầu ra lớn hơn đầu vào làm tia lửa xuất hiện ở đầu ra của chổi than.



Hình 6.5 Đường cong 1:  $R_{tx} = f(t)$

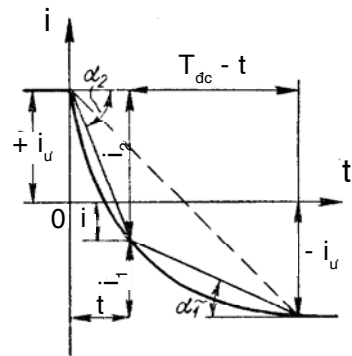
Đường cong 2:  $i_f = f(i)$  khi  $\Sigma e > 0$

Đường cong 3:  $i_f = f(i)$  khi  $\Sigma e < 0$



Hình 6.6 Đổi chiều chậm sau ( $\Sigma e > 0$ )

b. Nếu  $e_{pk} < e_{dc}$  hay  $\Sigma e < 0$  thì if đổi dấu và có dạng như đường cong 3 trên h6-5. Đường biểu diễn của dòng điện đổi chiều  $i$  tương ứng được trình bày trên h 6-7.  $i = 0$  khi  $t < T_{dc} / 2$  sự đổi chiều mang tính chất vượt trước. Khi đổi chiều vượt trước  $\alpha_1 < \alpha_2$  do đó  $J_1 < J_2$  mật độ dòng điện ở đầu ra nhỏ hơn mật độ dòng điện ở đầu vào của chổi than vì  $J_2 > J_1$  nên có tia lửa ở đầu vào chổi than.



Hình 6.7 Đổi chiều vượt trước ( $\Sigma e < 0$ )

### 3. Xác định các S.đ.đ trong phần tử đổi chiều :

**a.S.đ.đ tự cảm  $e_L$ :** (xác định trong trường hợp  $b_c = b_G$ )

Ta đã biết s.đ.đ tự cảm có dạng :

$$e_L = -L_c \frac{di}{dt} \quad \text{và} \quad e_{Ltb} = L_c \frac{2i_u}{T_{dc}} \quad (6-12)$$

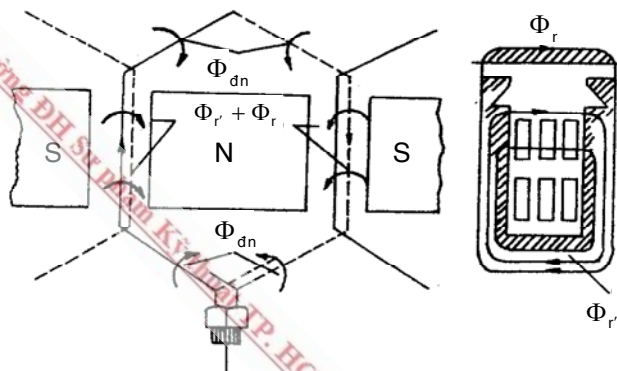
Từ thông tản  $\Phi_L$  sinh ra s.đ.đ tự cảm  $e_L$  trong phần tử đổi chiều bao gồm :

Từ thông tản ở rãnh  $\Phi_r$

Từ thông tản ở đỉnh răng  $\Phi_r$

Từ thông tản ở phần đầu nối  $\Phi_{dn}$

Từ thông tản  $\Phi_L$  chủ yếu đi vào không khí (h6-12) nên rất ít phụ thuộc vào sự bão hòa của răng. Mà  $\Phi_L =$  Sức từ động x suất dẫn từ



Hình 6.8 Từ thông tản của phần tử đổi chiều

$$\Phi_L = w_s \cdot i_u \cdot \lambda_{L1}$$

Trong đó:  $w_s$  : số vòng của 1 phần tử

$\lambda_{L1}$ : Dẫn suất từ tản của 1 phần tử (có trị số bằng từ thông móc vòng của 1 vòng dây khi có dòng điện  $i_u = 1A$  chạy qua).

Từ thông móc vòng của toàn bộ bố dây :

$$\Psi_L = w_s \cdot \Phi_L = \lambda_{L1} \cdot w_s^2 \cdot i_u$$

Suất dẫn từ theo 1 đơn vị chiều dài (chỉ tính từ thông tản của 2 cạnh tác dụng)

$$\lambda_L = \frac{\lambda_{L1}}{2l_\delta}$$

Do đó  $\Psi_L = \lambda_L \cdot 2l_\delta \cdot w_s^2 \cdot i_u$  vì  $\Psi_L = L_c \cdot i_u$  ta có:

$$L_c = 2 \lambda_L \cdot l_\delta \cdot w_s^2 \quad (6-13)$$

Thay (6-13) vào (6-12) và chú ý đến biểu thức của  $T_{dc}$

$$e_{Ltb} = 2w_s^2 \cdot \lambda_L \cdot I_\delta \cdot \frac{2i_u}{T_{dc}}$$

Mà  $w_s = \frac{N}{2S} = \frac{N}{2G}$  và  $T_{dc} = \frac{b_c}{V_G} = \frac{b_G}{V_G} = \frac{b_G \frac{D_u}{D_G}}{V_G \frac{D_u}{D_G}} = \frac{b_G \frac{D_u}{D_G}}{V_u}$  vì  $\left( \frac{V_u}{D_u} = \frac{V_G}{D_G} \right)$

$D_u, D_G$  : Đường kính của phần ứng và cổ góp

$V_u, V_G$  : tốc độ dài của phần ứng và cổ góp

Do đó 
$$e_{Ltb} = 2w_s \cdot I_\delta \cdot \lambda_L \frac{N}{2G} \frac{2i_u}{b_G \frac{D_u}{D_G}} V_u$$

Thay :  $Gb_G = \pi \cdot D_G$  vào biểu thức trên ta có:

$$e_{Ltb} = 2w_s \cdot I_\delta \cdot \lambda_L \frac{Ni_u}{\pi \cdot D_u} V_u$$

$$e_{Ltb} = 2w_s \cdot I_\delta \cdot \lambda_L \cdot A \cdot V_u \quad (6-14)$$

Với  $A = \frac{Ni_u}{\pi D_u}$  : Phụ tải đường

### b. Sức điện động hồ cảm:

$$e_M = \sum_1^n e_{Mn} = - \sum_1^n M_n \frac{di_n}{dt}$$

Trong đó

$M_n$  : hệ số hồ cảm giữa phần tử đang xét và phần tử thứ n

$i_n$  : dòng điện trong phần tử thứ n.

Tương tự như  $e_L$  ta có :

$$e_{Mtb} = \frac{2i_u}{T_{dc}} \sum M_n \text{ và biểu thức cuối cùng là}$$

$$e_{Mtb} = 2w_s \cdot I_\delta \cdot A \cdot V_u \cdot \sum \lambda_M \quad (6-15)$$

$\lambda_M$  : suất dẫn từ do hồ cảm trên đơn vị dài của cạnh tác dụng của phần tử.

### c. Sức điện động phản kháng.

Theo định nghĩa s.đ.đ phản kháng trung bình có dạng

$$\begin{aligned} e_{pktb} = e_{Ltb} + e_{Mtb} &= 2w_s \cdot I_\delta \cdot \lambda_L \cdot A \cdot V_u (\lambda_L + \sum \lambda_M) \\ &= 2w_s \cdot I_\delta \cdot A \cdot V_u \lambda' \end{aligned} \quad (6-16)$$

**d. Sức điện động đổi chiều  $e_{dc}$**  : Sức điện động đổi chiều có dạng tổng quát:

$$e = B \cdot I \cdot V$$

Khi phần tử đi vào vùng đối chiều, sức điện động đối chiều  $e_{dc}$  bằng:

$$e_{dc} = 2 \cdot w_s \cdot B_{dc} \cdot I_{dc} \cdot V_u \quad (6-17)$$

Trong đó:

$B_{dc}$ : Từ cảm tổng hợp của từ trường cực từ phụ và từ trường phản ứng ở vùng trung tính.

$I_{dc}$ : Chiều dài của thanh dẫn cắt đường sức của từ trường đối chiều.

### § 6.3 Nguyên nhân sinh ra tia lửa và phương pháp cải thiện đối chiều

#### 1. Nguyên nhân sinh ra tia lửa :

Tia lửa sinh ra dưới chổi than có thể do nguyên nhân cơ hoặc nguyên nhân điện từ.

Nguyên nhân cơ: Vành góp không đồng tâm với trục, sự cân bằng các bộ phận quay không tốt, bề mặt vành góp không nhẵn, lực ép chổi than không thích hợp hoặc chổi than đặt không đúng vị trí v.v . . .

Nguyên nhân điện từ: Do s.đ.đ đối chiều không triệt tiêu được s.đ.đ phản kháng làm đối chiều vượt trước hoặc chậm sau gây ra tia lửa ở đầu vào hoặc đầu ra của chổi than.

#### 2. Các phương pháp cải thiện đối chiều :

Để tạo điều kiện tốt cho sự đối chiều, trước hết cần phải giữ đúng những điều qui định về trạng thái của vành góp và cơ cấu giữ chổi than sao cho bảo đảm loại trừ được những nguyên nhân cơ sinh ra tia lửa. Dưới đây ta xét những biện pháp chống tia lửa có tính chất điện từ.

##### a. Cực từ phụ:

Tác dụng của cực từ phụ là phải sinh ra s.t.đ  $F_f$  có chiều ngược lại phản ứng ngang trục  $F_{uq}$  và có độ lớn sao cho ngoài việc trung hoà được ảnh hưởng của  $F_{uq}$  còn tạo ra được từ trường phụ để sinh ra s.đ.đ đối chiều  $e_{dc}$  và làm triệt tiêu được  $e_{pk}$  để  $i_f = 0$  hay:

$$\Sigma e = e_{dc} + e_{pk} = 0$$

Tức là  $2w_s V_u I_{dc} B_{dc} = 2w_s I_{\delta} A V_u \lambda'$  suy ra

$$B_{dc} = \frac{I_{\delta}}{I_{dc}} A \lambda'$$

S.t.đ cần thiết của cực từ phụ :

$$F_f = A \cdot \tau + \frac{2}{\mu_0} B_{dc} \cdot \delta_f \cdot k_{\delta_f} \quad (6-18)$$

Trong đó:  $\delta_f$ : Chiều rộng khe hở không khí giữa cực từ phụ và rotor

$$k_{\delta_f} = \frac{t_1 + 5\delta_f}{b_{r1} + 5\delta_f} \text{ hệ số khe hở cực từ phụ, thường } \delta_f > \delta \text{ và } k_{\delta_f} > k_{\delta}$$

Số vòng dây của 1 cực từ phụ :

$$w_f = \frac{F_f}{2.I_u}$$

Hoặc s.t.đ cần thiết của một cực từ phụ :

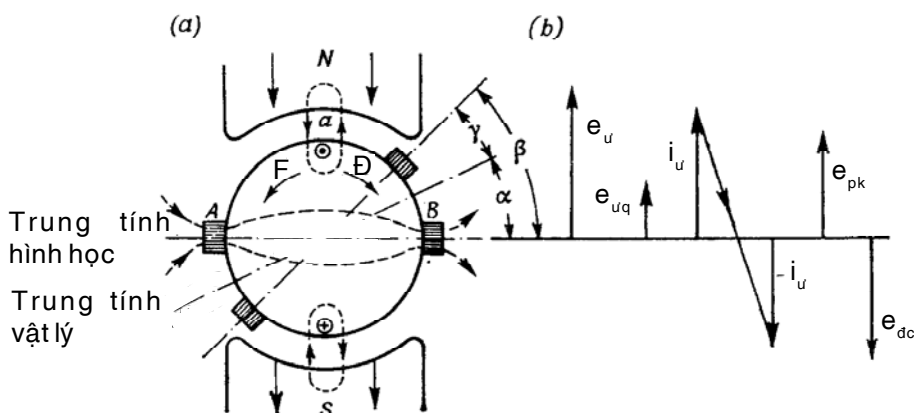
$$F_f = \frac{1}{2} A.\tau + \frac{1}{\mu_0} B_{dc}.\delta_f.k_{\delta_f} \quad (6-19)$$

do đó  $w_f = \frac{F_f}{I_u}$

Dây quấn cực từ phụ được nối tiếp với dây quấn phần ứng và mạch từ của cực từ phụ không được bão hoà. Muốn vậy ta phải tăng khe hở dưới cực từ phụ so với khe hở dưới cực từ chính.

### b.Xê dịch chổi than khỏi vùng trung tính hình học.

Trong các máy điện không có cực từ phụ, từ trường đổi chiều cần thiết để sinh ra s.đ.đ  $e_{dc}$  cân bằng với  $e_{pk}$  được tạo nên bằng cách xê dịch chổi than khỏi đường trung tính hình học. Để chứng tỏ phải xê dịch các chổi than như thế nào ta giả sử máy đang làm việc ở chế độ máy phát và các chổi than A-B đặt trên trung tính hình học (h6-9a). Ta biểu thị s.đ.đ  $e_u$  trong phần tử a trước lúc đổi chiều bằng đoạn thẳng hướng từ trục hoành lên (h6-9b). Khi máy làm việc như máy phát, chiều của  $i_u$  trùng với chiều của  $e_u$  và tạo nên ở khu vực đổi chiều 1 từ trường ngang của phần ứng chỉ rõ trong h6-9a bằng 2 đường nét chấm. Ứng dụng qui tắc bàn tay phải ta thấy rằng khi phần tử a đi vào dưới chổi than A và bắt đầu đổi chiều thì từ trường phần ứng tạo nên trong phần tử đó  $e_{uq}$  cùng dấu với S.đ.đ  $e_u$ . Cho nên  $e_{uq}$  cũng được biểu thị như  $e_u$  ở h6-9b.



Hình 6.9 Xê dịch chổi than khỏi vùng trung tính để cải thiện đổi chiều

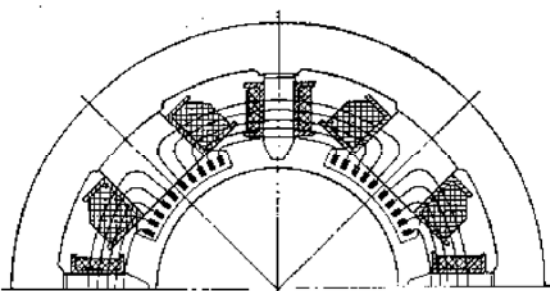


Trong thời gian đổi chiều  $T_{dc}$  dòng iư biến đổi từ  $+i_u$  đến  $-i_u$  và trong phần tử đổi chiều sinh ra một s.đ.đ  $e_{pk}$  luôn ngược chiều với sự biến đổi của dòng điện trong phần tử tương ứng nó được biểu thị giống như  $e_u, e_{uq}$ . Chúng ta thấy  $e_{uq}$  tác dụng cùng chiều với  $e_{pk}$  nghĩa là làm đổi chiều chậm lại. Để triệt tiêu  $e_{uq}$  ta xô dịch chổi điện đi 1 góc  $\alpha$  đến đường trung tính vật lý tại đó  $e_{uq} = 0$ . Ngoài ra còn phải khử  $e_{pk}$  bằng cách tạo ra 1  $e_{dc}$  có chiều ngược với  $e_{pk}$ , do đó  $e_{dc}$  phải được biểu thị bằng 1 đoạn thẳng ngược xuống dưới. So sánh  $e_u$  và  $e_{dc}$  thì nó khác dấu. Nói khác đi nếu trước lúc đổi chiều s.đ.đ  $e_u$  được tạo nên trong từ trường cực Bắc thì trong lúc đổi chiều s.đ.đ  $e_{dc}$  phải được tạo nên trong từ trường cực Nam. Để thỏa mãn được điều đó phải xô dịch thêm các chổi than khỏi đường trung tính vật lý 1 góc  $\gamma$  nào đó theo chiều quay của phần ứng với máy phát hoặc ngược chiều quay của động cơ.

Kết luận này mang tính chất tổng quát; nghĩa là để cải thiện đổi chiều của một máy không có cực từ phụ làm việc theo chế độ máy phát ta phải xô dịch chổi than một góc  $\beta = \alpha + \gamma$  từ đường trung tính hình học theo chiều quay của phần ứng (đối với động cơ thì ngược lại).

### c. Dây quấn bù

Dây quấn bù do Menghes đề nghị từ năm 1884 là một trong những biện pháp hiệu lực nhất để triệt tiêu từ trường của phần ứng trong phạm vi dưới mặt cực từ chính làm cho từ trường của cực từ chính hầu như không bị biến dạng. để có thể bù được từ trường của phần ứng ở tải bất kỳ thì dây quấn bù phải được nối tiếp với dây quấn phần ứng. Ở máy có dây quấn bù bao giờ cũng có cực từ phụ.



Hình 6.10 Dây quấn bù

Khi có dây quấn bù s.t.đ của cực từ phụ sẽ được giảm nhỏ, mạch từ của cực từ phụ ít bão hòa hơn. Hiệu quả cải thiện đổi chiều sẽ tăng.

S.t.đ cần thiết của dây quấn bù dưới 1 mặt cực :

$$F_b = \alpha_\delta \cdot F_{uq} = \alpha_\delta \cdot A \cdot \tau = b' \cdot A$$

Số vòng của dây quấn bù dưới 1 cực:

$$w_b = \frac{F_b}{2I_u}$$

## Thí dụ tính toán

Một máy phát điện kích thích song song dây quấn sóng đơn có những số liệu sau:

$P_{dm} = 10 \text{ kW}$ ,  $U_{dm} = 115 \text{ V}$ ,  $n_{dm} = 1040 \text{ V/ph}$ ,  $p = 2$ ,  $D_u = 24,5 \text{ cm}$ ,  $l_\delta = 12 \text{ cm}$ ,  $Z = 35$ ,  
 $G = 105$ ,  $w_s = 1$ ,  $l_{dc} = 8,5 \text{ cm}$ ,  $\lambda_L = 7 \cdot 10^{-6} \text{ H/m}$ . Chiều rộng khe hở không khí của cực  
từ phụ  $\delta_f = 2,5 \text{ mm}$ , hệ số khe hở không khí của cực từ phụ  $k_{\delta f} = 1,33$ . Tính s.d.đ  $e_{pk}$   
và số vòng dây cần thiết ở mỗi cực từ phụ để  $e_{dc}$  triệt tiêu  $e_{pk}$ .

## GIẢI

Với điều kiện  $\beta_G = 1$ ,  $a = p$ ,  $\lambda_M = 0$  ta có :

$$e_{pk} = 2w_s l_\delta V_u \lambda A$$

Trong đó  $V_u = \frac{\pi D_u n}{60} = \frac{\pi \cdot 24,5 \cdot 1040}{60} = 1336 \text{ cm/s}$

$$A = \frac{N \cdot i_u}{\pi \cdot D_u} = 119 \text{ A/cm}$$

$$N = 2w_s G = 210$$

$$i_u = \frac{I_{dm}}{2a} = \frac{P_{dm}}{2U_{dm}} = 43,5 \text{ A} \quad (\text{bỏ qua dòng điện } I_f)$$

Vậy  $e_{pk} = 2 \cdot 1 \cdot 12 \cdot 1336 \cdot 10^{-2} \cdot 119 \cdot 7 \cdot 10^{-6} = 0,267 \text{ V}$

Sức từ động cần thiết của một cực từ phụ

$$F_f = \frac{1}{2} A \tau + \frac{1}{\mu_0} B_{dc} \delta_f k_{\delta f}$$

Trong đó:  $\tau = \frac{\pi \cdot D_u}{2p} = \frac{\pi \cdot 24,5}{2 \cdot 2} = 19,3 \text{ cm}$

$$\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$$

$$B_{dc} = \frac{l_\delta}{l_{dc}} \lambda A = \frac{12}{8,5} \cdot 7 \cdot 10^{-6} \cdot 119 \cdot 10^2 = 0,1175 \text{ Wb/m}^2$$

(theo điều kiện  $e_{pk} = e_{dc}$ )

$$F_f = \frac{1}{2} \cdot 119 \cdot 10^2 \cdot 19,3 \cdot 10^{-2} + \frac{1}{4\pi \cdot 10^{-7}} \cdot 0,1175 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1,33 = 1456 \text{ A/cực}$$

với :  $F_f = w_f \cdot I_{dm}$

$$w_f = \frac{F}{I_{dm}} = \frac{1456}{87} = 17 \text{ vòng}$$

### Câu hỏi

1. Cho biết ảnh hưởng của tốc độ phần ứng đến đổi chiều ?
2. Bước dây quấn có ảnh hưởng gì đến đổi chiều ?
3. So sánh các phương pháp dùng để cải thiện đổi chiều và nói rõ hiệu quả và ứng dụng của từng phương pháp đó
4. S.t.đ của cực từ phụ phải đảm bảo triệt tiêu phản ứng của phần ứng và sinh ra từ trường đổi chiều cần thiết. Trong hai thành phần đó, thành phần nào lớn và nó chiếm tỷ lệ khoảng bao nhiêu phần trăm s.t.đ của cực từ phụ ?
5. Vẽ cách nối dây của các dây quấn bù và dây quấn của cực từ phụ với dây quấn phần ứng.

### Bài tập

1. Tính số vòng dây của cực từ phụ của máy phát điện một chiều để có đổi chiều đường thẳng. Cho :  $N = 834$ ,  $I_U = 59$  A,  $a = p = 1$ ,  $w_s = 3$ ,  $D_U = 24.5$  cm,  $n = 1460$  vg/ph,  $\lambda' = 8,5 \cdot 10^{-6}$  H/m,  $l_s = l_{dc} = 8$  cm,  $\delta_f = 3$  mm,  $k_{\delta f} = 1,3$ .

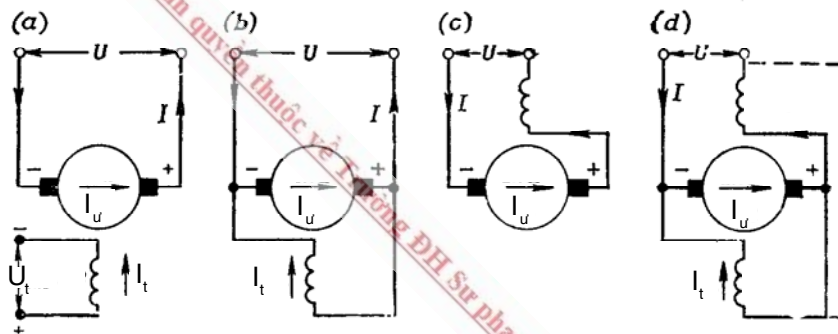
Đáp số:  $w_f = 119$  vòng.

## CHƯƠNG 7 CÁC MÁY PHÁT ĐIỆN MỘT CHIỀU

### § 7.1. Đại cương

Trên thực tế các trạm phát điện hiện đại chỉ phát ra điện năng xoay chiều 3 pha, phần lớn năng lượng đó được dùng dưới dạng điện xoay chiều trong công nghiệp, để thắp sáng và dùng cho các nhu cầu trong đời sống. Trong những trường hợp do điều kiện sản xuất bắt buộc phải dùng điện 1 chiều (xí nghiệp hóa học, công nghiệp luyện kim, giao thông vận tải v.v...) thì người ta thường biến điện xoay chiều thành một chiều nhờ các bộ chỉnh lưu hoặc chỉnh lưu kiểu máy điện, cách thứ hai là dùng máy phát điện một chiều để là nguồn điện một chiều.

Phân loại các máy phát điện một chiều theo phương pháp kích thích. Chúng được chia thành:



Hình 7.1 Sơ đồ nguyên lý của máy phát điện một chiều

a. Máy phát điện một chiều kích thích độc lập.

b. Máy phát điện một chiều tự kích

Trong đó:

- Máy phát điện một chiều kích thích độc lập gồm

+ Máy phát điện một chiều kích thích bằng điện từ: dùng nguồn DC, ắc qui... v.v.

+ Máy phát điện một chiều kích thích bằng nam châm vĩnh cửu.

- Theo cách nối dây quấn kích thích, các máy phát điện một chiều tự kích được chia thành:

+ Máy phát điện một chiều kích thích song song

+ Máy phát điện một chiều kích thích nối tiếp

+ Máy phát điện một chiều kích thích hỗn hợp

## § 7.2. Các đặc tính cơ bản của các MFĐDC

Bản chất của máy phát điện được phân tích nhờ những đặc tính quan hệ giữa 4 đại lượng cơ bản của máy :

- Điện áp đầu cực máy phát điện:  $U$
- Dòng điện kích từ :  $I_t$
- Dòng điện phần ứng  $I_u$
- Tốc độ quay :  $n$

Trong đó  $n = C^{te}$  còn 3 đại lượng tạo ra mối quan hệ chính và các đặc tính chính là:

① Đặc tính phụ tải (đặc tính tải):  $U = f(I_t)$  khi  $I = I_{dm} = C^{te}$  ,  $n = n_{dm} = C^{te}$  . Khi  $I = 0$  đặc tính phụ tải chuyển thành đặc tính không tải  $U_o = E_o = f(I_t)$ . Đặc tính này có ý nghĩa quan trọng trong việc đánh giá máy phát và để vẽ các đặc tính khác của máy phát điện.

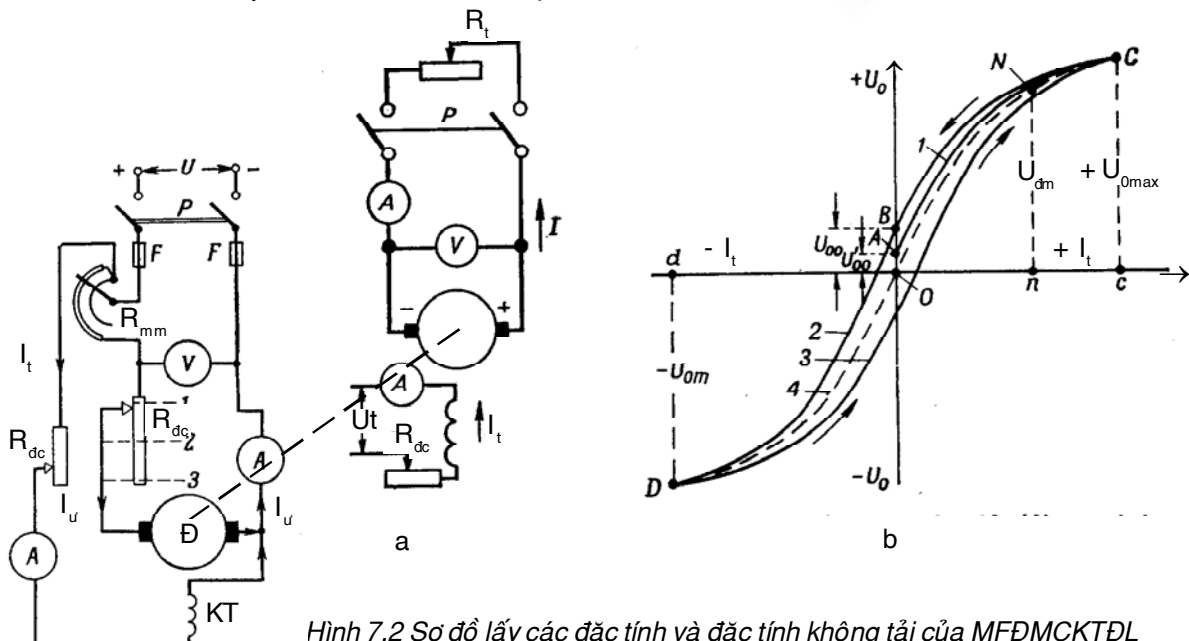
② Đặc tính ngoài:  $U = f(I)$  khi  $R_{dc} = C^{te}$  ( $I_t = C^{te}$ )

③ Đặc tính điều chỉnh :  $I_t = f(I)$  khi  $U = C^{te}$  . Trong trường hợp riêng khi  $U = 0$ , đặc tính điều chỉnh chuyển thành đặc tính ngắn mạch  $I_t = f(I_n)$ .

Chúng ta hãy xét các đặc tính của máy phát điện theo phương pháp kích từ và coi đó là nhân tố chủ yếu để xác định các bản chất của các máy phát điện.

### § 7.2.1 Các đặc tính của máy phát điện kích thích độc lập

1. **Đặc tính không tải**  $U_o = f(I_t)$  khi  $I = 0$  và  $n = C^{te}$ . sơ đồ lấy đặc tính đó trình bày trên hình 7-2a, đặc tính được biểu thị trên h7-2b.



Hình 7.2 Sơ đồ lấy các đặc tính và đặc tính không tải của MFĐMCKTĐL

Vì trong máy thường có từ thông dư nên khi  $I_t = 0$  trên cực của máy phát có điện áp  $U'_{oo} = OA$  (h7-2b), thường  $U'_{oo} = (2 \div 3)\% U_{dm}$ . Khi biến đổi  $I_t$  từ  $I_t = 0 \div +I_{tmax} = OC$  điện áp  $U$  sẽ tăng theo đường cong 1 đến  $+U_{omax} = Cc$ . Thường  $U_{omax} = (1,1 \div 1,25) U_{dm}$ . Lúc không tải phần ứng của MFĐCKTĐL chỉ nối với voltmet nên :

$$U_o = E_o = C_e \cdot n \cdot \Phi = C'_e \cdot \Phi$$

Nên quan hệ  $U_o = f(I_t)$  lặp lại quan hệ  $\Phi = f(I_t)$  theo 1 thước tỉ lệ nhất định.

Bây giờ chúng ta hãy biến đổi  $I_t$  từ  $+I_{tmax} = OC \div I_t = 0$  sau đó đổi nối ngược chiều dòng điện trong mạch kích thích rồi tiếp tục biến đổi  $I_t$  từ  $I_t = 0 \div -I_{tmax} = Od \rightarrow$  vẽ được đường cong 2.

Lặp lại sự biến đổi của dòng điện theo thứ tự ngược lại từ  $-I_{tmax} = Od \div +I_{tmax} = OC$  thì ta vẽ được đường 3.

Đường cong 3 và 2 tạo thành chu trình từ trễ xác định tính chất thép của cực từ và gông từ.

Vẽ đường 4 trung bình giữa các đường trên chúng ta được đặc tính không tải để tính toán.

## 2. Các đặc tính phụ tải $U = f(I_t)$ khi $l = C^{te}$ , $n = C^{te}$ .

Khi MF có dòng điện tải  $I$  thì điện áp trên đầu cực bị hạ thấp do :

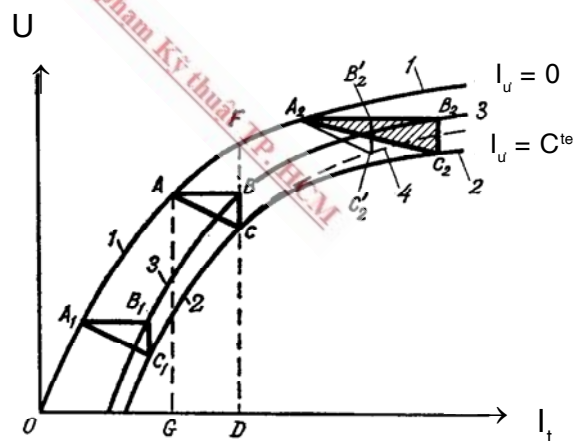
- Điện áp rơi trên phần ứng  $I_u R_u$ .
- Phản ứng phần ứng  $\epsilon$ .

Các đường 1, 2 trên h7-3 biểu thị các đặc tính không tải và phụ tải. Nếu cộng thêm điện áp rơi  $I_u R_u$  vào đường cong phụ tải thì ta có đặc tính phụ tải trong

$$U + I_u R_u = E_u = f(I_t)$$

Khi  $l = C^{te}$ ,  $n = C^{te}$  là đường cong 3.

Đặc tính phụ tải cùng với đặc tính không tải cho phép thành lập  $\Delta$  đặc tính của máy phát điện một chiều. Tam giác này một mặt cho phép đánh giá ảnh hưởng của điện áp rơi và phản ứng phần ứng đối với điện áp của máy phát điện một chiều mặt khác có thể dùng để vẽ đặc tính ngoài và đặc tính điều chỉnh của máy phát điện một chiều.



Hình 7.3 Đặc tính phụ tải của MFĐCKTĐL

Cách vẽ  $\Delta$  đặc tính như sau : Qua điểm D lấy tùy ý trên trục hoành, vẽ 1 đường thẳng // với trục tung cắt các đường cong 2, 3 và 1 ở các điểm C, B và F. Theo cách vẽ đó đoạn  $BC = I_u R_u$ . Lúc không tải với  $I_t = OD$  ta có  $U_0 = FD$  cho nên toàn bộ điện áp rơi CF khi có dòng điện tải I sẽ lớn hơn điện áp rơi  $BC = I_u R_u$  1 trị số BF do phản ứng phần ứng sinh ra. Lúc không tải  $E_u = BD = AG$  là do dòng điện  $I_{to} = OG$  sinh ra có trị số nhỏ hơn OD 1 đoạn  $DG = OD - OG$ . Từ đó ta thấy trị số S.t.đ phản ứng phần ứng biểu thị theo thước đo dòng điện kích thích bằng GD. Để vẽ được  $\Delta$  đặc tính chỉ cần kẻ qua B 1 đoạn  $BA = GD //$  với trục hoành.

### 3. Đặc tính ngoài $U = f(I)$ khi $I_t = C^{te}$ ( $R_{dc} = C^{te}$ ), $n = C^{te}$ .

Đặc tính ngoài được lấy theo sơ đồ 7-2a lúc cầu dao P được đóng mạch. Điện áp  $U_t$  trên đầu cực kích thích được giả thiết là không lớn, do đó :

$$I_t = \frac{U_t}{R_t} = C^{te}$$

Để lấy đặc tính ngoài chúng ta quay MFĐ đến  $n = n_{dm}$  và thiết lập dòng điện kích thích  $I_{tdm}$  sao cho  $I = I_{dm} = 1$  và  $U = U_{dm} = 1$  (h7-4). Sau đó giảm dần phụ tải của MFĐ đến không tải. Điện áp của MFĐ tăng theo đường cong 1 vì phụ tải giảm điện áp rơi trên phần ứng  $I_u R_u$  và phản ứng phần ứng giảm lúc không tải  $U_0 = OA$ , do đó :

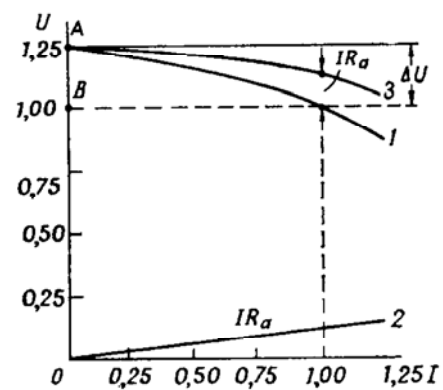
$$\Delta U\% = \frac{OA - OB}{OB} 100 = \frac{U_0 - U_{dm}}{U_{dm}} 100$$

Vì  $R_u = C^{te}$  nên  $I_u R_u = f(I_u)$  biểu diễn bằng đường thẳng 2.

Đường cong 3 là quan hệ của  $U + I_u R_u = E_u = f(I_u)$  gọi là đặc tính trong của máy phát điện.

Từ đặc tính không tải  $U_0 = f(I_t)$  và  $\Delta$  đặc tính vẽ đặc tính ngoài với giả thiết các cạnh của  $\Delta$  biến đổi tỉ lệ với dòng điện I.

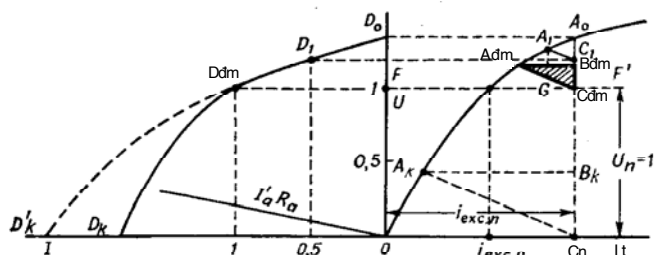
Trước hết ta lấy  $U_{dm} = 1$  vẽ trên đồ thị  $\Delta A_{dm} B_{dm} C_{dm}$  tương ứng với  $I_{dm} = 1$  sao cho đỉnh  $A_{dm}$  nằm trên đường đặc tính không tải, còn cạnh  $A_{dm} B_{dm}$  và  $B_{dm} C_{dm}$  song song với trục hoành và trục tung, vị trí của điểm  $C_{dm}$  xác định bằng cách đo tương ứng với điện áp  $U_{dm} = 1$ . Kéo dài cạnh  $B_{dm} C_{dm}$  ta được  $I_{tdm} = OCn = 1$  và điểm  $A_0$  tương ứng điện áp không tải  $U_0$ . Ta đem điểm  $C_{dm}$  sang bên trái trục tung được điểm  $D_{dm}$  tương ứng với dòng điện  $I_{dm} = 1$  còn



Hình 7.4 Đặc tính ngoài của MFĐDCKTĐL

điểm  $A_1$  thì đến điểm  $D_0$  trên trục đứng.

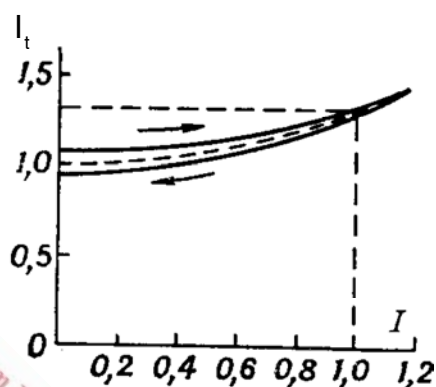
Để có đặc tính ngoài tương ứng với  $I = \frac{1}{2}I_{dm}$  thì  $\Delta$  đặc tính có các cạnh =  $\frac{1}{2}$  các cạnh  $\Delta A_{dm} B_{dm} C_{dm}$ .



Hình 7.5 Dụng đặc tính ngoài của MFĐKTĐL từ đặc tính không tải và tam giác đặc tính

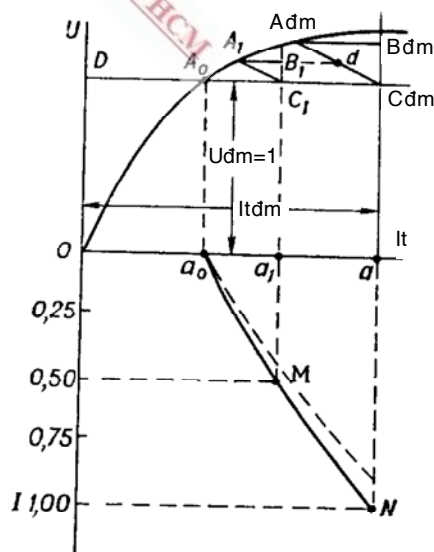
#### 4. Đặc tính điều chỉnh $I_t = f(I)$ khi $U = C^{te}$ , $n = C^{te}$

Vì khi  $I_t = C^{te}$  thì  $U$  trên cực máy phát hạ thấp khi  $I$  tăng và ngược lại (h7-4). Nếu muốn  $U = C^{te}$  thì phải tăng  $I_t$  khi  $I$  tăng và giảm  $I_t$  khi  $I$  giảm. Sơ đồ thí nghiệm như h7-2a, cho máy phát làm việc và mang tải đến định mức  $I = I_{dm}$ ,  $U = U_{dm}$ ,  $I_t = I_{tdm}$  sau đó giảm dần tải nhưng phải giữ cho  $n = C^{te}$  và điều chỉnh  $I_t$  để cho  $U = U_{dm}$  lần lượt ghi các trị số của  $I$  và  $I_t$  ta có dạng đặc tính điều chỉnh như h7-6.



Hình 7.6 Đặc tính điều chỉnh của MFĐKTĐL

Xây dựng đặc tính điều chỉnh bằng đặc tính không tải và  $\Delta$  đặc tính : với vị trí xác định  $U_0 = U_{dm} = 1 = A_0a_0$  khi  $I = 0$  ta được điểm  $a_0$  tương ứng với  $I_{t0} = a_0a_0$ . Nếu đặt  $1 = \Delta A_{dm} B_{dm} C_{dm}$  tương ứng với tải  $I = I_{dm}$  sao cho điểm  $A_{dm}$  nằm trên đường đặc tính không tải và đỉnh  $C_{dm}$  nằm trên đường thẳng  $DC$  ứng với  $U = U_{dm} = C^{te}$ . Hạ đường thẳng đứng  $B_{dm} C_{dm}$  ta được  $I_{tdm} = oa$  tương ứng với  $I_{dm}$  ta được điểm  $N$ . Muốn có điểm  $M$  tương ứng với  $I = \frac{1}{2} I_{dm}$  thì các cạnh của  $\Delta A_1 B_1 C_1 = \frac{1}{2}$  các cạnh của  $\Delta A_{dm} B_{dm} C_{dm}$  với điểm  $A_1$  trượt trên đường đặc tính không tải,  $C_1$  trượt trên đường  $DC$ . Nối 3 điểm  $oaMN$  ta được đặc tính điều chỉnh.



Hình 7.7 Dụng đặc tính điều chỉnh của MFĐKTĐL từ đặc tính không tải và tam giác đặc tính



**5. Đặc tính ngắn mạch  $I_n = f(I_t)$  khi  $U = 0$ ,  $n = C^{te}$**

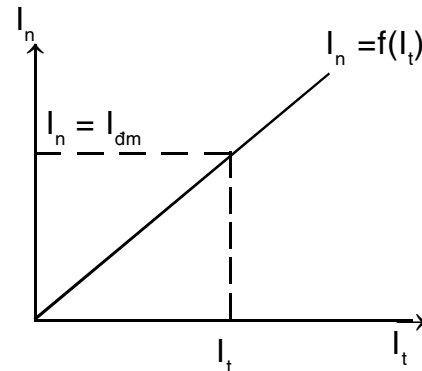
Nối ngắn mạch các chổi than qua ampe mét cho máy chạy với  $n = C^{te}$ , đo các trị số  $I_t$  và  $I_n$  tương ứng ta được đặc tính ngắn mạch. Khi ngắn mạch :

$$U = E_u - I_u R_u = 0$$

$$\Rightarrow E_u = I_u R_u \text{ do } R_u \ll \text{ và } R_u = C^{te} \text{ nên}$$

khi điều chỉnh  $I_n = I_{dm}$  thì  $E_u \ll$  và S.đ.đ

không vượt quá vài phần trăm của  $U_{dm} \Rightarrow I_t \ll \Rightarrow$  mạch từ của máy không bão hòa  $\Rightarrow$  đặc tính ngắn mạch là một đường thẳng.



Hình 7.8 Đặc tính ngắn mạch

**§ 7.2.2 Các đặc tính của máy phát điện kích thích song song**

**1. Điều kiện và quá trình tự kích của máy**

**a. Điều kiện:** Máy phát điện kích thích song song làm việc tự kích và không cần có nguồn điện bên ngoài để kích từ nên cần có các điều kiện sau :

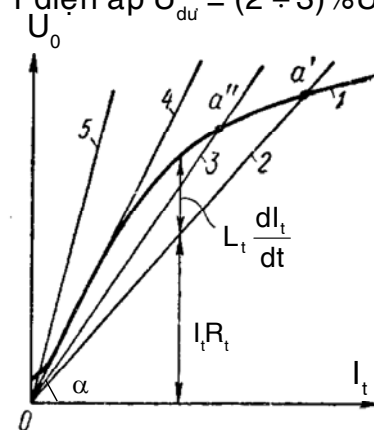
- Máy phải có từ dư để khi quay có  $\Phi_{du} = (2 \div 3)\% \Phi_{dm}$ .
- Nối mạch kích thích đúng chiều để từ thông kích thích cùng chiều với  $\Phi_{du}$ .
- $R_t < R_{th}$
- $n = n_{dm}$

**b. Quá trình tự kích :**

Khi quay máy phát đến  $n_{dm}$  do có  $\Phi_{du}$  trong dây quấn phần ứng sẽ cảm ứng được 1 s.đ.đ  $E_u$  và trên cực máy thành lập được 1 điện áp  $U_{du} = (2 \div 3)\% U_{dm}$ . Nếu nối kín mạch kích thích thì trong đó có dòng điện  $I_t = \frac{U_{du}}{R_t}$ ,  $R_t$  là điện trở của mạch kích thích.

Kết quả là sinh ra s.t.đ  $I_t w_t$ . Nếu s.t.đ này sinh ra từ thông có cùng chiều với  $\Phi_{du}$  thì máy sẽ tăng kích từ, điện áp đầu cực sẽ tăng và cứ tiếp tục như vậy máy sẽ tự kích được.

Ta hãy giải thích giới hạn của quá trình tự kích (ta cho rằng máy phát điện làm việc không tải  $I = 0$ ).



Hình 7.9 Điện áp xác lập của MFDKT// ứng với các  $R_t$  khác nhau.

Khi tự kích phương trình S.đ.đ trong mạch kích từ có thể viết :

$$U_0 = I_t R_t + \frac{d(L_t I_t)}{dt} \quad \text{hay} \quad U_0 - I_t R_t = L_t \frac{dI_t}{dt}$$

với  $U_0$ : điện áp biến đổi trên đầu cực MFĐ và cũng là trên đầu mạch kích từ.

$R_t$ : điện trở của mạch kích từ.

$L_t$ : Điện cảm của mạch kích từ.

Nếu  $R_t = C^{te}$  thì điện áp rơi  $I_t R_t$  biến đổi tỉ lệ thuận với  $I_t$ , đồ thị của nó được biểu thị bằng đường thẳng 2 và làm với trục ngang 1 góc  $\text{tg}\alpha = \frac{I_t R_t}{I_t} = R_t$

Cho nên mỗi giá trị của  $R_t$  thì có 1 đường thẳng tương ứng xác định bởi công thức trên. Trên h7-9 đường cong 1 cho ta đặc tính không tải. Các đoạn thẳng giữa đường cong 1 và 2 là hiệu số  $U_0 - I_t R_t = L_t \frac{dI_t}{dt}$  dùng để tăng cường quá trình tự kích. Quá trình đó kết thúc khi  $U_0 - I_t R_t = 0$ , nói khác đi các đường 1 và 2 cắt nhau.

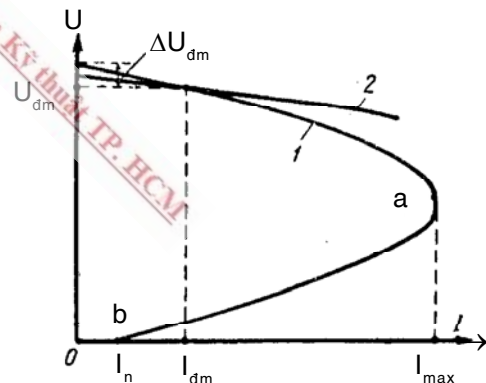
Nếu chúng ta tăng  $R_t$  nghĩa là tăng góc  $\alpha$  thì điểm M sẽ trượt trên đường đặc tính không tải về O. Với 1 điện trở nhất định gọi là  $R_{th}$  thì đường thẳng 2 sẽ tiếp xúc với đoạn đầu của đặc tính không tải (đường thẳng 4 trên h7-9). Trong các điều kiện đó máy không tự kích được.

## 2. Đặc tính ngoài $U = f(I)$ khi $R_t = C^{te}$ , $n = C^{te}$ .

Khi KTĐL thì  $I_t = \frac{U_t}{R_t} = C^{te}$  còn khi KT// thì  $I_t = \frac{U_t}{R_t} = \frac{U}{R_t} \cong U$

Sau khi máy đã phát được điện áp việc thành lập đặc tính ngoài được tiến hành như máy phát điện kích thích độc lập.

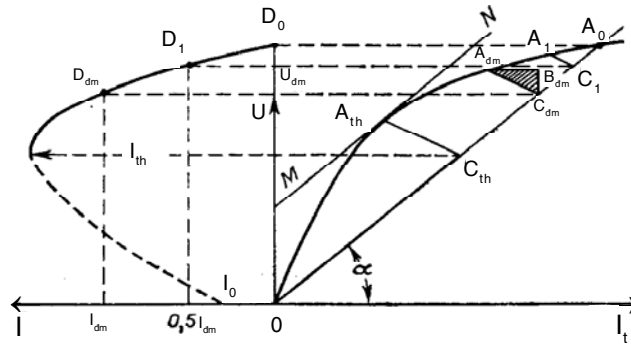
Đặc điểm đặc biệt ở MFĐKT// là dòng điện tải chỉ tăng đến 1 trị số nhất định  $I = I_{th} = (2 \div 2,5) I_{dm}$ . Sau đó nếu tiếp tục giảm  $R_t$  của tải ở mạch ngoài thì  $I$  không tăng mà giảm nhanh đến trị số  $I_0$  xác định bởi từ dư của máy.



Hình 7.10 Đặc tính ngoài của MFDDCKT// (1) và KHTĐL (2)

Cách thành lập đặc tính ngoài từ đặc tính không tải và  $\Delta$  đặc tính tiến hành như ở máy phát điện kích thích độc lập.

Điều khác nhau cơ bản là ở máy phát điện kích thích độc lập  $I_t = C^{te}$ , còn ở đây  $I_t$  phụ thuộc vào  $U$  và đường  $I_t R_t$  là đường thẳng OP đi qua gốc tọa độ.  $\Delta$  đặc tính ABC ở đây sẽ tịnh tiến trong vùng giới hạn giữa đặc tính không tải và đường OP. Ở góc phần tư thứ 2 ta có đặc tính ngoài. Với các trường hợp  $I = \frac{1}{2} I_{dm}$ ;  $I = I_{dm}$ ;  $I = 0$  với điều kiện



Hình 7.11 Dụng đặc tính ngoài của MFDDCKT// bằng đặc tính không tải và tam giác đặc tính

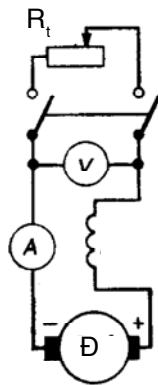
các cạnh của  $\Delta \approx I$ . Để có  $I_{th}$  ta kẻ tiếp tuyến MN với đặc tính không tải và song song OP. Từ điểm tiếp xúc  $A_{th}$  ta kẻ  $A_{th}C_{th} // AC$  của  $\Delta$  đặc tính cơ bản ABC ứng với dòng  $I_{th} = I_{dm} \frac{A_{th}C_{th}}{AC}$ .

### 3. Đặc tính điều chỉnh $I_t = f(I)$ khi $U = C^{te}$ , $n = C^{te}$

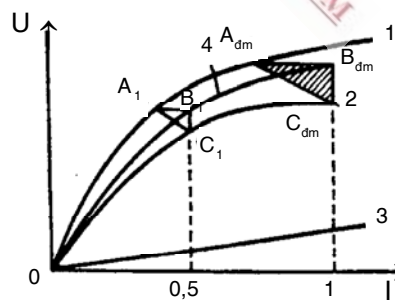
Giống như đặc tính điều chỉnh của máy phát điện kích thích độc lập.

#### § 7.2.3 Đặc tính của máy phát điện kích thích nối tiếp

Trong máy phát điện kích thích nối tiếp:  $I_t = I_u = I$  cho nên chỉ có thể lấy được các đặc tính không tải, đặc tính phụ tải, và đặc tính ngắn mạch. Theo sơ đồ KTĐL (h7-2a), các đặc tính có dạng như máy phát điện kích thích độc lập. Khi máy phát điện kích thích nối tiếp làm việc ở  $n = C^{te}$  chỉ còn 2 đại lượng biến đổi U và I nên máy phát điện này về thực chất có 1 đặc tính ngoài  $U = f(I)$  khi  $n = C^{te}$ .



Hình 7.12 Sơ đồ MFDDCKTNT

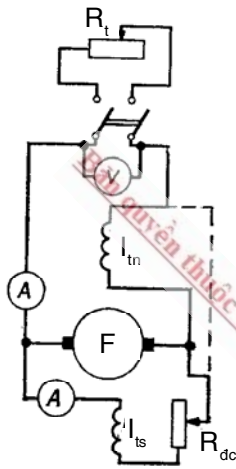


Hình 7.13 Cách vẽ đặc tính ngoài của MFDDCKTNT

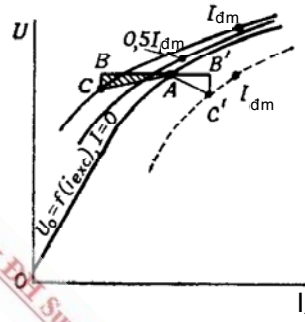
Cách thành lập đặc tính ngoài theo đặc tính không tải và  $\Delta$  đặc tính: đầu tiên vẽ  $\Delta ABC$  tương ứng với  $I = I_{dm}$ , tịnh tiến  $\Delta ABC$  đến vị trí  $A_1 B_1 C_1$  sao cho  $A_1$  nằm trên đặc tính không tải thì điểm  $C_1$  sẽ nằm trên đặc tính ngoài. Thay đổi các cạnh của  $\Delta$  tỉ lệ với I ta vẽ được đặc tính ngoài của máy.

### § 7.2.4 Đặc tính của máy phát điện kích thích hỗn hợp

máy phát điện kích thích hỗn hợp có đồng thời 2 dây quấn kích thích song song và nối tiếp cho nên nó tập hợp các tính chất của cả 2 loại máy này. Tùy theo cách nối, s.t.đ của 2 dây quấn kích từ có thể cùng chiều hoặc ngược chiều nhau. Cách nối các dây quấn kích từ ngược chiều nhau thường được dùng trong các sơ đồ đặc biệt, thí dụ trong 1 số kiểu của máy phát hàn điện. Khi nối thuận 2 dây quấn kích từ thì dây quấn song song đóng vai trò chính còn dây quấn nối tiếp đóng vai trò bù lại tác dụng của phản ứng phần ứng và điện áp rơi  $I_a R_a$ . Nhờ đó mà máy có khả năng điều chỉnh điện áp trong 1 phạm vi tải nhất định.



Hình 7.14 Sơ đồ MFĐĐCKTHH



Hình 7.15 Cách vẽ đặc tính phụ tải của máy phát điện kích thích hỗn hợp

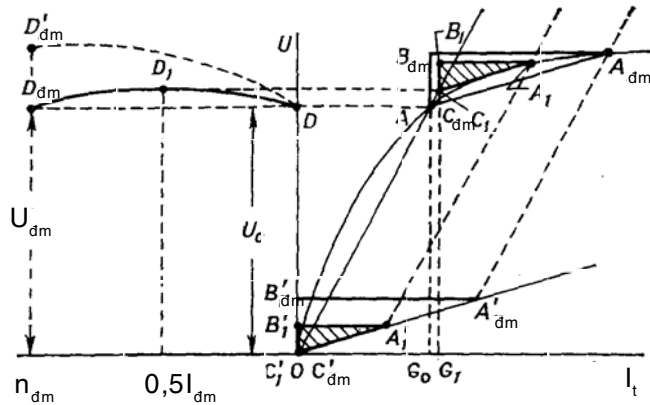
#### Các đặc tính :

- Đặc tính không tải của máy phát điện kích thích hỗn hợp:  $U_o = f(I_t)$  khi  $I = 0$ ,  $n = C^{te}$  giống máy phát điện kích thích song song vì trong trường hợp đó  $I_{tn} = 0$ .

- Đặc tính phụ tải của máy phát điện kích thích hỗn hợp :  $U = f(I_t)$  khi  $I = C^{te}$ ,  $n = C^{te}$  cũng có dạng như máy phát điện kích thích song song nhưng khi dây quấn nối tiếp đủ mạnh thì chúng có thể cao hơn các đặc tính không tải vì dây quấn nối tiếp làm từ hóa tỉ lệ với  $I_a$  nên tác dụng của dây quấn đó xem như phản ứng từ hóa của phần ứng (nghĩa là s.t.đ của nó sinh ra triệt tiêu được s.t.đ phản ứng phần ứng và còn thừa s.t.đ để trợ từ) nên cạnh AB sẽ nằm bên phải cạnh BC.

Nếu ta xê dịch  $\Delta ABC$  // với bản thân nó sao cho đỉnh A trượt dọc đặc tính không tải thì đỉnh C vẽ thành đặc tính phụ tải như máy phát điện kích thích độc lập (h7-15) thay đổi các cạnh  $\Delta ABC$  tỉ lệ với  $I$  ta có thể vẽ được 1 loạt đặc tính phụ tải ví dụ  $I = I_{dm}$  và  $I = 0,5I_{dm}$ .

- Ta có thể dùng đặc tính không tải và  $\Delta$  đặc tính để vẽ đặc tính ngoài  $U = f(I)$  khi  $R_t = C^{te}$ .



Hình 7.16 Cách vẽ đặc tính ngoài của MFĐKTHH

Kẻ đường thẳng OA từ gốc tọa độ biểu thị cho quan hệ  $I_t = \frac{U}{R_t} \cong U$ . Đặt  $\Delta A'_1 B'_1 C'_1$  tương ứng với  $I = 0,5I_{dm}$  ở trường hợp bù thừa (phản ứng phần ứng trợ từ) ở gốc tọa độ, rồi tịnh tiến  $\Delta$  đó đến vị trí  $A_1 B_1 C_1$  dọc theo đường 1 sao cho  $A_1$  nằm trên đặc tính không tải,  $C_1$  trên đường thẳng OA thì  $C_1 G_1$  sẽ xác định điện áp của máy phát khi  $I = 0,5I_{dm}$ , cũng bằng phương pháp đó ta có thể vẽ đối với dòng điện  $I = I_{dm}$  ( $\Delta A'_{dm} B'_{dm} C'_{dm}$  và  $\Delta A_{dm} B_{dm} C_{dm}$ )

Có thể tính dây quấn nối tiếp sao cho điểm  $C_{dm}$  của  $\Delta A_{dm} B_{dm} C_{dm}$  trùng với điểm A thì ta có trường hợp  $U_o = U_{dm}$ . Nối các điểm  $D_o D_1 D_{dm}$  bằng 1 đường cong ta sẽ có đặc tính ngoài của máy.

### § 7.3. Máy phát điện một chiều làm việc song song

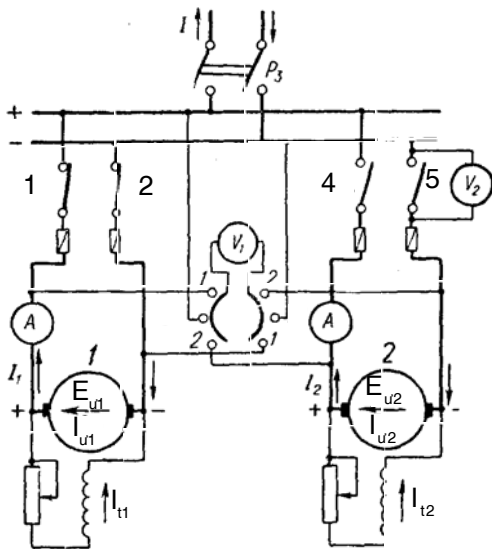
Trong thực tế nhằm đảm bảo an toàn cho cung cấp điện và sử dụng kinh tế nhất các máy phát thì hầu hết các nhà máy điện đều ghép các máy phát làm việc song song với nhau.

Sau đây ta sẽ xét các điều kiện cần thiết để ghép các máy phát điện làm việc song song và sự phân phối cũng như chuyển công suất giữa các máy.

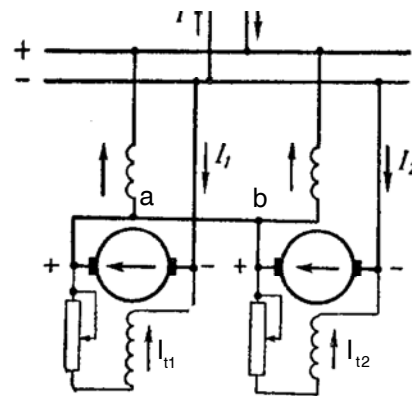
#### 1. Điều kiện làm việc song song của các MFĐDC :

Giả sử ta có 2 MFĐDC I và II, trong đó máy phát điện I đang làm việc với 1 phụ tải I nào đó và phát ra 1 điện áp u trên hai thanh đồng dấu. Muốn ghép MFĐII vào làm việc // với MFĐ I cần phải giữ đúng các điều kiện sau :

- 1) Cực tính của MFĐ II phải cùng cực tính của thanh đồng dấu.
- 2) S.d.d của MFĐ II trên thực tế phải bằng điện áp u.
- 3) Nếu MFĐ làm việc // thuộc MFĐKTHH thì cần có điều kiện thứ 3 : nối dây



Hình 7.17 Sơ đồ làm việc // của các MFKT//  
cb giữa 2 điểm a và b như hình 7.18.



Hình 7.18 Sơ đồ làm việc // của các MFKTHH

Giải thích các điều kiện trên :

Điều kiện 1: Cần phải đảm bảo chặt chẽ nếu không 2 máy phát điện sẽ bị nối nối tiếp với nhau gây nên tình trạng ngắn mạch của cả 2 máy.

Điều kiện 2 : Nếu không thỏa thì sau khi ghép vào máy 2 hoặc phải nhận tải đột ngột nên  $E > u$  và làm cho lưới điện thay đổi hoặc làm việc theo chế độ động cơ  $E < u$ .

Điều kiện 3 : Có thể được giải thích như sau, giả sử tốc độ quay của một trong các máy phát ví dụ máy phát I tăng thì  $n_1$  tăng  $\rightarrow E_{u1}$  tăng và chú ý rằng dây quấn kích thích // của máy phát I sinh ra  $\Phi_1$  còn dây quấn nối tiếp sinh ra  $\Phi_2$  và  $\Phi_2 = C_2 I_1$  trong trường hợp đó :

$$I_1 = \frac{E_{u1} - u}{R_{u1}} = \frac{C_e n (\phi_1 + \phi_2) - u}{R_{u1}} = \frac{C_e n (\phi_1 + C_2 I_1) - u}{R_{u1}}$$

$$\text{từ đó } I_1 = \frac{C_e n \phi_1 - u}{R_{u1} - C_e C_2 n}$$

Vì vậy nên khi  $E_{u1} = C_e n \Phi_1$  tăng  $\rightarrow I_1$  tăng  $\rightarrow \Phi_1$  tăng  $\rightarrow E_{u1}$  tăng  $\rightarrow I_1$  tăng. Cứ như vậy máy phát I sẽ giành lấy hết tải và bị quá tải và buộc máy phát II chuyển từ chế độ máy phát sang chế độ động cơ (với cách nối ngược các dây quấn // và nối tiếp). Tải đột ngột tăng ở máy phát I làm tốc độ quay của động cơ sơ cấp nối với nó giảm do đó dẫn đến sự chuyển toàn bộ phụ tải sang máy phát II và máy phát I lại chuyển sang làm việc ở chế độ động cơ. Sau đó động cơ sơ cấp của máy phát I lại tăng tốc độ và nó lại nhận toàn bộ phụ tải v.v... Như vậy có thể xuất hiện quá trình dao động chuyển đổi tuần hoàn dòng điện phụ tải từ máy

này qua máy kia do đó các máy phát điện không thể làm việc ổn định được.

Khi có dây nối cân bằng, các dây quấn kích từ nối tiếp được nối song song (h7-18). Do đó các dòng điện của chúng thay đổi theo cùng một tỉ lệ xác định bởi điện trở của các dây quấn đó. Nếu vì 1 lý do nào đó  $I_{u1}$  tăng  $\rightarrow I_{u2}$  tăng theo cùng mức độ làm cho s.d.đ và dòng điện phụ tải của 2 máy tăng đồng thời không có hiện tượng trên.

Cách ghép máy phát song song: Quay máy phát II không kích từ đến  $n_{dm}$  và đóng cầu dao 4, nếu bỏ qua từ dư của máy thì V2 chỉ điện áp  $u$ . Bắt đầu kích từ máy II, nếu cực tính của máy không cùng với cực tính của thanh đồng đầu thì V2 chỉ điện áp  $u + E_{uII}$ , không thể đóng 5. Nếu cực tính của nó đúng cực tính của thanh đồng đầu thì V2 chỉ  $u - E_{uII}$  và khi hiệu số này bằng 0 thì ta có thể đóng 5 để ghép máy II vào làm việc // với máy I. Muốn cho máy II mang tải thì tăng kích từ.

## 2. Phân phối và chuyển phụ tải :

Từ các phương trình s.d.đ cơ bản của máy phát điện một chiều ta có :

$$E_{uI} - I_{uI}R_{uI} = E_{uII} - I_{uII}R_{uII} = u$$

Nếu  $R_c$  là điện trở của mạch ngoài

$$u = (I_{uI} + I_{uII})R_c$$

Giải các phương trình đó đối với  $I_{uI}$  và  $I_{uII}$  ta có :

$$I_{uI} = \frac{E_{uI}(R_c + R_{uII}) - E_{uII}R_c}{R_c(R_{uI} + R_{uII}) + R_{uI}R_{uII}} \quad (1)$$

$$I_{uII} = \frac{E_{uII}(R_c + R_{uI}) - E_{uI}R_c}{R_c(R_{uI} + R_{uII}) + R_{uI}R_{uII}} \quad (2)$$

Do đó 
$$u = \frac{R_c(E_{uI}R_{uII} + E_{uII}R_{uI})}{R_c(R_{uI} + R_{uII}) + R_{uI}R_{uII}} \quad (3)$$

Từ các công thức trên ta thấy nếu đã biết  $R_{uI}$ ,  $R_{uII}$ ,  $R_c$  thì sự phân phối dòng điện phụ tải giữa các MF phụ thuộc vào s.d.đ  $E_{uI}$  và  $E_{uII}$ , nghĩa là vào tốc độ quay của các MF:  $n_I$ ,  $n_{II}$  và từ thông tổng của chúng  $\Phi_I$ ,  $\Phi_{II}$  ( $E = C_e n \Phi$ ).

Nếu chúng ta muốn phân phối lại phụ tải giữa các máy với  $u = C^te$  thì phải đồng thời thay đổi tốc độ quay hoặc kích thích của cả 2 MF theo chiều ngược nhau sao cho tổng số  $E_{uI}R_{uII} + E_{uII}R_{uI}$  ở tử số của công thức (3) không đổi.

Nếu chúng ta muốn tách 1 trong các MF, thí dụ MF I thì phải giảm kích thích của nó và đồng thời tăng kích thích của MF II cho đến khi dòng điện I = 0.

### Thí dụ 1

Cho một máy phát điện kích thích song song 25kW, 230V, 1800V/ph,  $R_u = 0,09\Omega$ , điện áp giáng trên chổi than  $\Delta U_{tx} = 2V$  phản ứng phần ứng lúc tải đầy ( $I_u = I_{dm}$  bỏ qua  $I_t$ ) tương đương với dòng điện  $I_t = 0,05A$ . Đường cong từ hóa tương đương với tốc độ định mức như sau :

$I_t, A$	1	1,5	2	3	4	5	6
$U_0, V$	134	180	209	237	256	268	279

Tính :

- Điện trở của mạch kích từ
- Điện áp không tải (điện trở mạch kích từ giữ không đổi)

Giải

a. Khi tải đầy

$$I_{dm} \approx I_u = \frac{25000}{230} = 108,7A$$

$$E_u = U + I_u R_u = 230 + 108,7 \times 0,09 + 2 = 241,8 V$$

Từ đường cong từ hoá suy ra:  $I_t = 3,25 A$ . Tuy nhiên để khắc phục phản ứng phần ứng trên thực tế phải có:

$$I_t' = 3,25 + 0,05 = 3,3A$$

Vậy:

$$R_t = \frac{U}{I_t'} = \frac{230}{3,3} = 69,6$$

b) Điện áp lúc không tải  $U_0$  là giao điểm của đường thẳng  $U_0 = R_t \cdot I_t = 69,6 I_t$  và đặc tính không tải. Bằng phương pháp vẽ ta suy ra giao điểm đó ứng với  $I_t = 3,56 A$  và  $U_0 = 247,6 V$

### Thí dụ 2

Cho một máy phát điện kích thích độc lập có các số liệu lúc tải đầy  $U = 220 V$ ,  $I_t = 2,5 A = C^{te}$ ,  $I_u = 10 A$ ,  $n = 1000 V/ph$ . Số vòng dây của dây quấn kích thích  $w_t = 850$ .

Đường từ hóa ở 750 Vg/ph có các trị số :

$I_t, A$	1	1,6	2	2,5	2,6	3	3,6	4,4
$U_0, V$	78	120	150	176	180	193,5	206	225

Tính :

- Điện áp không tải ở  $n = 1000 V/ph$
- Số ampe vòng khử từ của phản ứng phần ứng khi tải đầy
- Điện áp đầu cực khi quá tải 25%

Giải

a) Vì s.đ.đ tỷ lệ với tốc độ nên :



$$\frac{E_{(1000)}}{E_{(750)}} = \frac{1000}{750}$$

$$E_{(1000)} = 176 \frac{1000}{750} = 235V$$

b. S.đ.đ của máy phát khi tải đầy ở tốc độ 1000 vg/ph

$$E_u = U + I_u R_u = 220 + 10 \times 0,4 = 224 V$$

Và ở tốc độ 750 vg/ph

$$E_{(750)} = 750 \frac{224}{1000} = 168V$$

Từ đường cong từ hoá tìm được dòng điện kích từ tương ứng  $I_t = 2,35 A$ . Vậy số am pe vòng khử từ bằng:

$$850.(2,5 - 2,35) = 127,5 A.vg$$

c. Khi quá tải 25% phản ứng phần ứng sẽ tăng 25% tương ứng với:

$$I_t = (2,5 - 2,35).1,25 = 0,1875 A$$

Và dòng điện kích thích có hiệu quả bằng:

$$I_t = 2,5 - 0,1875 = 2,315 A.$$

Từ đường từ hoá suy ra  $E_{(750)} = 165 V$ . Do đó:

$$E_{(1000)} = 1000 \frac{165}{750} = 220V$$

Điện áp đầu cực sẽ bằng:

$$U = E - I_u R_u = 220 - (10 \times 1,25).0,4 = 215 V$$

### Câu hỏi

1. Khi lấy đặc tính không tải, trong quá trình tăng điện áp có nên giảm dòng điện kích từ rồi tăng tiếp tục không? tại sao?
2. Với một điện trở nhỏ hơn điện trở tới hạn  $r_{t(th)}$  nếu  $n < n_{dm}$  thì trong quá trình tự kích của máy phát điện kích thích song song, điện áp đầu cực máy phát sẽ ra sao? Trong trường hợp như thế nào máy sẽ không tự kích được?
3. Tìm các nguyên nhân khiến máy phát điện kích thích song song không thể tự kích và tạo ra được điện áp.
4. Nếu máy phát điện kích thích song song không tự kích thích được do mất từ dư thì giải quyết như thế nào để tạo ra được điện áp?
5. Khi tải chung không đổi nếu tăng kích thích của máy phát I mà không giảm kích thích của máy phát điện II làm việc song song với máy phát điện I thì tải sẽ phân phối lại giữa hai máy như thế nào? Điện áp của lưới lúc đó ra sao?

## Bài tập

1. Cho một máy điện một chiều có :  $P_{dm} = 215kW, U_{dm} = 115 V$  và  $n = 450$  v/ph. Điện trở của dây quấn phần ứng và cực từ phụ bằng  $0,002 \Omega, 2\Delta U_{tx} = 2V$ . Các số liệu của đặc tính không tải và đặc tính ngắn mạch như sau:

$I_t, A$	5	10	15	20	25	30	35
$U_0, V$	49	87	108	119,3	125,2	129,5	135
$I_t, A$	0	6					
$I_{nm}, V$	0	$I_{dm}$					

a. Vẽ tam giác ngắn mạch.

b. Dùng kích thích ngoài sao cho máy đầy tải  $U = U_{dm}, I = I_{dm}, n = n_{dm}$ . Nếu bỏ tải đi tính  $\Delta U\%$ .

c. Dùng kích thích ngoài khiến cho khi không tải  $U = U_{dm}$ , giữ cho  $I_t = C^{te}$  thì khi  $I = I_{dm}$ ,  $\Delta U\%$  bằng bao nhiêu?

Đáp số : b. 20%; C. 5%

2. Hai máy phát điện song song làm việc song song với nhau  $U = 220 V, \Delta U_1 = 4,8\%, \Delta U_2 = 5,5\%$ . Hỏi máy phát điện nào chóng đầy tải, lúc một máy đầy tải thì máy kia có tải bằng bao nhiêu ?

Đáp số: Máy I chóng đầy tải, khi đó máy II có tải bằng 0,87 tải định mức.

3. Hai máy phát điện song song có các số liệu sau :

Máy	$P_{dm}, Kw$	$n, vg/ph$	$U_0, V$	$U_{dm}, V$
I	20	1000	230	210
II	15	1200	240	210

Giả thử quan hệ  $U = f(I)$  là đường thẳng. Tính :

a) Công suất của mỗi máy khi tải tổng là 20 kW và điện áp lúc đó ?

b) Tải tổng lớn nhất với điều kiện không máy nào bị quá tải .

Đáp số:  $P_1 = P_2 = 10Kw$

$$\sum P = 35Kw$$

## CHƯƠNG 8 ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU

### § 8.1. Đại cương

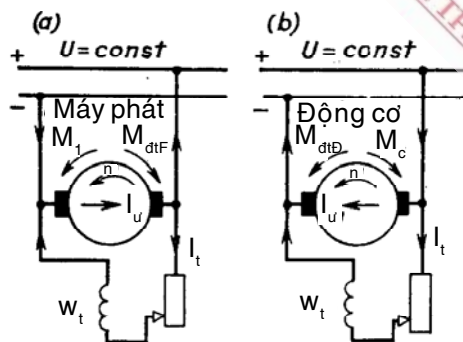
Động cơ điện một chiều được dùng rất phổ biến trong công nghiệp, giao thông vận tải và nói chung ở các thiết bị cần điều chỉnh tốc độ quay liên tục trong một phạm vi rộng rãi.

#### 1. Nguyên tắc nghịch đảo của các máy điện :

Giả sử máy đang làm việc ở chế độ máy phát trên lưới điện có  $U = \text{const}$  và sinh ra  $M_{dt}$  là mô men hãm đối với mô men quay  $M_1$  của động cơ sơ cấp kéo máy phát. Lúc đó, dòng điện phần ứng của máy phát:

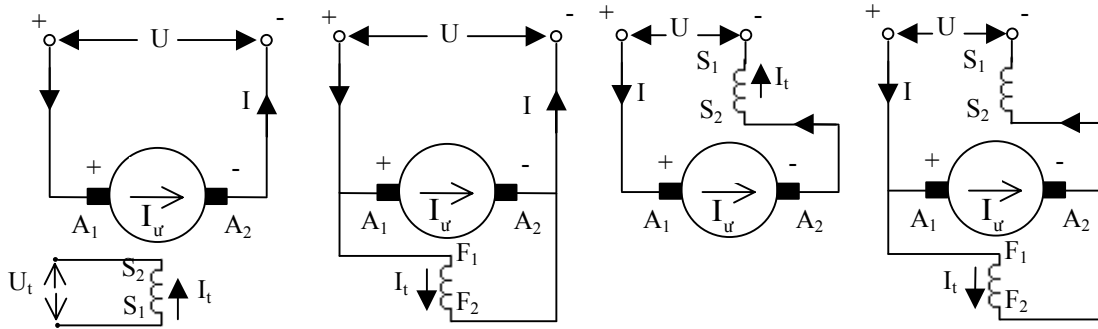
$$I_u = \frac{E_u - U}{R_u}$$

Nếu giảm  $\phi$  hoặc  $n$  của máy phát thì s.d.đ của nó sẽ giảm. Khi giảm một cách thích đáng với  $E_u < U$ . Lúc đó  $I_u$  sẽ đổi dấu và có chiều ngược với chiều ban đầu (h8-1b). Nhưng vì  $U = \text{const}$  nên chiều của  $I_t$  trong dây quấn kích thích hay là tên của các cực từ chính sẽ không đổi. Như vậy  $M_{dt}$  sẽ đổi dấu và máy chuyển sang làm việc ở chế độ động cơ. Tách động cơ sơ cấp kéo máy phát điện ra ta có động cơ điện một chiều. Trong quá trình chuyển đổi như vậy, trên trục máy có 2 động cơ: Động cơ sơ cấp và động cơ điện một chiều có thể gây ra hư hỏng cho bộ máy. Cho nên trong sơ đồ của các máy phát điện khi làm việc song song đều có khí cụ điện tự động cắt máy phát điện ra khỏi lưới điện khi dòng điện của máy phát điện đổi chiều.



Hình 8.1 Chuyển đổi máy điện một chiều kích thích song song từ chế độ máy phát sang chế độ động cơ

**2. Phân loại các động cơ điện một chiều :** Cũng như máy phát điện, động cơ điện một chiều được phân loại theo cách kích thích thành các động cơ điện một chiều kích thích độc lập, kích thích song song, kích thích nối tiếp và kích thích hỗn hợp. Cần chú ý rằng ở động cơ điện một chiều kích thích độc lập  $I_u = I_t$ ; ở động cơ điện một chiều kích thích song song và hỗn hợp  $I = I_u + I_t$ ; ở động cơ điện kích thích nối tiếp  $I = I_u = I_t$ . Sơ đồ nối dây của chúng tương tự như máy phát được trình bày ở hình 8.2



Hình 8.2 Sơ đồ nguyên lý các động cơ điện một chiều

## § 8.2 Mở máy động cơ điện một chiều

Quá trình mở máy là quá trình đưa tốc độ động cơ điện từ  $n = 0$  đến tốc độ  $n = n_{dm}$ .

• Yêu cầu khi mở máy :

- Dòng điện mở máy ( $I_{mm}$ ) phải được hạn chế đến mức thấp nhất.
  - Moment mở máy ( $M_{mm}$ ) phải đủ lớn.
  - Thời gian mở máy phải nhỏ.
  - Biện pháp và thiết bị mở máy phải đơn giản vận hành chắc chắn.
- Từ các yêu cầu trên chúng ta có các phương pháp mở máy sau đây:
- Mở máy trực tiếp ( $U = U_{dm}$ ).
  - Mở máy bằng biến trở.
  - Mở máy bằng điện áp thấp đặt vào phần ứng ( $U < U_{dm}$ ).

Trong tất cả mọi trường hợp khi mở máy bao giờ cũng phải bảo đảm từ thông  $\phi = \phi_{dm}$  nghĩa là biến trở mạch kích từ  $R_{dc}$  phải ở trị số nhỏ nhất để sau khi đóng điện, động cơ được kích thích tối đa và  $M = C_M \Phi_\delta I_r$  lớn nhất. Phải đảm bảo không để đứt mạch kích thích vì trong trường hợp đó  $\Phi = 0$ ,  $M = 0$  động cơ không quay được và do đó sức phản điện động  $E_u = 0 \rightarrow I_r = U / R_u$  rất lớn làm cháy dây quấn và vành góp.

Muốn đổi chiều quay của động cơ có thể dùng một trong hai phương pháp hoặc đổi chiều dòng điện phần ứng  $I_r$  hoặc đổi chiều dòng điện kích thích  $I_t$ . Thông thường trên thực tế chỉ đổi chiều  $I_r$  vì dây quấn kích từ có nhiều vòng dây nên hệ số tự cảm  $L_t$  rất lớn và sự thay đổi  $I_t$  dẫn đến sự thay đổi s.d.đ tự cảm rất lớn gây ra điện áp đánh thủng cách điện của dây quấn.

**1. Mở máy trực tiếp :** Phương pháp này được thực hiện bằng cách đóng thẳng động cơ vào nguồn điện với điện áp định mức. Như vậy ngay lúc khởi động rotor

chưa quay  $n=0$  nên  $E_u = 0$  và

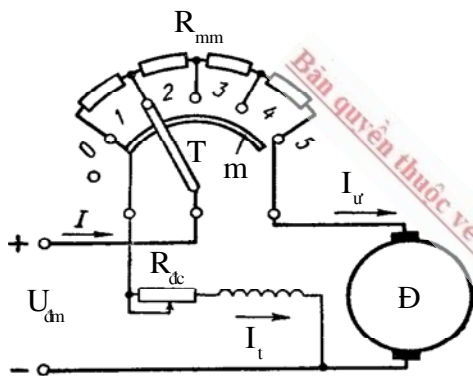
$$I_u = I_{mm} = \frac{U_{dm} - E_u}{R_u} = \frac{U_{dm}}{R_u}$$

Trong thực tế  $R_{u*} = 0.02 \div 0.1 = \frac{R_u \cdot I_{dm}}{U_{dm}}$  nên với điện áp định mức  $U_* = 1$  thì dòng  $I_u$  sẽ rất lớn:

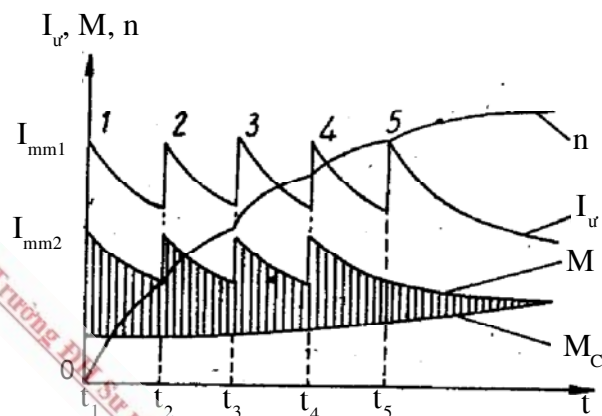
$$I_{mm} = I_u = (50 \div 10) I_{dm} \quad \text{hay} \quad \frac{I_{mm}}{I_{dm}} = I_{mm*} = 50 \div 10$$

Dòng điện mở máy quá lớn làm hư hỏng cổ góp, xung lực trên trục làm hư hỏng trục máy. Nên phương pháp này chỉ áp dụng đối với những động cơ công suất nhỏ khoảng vài trăm watt trở xuống vì cỡ công suất này máy có  $R_u$  lớn. Do đó khi mở máy  $I_u = I_{mm} \leq (4 \div 6) I_{dm}$ .

## 2. Mở máy nhờ biến trở :



Hình 8.3 Sơ đồ mở máy động cơ điện một chiều kích thích song song bằng biến trở



Hình 8.4 Các quan hệ  $I_u, M, n$  theo thời gian khi mở máy động cơ.

Để tránh nguy hiểm cho động cơ người ta phải giảm dòng điện mở máy  $I_{mm}$  bằng cách nối biến trở mở máy  $R_{mm}$  với phần ứng. Dòng điện phần ứng của động cơ được tính theo biểu thức:  $I_u = \frac{U_{dm} - E_u}{R_u + \sum R_{mmi}}$

Trong đó:  $i$  là chỉ thứ bậc của các bậc điện trở.

Trước khi mở máy phải để  $R_{mm} \max, R_{dc} \min$ . Gạt tay gạt  $T$  về vị trí 1 ta có dòng điện mở máy  $I_{mm1}$  bằng:  $I_{mm1} = \frac{U_{dm}}{R_u + \sum R_{mm}}$ , Vì khi mở máy  $n = 0$  nên  $E_u = C_e \Phi_\delta \cdot n = 0$  Do dây quấn kích thích được nối trực tiếp với nguồn nên từ thông  $\Phi = \Phi_{dm}$ . Nếu mô men do động cơ sinh ra lớn hơn mô men cản trên trục  $M_D > M_c$  thì  $n \uparrow \rightarrow E_u \uparrow \rightarrow I_u \downarrow \rightarrow M \downarrow$ . Khi  $I_u = I_{mm2} = (1,1 \div 1,3) I_{dm}$  ta gạt tay gạt  $T$  đến vị trí 2 vì 1 bậc điện trở bị loại trừ nên  $I_u \uparrow$  đến  $I_{mm1}$ :  $I_u \uparrow \rightarrow M \uparrow \rightarrow n \uparrow \rightarrow E_u \uparrow \rightarrow I_u \downarrow \rightarrow M \downarrow$  khi  $I_u \downarrow$  đến  $I_{mm2}$  ta gạt  $T$  đến vị trí 3 và lần lượt đến vị trí 4, 5. Quá trình trên cứ lặp lại cho đến khi  $n_D = n_{dm}$  thì  $R_{mm}$  cũng bị loại trừ khỏi mạch phần ứng. Nếu  $R_{mm}$  hết mà  $n_D$  chưa bằng  $n_{dm}$  thì điều chỉnh  $R_{dc}$ . Muốn dừng máy ta kéo tay gạt  $T$  về vị trí ban đầu số 0, tốc độ máy chậm lại chậm lại, và cắt nguồn điện đưa vào động cơ. Giới hạn trên của dòng điện mở máy  $I_{mm1}$  được chọn sao cho thỏa mãn điều kiện đổi chiều dòng

điện (tia lửa) trên các chổi than. Giới hạn dưới của dòng điện  $I_{mm2}$  được chọn sao cho thỏa mãn điều kiện:  $M_{dl} = M_D - M_c = J \cdot \frac{d\omega}{dt} > 0$  ;

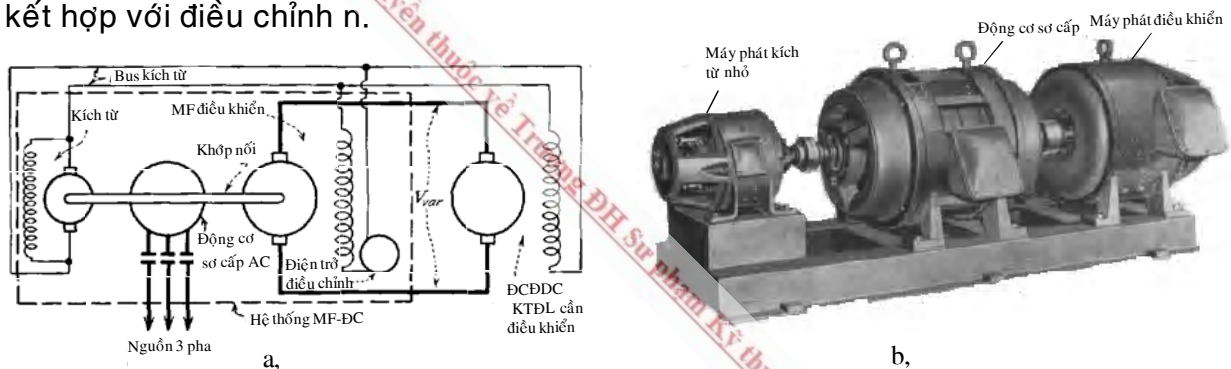
J: Môment quán tính của khối quay;

$\omega$ : tốc độ góc của roto.

Thường chọn  $I_{mm1} = (1,5 \div 1,75)I_{dm}$  ,  $I_{mm2} = (1,1 \div 1,3)I_{dm}$ .

### 3. Mở máy bằng điện áp thấp $U_{mm} < U_{dm}$

Trong các thiết bị công suất lớn, biến trở mở máy rất cồng kềnh và đưa lại năng lượng tổn hao lớn, nhất là khi phải mở máy luôn. Nên trong một số thiết bị người ta dùng mở máy không biến trở bằng cách hạ điện áp đặt vào động cơ lúc mở máy. Dùng tổ máy phát - động cơ (Hệ thống WARD - LEONARD h8.5) nguồn điện áp có thể điều chỉnh được của máy phát cung cấp cho phần ứng của động cơ, trong khi đó mạch kích thích của máy phát và động cơ phải được đặt dưới 1 điện áp độc lập khác. Phương pháp này chỉ áp dụng cho ĐCĐKTĐL. Thường được kết hợp với điều chỉnh n.



Hình 8.5 Sơ đồ nối dây của hệ thống Ward - Leonard thay đổi điện áp để điều khiển một ĐCĐKTĐL (ha). Hệ thống máy phát- động cơ gồm 3 bộ phận: Máy kích từ nhỏ, động cơ sơ cấp, máy phát điện DC điều khiển (hb).

### § 8.3 Đặc tính của động cơ điện một chiều

Tùy theo cách kích từ động cơ điện một chiều có những tính năng khác nhau biểu diễn bằng các đường đặc tính làm việc, đặc tính cơ khác nhau. Đặc tính quan trọng nhất là đặc tính cơ biểu thị quan hệ giữa tốc độ quay và mômen :  $n = f(M)$

#### I. Đặc tính cơ và điều chỉnh tốc độ của động cơ điện một chiều:

##### 1. Đặc tính cơ

$$\text{Từ biểu thức } E_u = C_e \Phi_\delta n \Rightarrow n = \frac{E_u}{C_e \Phi_\delta} = \frac{U - I_u R_u}{C_e \Phi_\delta} = \frac{U}{C_e \Phi_\delta} - \frac{R_u}{C_e \Phi_\delta} I_u \quad (8-1)$$

Với  $C_e = \frac{pN}{60a}$ ;  $R_u = R_b + R_{ct} + R_f$

Trong đó:  $R_u$ : Điện trở phần ứng;

$R_b$ : Điện trở dây quấn bù;

$R_{ct}$ : Điện trở tiếp xúc của chổi than với vành góp;

$R_f$ : Điện trở dây quấn cực từ phụ;

Phương trình (8-1) được gọi là phương trình đặc tính tốc độ của động cơ:  $n=f(I_u)$ .

$$\text{Vì: } M = C_M \Phi_\delta I_u \text{ nên: } n = \frac{U}{C_E \Phi_\delta} - \frac{R_u}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi_\delta^2} M \quad (8-2)$$

Phương trình (8-2) được gọi là phương trình đặc tính cơ của động cơ:  $n = f(M)$ .

Từ (8-1) và (8-2) ta thấy khi phụ tải đặt trên trục động cơ bằng 0, trường hợp lý tưởng  $I_u = 0$  hoặc  $M = 0$  thì  $n = \frac{U}{C_E \Phi_\delta} = n_0$  : Tốc độ không tải lý tưởng

$$\text{Tại } n = 0 \text{ ta có: } I_u = \frac{U}{R_u} = I_n$$

$$M = C_M \Phi_\delta \frac{U}{R_u} = C_M \Phi_\delta I_n = M_n$$

Đặt :

$$\frac{R_u}{C_E \Phi_\delta} = \text{tang}\alpha' \quad \text{và} \quad \frac{R_u}{C_E C_M \Phi_\delta^2} = \text{tang}\alpha \quad \text{Hệ số góc của đặc tính tốc độ và đặc tính cơ.}$$

$$\frac{R_u}{C_E \Phi_\delta} I_u = \Delta n' \quad \text{và} \quad \frac{R_u}{C_E C_M \Phi_\delta^2} M = \Delta n \quad \text{Độ sụt tốc độ của đặc tính tốc độ và đặc tính cơ tại 1 giá trị dòng điện và mô men nhất định.}$$

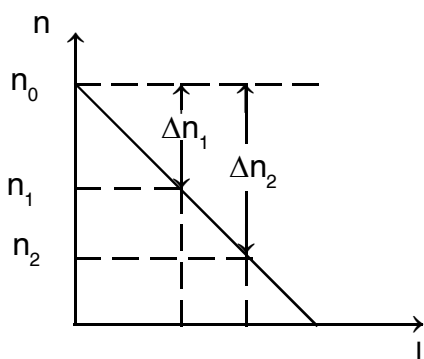
Đặc tính cơ và đặc tính tốc độ của động cơ có độ dốc không đổi còn độ sụt tốc độ biến đổi theo dòng điện và môment.

Phương trình đặc tính cơ có thể viết:

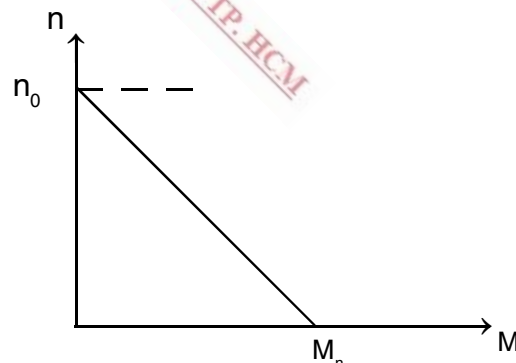
$$n = n_0 - \Delta n$$

$$\Delta n = n_0 - n$$

Biểu diễn trên đồ thị:



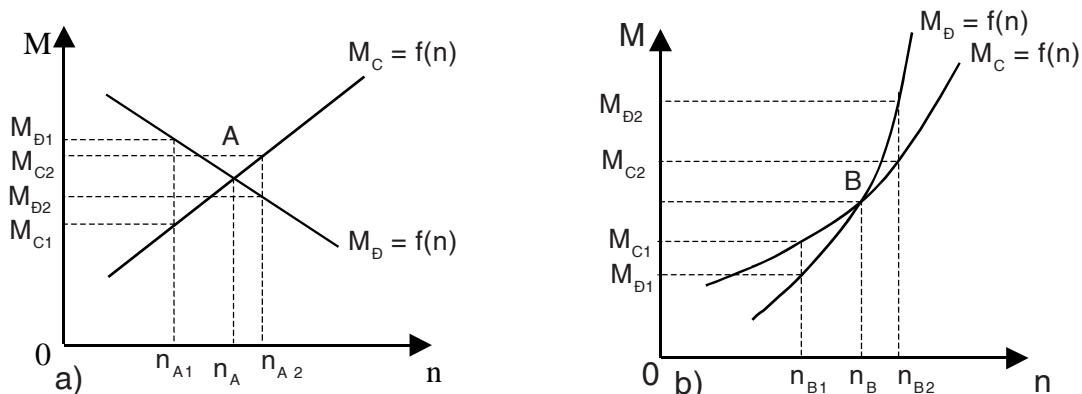
Hình 8.6 Đặc tính tốc độ của động cơ điện một chiều kích từ độc lập



Hình 8.7 Đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích từ độc lập

Trong truyền động điện 1 vấn đề tương đối quan trọng được đặt ra là phải có sự phối hợp tốt đặc tính cơ của động cơ điện và đặc tính cơ của phụ tải hoặc máy công tác. Thí dụ : Tốc độ của hệ thống phải không đổi hay thay đổi nhiều khi môment tải thay đổi và để thỏa mãn các yêu cầu đó cần phải dùng các loại động cơ điện khác nhau có đặc tính cơ thích hợp. Sự phối hợp các đặc tính cơ của động cơ điện và của tải còn phải đảm bảo được tính ổn định trong chế độ làm việc xác

lập cũng như trong quá trình quá độ. Để nghiên cứu điều kiện làm việc ổn định của hệ thống truyền động ta xét đặc tính cơ  $M_D = f(n)$  của động cơ và  $M_C = f(n)$  của tải trình bày trên hình 8-8.



Hình 8.8 Chế độ làm việc ổn định (a) không ổn định (b) của động cơ điện một chiều

Trường hợp hình 8.8a: Giả sử tốc độ động cơ từ  $n_A$  giảm xuống  $n_{A1}$  thì động cơ tạo ra 1 mô-men động lực dương:  $M_{dl} = M_D - M_C = J \frac{dw}{dt} > 0$

Trong đó:  $J = \frac{GD^2}{4g}$ : Mô-men quán tính của khối quay đã quy đổi về trục động cơ.

D: Đường kính của khối quay

g: Gia tốc trọng trường,  $g=10m/s^2$

Mô-men động lực dương làm cho tốc độ quay tăng lên  $n_A$ .

Ngược lại, giả sử tốc độ động cơ từ  $n_A$  tăng lên  $n_{A2}$  thì động cơ sinh ra

$M_{dl} = M_D - M_C < 0$  làm cho tốc độ giảm xuống  $n_A$ . Do đó điểm A là điểm làm việc ổn định.

Điều kiện làm việc ổn định của động cơ:  $\frac{dM_D}{dn} < \frac{dM_C}{dn}$

Trường hợp hình 8.8b: Giả sử tốc độ động cơ từ  $n_B$  giảm xuống  $n_{B1}$  thì động cơ tạo ra một mô-men động lực âm  $M_{dl} = M_D - M_C < 0$  làm cho tốc độ giảm tiếp xuống  $n < n_{B1}$  cho đến khi  $n = 0$ .

Giả sử tốc độ động cơ từ  $n_B$  tăng lên  $n_{B2}$  thì  $M_{dl} = M_D - M_C > 0$  làm cho tốc độ động cơ tăng nhanh hơn nữa.

Do đó, điểm B là điểm làm việc không ổn định. Ta có điều kiện làm việc không

ổn định của động cơ như sau:  $\frac{dM_D}{dn} > \frac{dM_C}{dn}$

## 2. Điều chỉnh tốc độ động cơ:

Dựa vào các biểu thức (8-1) và (8-2) ta thấy rằng để thay đổi tốc độ của động cơ ta có thể thay đổi từ thông  $\Phi_\delta$ , điện áp đặt vào phần ứng U và điện trở phụ trên mạch phần ứng.



- Thay đổi từ thông  $\Phi_\delta$  : khi máy làm việc bình thường  $\Phi_\delta = \Phi_{\delta dm}$  ứng với dòng điện kích từ ( $I_{tdm}$ ) phương pháp này chỉ giảm  $\Phi_\delta$  chứ không tăng  $\Phi_\delta$  được vì không cho phép điện áp đặt vào dây quấn kích từ vượt quá giá trị định mức. Khi giảm  $\Phi_\delta$  thì  $n > n_{dm}$  tức là điều chỉnh tốc độ  $n$  trong vùng trên của  $n_{dm}$  và giới hạn điều chỉnh tốc độ được hạn chế bởi các điều kiện cơ khí và đổi chiều của máy.

- Thay đổi điện áp  $U$  : Phương pháp này chỉ cho phép thay đổi được tốc độ dưới tốc độ định mức. Phương pháp này không gây nên tổn hao phụ nhưng đòi hỏi phải có nguồn điện áp riêng điều chỉnh được.

- Thay đổi điện trở phụ trên mạch phần ứng  $R_f$  : Khi thêm  $R_f$  độ dốc đường đặc tính cơ động cơ tăng lên làm tốc độ động cơ giảm xuống.

Ưu : thiết bị điều chỉnh đơn giản làm việc chắc chắn.

Khuyết : gây tổn hao trên điện trở phụ.

Sau đây ta sẽ xét đặc tính cơ và phương pháp điều chỉnh tốc độ của từng loại động cơ điện một chiều.

### A. Động cơ điện một chiều kích thích song song (KTSS) hoặc động cơ điện một chiều kích thích độc lập (KTĐL):

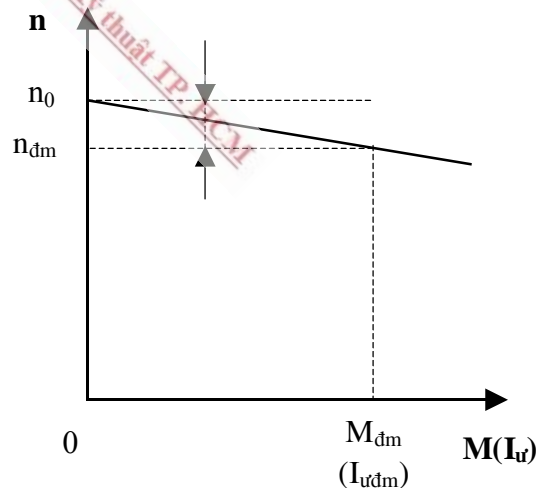
#### a) Đặc tính cơ : $n = f(M)$ khi $U = \text{const}$ , $I_t = \text{const}$

Khi  $M$  hoặc  $I_u$  biến thiên  $\Phi_\delta = \text{const}$  nếu bỏ qua ảnh hưởng của phản ứng phần ứng, ta có thể viết phương trình đặc tính cơ:

$$n = n_0 - \frac{R_u}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi_\delta^2} M$$

$$n = n_0 - \frac{R_u}{k} M$$

Đặc tính cơ là một đường thẳng như đã biết. Đường đặc tính cơ ứng với  $R_f = 0$  gọi là đường đặc tính cơ tự nhiên. Đặc tính cơ của động cơ điện rất cứng, tốc độ thay đổi ít khi  $M$ ,  $I_u$  thay đổi nên động cơ thường được sử dụng trong các trường hợp  $n = \text{const}$  khi thay đổi phụ tải, như máy cắt ngọt kim loại, quạt...



Hình 8.9 Đặc tính cơ và đặc tính tốc độ của động cơ điện một chiều kích từ độc lập (song song).

#### b) Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi từ thông $\Phi$ :

Khi thay đổi từ thông  $\Phi$  ( $\Phi \leq \Phi_{dm}$ ) thì đặc tính cơ và đặc tính tốc độ sẽ biến thiên theo những qui luật khác nhau.

- Từ 
$$n = \frac{U}{C_E \Phi_\delta} - \frac{R_r}{C_E \Phi_\delta} I_r = n_0 - \frac{R_r}{C_E \Phi_\delta} I_r$$

Ta thấy khi  $\Phi_\delta$  giảm thì  $n_0$  tăng và

$$\text{tg}\alpha' = \frac{R_r}{C_E \Phi_\delta} \uparrow \text{ nhưng khi } n = 0, I_r \equiv \frac{U}{R_r} = C^{te}$$

Họ đặc tính tốc độ đi qua điểm ( $n=0; I_r=I_n$ ) và có giá trị  $n_0$  tăng dần khi từ thông giảm dần.

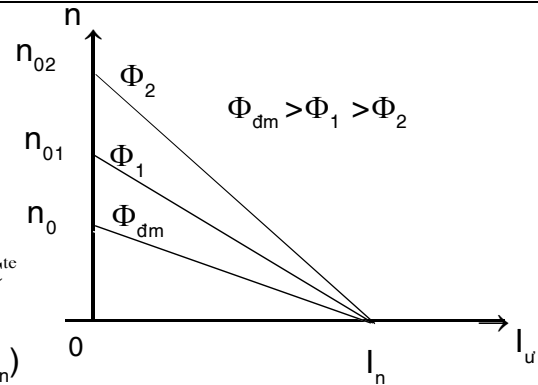
Đối với họ đặc tính cơ, từ

$$n = n_0 - \frac{R_r}{C_e C_M \Phi_\delta^2} M$$

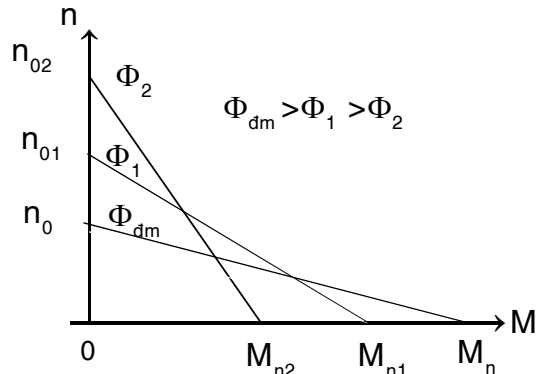
Ta thấy khi  $\Phi_\delta$  giảm thì  $n_0$  tăng và

$$\text{tg}\alpha = \frac{R_r}{C_e C_M \Phi_\delta^2} \text{ tăng nhanh còn}$$

$$M_n = C_M \Phi_\delta I_n \text{ giảm dần}$$



Hình 8.10 Họ đặc tính tốc độ của động cơ điện một chiều khi giảm từ thông.



Hình 8.11 Họ đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích thích song song khi giảm từ thông.

**c) Điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi điện trở phụ  $R_f$  trên mạch phần ứng**

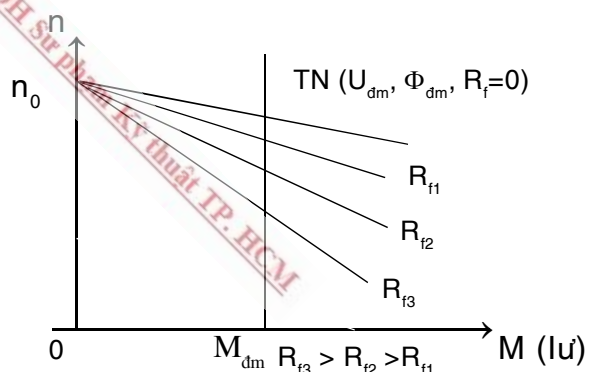
$$U_{dm}, \Phi_{dm}, M_c = C^{te} :$$

Từ 
$$n = \frac{U}{C_E \Phi_\delta} - \frac{R}{C_E C_M \Phi_\delta^2} M$$

Với  $R = R_r + R_f$  khi  $R_f$  biến thiên thì

$$n = \frac{U}{C_E \Phi_\delta} = C^{te}, \text{ còn } \text{tg}\alpha = \frac{R}{k} \text{ biến đổi}$$

bậc nhất. Vậy khi  $R_f$  thay đổi ta có họ đặc tính cơ thay đổi đi qua điểm  $n_0$  và độ dốc tăng dần (mềm dần) khi  $R_f$  tăng.



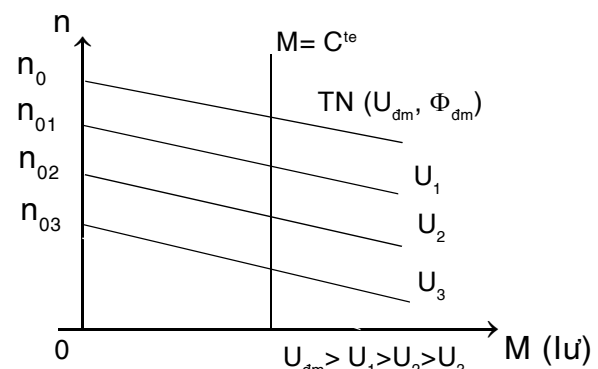
Hình 8.12 Đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích thích song song ở những điện trở phụ khác nhau.

**d) Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện áp U đặt vào phần ứng ( $\Phi_{dm}$ ):**

Khi thay đổi điện áp ( $U \leq U_{dm}$ ),  $n_0$  thay đổi tỉ lệ thuận với U, còn

$$\text{tg}\alpha = \frac{R_r}{k} = \text{const}.$$

Ta có một họ đặc tính cơ song song nhau và thấp dần khi U giảm dần.



Hình 8.13 Đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích thích song song ở những điện áp khác nhau

**B. Động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp (ĐCĐMCKTNT):**

**a) Phương trình đặc tính cơ:**

Trong ĐCĐMCKTNT  $I_u = I_t = I$  cho nên khi  $M_c$  biến thiên thì  $I_u$  biến thiên,  $I_t$  biến thiên (từ trường của động cơ,  $\Phi$  biến thiên). Theo đặc tính của mạch từ thì quan hệ  $\Phi = f(I_t)$  là tuyến tính khi mạch từ chưa bão hòa. Trong động cơ điện kích thích nối tiếp khi  $M_c = 0 \div (2 \div 3)M_{cđm}$  thì mạch từ của chúng làm việc trên 1 loạt chế độ khác nhau từ chưa bão hòa, bão hòa cho đến bão hòa sâu. Nếu giả thiết mạch từ chưa bão hòa:  $\Phi \cong I_t$ ,  $\Phi = k_\phi \cdot I_t$ ,  $k_\phi = C^{te}$  trong vùng  $I < 0,8I_{đm}$ . Dựa vào phương trình đặc tính tốc độ động cơ điện 1 chiều nói chung thì phương trình đặc tính tốc độ của ĐCĐMCKTNT có dạng :

$$n = \frac{U}{C_E k_\phi I_u} - \frac{R}{C_E k_\phi I_u} I_u$$

Đặt:  $A = \frac{U}{C_E k_\phi}$ ;  $B = \frac{R}{C_E k_\phi}$  thì:  $n = \frac{A}{I_u} - B$  (1)

Muốn có phương trình đặc tính cơ chỉ cần thay  $I_u = \frac{M}{C_M \Phi} = \frac{M}{C_M k_\phi I_u}$  từ đó ta có:

$$I_u = \sqrt{\frac{M}{C_M k_\phi}} = \frac{\sqrt{M}}{\sqrt{C_M k_\phi}}$$

Thế lư vào (1) và đặt  $A \cdot \sqrt{C_M k_\phi} = C = C^{te}$  ta có phương trình đặc tính cơ:

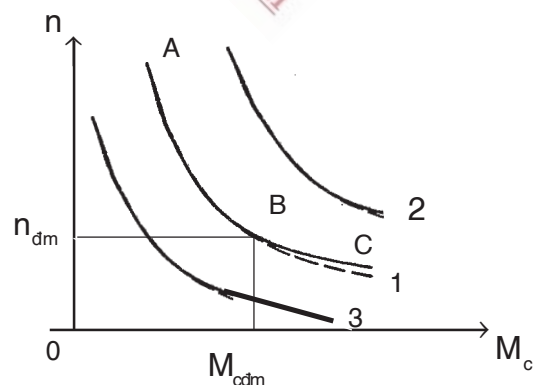
$$n = \frac{C}{\sqrt{M}} - B$$
 (2)

Từ (1) và (2) ta thấy đặc tính tốc độ và đặc tính cơ của ĐCĐMCKTNT có dạng hyperbol với điều kiện mạch từ chưa bão hòa.

Trong thực tế các ĐCĐMCKTNT được chế tạo làm việc với mạch từ bão hòa khi  $M_c > M_{cđm}$ . Nghĩa là khi  $M_c = 0 \div M_{cđm}$  thì đặc tính cơ và đặc tính tốc độ tuân theo qui luật hyperbol. Còn khi  $M_c > M_{cđm}$  thì  $M_c$  tăng  $\Phi$  hầu như không đổi có đoạn đặc tính gần như đường thẳng.

AB : hyperbol

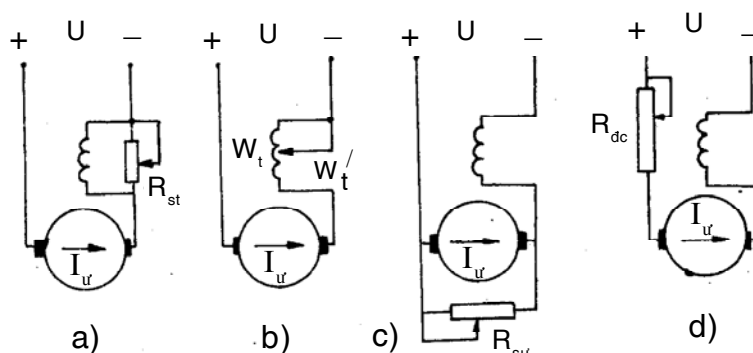
BC : đường thẳng



Hình 8.14 Đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích thích nối tiếp.

**b) Điều chỉnh tốc độ :**

**α. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi từ thông  $\Phi$  :**



Hình 8.15 Các sơ đồ điều chỉnh tốc độ động cơ điện một chiều kích thích nối tiếp: a) mắc sun cho dây quấn kích thích; b) thay đổi số vòng dây của dây quấn kích thích; c) mắc sun cho phần ứng; d) thêm điện trở vào mạch phần ứng

Nếu dòng điện kích thích lúc đầu là  $I_{u1} = I_{t1}$  thì sau khi nối theo hình 8-15a,b:

$I_{t2} = k \cdot I_{u1}$  với k là hệ số hiệu chỉnh:

$$k = \frac{R_{st}}{R_t + R_{st}} < 1 \quad (\text{hình 8-15a})$$

$$k = \frac{W'_t}{W_t} < 1 \quad (\text{h8-15b})$$

Trong đó:  $w'_t$  số dây quấn kích thích sau khi nối theo b.

Như vậy  $\Phi_2 = k \cdot k_\phi \cdot I_{u1}$  nên  $\Phi_\delta < \Phi_{\delta dm}$ , n tăng (đặc tính cơ 2). Trường hợp c : mắc như vậy thì tổng trở giảm,  $I = I_t$  tăng, n giảm ứng với đường đặc tính cơ 3.

**β. Thêm  $R_f$  vào mạch phần ứng:**

- Lúc mạch từ bão hòa coi  $\Phi_D = C^te$  giống như động cơ điện kích từ song song.

- Lúc mạch từ không bão hòa từ thông tỉ lệ với  $I_u$ . Đối với hệ thống có quán tính cơ đủ lớn, ta có thể viết phồng chùng phương trình s.đ.đ đối với thời gian  $\Delta t$  ngay sau khi đặt thêm  $R_f$  và dưới dạng:

$$n = \frac{U - RI_u}{C_E \Phi} \quad C'_E = C_E k_\phi$$

$$U = C'_E n I'_u + I'_u (R_D + R_f) \quad \text{với} \quad C'_E n I'_u = C_E k_\phi I'_u n$$

Từ đó ta có dòng điện phần ứng sau khi đặt  $R_f$  là:

$$I'_u = \frac{U}{C'_E n + (R_D + R_f)}$$

Dòng điện phần ứng trước khi đặt biến trở:

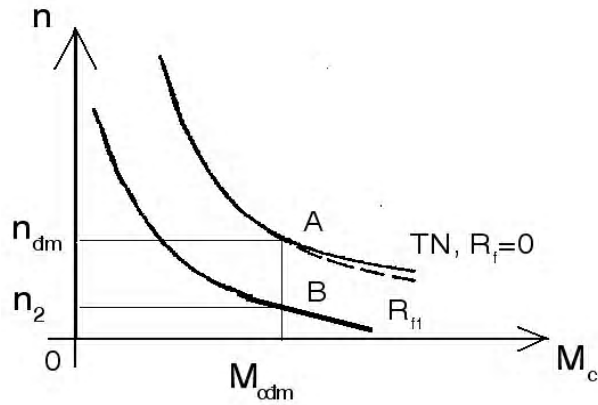
$$I_u = \frac{U}{C'_E n + R_D}$$

Ta lập được tỉ số:

$$I'_u = I_u \frac{C'_E n + R_D}{C'_E n + (R_D + R_f)}$$

Khi đặt điện trở vào làm dòng điện phần ứng giảm, mô men giảm nếu  $M_c = C^{te}$  thì  $M_{dl} = M_D - M_c < 0$  làm tốc độ quay giảm, sức điện động giảm, dòng điện phần ứng tăng đến trị số ban đầu và làm việc ổn định ở  $n_2 < n_{dm}$

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{U - I_{u1}(R_D + R_f)}{U - I_{u1}R_D}$$



Hình 8.14 Đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích thích nối tiếp ở các trường hợp điều chỉnh tốc độ khác nhau.

### γ. Điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi điện áp:

Chỉ có thể điều chỉnh được các tốc độ  $n < n_{dm}$ . Được thực hiện bằng cách đổi nối song song thành nối tiếp 2 động cơ. Hiệu suất cao không gây tổn hao phụ.

### C. Động cơ điện một chiều kích từ hỗn hợp (ĐCĐMCKTHH):

Đặc tính cơ của ĐCĐMCKTHH bù là đặc tính trung gian giữa đặc tính cơ của ĐCĐMCKTSS và ĐCĐMCKTNT.

Tốc độ của ĐCĐMCKTHH được điều chỉnh như ĐCĐMCKTSS hoặc ĐCĐMCKTNT.

Động cơ điện loại này thường được sử dụng trong các trường hợp  $M_{mm}$  lớn,  $n$  biến thiên trong 1 phạm vi rộng.

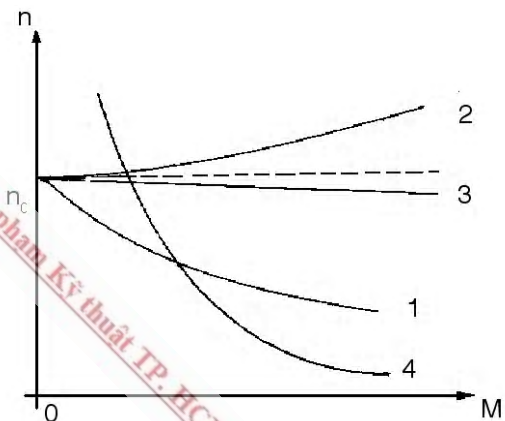
Đặc tính cơ của động cơ điện:

Đường 1 ứng với hỗn hợp bù (nối thuận)

Đường 2: Hỗn hợp ngược (nối ngược)

Đường 3: Kích thích song song

Đường 4: Kích thích nối tiếp.

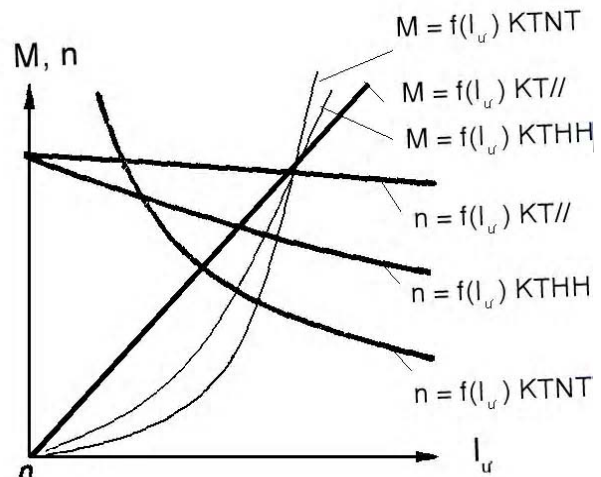


Hình 8.15 Đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích thích hỗn hợp so sánh với các loại động cơ điện một chiều khác.

## II. Đặc tính làm việc của động cơ điện một chiều

Đặc tính làm việc của ĐCĐMC biểu thị quan hệ :  $n, M, \eta$  theo dòng điện:  $n = f(I_u), M = f(I_u), \eta = f(I_u)$  khi  $U = U_{dm} = C^{te}$ .

### 1. Đặc tính tốc độ: $n = f(I_u)$ khi $U = C^{te}$



Hình 8.16 Đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích thích hỗn hợp so sánh với các loại động cơ điện một chiều khác.

$$n = \frac{U}{C_E \Phi_\delta} - \frac{R_r}{C_E \Phi_\delta} I_r$$

Về căn bản đặc tính tốc độ  $n = f(I_r)$  tương tự như đặc tính cơ đã biết.

## 2. Đặc tính mô men $M = f(I_r)$ khi $U = C^{te}$ .

Biểu thị quan hệ  $M = C_M \Phi_\delta I_r$

Ở động cơ điện kích thích song song:

khi  $U = C^{te}$  thì  $\Phi = C^{te}$  quan hệ

$M = f(I_r)$  là đường thẳng.

Ở ĐCĐMCKTNT: khi  $\Phi \propto I_r$  thì  $M \propto I_r^2$  đường cong có dạng parabol.

Ở ĐCĐMCKTHH: Đường đặc tính mômen là đường trung gian của ĐCĐMC KTSS và KTNT.

## 3. Đặc tính hiệu suất $\eta = f(I_r)$ khi $U = C^{te}$ , $I_t = C^{te}$

Từ công thức :

$$\eta\% = \left(1 - \frac{\sum p}{P_1}\right) 100 = \left(1 - \frac{\sum p}{U(I_r + I_t)}\right) 100 = \left(1 - \frac{p_0 + p_{cu,t} + I_r^2 R_r + p_{tx} + p_f}{U(I_r + I_t)}\right) 100$$

Trong đó:

$P_0$  là tổn hao không tải (tổn hao cơ  $p_{co}$ , tổn hao thép  $p_{Fe}$ , tổn hao phụ  $p_f$ ).

$p_t = U_t I_t$  tổn hao trên mạch kích từ.

$I_r^2 R_r$  tổn hao đồng trên dây quấn phần ứng.

$p_{tx} = \Delta U_{tx} I_r$  tổn hao do tiếp xúc giữa vành góp và chổi than.

Vì rằng ở các điều kiện ta đang xét  $n = C^{te}$ ,  $I_t = C^{te}$ ,  $\Phi = C^{te}$  nên có thể coi như  $P_0 + P_t = C^{te}$ . Điện trở  $R_r$  được tính ở nhiệt độ  $t^\circ = 75^\circ C$  cho nên  $I_r^2 R_r \propto I_r^2$ .

Đối với các chổi than  $\Delta U_{tx} = 2V$  do đó  $\Delta U_{tx} I_r$  tỉ lệ với  $I_r$ . Bỏ qua dòng  $I_t$  ở mẫu số công thức (1). Lấy đạo hàm bậc nhất  $d\eta/dI_r$  và cho nó bằng không thì điều kiện để hiệu suất của động cơ điện kích từ song song là cực đại được viết dưới dạng:

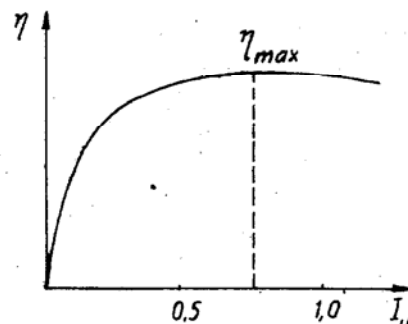
$$p_0 + p_{cu,t} = I_r^2 R_r$$

Nghĩa là hiệu suất của động cơ điện đạt tới trị số cực đại  $\eta_{max}$  của nó ở phụ tải mà các tổn hao không đổi bằng với tổn hao biến đổi theo bình phương của dòng điện  $I_r$ .

Ở một phụ tải nhất định phân phối của tổn hao như vậy ta sẽ có hiệu suất cực đại.

Trên hình vẽ ta có trị số  $\eta_{max}$  khi  $P_2 \approx 0,75 P_{dm}$ .

Thông thường đối với các động cơ công suất nhỏ  $\eta = (75 \div 85)\%$ . Đối với các động cơ công suất trung bình và lớn  $\eta = (85 \div 95)\%$



Hình 8.16 Đặc tính hiệu suất của động cơ điện một chiều

### **Câu hỏi**

1. Phân loại động cơ điện một chiều.
2. Điều kiện làm việc ổn định của động cơ điện. So sánh các loại động cơ điện về phương diện này.
3. So sánh các đặc tính tốc độ và đặc tính cơ của động cơ điện một chiều.
4. Hiện tượng gì xảy ra khi mở máy động cơ điện kích thích song song trong trường hợp mạch kích từ bị đứt. Cũng như vậy trong trường hợp điện trở điều chỉnh trên mạch kích thích  $R_{dc}$  quá lớn.
5. Các phương pháp mở máy và điều chỉnh tốc độ động cơ điện một chiều các loại.

### **Bài tập**

1. Cho một động cơ điện một chiều kích thích song song có các số liệu sau:  
 $P_{dm} = 95\text{kW}$ ,  $U_{dm} = 220\text{V}$ ,  $I_{dm} = 470\text{A}$ ,  $I_{tdm} = 4,25\text{A}$ ,  $R_u = 0,0125\ \Omega$ ,  $n_{dm} = 500\text{ v/ph}$ .  
Hãy xác định:
  - a. Hiệu suất của động cơ
  - b. Tổng tổn hao trong máy, tổn hao không tải và dòng điện không tải
  - c. Môment định mức của động cơ.
  - d. Điện trở điều chỉnh  $R_f$  cần thiết để động cơ quay với  $n = n_{dm}$ ,  $I_u = I_{udm}$  và từ thông giảm đi 40%
  - e. Điện trở  $R_f$  cần thiết để động cơ quay với  $n = n_{dm}$ ,  $I_u = 0,85I_{udm}$  và từ thông giảm đi 25%

- Đáp số:
- a. 91,8%
  - b.  $\sum p = 8,4\text{ kW}$ ,  $P_0 = 4753,5\text{ W}$ ,  $I_0 = 17,3\text{A}$
  - c.  $M = 181,5\text{ Nm}$ .
  - d.  $R_f = 0,18\ \Omega$
  - e.  $R_f = 0,13\ \Omega$

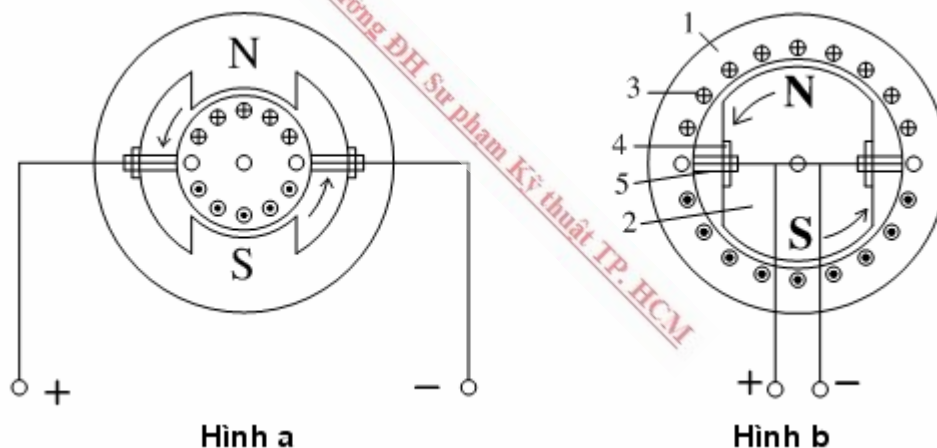
## Chương 9 MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU ĐẶC BIỆT CÔNG SUẤT NHỎ

### 1. Động cơ một chiều không chổi than

Động cơ một chiều với cấu trúc bình thường có hàng loạt nhược điểm do bộ phận đổi chiều, vành góp 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 một loại động cơ với tên gọi là động cơ một chiều không chổi than (Brushless-DC Motor). Động cơ một chiều không chổi than với bộ phận đổi chiều điện tử đã thỏa mãn các yêu cầu cao về độ tin cậy trong các điều kiện làm việc đặc biệt (chân không, nhiệt độ thay đổi, va đập mạnh, rung động nhiều). Bộ phận đảo chiều có cấu tạo từ các linh kiện điện tử thay thế cho vành góp\_chổi than làm cho động cơ một chiều không chổi than mất đi những nhược điểm của động cơ một chiều thông thường.

#### 1.1 Cấu tạo:

Khác với động cơ một chiều bình thường, động cơ một chiều không chổi than có phần ứng bất động nằm trên stator và phần cảm quay nằm trên rotor. Trên hình 9.1 a vẽ mô hình của động cơ một chiều bình thường và hình 9.1b vẽ mô hình động cơ không chổi than.



**Hình 9.1** Mô hình đơn giản của động cơ một chiều bình thường (hình a) và động cơ một chiều không chổi than (hình b)

Vị trí các phần tử của động cơ một chiều không chổi than trên hình 9.1b như sau:

1. Stator của động cơ.
2. Rotor bằng nam châm vĩnh cửu.
3. Dây quấn phân ứng đặt trên stator.
4. Giá đỡ chổi than.
5. Chổi than (để đơn giản nên hình 9.1b thay bộ phận đổi chiều bằng 4 và 5).



Stator của động cơ một chiều không chổi than được ghép từ các lá thép kỹ thuật điện có xẻ rãnh. Trong các rãnh của Stator đặt cuộn dây phần ứng như các loại động cơ bình thường khác. Phần cảm của động cơ không chổi than thường được làm bằng nam châm vĩnh cửu. Đặc điểm nổi bật của động cơ là bộ phận đảo chiều bằng điện tử mà trong hình 9.1b được đơn giản hoá bằng giá đỡ chổi than và chổi than đặt trên rotor.

Ngoài stato, rotor và bộ phận đảo chiều bằng điện tử thì trên vỏ máy còn gắn một cảm biến vị trí. Cảm biến vị trí có cấu tạo từ hai thành phần: phần quay gọi là rotor và phần đứng yên gọi là stator. Rotor của cảm biến vị trí có dạng hình tròn khuyết đặt trên cùng một trục với rotor động cơ, đây là phần tử tạo tín hiệu của cảm biến vị trí. Stator của cảm biến vị trí là các phần tử cảm ứng, số lượng của các phần tử cảm ứng này bằng với số pha của động cơ và vị trí của chúng tương ứng với vị trí các pha của động cơ.

Tóm lại: cấu tạo động cơ một chiều không chổi than gồm 3 thành phần chính sau:

- Stator và rotor, trên Stator được ghép bằng các lá thép kỹ thuật điện có xẻ rãnh, bên trong có đặt cuộn ứng m pha và rotor được làm bằng nam châm vĩnh cửu.
- Cảm biến vị trí đặt cùng trục với động cơ có chức năng cảm nhận vị trí của rotor và biến đổi tín hiệu đó thành tín hiệu điều khiển xác định thời điểm và thứ tự đổi chiều.
- Bộ phận đổi chiều không chổi than cấu tạo bằng các linh kiện điện tử thực hiện đổi chiều dòng điện của các cuộn cảm trên stator động cơ theo tín hiệu điều khiển từ cảm biến vị trí.

### **1.2 Nguyên lý hoạt động:**

Hình 9.2 trình bày sơ đồ nguyên lý đơn giản của động cơ một chiều không chổi than với ba cuộn dây trên stator. Ta sẽ phân tích nguyên lý hoạt động của động cơ một chiều không chổi than theo sơ đồ này.

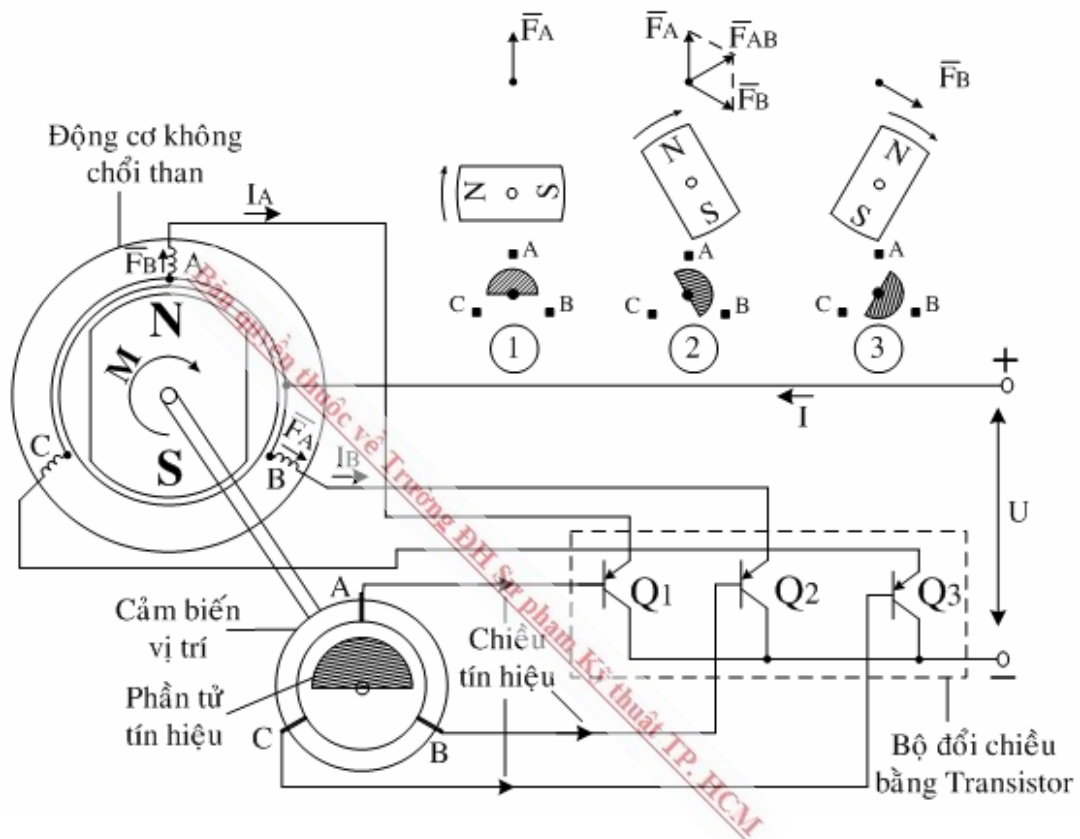
Cuộn dây phần ứng đặt trên các rãnh của stator gồm có ba pha A, B, C, lệch nhau trong không gian một góc  $120^0$  và được nối hình sao.

Bộ phận đổi chổi gồm ba transistor  $Q_1, Q_2, Q_3$ , mắc nối tiếp với các pha A, B, C của động cơ. Các transistor này làm việc ở chế độ ngắt dẫn, nghĩa là có hai trạng thái làm việc: trạng thái dẫn khi có tín hiệu điện ở chân B của chúng và trạng thái ngắt khi không có tín hiệu điện ở chân B của chúng. Tín hiệu điện do phần cảm ứng của cảm biến vị trí tạo ra.

Nguyên lý hoạt động của động cơ theo hình 9.2 như sau:

Giả sử ban đầu vị trí phần tử cảm biến tín hiệu của cảm biến vị trí nằm gần phần tử cảm ứng ở pha A (phần tử cảm ứng của cảm biến vị trí đặt tương ứng với các pha của động cơ). Khi phần tử cảm biến tín hiệu của cảm biến vị trí

ở vị trí trên (vị trí 1 trên hình 9.2) thì sẽ xuất hiện một tín hiệu điều khiển  $C_A$ , tín hiệu này kích vào cực B của transistor  $Q_1$  làm cho  $Q_1$  dẫn. Các transistor khác không có tín hiệu nên ở trạng thái ngắt. Khi  $Q_1$  dẫn trong pha A của cuộn ứng có dòng điện  $I_A$  chạy qua. Nhờ sự tương tác giữa sức từ động  $F_A$  của cuộn ứng pha A với từ thông của từ trường rotor bằng nam châm vĩnh cửu làm cho rotor quay theo chiều kim đồng hồ. Do phần tử tín hiệu của cảm biến tín hiệu gắn đồng trục với rotor của động cơ nên khi rotor quay thì phần tử này cũng quay theo.



**Hình 9.2** Sơ đồ nguyên lý đơn giản của động cơ một chiều không chổi than với stator có ba cuộn dây.

Khi góc quay của rotor lớn hơn  $30^\circ$  so với vị trí ban đầu một ít, phần tử tín hiệu tác động đồng thời lên hai phần tử cảm ứng của cảm biến vị trí nằm trên pha A và B (vị trí 2 trên hình 9.2). Có tín hiệu điều khiển ở chân B của các transistor  $Q_1, Q_2$  làm cho hai transistor này dẫn, dòng điện chạy trong pha A và B của dây quấn phần ứng. Transistor  $Q_3$  không có tín hiệu điều khiển nên vẫn không dẫn. Khi có thêm sức từ động  $F_B$  thì sức từ động tổng sẽ lệch đi khoảng  $60^\circ$  so với vị trí ban đầu và tác động với từ trường của rotor nam châm vĩnh cửu làm cho rotor động cơ tiếp tục quay theo chiều kim đồng hồ.

Khi góc quay của rotor lớn hơn  $90^\circ$  so với vị trí ban đầu một ít (vị trí 3 trên hình 9.2) phần tử tín hiệu chỉ tác động lên phần tử tín hiệu đặt trên pha B. Khi đó sẽ có tín hiệu  $C_A$  làm cho transistor  $Q_2$  dẫn, các transistor khác không dẫn do không có tín hiệu điều khiển. Transistor  $Q_2$  dẫn thì có dòng điện chạy trong cuộn dây pha B của cuộn dây phần ứng tạo nên sức từ động  $F_B$ , đây cũng

chính là sức từ động của dây quấn stato lúc này. Do đó, rotor của động cơ tiếp tục quay theo chiều kim đồng hồ như ban đầu. Quá trình trên cứ tiếp tục tiếp diễn, tín hiệu điều khiển từ cảm biến vị trí được đưa vào các transistor của bộ phận đổi chiều và làm cho chúng dẫn hoặc ngưng dẫn đúng lúc; cấp điện hoặc không cấp điện cho các cuộn dây stator tạo nên sức từ động trên dây quấn này tác động với từ trường của rotor bằng nam châm vĩnh cửu làm cho rotor quay.

Khi tăng số pha của cuộn stator, thì số phần tử cảm ứng của cảm biến vị trí và số transistor của bộ phận đổi chiều cũng tăng tương ứng và động cơ vẫn hoạt động theo nguyên tắc trên. Nếu tăng số phần tử cảm ứng và số transistor bằng số bội dây và số pha góp của động cơ điện một chiều có vành góp bình thường thì đặc tính của động cơ một chiều không chổi than hoàn toàn giống với động cơ điện một chiều có vành góp. Quá trình vật lý trong động cơ một chiều không chổi than cũng được mô tả bằng các phương trình của động cơ vành góp công suất nhỏ trình bày ở phần 1.2. Tuy nhiên, việc tăng số lượng các pha dây quấn stator kéo theo sự phức tạp của sơ đồ điều khiển. Vì vậy, trong thực tế số pha của dây quấn thường không vượt quá bốn.

## **2 Động cơ chấp hành một chiều :**

Hầu hết các động cơ công suất nhỏ sử dụng trong các hệ thống điều khiển tự động và các chức năng riêng lẻ khác ở dạng động cơ chấp hành (servo motor).

Động cơ chấp hành nói chung là loại máy điện có chức năng biến đổi tín hiệu điện đầu vào (thường là điện áp) thành vận tốc góc hoặc chuyển động của trục động cơ. Chúng được chế tạo để đáp ứng hầu hết các chức năng chuyển đổi tín hiệu. Động cơ loại này có thể hoạt động ở chế độ làm việc dài hạn, ngắn hạn hay ngắn hạn lặp lại tùy theo cấu trúc. Được sử dụng như động cơ chấp hành còn có động cơ một chiều kích thích độc lập, động cơ bước đồng bộ, Ferraris motor, amplidyne motor\_generator.

Ứng dụng của động cơ chấp hành tùy thuộc vào đặc tính của các hệ thống điều khiển, mục đích của hệ thống điều khiển, vị trí vận hành và các yêu cầu khác khi được sử dụng như những bộ phận cấu thành nên hệ thống.

Động cơ chấp hành thường đáp ứng các yêu cầu cơ bản sau:

- Đặc tính làm việc ổn định ở mọi vận tốc.
- Điều chỉnh tốc độ quay dễ dàng, bằng phẳng kinh tế và có phạm vi điều chỉnh rộng.
- Dừng tức thời (động cơ phải dừng ngay lập tức khi mất tín hiệu điều khiển).
- Đáp ứng nhanh.
- Điều khiển tải công suất lớn gắn trên trục với tín hiệu điều khiển bé.

Trong năm yêu cầu trên thì yêu cầu thứ năm là yêu cầu chủ yếu vì hầu hết tín hiệu điều khiển động cơ loại này đều có công suất bé (tín hiệu ngõ ra từ các thiết bị điện tử).

## **2.1 Cấu tạo và nguyên lý hoạt động của động cơ chấp hành một chiều công suất nhỏ:**

Theo cấu trúc động cơ chấp hành một chiều gồm có các loại sau:

- Động cơ chấp hành một chiều quán tính nhỏ với rotor rỗng không từ tính.
- Động cơ chấp hành một chiều với phần ứng không có rãnh (rotor hình đĩa), dây quấn phần ứng được bố trí trực tiếp lên mặt hình trụ của rotor.
- Động cơ chấp hành một chiều thông thường kích thích độc lập hoặc kích thích bằng nam châm vĩnh cửu.

Động cơ chấp hành một chiều có cấu tạo như loại thứ nhất và loại thứ hai ít được đề cập đến trong các giáo trình máy điện; động cơ chấp hành một chiều thông thường thì lại có nhiều tài liệu nói đến nên ở đây chỉ xin nêu thêm về đặc điểm cấu tạo của hai loại động cơ chấp hành thứ nhất và thứ hai tức là động cơ chấp hành một chiều quán tính nhỏ với rotor rỗng không từ tính và động cơ chấp hành một chiều với phần ứng không có rãnh (rotor hình đĩa).

### **2.1.1 Cấu tạo động cơ chấp hành một chiều rotor rỗng không từ tính.**

Hình 9.3 trình bày cấu tạo của động cơ chấp hành một chiều với rotor rỗng không từ tính. Động cơ được cấu tạo với rotor rỗng nhằm mục đích làm giảm đến mức thấp nhất quán tính của động cơ khi ngưng hoạt động. Rotor của động cơ có thể được chia làm hai phần như sau: phần thứ nhất là một khối gồm có chổi than, các vành góp và kết khối hình trụ rỗng bằng plastic (chổi than và vành góp có cấu tạo giống như ở động cơ một chiều bình thường), phần còn lại là lõi sắt.

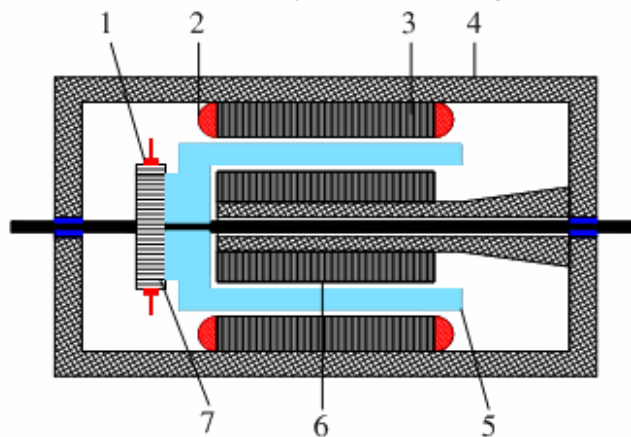
Lõi sắt 6 là phần nặng hơn và được cố định cùng với vỏ máy, phần này có tên gọi là stator trong, có chức năng như một dòng điện cảm ứng.

Stator 3 của động cơ giống như stator của động cơ một chiều thông thường có xê rãnh để mang dây quấn phần cảm 2 còn được gọi là stator ngoài.

Phần ứng 5 là một hình trụ rỗng được làm bằng plastic có đặt dây quấn trong rãnh hoặc mang trên bề mặt của nó một lớp dây quấn mỏng. Phần này xoay được trong khe hở không khí nằm giữa stator trong và stator ngoài.

Nguồn điện được cung cấp cho phần ứng thông qua chổi than 1 và vành góp 7.

Động cơ được bao bọc và cố định bởi vỏ máy 4.



**Hình 9.3** Động cơ chấp hành một chiều với rotor rỗng không từ tính.

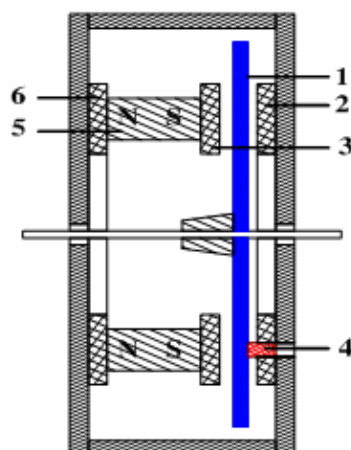
Với những đặc điểm cấu tạo như trên thì kết quả có được là động cơ một chiều với rotor rỗng sẽ có mômen quán tính nhỏ hơn nhiều so với động cơ một chiều với rotor hình trụ thông thường.

### 2.1.2 Cấu tạo động cơ chấp hành một chiều với phần ứng không có rãnh (rotor hình đĩa)

Động cơ chấp hành một chiều với phần ứng không có rãnh (rotor hình đĩa) được mô tả ở hình 9.4 có các đặc điểm sau:

Rotor hình đĩa 1 của động cơ có hình đĩa dẹt và không có lỗ thông gió, được làm từ những vật liệu không từ tính như: ceramic, textolite hay aluminium, dây quấn của rotor được bố trí sát bề mặt nhẵn của nó chứ rotor không có rãnh. Dây quấn được bố trí đều ở hai mặt của rotor thông qua những lỗ khoan gần trục động cơ. Động cơ được kích thích bởi nam châm vĩnh cửu 5 với đầu cực 3 của nam châm được chế tạo từ thép không gỉ có dạng khối tròn.

Động cơ chấp hành một chiều phần ứng không có rãnh (rotor hình đĩa) khác với động cơ một chiều ở chỗ rotor của động cơ không có rãnh để đặt dây quấn mà dây quấn được bố trí trực tiếp trên bề mặt nhẵn của rotor (printed winding). Việc rotor động cơ không có rãnh và dây quấn được bố trí như trên làm cho khe hở không khí giữa cực từ và lõi phần ứng tăng lên đồng thời làm giảm điện kháng phần ứng.



**Hình 9.4** Động cơ chấp hành một chiều với rotor hình đĩa

## 2.2 Các phương pháp điều khiển động cơ chấp hành một chiều:

Động cơ chấp hành một chiều có thể được điều khiển theo một trong hai cách sau:

Điều khiển liên tục là phương pháp điều khiển sử dụng tín hiệu điều khiển liên tục theo thời gian nhưng có độ lớn thay đổi. Tín hiệu điều khiển thường là điện áp phần ứng nên phương pháp điều khiển này còn được gọi là điều khiển phần ứng.

Điều khiển cực là phương pháp điều khiển khi ta đưa điện áp điều khiển vào cuộn kích thích.

### 2.2.1 Điều khiển phần ứng:

Sơ đồ điều khiển như hình 9.5 cuộn dây kích thích nối trực tiếp vào lưới điện có điện áp  $U_{KT} = U = \text{const}$ . Cuộn dây phần ứng đặt vào điện áp điều khiển có trị số thay đổi  $U_{ĐK} \neq \text{const}$

Do  $U_{KT} = U = \text{const}$  nên dòng điện chạy trong cuộn kích từ  $I_{KT} = \text{const}$  do đó từ thông của cuộn kích từ  $\Phi_{KT} = \text{const}$ .

Ta có:

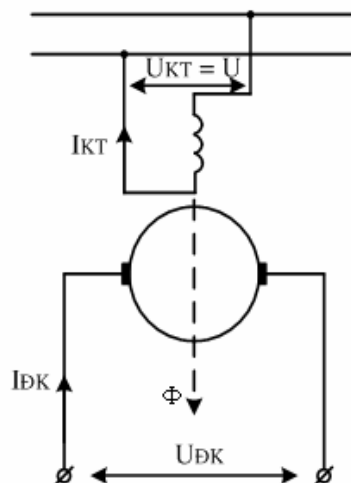
$$\Phi_{KT} = C_{\Phi} \cdot U_{KT}$$

Với  $C_{\Phi}$  là hệ số khuếch đại.

Khi phần ứng quay, các dây dẫn của nó cắt từ trường kích thích và trong cuộn dây phần ứng (cũng chính là cuộn dây điều khiển) sẽ cảm ứng một sức điện động  $E_{ĐK}$ , trị số của  $E_{ĐK}$  được cho ở công thức :

$$E_{ĐK} = C_E \cdot \Phi_{KT} \cdot n = C_E C_{\Phi} \cdot U_{KT} \cdot n$$

Dòng điện phần ứng chính là dòng điện điều khiển có giá trị như sau:



**Hình 9.5** Sơ đồ điều khiển phần ứng động cơ chấp hành một chiều

Với  $r_{ĐK}$  là điện trở của mạch điện phần ứng.

Tương tác giữa  $\Phi_{KT}$  và  $I_{ĐK}$  tạo ra momen quay như biểu thức sau:

$$M = C_M \cdot \Phi_{KT} \cdot I_{ĐK} = C_M \cdot C_\Phi \cdot U_{KT} \cdot I_{ĐK}$$

Kết hợp 2 công thức trên, ta có:

$$M = \frac{C_M \cdot C_\Phi \cdot U_{KT} \cdot U_{ĐK} - C_E \cdot C_M \cdot C_\Phi^2 \cdot U_{KT}^2 \cdot n}{r_{ĐK}}$$

Tín hiệu điều khiển  $\alpha = \frac{U_{ĐK}}{U_{KT}}$  là điện áp điều khiển trong hệ đơn vị tương đối.

Thay  $U_{ĐK} = \alpha \cdot U_{KT}$  vào biểu thức trên ta được :

$$M = \frac{C_M \cdot C_\Phi \cdot \alpha \cdot U_{KT}^2 - C_E \cdot C_M \cdot C_\Phi^2 \cdot U_{KT}^2 \cdot n}{r_{ĐK}}$$

Chúng ta sẽ thay các giá trị thực của  $M$ ,  $n$ ,  $U_{ĐK}$  bằng các giá trị trong hệ đơn vị tương đối để dễ so sánh đặc tính của các động cơ có công suất khác nhau và tốc độ khác nhau. Với giá trị momen trong hệ đơn vị tương đối :

$$m = \frac{M}{M_{mm}}$$

Với  $M_{mm}$  là momen mở máy của động cơ; khi động cơ mở máy  $n = 0$ ,  $U_{ĐK} = U_{KT}$  suy ra  $\alpha = 1$ .

Biểu thức  $M$  có thể được viết lại như sau:

$$M_{mm} = \frac{C_M \cdot C_\Phi \cdot U_{KT}^2}{r_{ĐK}} \quad (9-1)$$

Thay các biểu thức trên vào biểu thức  $m$  ta được:

$$m = \alpha - C_E \cdot C_\Phi \cdot n$$

Tốc độ quay trong hệ đơn vị tương đối :

$$v = \frac{n}{n_0}$$

Với  $n_0$  là tốc độ quay không tải lý tưởng; tốc độ này đạt được khi  $m = 0$ ,  $\alpha = 1$ .

Biểu thức 1.1.20 có thể được viết lại như sau:

$$n_0 = \frac{1}{C_E \cdot C_\Phi} \quad (9-2)$$

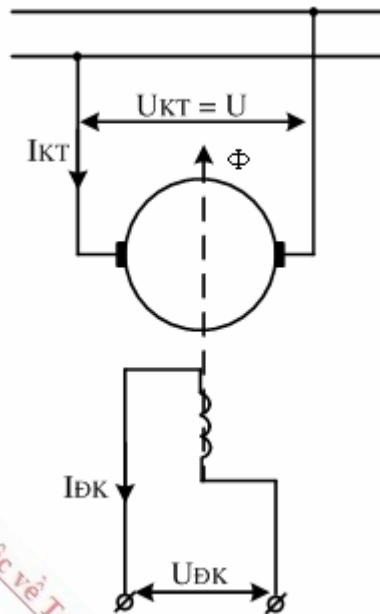
Thay các biểu thức  $v$  và  $n_0$  vào biểu thức của  $m$  ta được:

$$m = \alpha - v$$

Từ biểu thức trên ta rút ra nhận xét: momen quay của động cơ chấp hành một chiều khi điều khiển phần ứng là một hàm bậc nhất (tuyến tính) của tốc độ quay  $v$  và hệ số tín hiệu điều khiển  $\alpha$ .

### 2.2.2 Điều khiển cực:

Như đã đề cập đến ở phần trên thì phương pháp điều khiển cực là phương pháp mà điện áp điều khiển được đặc vào cuộn dây phần cảm (cực từ) còn điện áp kích từ chính là điện áp lưới đặt vào cuộn dây phần ứng (hình 9.6).



**Hình 9.6** Sơ đồ điều khiển cực động cơ chấp hành một chiều

Vì điện áp kích từ trong phương pháp này lớn ( $U_{KT} = U_{Lưới}$ ) nên đối với những động cơ có công suất lớn hơn 10 watt thì người ta thường mắc thêm một điện trở phụ  $R_P$  nối tiếp với mạch phần ứng để hạn chế dòng điện khởi động.

Trên cuộn dây điều khiển (cuộn dây cực từ) chỉ đặt vào điện áp điều khiển (chỉ có tín hiệu điều khiển) khi có yêu cầu làm chuyển động rotor.

Từ thông chính của động cơ là từ thông của cuộn dây điều khiển  $\Phi_{ĐK}$ . Trị số của  $\Phi_{ĐK}$  khi mạch từ của máy không bão hoà sẽ tỉ lệ với  $I_{ĐK}$  có nghĩa là tỉ lệ với  $U_{ĐK}$ .

$$\Phi_{ĐK} = C_{\Phi} \cdot U_{ĐK} = C_{\Phi} \cdot \alpha \cdot U_{KT}$$

Trong đó: hệ số tín hiệu  $\alpha = \frac{U_{ĐK}}{U_{KT}} = \frac{U_{ĐK}}{U_{Lưới}}$

Khi phần ứng quay, trong cuộn dây phần ứng (cuộn kích thích) cảm ứng một sức điện động  $E_{KT}$ :

$$E_{KT} = C_E \cdot \Phi_{ĐK} \cdot n = C_E \cdot C_{\Phi} \cdot U_{ĐK} \cdot n$$

Dòng điện kích từ  $I_{KT}$  bằng:

$$I_{KT} = \frac{U_{KT} - E_{KT}}{r_{KT}}$$



Tương tác giữa từ thông cuộn dây điều khiển  $\Phi_{ĐK}$  với dòng điện kích từ  $I_{KT}$  sinh ra momen quay M.

$$M = C_M \cdot \Phi_{ĐK} \cdot I_{KT}$$

Hay:

$$M = \frac{C_M \cdot C_\Phi \cdot \alpha \cdot U_{KT}^2 - C_M \cdot C_E \cdot C_\Phi^2 \cdot \alpha^2 \cdot U_{KT}^2 \cdot n}{r_{KT}}$$

Qui các biểu thức trên về giá trị tương đối ta có biểu thức momen trong hệ đơn vị tương đối là:

$$m = \alpha - \alpha^2 \cdot v = f(\alpha, v)$$

Với:  $\alpha = \frac{U_{ĐK}}{U_{KT}}$ ;  $v = \frac{n}{n_0}$ ;  $m = \frac{M}{M_{mm}}$

Trong đó:

$$n_0 = n_{(\alpha=1; m=0)} = \frac{1}{C_E \cdot C_\Phi}$$

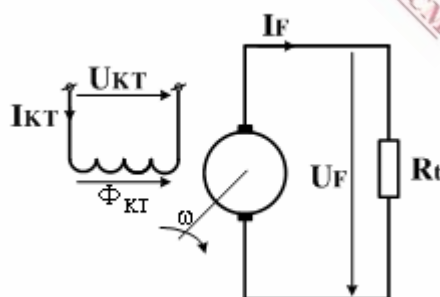
$$M_{mm} = M_{(n=0; \alpha=1)} = \frac{C_M \cdot C_\Phi \cdot U_{ĐK}^2}{r_{KT}}$$

### 3 Máy phát tốc một chiều

Máy phát tốc nói chung là loại máy điện công suất nhỏ làm việc ở chế độ máy phát, chúng có chức năng chuyển đổi tín hiệu góc quay thành tín hiệu điện. Trong trường hợp này, qui luật chuyển đổi phụ thuộc vào đặc tính ngõ ra của máy phát tốc.

#### 3.1 Đặc tính ngõ ra của máy phát tốc một chiều:

Dựa vào cấu tạo, nguyên lý làm việc, máy phát tốc một chiều thực chất là máy điện một chiều kích từ độc lập hoặc bằng nam châm vĩnh cửu (hình 9.7).



**Hình 9.7** Sơ đồ máy phát tốc một chiều kích thích độc lập.

Đặc tính ngõ ra của máy phát tốc một chiều là mối quan hệ giữa điện áp ra ở hai đầu cực của phần ứng và tốc độ quay của phần ứng khi tải thuần trở  $R_t$  có giá trị không đổi và từ thông  $\Phi$  là hằng số. Theo lý thuyết máy điện thì sức điện động  $E_F$  của phần ứng tỷ lệ thuận với từ thông  $\Phi$  và tốc độ quay của phần ứng. Vì vậy, với từ thông  $\Phi$  là hằng số thì ta có biểu thức sau:

$$E_F = C_E \cdot n \cdot \Phi$$

Theo định luật Ohm ta có dòng điện phần ứng như sau:

$$I_F = \frac{U_F}{R_t}$$

Phương trình cân bằng điện áp của máy phát tốc một chiều:

$$U_F = E_F - I_F \cdot r_F - \Delta U_{ch}$$

Trong đó:

$E_F$  là sức điện động phần ứng.

$I_F$  là dòng điện phần ứng.

$r_F$  là điện trở cuộn ứng.

$\Delta U_{ch}$  là điện áp rơi trên chổi than.

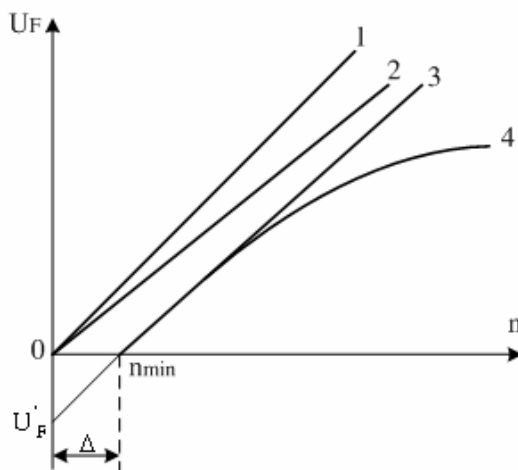
Từ các biểu thức trên ta nhận được biểu thức đặc tính điện áp ra của máy phát tốc một chiều như sau:

$$U_F = \frac{C_E \cdot \Phi \cdot n - \Delta U_{ch}}{1 + \frac{r_F}{R_t}}$$

Nếu xem như điện áp rơi trên chổi than không đáng kể và có thể bỏ qua thì biểu thức trên có thể viết lại như sau:

$$U_F = \frac{C_E \cdot \Phi \cdot n}{1 + \frac{r_F}{R_t}} = K \cdot n$$

Nếu từ thông  $\Phi$ , điện trở phần ứng  $r_F$  và điện trở tải  $R_t$  không đổi thì quan hệ  $U_F = f(n)$  là tuyến tính với hệ số khuếch đại (độ dốc)  $K$  được xác định như sau: Khi  $C_E$ ,  $\Phi$ ,  $R_t$  càng lớn và  $r_F$  càng nhỏ thì độ dốc của điện áp ra càng lớn. Trong trường hợp máy hoạt động ở chế độ không tải ( $R_t = \infty$ ) thì độ dốc của điện áp ra là lớn nhất.



Hình 9.8 Đặc tính ra của máy phát tốc một chiều

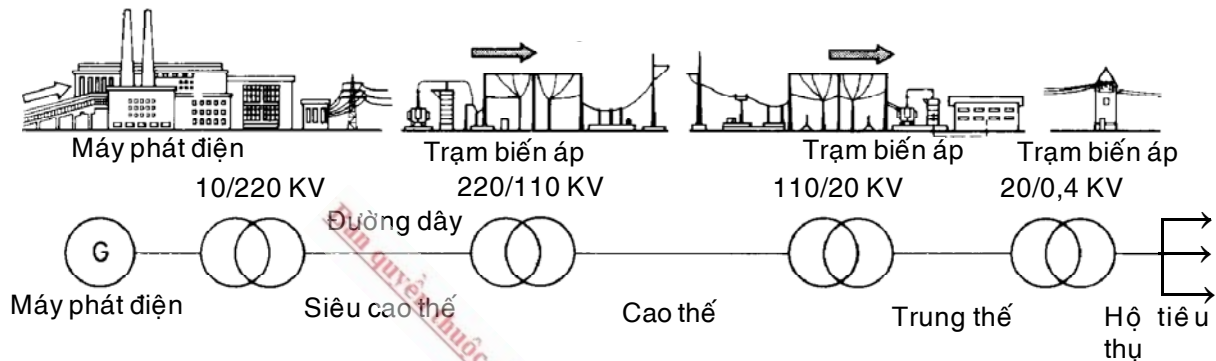
Ưu điểm của máy phát tốc một chiều là có trọng lượng và kích thước nhỏ nhưng công suất lớn. Với máy phát tốc kích từ bằng nam châm vĩnh cửu không cần có nguồn nuôi.

## PHẦN II: MÁY BIẾN ÁP

### Chương 1: KHÁI NIỆM CHUNG VỀ MÁY BIẾN ÁP

#### § 1.1. Đại cương

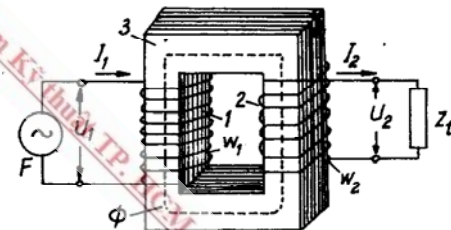
Để truyền tải và phân phối điện năng đi cho các hộ tiêu thụ điện cách xa nhà máy điện được phù hợp và kinh tế thì phải có những thiết bị để tăng và giảm điện áp ở đầu và cuối đường dây. Những thiết bị này gọi là máy biến áp (hình 1.1). Những máy biến áp dùng trong hệ thống điện lực gọi là máy biến áp điện lực hay máy biến áp công suất. Máy biến áp chỉ làm nhiệm vụ truyền tải và phân phối năng lượng chứ không phải là thiết bị biến đổi năng lượng.



Hình 1.1 Sơ đồ mạng truyền tải điện đơn giản.

#### § 1.2. Nguyên lý làm việc cơ bản của máy biến áp

Dựa vào nguyên lý làm việc của MBA một pha gồm một lõi thép có hai cuộn dây  $W_1$ ,  $W_2$  vòng. Khi đặt điện áp xoay chiều hình sin  $U_1$  vào dây quấn 1, dòng điện  $i_1$  sẽ tạo nên trong lõi thép từ thông  $\Phi$  móc vòng với cả 2 dây quấn 1, 2 và cảm ứng trong 2 dây quấn đó s.d.đ  $e_1$ ,  $e_2$ . Dây quấn 2 có s.d.đ sẽ sinh ra dòng điện  $i_2$  đưa ra tải với điện áp  $U_2$ . Như vậy năng lượng của dòng



Hình 1.2 Nguyên lý làm việc của MBA

1. Dây quấn sơ cấp
2. Dây quấn thứ cấp
3. Lõi thép

điện xoay chiều đã được truyền từ dây quấn 1 sang dây quấn 2.

Giả thiết điện áp đặt vào có dạng hình sin thì từ thông do nó sinh ra cũng có dạng hình sin:

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

Theo định luật cảm ứng điện từ, sức điện động cảm ứng trong các dây quấn 1 và 2 sẽ là:

$$\begin{aligned} e_1 &= -w_1 \frac{d\Phi}{dt} = -w_1 \frac{d\Phi_m \sin \omega t}{dt} = -w_1 \omega \Phi_m \cos \omega t \\ &= w_1 \omega \Phi_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) = E_{1m} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \quad (1-1) \\ e_2 &= -w_2 \frac{d\Phi}{dt} = -w_2 \frac{d\Phi_m \sin \omega t}{dt} = -w_2 \omega \Phi_m \cos \omega t \end{aligned}$$

$$= w_2 \omega \Phi_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) = E_{2m} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \quad (1-2)$$

Trị số hiệu dụng:

$$E_1 = \frac{E_{1m}}{\sqrt{2}} = \frac{\omega w_1 \Phi_m}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi f_1 w_1 \Phi_m}{\sqrt{2}} = \sqrt{2} \cdot \pi w_1 f_1 \Phi_m \quad (1-3)$$

$$E_2 = \frac{E_{2m}}{\sqrt{2}} = \frac{\omega w_2 \Phi_m}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi f_2 w_2 \Phi_m}{\sqrt{2}} = \sqrt{2} \cdot \pi w_2 f_2 \Phi_m \quad (1-4)$$

Từ các biểu thức (1-1) và (1-2) cho thấy s.d.đ trong dây quấn chậm pha so với từ thông sinh ra nó một góc  $\frac{\pi}{2}$ .

Dựa vào các biểu thức (1-3), (1-4), người ta định nghĩa tỷ số biến áp của M.B.A 1 pha như sau:

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

Nếu không kể điện áp rơi trên dây quấn, k được xem như là tỷ số điện áp giữa dây quấn 1 và dây quấn 2:

$$k = \frac{E_1}{E_2} \approx \frac{U_1}{U_2}$$

**Đối với máy biến áp 3 pha:**

- Tỷ số điện áp pha:  $k_p = \frac{U_{p1}}{U_{p2}} = \frac{w_1}{w_2}$

$w_1$  số vòng dây pha sơ cấp,  $w_2$  số vòng dây pha thứ cấp

- Tỷ số điện áp dây không những chỉ phụ thuộc vào tỉ số vòng dây giữa sơ cấp và thứ cấp mà còn phụ thuộc vào các nối hình sao hay tam giác:

+ Khi nối  $\Delta/Y$

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

+ Khi nối  $\Delta/\Delta$

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

+ Khi nối  $Y/Y$

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

+ Khi nối  $Y/\Delta$

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

**Định nghĩa:** MBA là 1 thiết bị điện từ tĩnh làm việc dựa trên nguyên lý cảm ứng điện từ, biến đổi 1 hệ thống dòng điện xoay chiều ở điện áp này thành 1 hệ thống dòng điện xoay chiều ở điện áp khác với tần số không đổi.

Phía nối với nguồn gọi là sơ cấp, các đại lượng liên quan đến sơ cấp được kí hiệu mang chỉ số 1.

Phía nối với tải gọi là thứ cấp, các đại lượng liên quan đến thứ cấp được kí hiệu mang chỉ số 2.

Nếu  $U_1 < U_2$  ta có MBA tăng áp,  $U_1 > U_2$  có MBA giảm áp.

### § 1.3. Các lượng định mức

1. Dung lượng hay công suất định mức  $S_{dm}$  : Là công suất toàn phần (hay biểu kiến) đưa ra ở dây quấn thứ cấp MBA tính bằng VA hoặc KVA.
2. Điện áp dây sơ cấp định mức  $U_{1dm}$  là điện áp dây của dây quấn sơ cấp tính bằng V , hoặc K V.
3. Điện áp dây thứ cấp định mức  $U_{2dm}$  là điện áp dây của dây quấn thứ cấp khi không tải và điện áp đặt vào dây quấn sơ cấp là định mức. Tính bằng V hoặc K V.
4. Dòng điện dây định mức sơ cấp  $I_{1dm}$  và thứ cấp  $I_{2dm}$  là những dòng điện dây của dây quấn sơ cấp và thứ cấp ứng với công suất và điện áp định mức. Tính bằng

A. Có thể tính các dòng điện như sau :

$$\text{Đối với MBA 1 pha : } I_{1dm} = \frac{S_{dm}}{U_{1dm}} \quad ; \quad I_{2dm} = \frac{S_{dm}}{U_{2dm}}$$

$$\text{Đối với MBA 3 pha : } I_{1dm} = \frac{S_{dm}}{\sqrt{3}U_{1dm}} \quad ; \quad I_{2dm} = \frac{S_{dm}}{\sqrt{3}U_{2dm}}$$

5. Tần số định mức :  $f_{dm}$  tính bằng Hz. Các máy biến áp điện lực ở nước ta có tần số công nghiệp là 50 Hz.

Ngoài ra trên nhãn máy biến áp còn ghi các số liệu khác như số pha m; tổ nối dây quấn; điện áp ngắn mạch  $U_n\%$ ; chế độ làm việc ; cấp cách điện; phương pháp làm nguội ...

### § 1.4 Các loại máy biến áp chính

Theo công dụng máy biến áp có thể chia thành các loại chính sau

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

Máy biến áp có nhiều loại khác nhau, song thực chất các hiện tượng xảy ra trong chúng đều giống nhau. Để thuận tiện cho việc nghiên cứu, sau đây chủ yếu ta xét đến các máy biến áp điện lực hai dây quấn một pha và ba pha.

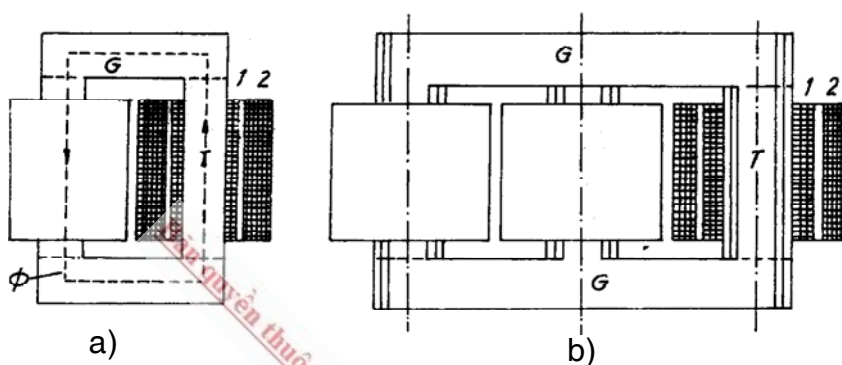
## § 1.5 Cấu tạo máy biến áp

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

### 1. Lõi thép

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

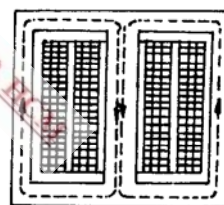
- Máy biến áp kiểu lõi hay kiểu trụ (hình 1.3): Dây quấn bao quanh trụ thép. Loại này hiện nay rất thông dụng cho các máy biến áp một pha và ba pha có dung lượng nhỏ và trung bình



Hình 1.3 MBA kiểu lõi: a. một pha; b. ba pha

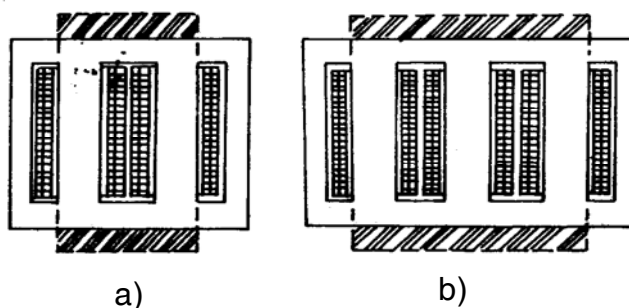
- Máy biến áp kiểu bọc (hình 1.4): Mạch từ được phân nhánh ra hai bên và "bọc" lấy một phần dây quấn. Loại này thường chỉ dùng trong vài ngành chuyên môn đặc biệt như máy biến áp dùng trong lò luyện kim, các máy biến áp một pha công suất nhỏ.

Ở các máy biến áp hiện đại, dung lượng lớn và cực lớn (80 đến 100 MVA trên một pha), điện áp cao 220 đến 400kV để giảm chiều cao cho trụ thép, tiện lợi cho việc vận chuyển, mạch từ của máy biến áp kiểu trụ được phân nhánh



Hình 1.4 MBA kiểu bọc

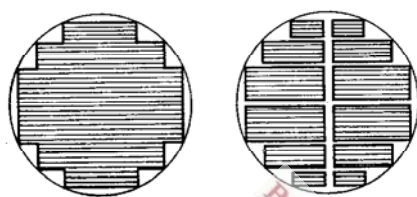
sang hai bên nên máy biến áp mang hình dáng vừa kiểu trụ vừa kiểu bọc, gọi là máy biến áp kiểu trụ - bọc



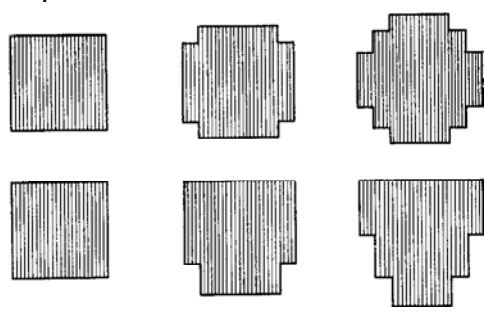
Hình 1.5 MBA kiểu trụ bọc: a. Một pha và b. ba pha

Hình 1.5b trình bày một kiểu máy biến áp trụ - bọc ba pha, trường hợp này có dây quấn ba pha nhưng có 5 trụ thép nên còn gọi là máy biến áp ba pha năm trụ. Lõi thép máy biến áp gồm có hai phần: Phần trụ kí hiệu bằng chữ T và phần gông kí hiệu bằng chữ 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.

Do dây quấn thường quấn thành hình tròn, nên tiết diện ngang của trụ thép thường làm thành hình bậc thang gần tròn (hình 1.6). Gông từ vì không có quấn dây, do đó để thuận tiện cho việc chế tạo tiết diện ngang của gông có thể làm đơn giản: hình vuông, hình chữ thập hoặc hình T hình 1.7



a) b)  
Hình 1.6 Tiết diện của trụ thép  
a. Không có rãnh dẫu  
b. Có rãnh dẫu



Hình 1.7 Các dạng tiết diện của trụ thép (phía trên) và gông từ (phía dưới)

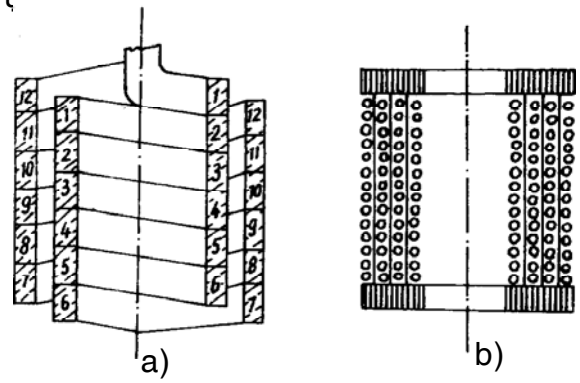
## 2. Dây quấn

Dây quấn là bộ phận dẫn điện của máy biến áp, làm nhiệm vụ thu năng lượng vào và truyền năng lượng ra. Dây quấn thường làm bằng đồng hoặc bằng nhôm. Theo cách sắp xếp dây quấn cao áp và hạ áp, người ta chia ra làm hai loại dây quấn chính: Dây quấn đồng tâm và dây quấn xen kẽ.

**a. Dây quấn đồng tâm:** Ở dây quấn đồng tâm tiết diện ngang là những vòng tròn đồng tâm. Dây quấn HA thường quấn phía trong gần trụ thép, còn dây quấn CA quấn phía ngoài bọc lấy dây quấn hạ áp. Với cách quấn này có thể giảm bớt được điều kiện cách điện của dây quấn cao áp, bởi vì giữa dây quấn cao áp và trụ đã có cách điện bởi bản thân dây quấn hạ áp.

Những kiểu dây quấn đồng tâm chính bao gồm:

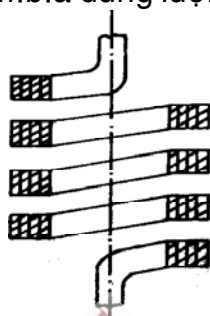
α. Dây quấn hình trụ



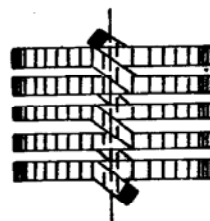
Hình 1.8 Dây quấn hình trụ: a. Dây quấn bẹt hai lớp; b. Dây quấn tròn nhiều lớp

Nếu tiết diện dây dẫn lớn thì dùng dây bện và thường quấn thành hai lớp (hình 1.8a); nếu tiết diện dây dẫn nhỏ thì dùng dây tròn quấn thành nhiều lớp (hình 1.8b); Dây quấn hình trụ dây tròn thường làm dây cao áp tới 35 Kw; Dây quấn hình trụ dây bện chủ yếu làm dây quấn hạ áp từ 6KV trở xuống.

β. Dây quấn hình xoắn: Gồm nhiều dây bện chập lại với nhau quấn theo đường xoắn ốc, giữa các vòng dây có rãnh hở (hình 1.9). Kiểu này thường dùng cho dây quấn HA của m.b.a dung lượng trung bình và lớn.



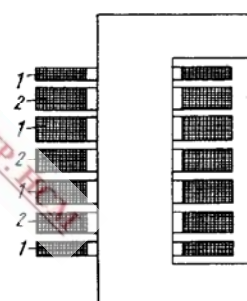
Hình 1.9 Dây quấn hình xoắn



Hình 1.10 Dây quấn hình xoắn ốc liên tục

γ. Dây quấn xoắn ốc liên tục: Làm bằng dây bện và khác với dây quấn hình xoắn ở chỗ, dây quấn này được quấn thành những bánh dây phẳng cách nhau bằng những rãnh hở (hình 1.10). Bằng cách hoán vị đặc biệt trong khi quấn, các bánh dây được nối tiếp một cách liên tục mà không cần mối hàn giữa chúng, cũng vì thế mà dây quấn được gọi là xoắn ốc liên tục. Dây quấn này chủ yếu dùng làm cuộn CA, điện áp 35kV trở lên và dung lượng lớn.

**b. Dây quấn xen kẽ:** Các bánh dây CA và HA lần lượt được đặt xen kẽ nhau dọc theo trụ thép (hình 1.11). Cần chú ý rằng, để cách điện được dễ dàng, các bánh dây sắt gông thường thuộc dây quấn HA. Kiểu dây quấn này hay dùng trong các m.b.a kiểu bọc. Vì chế tạo và cách điện khó khăn, kém vững chắc về cơ khí nên các m.b.a kiểu trụ hầu như không dùng kiểu dây quấn xen kẽ.



Hình 1.11 Dây quấn xen kẽ  
1. Dây quấn hạ áp  
2. Dây quấn cao áp

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

**a. Thùng máy biến áp:** Thùng máy làm bằng thép, thường là hình bầu dục. Khi máy biến áp làm việc, một phần năng lượng bị tiêu hao, thoát ra dưới dạng nhiệt đốt nóng lõi thép, dây quấn và các bộ phận khác làm cho nhiệt độ của chúng tăng lên. Do đó giữa máy biến áp và môi trường xung quanh có một hiệu số nhiệt độ gọi là độ chênh nhiệt. Nếu độ chênh nhiệt đó vượt quá mức quy định sẽ làm giảm tuổi thọ cách điện và có thể gây sự cố đối với máy biến áp. Để bảo đảm cho máy biến áp vận hành với tải liên tục trong thời gian qui định (thường là 15 đến 20 năm) và không bị sự cố, phải tăng cường làm lạnh bằng cách ngâm máy biến áp trong dầu.

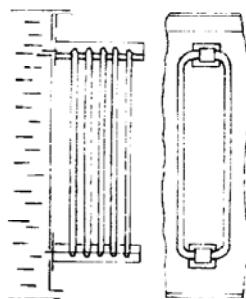


Nhờ sự đối lưu trong dầu, nhiệt truyền từ các bộ phận bên trong máy biến áp sang dầu, rồi từ dầu qua vách thùng ra môi trường xung quanh. Lớp dầu sát vách thùng nguội dần sẽ chuyển động xuống phía dưới và lại tiếp tục làm nguội một cách tuần hoàn các bộ phận bên trong máy biến áp. Ngoài ra dầu máy biến áp còn làm nhiệm vụ tăng cường cách điện.

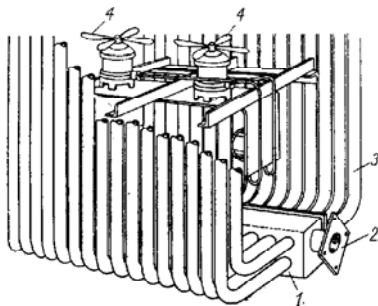
Tùy theo dung lượng máy biến áp mà hình dáng và kết cấu thùng dầu có khác nhau. Loại thùng dầu đơn giản nhất là thùng dầu phẳng thường dùng cho các máy biến áp dung lượng từ 30kVA trở xuống. Đối với các máy biến áp cỡ trung bình và lớn, người ta hay dùng loại thùng dầu có ống (hình 1.12) hoặc loại thùng có bộ tản nhiệt (hình 1.13).



Hình 1.12 Thùng dầu kiểu ống



Hình 1.13 Thùng dầu có bộ tản nhiệt



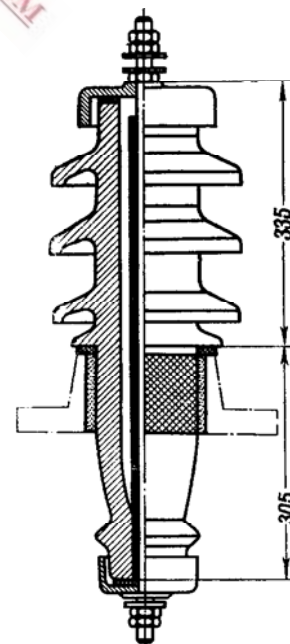
Hình 1.14 Bộ tản nhiệt hai hàng ống có quạt gió riêng biệt

Ở những m.b.a dung lượng đến 10.000kVA, người ta dùng những bộ tản nhiệt có thêm quạt gió để tăng cường làm lạnh (hình 1.14). Ở các m.b.a dùng trong trạm thủy điện, dầu được bơm qua một hệ thống ống nước để tăng cường làm lạnh.

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

- Các sứ ra của dây quấn CA và HA: làm nhiệm vụ cách điện giữa dây dẫn ra với vỏ máy. Tùy theo điện áp của m.b.a mà người ta dùng sứ cách điện thường hoặc có dầu. Hình 1.15 vẽ một sứ 35 kV có chứa dầu. Điện áp càng cao thì kích thước và trọng lượng sứ ra càng lớn.

- Bình giãn dầu: là một thùng hình trụ bằng thép đặt trên nắp và nối với thùng bằng một ống dẫn dầu (hình 1.16). Bình giãn dầu nhằm mục đích bảo đảm dầu trong thùng luôn luôn đầy, phải duy trì dầu ở một mức nhất định nào đó. Ngoài ra dầu trong thùng

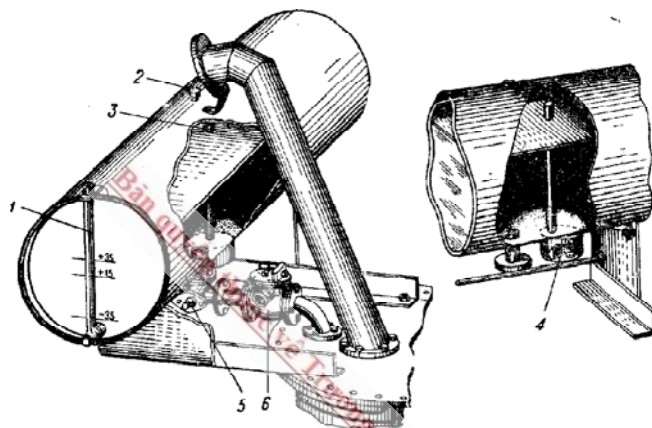


Hình 1.15 Sứ 35Kv có chứa dầu

m.b.a, nhờ có bình giãn dầu nên được giãn nở tự do; ống chỉ mức dầu đặt bên cạnh bình giãn dầu dùng để theo dõi mức dầu bên trong.

- Ống bảo hiểm: Làm bằng thép, thường là hình trụ nghiêng. Một đầu nối với thùng, một đầu bịt bằng một đĩa thủy tinh hoặc màng nhôm mỏng (hình 1.17). Nếu vì một lý do nào đó, áp suất trong thùng tăng lên đột ngột, đĩa thủy tinh sẽ vỡ, dầu theo đó thoát ra ngoài để máy biến áp không bị hư hỏng.

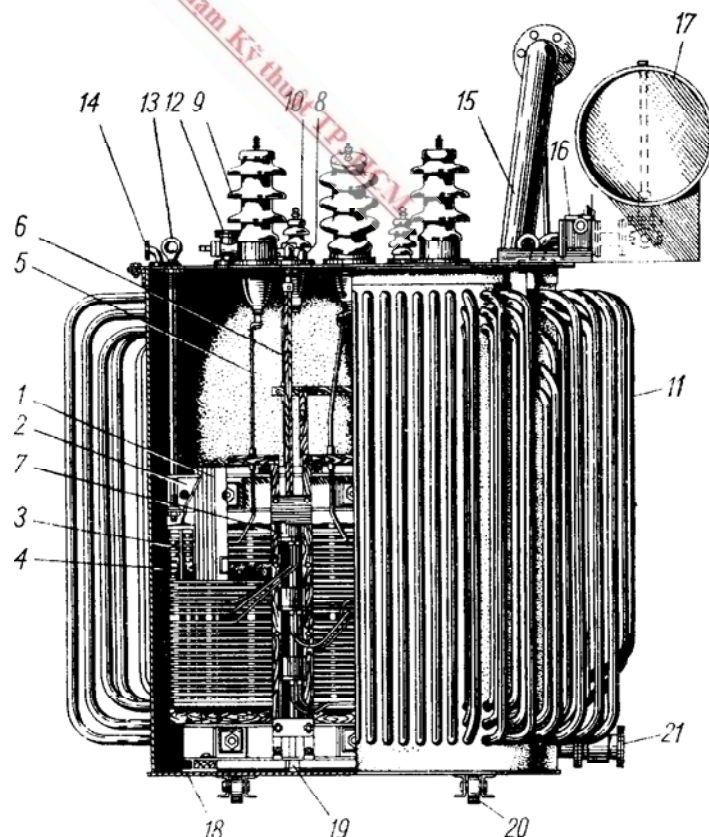
Ngoài ra trên nắp còn đặt bộ chuyển mạch đổi nối các đầu dây của dây quấn CA khi cần điều chỉnh điện áp của máy biến áp, hoặc các rơ le hơi để cắt nguồn điện đưa vào máy biến áp khi có sự cố xảy ra trong máy biến áp.



Hình 1.16 1. Bình giãn dầu; 2. Ống bảo hiểm

Hình 1.17 Máy biến áp dầu 3 pha

1. Thép dẫn từ; 2. Má sắt ép gông  
3. Dây quấn điện áp thấp (HA)  
4. Dây quấn điện áp cao (CA)  
5. Ống dẫn dây ra của cao áp  
6. Ống dẫn dây ra của hạ áp  
7. Bộ chuyển mạch để điều chỉnh điện áp của dây quấn cao áp. 8. Bộ phận truyền động của bộ chuyển mạch; 9. Sứ ra của cao áp; 10. Sứ ra của hạ áp; 11. Thùng dầu kiểu ống; 12. Ống nhập dầu; 13. Quai để nâng ruột máy ra; 14. Mặt bích để nối với bơm chân không; 15. Ống có màng bảo hiểm; 16. Rơ le hơi; 17. Bình giãn dầu; 18. Giá đỡ góc ở đáy thùng dầu; 19. Bu lông dọc để bắt chặt má ép gông; 20. Bánh xe lăn; 21. Ống xả dầu



## Câu hỏi

1. Định nghĩa m.b.a ? Vai trò của m.b.a trong hệ thống điện lực ? Kết cấu của m.b.a ? Tác dụng của từng bộ phận trong m.b.a?
2. Trên m.b.a thường ghi những đại lượng định mức nào? ý nghĩa của từng đại lượng định mức, ví dụ:  $S_{dm}$  biểu thị công suất gì, phía nào?  $U_{2dm}$  là điện áp ứng với tình trạng nào của m.b.a ?

## Bài tập

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

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

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

Đáp số: a. Dây quấn sơ cấp và thứ cấp đều nối nối tiếp

$$I_1 = 0,227 A; I_2 = 22,7 A$$

b. Dây quấn sơ cấp nối nối tiếp, dây quấn thứ cấp nối song song:  $I_1 = 0,227 A; I_2 = 45,45 A$

c. Dây quấn sơ cấp nối song song, dây quấn thứ cấp nối nối tiếp:  $I_1 = 0,45 A; I_2 = 22,7 A$

d. Dây quấn sơ cấp và thứ cấp đều nối nối song song:  $I_1 = 0,45 A; I_2 = 45,45 A$

## Chương 2: TỔ NỐI DÂY VÀ MẠCH TỪ CỦA MBA

### § 2.1. Đại cương

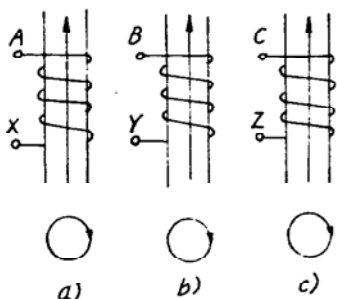
Để máy biến áp 3 pha có thể làm việc được các dây quấn pha sơ và thứ cấp phải được nối với nhau theo một qui luật nhất định. Ngoài ra sự phối hợp kiểu nối dây quấn sơ với kiểu nối dây quấn thứ cấp cũng hình thành các tổ nối dây quấn khác nhau. Hơn nữa lúc thiết kế việc quyết định dùng tổ nối dây quấn cũng phải thích hợp với kiểu kết cấu mạch từ để tránh những hiện tượng không tốt như s.đ.đ pha không sin, tổn hao phụ tăng v.v...

### § 2.2. Tổ nối dây của máy biến áp

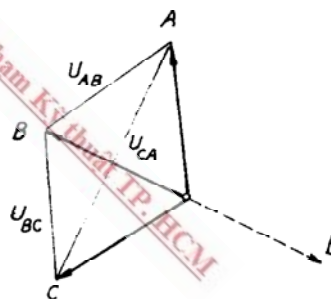
#### 1. Cách kí hiệu đầu dây :

Các đầu tận cùng của dây quấn máy biến áp, 1 đầu gọi là đầu đầu, đầu kia gọi là đầu cuối.

- Đối với MBA 1 pha thì có thể tùy ý chọn đầu đầu và đầu cuối.
- Đối với MBA 3 pha, các đầu đầu và đầu cuối phải chọn 1 cách thống nhất : giả sử dây quấn pha A chọn đầu đầu đến đầu cuối đi theo chiều kim đồng hồ (hình 2.1a) thì các dây quấn pha B và C còn lại cũng phải được chọn như vậy (hình 2.1b, c). Điều này rất cần thiết bởi vì 1 pha dây quấn kí hiệu ngược thì điện áp lấy ra mất tính đối xứng (hình 2.2).



Hình 2.1 Cách qui ước các đầu đầu và đầu cuối của dây quấn ba pha.



Hình 2.2 Điện áp dây không đối xứng lúc kí hiệu ngược hay đầu ngược 1 pha.

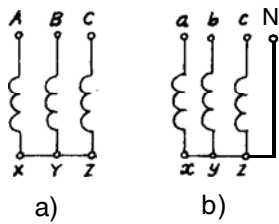
Cách qui ước các đầu đầu và đầu cuối của dây quấn MBA 3 pha :

các đầu tận cùng	dây quấn cao áp			dây quấn hạ áp			Sơ đồ kí hiệu dây quấn
Đầu đầu	A	B	C	a	b	c	
Đầu cuối	X	Y	Z	x	y	z	
Đầu trung tính	0			0			

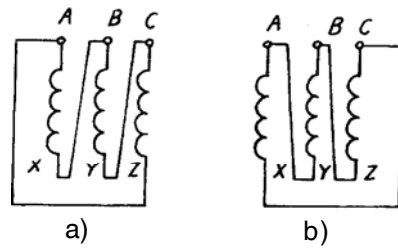
#### 2. Các kiểu đấu dây quấn:

Dây quấn MBA có thể đấu theo các kiểu chính sau :

- Đấu hình sao (Y): Khi đấu sao thì ba đầu X, Y, Z nối lại với nhau, còn ba đầu A, B, C để tự do (hình 2.3a). Nếu đấu sao có dây trung tính thì gọi là đấu hình sao không (Y<sub>0</sub> hình 2.3b). Dây quấn đấu Y<sub>0</sub> thông dụng đối với MBA cung cấp cho tải



Hình 2.3 Đấu Y và đấu sao không



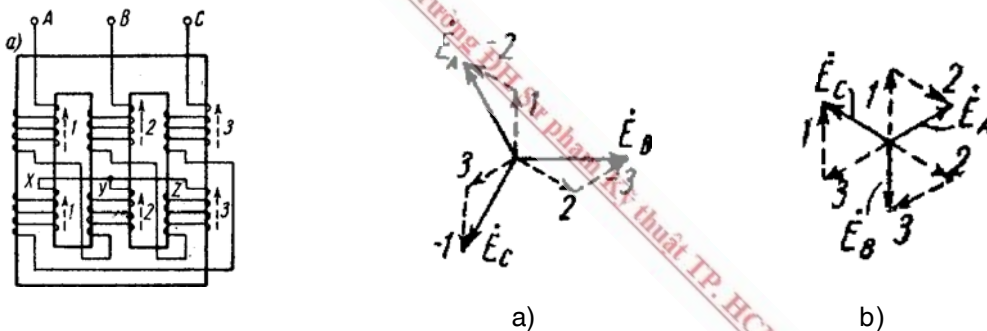
Hình 2.4 Đấu tam giác dây quấn MBA

hỗn hợp vừa dùng điện áp dây để chạy động cơ, vừa dùng điện áp pha để thắp sáng.

- Đấu hình tam giác ( $\Delta$ ) thì đầu cuối của pha này đấu với đầu đầu của pha kia: có thể đấu theo 2 kiểu hoặc theo thứ tự AX-BY-CZ-A (hình 2.4a) hoặc theo thứ tự AX-CZ-BY-A (hình 2.4b). Cách đấu tam giác được dùng nhiều khi không cần điện áp pha.

- Đấu hình tam giác hở (đấu hình V): Thường dùng cho tổ MBA 3 pha khi sửa chữa hoặc hư hỏng một máy.

- Đấu hình zíc zắc (Z) : Lúc đó mỗi pha dây quấn gồm 2 nửa cuộn dây ở trên 2 trụ khác nhau nối nối tiếp nhau.



Hình 2.5 Đấu zíc zắc dây quấn MBA

a) Khi 2 nửa dây quấn nối nối tiếp ngược;  
b) Khi 2 nửa dây quấn nối nối tiếp thuận

Kiểu đấu dây này rất ít dùng vì tổn nhiều đồng hơn và thường chỉ gặp trong các máy biến áp dùng cho các thiết bị chỉnh lưu hoặc MBA đo lường để hiệu chỉnh sai số về góc lệch pha.

### 3. Tổ nối dây của MBA:

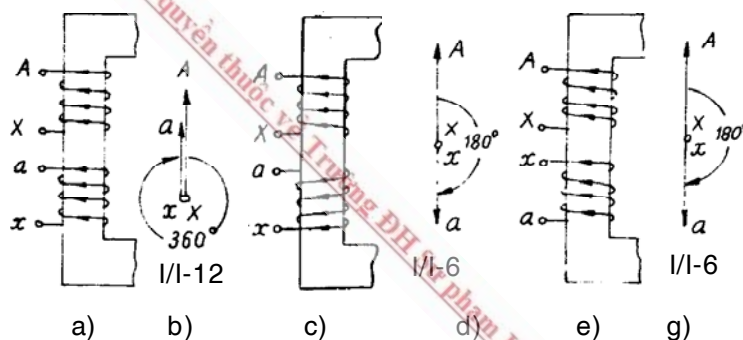
Được hình thành do sự phối hợp kiểu đấu dây sơ cấp so với kiểu đấu dây thứ cấp. Nó biểu thị góc lệch pha giữa s.đ.đ dây sơ cấp và thứ cấp của máy biến áp. Góc lệch pha này phụ thuộc vào các yếu tố :

- Chiều quấn dây.
- Cách kí hiệu đấu dây.
- Kiểu đấu dây quấn giữa sơ và thứ cấp.

Muốn xác định và gọi tên 1 tổ đấu dây ta phải chấp nhận các giả thiết sau :

- Các dây quấn cùng chiều trên trụ thép.
- Chiều S.đ.đ trong dây quấn hoặc chạy từ đầu cuối đến đầu đầu hoặc ngược lại.

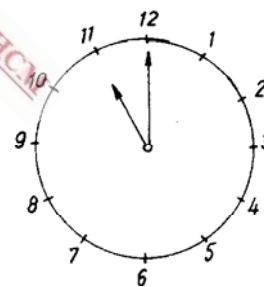
Ta hãy xét 1 MBA 1 pha có 2 dây quấn sơ cấp AX, thứ cấp ax như hình 2.6. Nếu 2 dây quấn được quấn cùng chiều trên trụ thép, kí hiệu các đầu dây như nhau (ví dụ A, a ở phía trên; X, x ở phía dưới như hình 2.6 a) thì s.đ.đ cảm ứng trong chúng khi có từ thông biến thiên đi qua sẽ hoàn toàn trùng pha nhau (hình 2.6 b). Nếu đổi chiều dây quấn của 1 trong 2 dây quấn, ví dụ dây của dây quấn thứ cấp ax (như hình 2.6 c) hoặc đổi kí hiệu đầu dây, cũng dây quấn thứ cấp ax (hình 2.6 e) thì s.đ.đ trong chúng sẽ hoàn toàn ngược pha nhau (hình 2.6 d, g). Trường hợp thứ nhất, góc lệch pha giữa các s.đ.đ kể từ véc tơ s.đ. đ sơ cấp đến véc tơ s.đ.đ thứ cấp theo chiều kim đồng hồ là  $360^\circ$  (I/I-12); Hai trường hợp sau là  $180^\circ$  (I/I-6).



Hình 2.6 Tổ nối dây của máy biến áp một pha

Ở MBA 3 pha còn do cách đấu Y,  $\Delta$  với những thứ tự khác nhau mà góc lệch pha giữa các s.đ.đ dây sơ và thứ cấp có thể là  $30^\circ, 60^\circ, \dots 360^\circ$ .

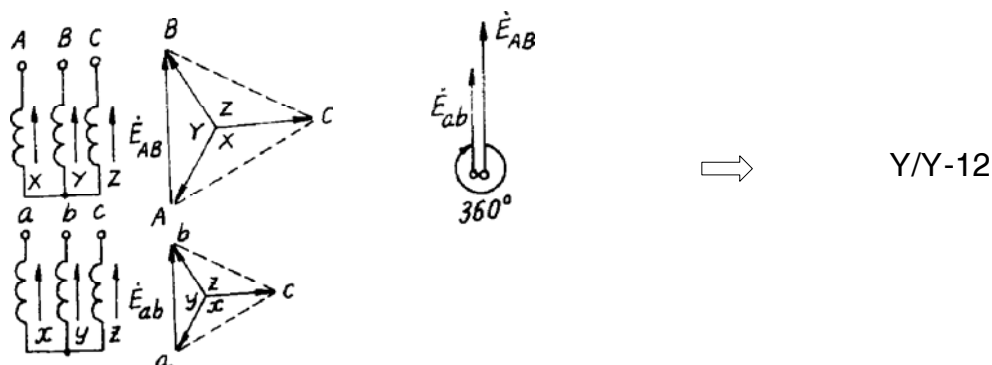
Trong thực tế để thuận tiện người ta không dùng độ để chỉ góc lệch pha đó mà dùng phương pháp kim đồng hồ để biểu thị và gọi tên tổ nối dây của MBA. Kim dài của đồng hồ chỉ điện áp dây sơ cấp đặt cố định ở số 12. Kim ngắn của đồng hồ chỉ điện áp dây thứ cấp tương ứng với các con số : 1, 2, 3, ... 12, tùy theo góc lệch pha là  $30^\circ, 60^\circ, 90^\circ \dots 360^\circ$ .



Hình 2.7 Phương pháp kí hiệu tổ nối dây theo phương pháp kim đồng hồ

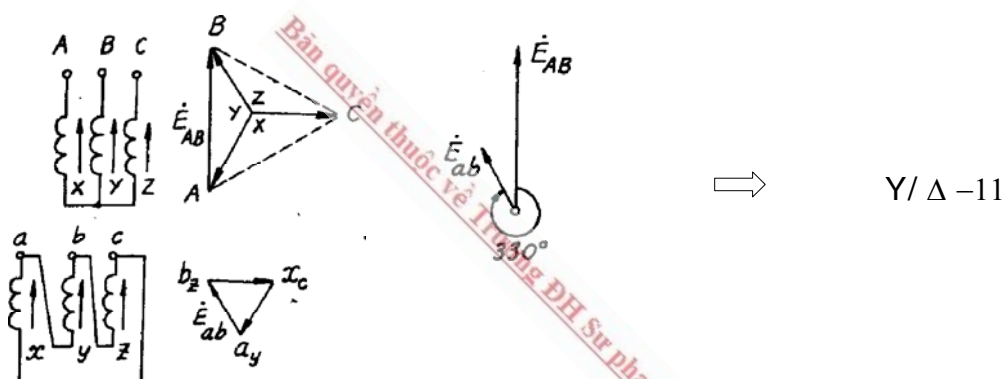
Thí dụ

a) Tổ nối dây Y/Y:



Nếu đổi chiều quấn dây hay đổi ký hiệu đầu dây của dây quấn dây Y/Y-6. hoán vị thứ tự các pha thứ cấp, ta sẽ có các tổ nối dây chẵn 2, 4, 8, 10.

b) Tổ đấu dây Y/Δ:



Thay đổi chiều quấn dây hay đổi ký hiệu đầu dây của dây quấn dây Y/Δ-5. hoán vị các pha thứ cấp ta sẽ có các tổ nối dây lẻ 1, 3, 7, 9.

Sản xuất nhiều máy biến áp có tổ nối dây khác nhau rất bất lợi cho việc chế tạo và sử dụng, vì thế trên thực tế ở nước ta và liên xô cũ chỉ sản xuất các máy biến áp điện lực thuộc các tổ nối dây sau: Máy biến áp một pha có tổ I/I-12, máy biến áp ba pha có các tổ Y/Y<sub>0</sub>-12, Y/Δ-11 và Y<sub>0</sub>/Δ-11. Phạm vi ứng dụng của chúng được ghi trong bảng dưới đây:

Tổ nối dây	Điện áp		Dung lượng của máy biến áp (KVA)
	CA (KV)	HA (V)	
Y/Y <sub>0</sub> -12	≤ 35	230	≤ 560
		400	≤ 1800
Y/Δ-11	≤ 35	525	≤ 1800
		≥ 525	≥ 5600
		≥ 110	≥ 3150
Y <sub>0</sub> /Δ-11	≥ 6,3	≥ 3300	≥ 7500

## § 2.3 Mạch từ của máy biến áp

### 1. Các dạng mạch từ

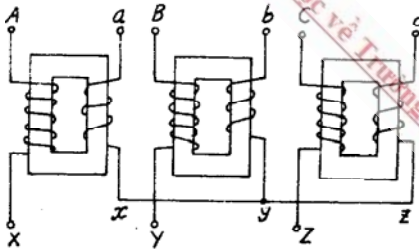
a) Máy biến áp 1 pha : có 2 loại kết cấu mạch từ

- Máy biến áp kiểu lõi: là MBA có dây quấn bọc các trụ của lõi thép.
- Máy biến áp kiểu bọc: là máy biến áp có mạch từ được phân nhánh ra hai bên và "bọc" lấy một phần dây quấn.

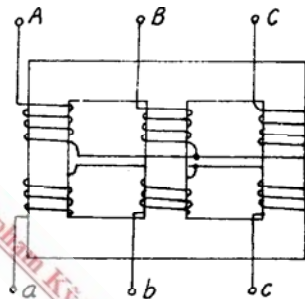
b) Máy biến áp 3 pha : Dựa vào sự liên quan hay không liên quan của các mạch từ giữa các pha người ta chia ra :

- Hệ thống mạch từ riêng : là hệ thống mạch từ trong đó từ thông của 3 pha độc lập đối với nhau. Như trường hợp máy biến áp 3 pha ghép từ 3 máy biến áp 1 pha, gọi tắt là tổ máy biến áp 3 pha.

- Hệ thống mạch từ chung : là hệ thống mạch từ trong đó từ thông 3 pha có liên quan với nhau như ở máy biến áp 3 pha kiểu trụ, để phân biệt với kiểu trên người ta gọi là máy biến áp 3 pha 3 trụ.



Hình 2.8a Tổ m.b.a ba pha



Hình 2.8b M.b.a ba pha 3 trụ

### 2. Những hiện tượng xuất hiện khi từ hóa lõi thép MBA

Khi từ hóa lõi thép máy biến áp do mạch từ bão hòa làm xuất hiện những hiện tượng mà 1 trong số các hiện tượng đó có thể ảnh hưởng đến tình trạng làm việc của máy biến áp. Chúng ta khảo sát xem dòng điện từ hóa  $i_0$  sinh ra  $\Phi$  như thế nào khi máy biến áp làm việc không tải.

a) Máy biến áp 1 pha :

Điện áp đặt vào dây quấn sơ cấp sẽ sinh ra  $i_0$ ,  $i_0$  sinh ra  $\Phi$  chạy trong lõi thép. Nếu điện áp đặt vào biến thiên hình sin theo thời gian:

$$U = U_m \sin \omega t$$

Và coi máy biến áp không có từ thông rò, không có tổn hao đồng trong dây quấn và tổn hao trong sắt, thì  $U = -e = w \frac{d\Phi}{dt}$

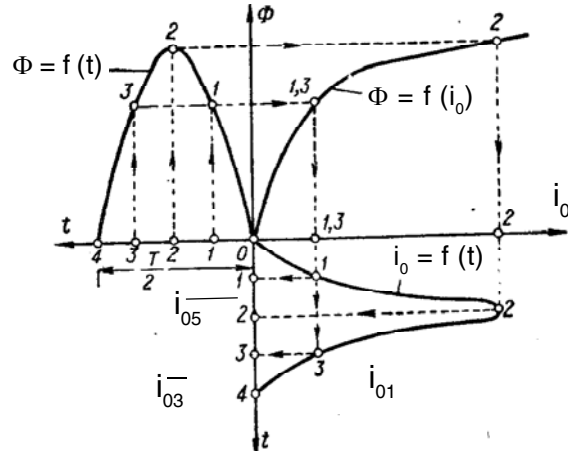
Nghĩa là từ thông cũng biến thiên hình sin theo thời gian:

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



α. Nếu bỏ qua tổn hao trong lõi thép:

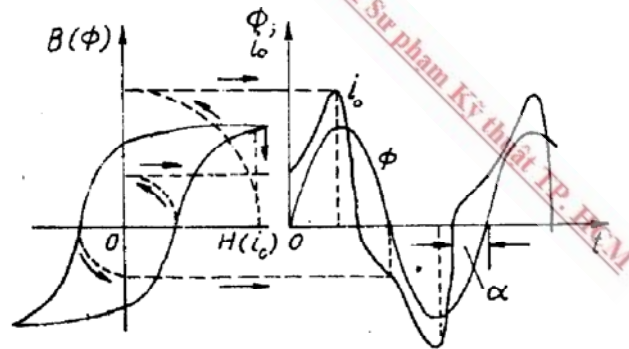
-  $i_0$  thuần túy là dòng điện phản kháng để từ hóa lõi thép  $i_0 = i_{ox}$ . Do đó quan hệ  $\Phi = f(i_0)$  chính là quan hệ từ hóa  $B = f(H)$ . Dựa vào đường  $\Phi = f(i_0)$  ứng với mỗi giá trị tức thời của  $\Phi = f(t)$  ta dễ dàng tìm được trị số  $i_0$  tương ứng và vẽ được đường biểu diễn  $i_0 = f(t)$ .



Hình 2.9 Bỏ qua ảnh hưởng của từ trễ

- Ta thấy do hiện tượng bão hòa của lõi thép, nếu  $\Phi$  là hình sin,  $i_0$  sẽ không sin mà có dạng nhọn đầu và trùng pha với  $\Phi$ . Nghĩa là  $i_0$  ngoài thành phần sóng cơ bản  $i_{01}$  còn có các thành phần sóng điều hòa bậc cao  $i_{03}, i_{05}, i_{07}, \dots$ . Trong đó thành phần  $i_{03}$  lớn nhất và đáng kể hơn cả, còn các thành phần khác rất bé có thể bỏ qua. Ta có thể xem chính  $i_{03}$  làm cho  $i_0$  có dạng nhọn đầu, cũng từ lý luận ấy ta thấy nếu mạch từ càng bão hòa  $i_0$  càng nhọn đầu.

β. Nếu kể đến tổn hao trong lõi thép: thì quan hệ  $\Phi = f(i_0)$  là quan hệ từ trễ  $B = f(H)$

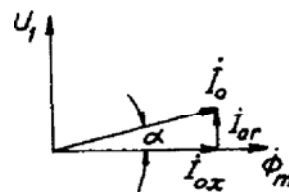


Hình 2.10 Ảnh hưởng của từ trễ đến dòng điện

Từ quan hệ  $\Phi = f(t)$  và  $\Phi = f(i_0)$  ta vẽ được đường biểu diễn quan hệ  $i_0 = f(t)$ . Từ đường cong  $i_0 = f(t)$  cho ta thấy nếu  $\Phi$  là hình sin thì  $i_0$  có dạng nhọn đầu nhưng vượt pha so với  $\Phi$  một góc  $\alpha$ ,  $\alpha$  lớn hay bé tùy theo mức độ từ trễ của  $B$  đối với  $H$  nhiều hay ít. Nếu tượng trưng  $\Phi$  là 1 véc tơ nằm ngang thì  $i_0$  vượt trước  $\Phi$  một góc  $\alpha$ :

$i_{ox}$ : Thành phần dòng điện phản kháng để sinh ra  $\Phi$  trong lõi thép, cùng chiều với  $\Phi$ .

$i_{or}$ : Thành phần dòng điện tác dụng, vuông góc với  $i_{ox}$  là dòng điện gây nên tổn hao sắt từ trong lõi thép.



Hình 2.11 Dòng điện từ hoá và các thành phần của nó

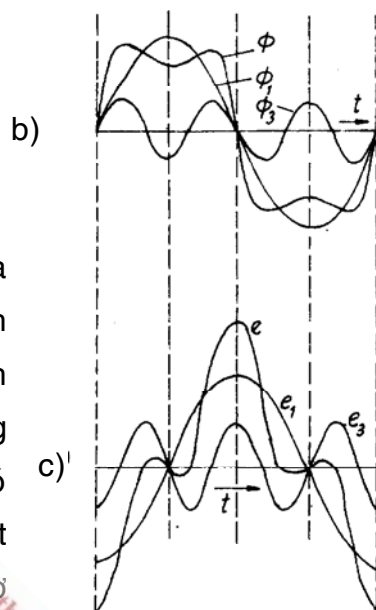
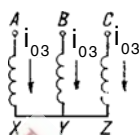
b) Máy biến áp 3 pha:

Khi không tải nếu xét từng pha riêng lẻ thì dòng điện bậc 3 trong các pha là:

$$\begin{aligned} i_{03A} &= i_{03m} \sin 3\omega t \\ i_{03B} &= i_{03m} \sin 3(\omega t - 120) = i_{03m} \sin 3\omega t \\ i_{03C} &= i_{03m} \sin 3(\omega t - 240) = i_{03m} \sin 3\omega t \end{aligned} \quad (1)$$

Dòng điện trùng pha nhau về thời gian, nghĩa là tại mọi điểm chiều của dòng điện có trong 3 pha hoặc hướng từ đầu đầu đến đầu cuối dây quấn hoặc ngược lại. Song chúng tồn tại hay không và dạng sóng như thế nào còn phụ thuộc vào kết cấu mạch từ và cách đấu dây quấn.

α. Trường hợp máy biến áp nối Y/Y



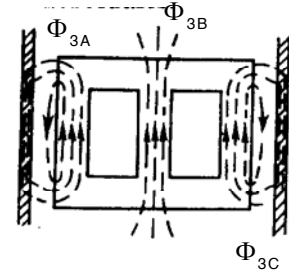
Hình 2.13 Đường biểu diễn từ thông (b) và s.d.đ của tổ m.b.a 3 pha nối Y/Y

Điện áp dây không có những thành phần điều hòa bội số của 3 về mặt vật lí, điều này được giải thích là dọc theo 1 trong 2 mạch vòng làm thành hình sao s.d.đ, những thành phần điều hòa này tác dụng ngược nhau (h a). Do đó dòng điện từ hóa  $i_0$  sẽ có dạng hình sin và từ thông do nó sinh ra có dạng vật đầu (h b). Có thể xem từ thông tổng gồm sóng cơ bản  $\Phi_1$  và các sóng điều hòa bậc cao  $\Phi_3, \Phi_5, \dots$  các thành phần điều hòa lớn hơn 3 là rất nhỏ nên ta có thể bỏ qua chỉ vẽ  $\Phi_1$  và  $\Phi_3$  (h b)

Đối với tổ máy biến áp 3 pha vì mạch từ của cả 3 pha riêng lẻ, từ thông của cả 3 pha cùng chiều tại mọi thời điểm sẽ dễ dàng khép kín như  $\Phi_1$ . Do thế có từ trở bé nên  $\Phi_3 = (15 \div 20)\% \Phi_1$ , thì  $e_3 = (45 \div 60)\% e_1$  do đó  $e = e_1 + e_3$  sẽ có dạng nhọn đầu như h c. Nghĩa là biên độ của s.d.đ pha tăng lên rõ rệt. Sự tăng vọt của s.d.đ lên như vậy hoàn toàn không có lợi và trong nhiều trường hợp rất nguy hiểm như chọc thủng cách điện của dây quấn, làm hỏng thiết bị đo lường... Bởi vì những lí do đó người ta không dùng kiểu đấu Y/Y cho tổ máy biến áp 3 pha. Cũng cần phải nói thêm rằng là s.d.đ pha có trị số và biên độ biến đổi đi nhiều nhưng các s.d.đ dây vẫn luôn hình sin. Vì dây quấn nối Y thì s.d.đ dây không có thành phần bậc 3.

Đối với máy biến áp 3 pha 3 trụ vì thuộc hệ thống mạch từ chung nên hiện tượng sẽ khác đi, từ thông cùng chiều và bằng nhau trong 3 trụ thế nên chúng không thể

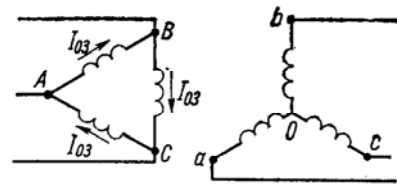
khép mạch từ trụ này qua trụ khác mà bị đẩy ra ngoài khép mạch từ gông này đến gông kia qua không khí hoặc dầu là môi trường có từ trở lớn,  $\Phi_3$  không lớn lắm nên có thể coi s.đ.đ pha là hình sin. Song cần chú ý  $\Phi_3$  đập mạch với tần số  $3f$  qua vách thùng, bu lông ghép . . . sẽ gây nên những tổn hao phụ làm giảm  $\eta$  của máy biến áp. Do đó phương pháp đấu Y/Y đối với máy biến áp 3 pha ba trụ cũng chỉ áp dụng cho các m.b.a với dung lượng hạn chế từ 5600 kVA trở xuống.



Hình 2.14 Từ thông điều hoà bậc 3 trong m.b.a 3 pha 3 trụ.

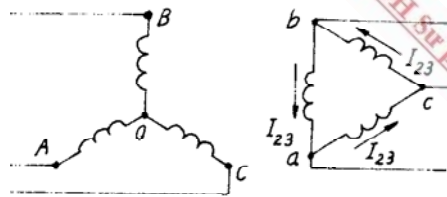
β. Trường hợp máy biến áp nối Δ/Y:

Dây quấn sơ cấp đấu Δ nên  $i_{o3}$  khép kín trong Δ đó.  $i_o$  có  $i_{o3}$  sẽ có dạng nhọn đầu, nên tương tự như máy biến áp 1 pha đã xét  $\Phi$  và  $e$  đều có dạng hình sin. Không có trường hợp bất lợi. Cách đấu này có thể sử dụng cho các loại máy biến áp.

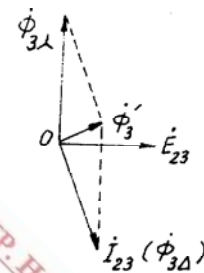


Hình 2.15 Dòng điện điều hoà bậc 3 trong dây quấn nối Δ/Y khi không tải.

γ. Trường hợp máy biến áp nối Y/Δ:



Hình 2.15 Dòng điện điều hoà bậc 3 trong dây quấn nối Y/Δ khi không tải.



Hình 2.15 Dòng điện điều hoà bậc 3 trong dây quấn nối Y/Δ khi không tải.

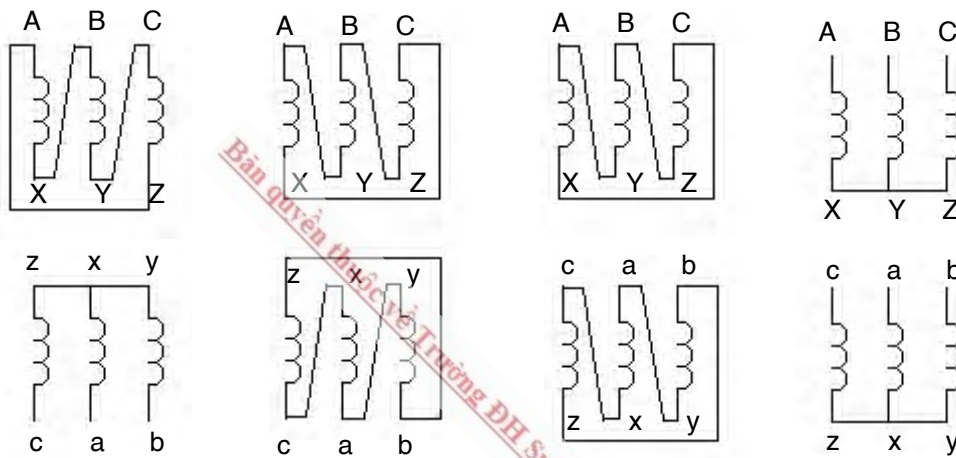
Do dây quấn sơ cấp nối Y,  $i_{o3}$  không có nên  $\Phi$  có dạng vọt đầu nghĩa là có từ thông bậc 3:  $\Phi_{3\lambda}$ ,  $\Phi_{3\delta}$  sẽ cảm ứng trong dây quấn thứ cấp s.đ.đ bậc 3:  $E_{23}$  chậm sau  $\Phi_{3\lambda}$  90°. Đến lượt  $E_{23}$  gây ra dòng điện bậc 3 trong mạch vòng thứ cấp nối Δ  $I_{23}$ . Vì điện kháng (X) dây quấn lớn nên có thể xem  $I_{23}$  chậm sau  $E_{23} = 90^\circ$ . Rõ ràng là  $I_{23}$  sẽ sinh ra từ thông thứ cấp  $\Phi_{3\delta}$  (coi như trùng pha với  $I_{23}$ ) gần như ngược pha với  $\Phi_{3\lambda}$ . Do đó từ thông tổng bậc 3:  $\Phi'_3 = \Phi_{3\lambda} + \Phi_{3\delta}$  gần như bị triệt tiêu. Ảnh hưởng của từ thông bậc 3 không đáng kể, s.đ.đ pha gần như hình sin. Tóm lại khi m.b.a làm việc không tải, các cách đấu Δ/Y hay Y/Δ đều tránh được tác hại của từ thông và s.đ.đ điều hoà bậc 3.

### Câu hỏi

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

### Bài tập

Hãy xác định tổ nối dây của máy biến áp trên hình vẽ sau



Đáp số:  $\Delta$ /Y-9;  $\Delta$ / $\Delta$ -10;  $\Delta$ / $\Delta$ -4; Y/Y - 4

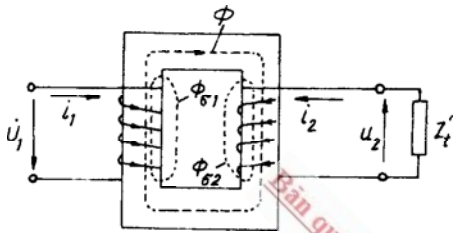
### Chương 3: QUAN HỆ ĐIỆN TỪ TRONG MÁY BIẾN ÁP

Trong chương này chúng ta nghiên cứu sự làm việc của máy biến áp lúc tải của nó là đối xứng. Như vậy mọi vấn đề liên quan đều được xét trên 1 pha của máy biến áp 3 pha hay trên các máy biến áp 1 pha.

#### § 3.1. Các phương trình cơ bản của máy biến áp

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

##### 1. Phương trình cân bằng s.đ.đ:



Hình 3.1 M. b.a một pha làm việc có tải

Ta xét 1 MBA 1 pha. Khi đặt vào dây quấn sơ cấp 1 điện áp xoay chiều  $U_1$  thì trong đó sẽ có  $i_1$  chạy. Nếu thứ cấp có tải thì trong dây quấn thứ cấp sẽ có  $i_2$  chạy.  $i_1$  và  $i_2$  tạo nên các s.t.đ  $F_1 = i_1 w_1$ ;  $F_2 = i_2 w_2$ . S.t.đ  $F_1, F_2$  sinh ra  $\Phi$  móc vòng dây quấn 1 và 2, gây ra các s.đ.đ:

$$e_1 = -w_1 \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d\Psi_1}{dt} \quad (3-1)$$

$$e_2 = -w_2 \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d\Psi_2}{dt}$$

Trong đó  $\Psi_1 = w_1 \Phi$ ,  $\Psi_2 = w_2 \Phi$  là từ thông móc vòng với dây quấn 1 và 2 ứng với từ thông chính  $\Phi$ .

Còn 1 phần rất nhỏ từ thông do  $F_1, F_2$  sinh ra bị tản ra ngoài lõi thép, khep kín mạch qua không khí hoặc dầu gọi là các từ thông tản  $\Phi_{\sigma 1}, \Phi_{\sigma 2}$ .  $\Phi_{\sigma 1}$  do  $i_1$  sinh ra chỉ móc vòng với dây quấn sơ cấp;  $\Phi_{\sigma 2}$  do  $i_2$  sinh ra chỉ móc vòng với dây quấn thứ cấp. Các từ thông tản cũng gây nên các s.đ.đ tản tương ứng :

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

$$e_{\sigma 2} = -w_2 \frac{d\Phi_{\sigma 2}}{dt} = -\frac{d\Psi_{\sigma 2}}{dt}$$

Trong đó:  $\Psi_{\sigma 1} = w_1 \Phi_{\sigma 1}$ ,  $\Psi_{\sigma 2} = w_2 \Phi_{\sigma 2}$  là từ thông tản móc vòng với dây quấn sơ cấp và thứ cấp.

Vì các từ thông tản chủ yếu đi qua môi trường không từ tính, có độ từ thẩm  $\mu = C^{te}$  (như dầu, không khí, đồng . . .) Nên có thể xem  $\Psi_{\sigma 1}, \Psi_{\sigma 2}$  tỉ lệ với các dòng điện tương ứng sinh ra chúng qua các hệ số điện cảm tản  $L_{\sigma 1}, L_{\sigma 2}$  là những hằng số:

$$\begin{aligned}\Psi_{\sigma 1} &= L_{\sigma 1} i_1 \\ \Psi_{\sigma 2} &= L_{\sigma 2} i_2\end{aligned}\quad (3-3)$$

Do đó các S.đ.đ tần sơ và thứ cấp có thể viết :

$$e_{\sigma 1} = -L_{\sigma 1} \frac{di_1}{dt} \quad ; \quad e_{\sigma 2} = -L_{\sigma 2} \frac{di_2}{dt}$$

Theo định luật Kirchoff 2 ta có phương trình cân bằng s.đ.đ dây quấn sơ cấp :

$$U_1 + e_1 + e_{\sigma 1} = i_1 r_1 \quad (3-4)$$

Có thể viết dưới dạng

$$U_1 = -e_1 - e_{\sigma 1} + i_1 r_1$$

Đối với dây quấn thứ cấp ta có :

$$e_2 + e_{\sigma 2} = U_2 + i_2 r_2 \quad \text{Hay} \quad U_2 = e_2 + e_{\sigma 2} - i_2 r_2 \quad (3-5)$$

Nếu điện áp, S.đ.đ, dòng điện là những lượng xoay chiều biến thiên hình sin đối với thời gian thì (3-4) và (3-5) có thể biểu diễn dưới dạng phức sau :

$$\text{Đối với dây quấn sơ:} \quad \dot{U}_1 = -\dot{E}_1 - \dot{E}_{\sigma 1} + \dot{i}_1 r_1 \quad (3-6)$$

$$\text{Đối với dây quấn thứ:} \quad \dot{U}_2 = \dot{E}_2 + \dot{E}_{\sigma 2} - \dot{i}_2 r_2 \quad (3-7)$$

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

$$\begin{aligned}e_{\sigma 1} &= -L_{\sigma 1} \frac{di_{1m} \sin \omega t}{dt} = -i_{1m} \omega L_{\sigma 1} \cos \omega t \quad (3-8) \\ &= \sqrt{2} i_1 X_1 \sin \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right) \\ &= \sqrt{2} e_{\sigma 1} \sin \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right)\end{aligned}$$

Nghĩa là  $e_{\sigma 1}$  cũng biến thiên hình sin theo thời gian và chậm pha so với  $i_1$  góc  $90^\circ$  do đó trị số hiệu dụng của nó có thể được biểu diễn dưới dạng số phức :

$$\dot{E}_{\sigma 1} = -j i_1 X_1$$

Trong đó :  $X_1 = \omega L_{\sigma 1}$  gọi là điện kháng tần của dây quấn sơ cấp

$$\text{Tương tự ta có} \quad \dot{E}_{\sigma 2} = -j i_2 X_2$$

Trong đó :  $X_2 = \omega L_{\sigma 2}$  gọi là điện kháng tần của dây quấn thứ cấp

Thay các trị số  $\dot{E}_{\sigma 1}$  ,  $\dot{E}_{\sigma 2}$  vào (3-6), (3-7) ta có các phương trình cân bằng s.đ.đ sau :

$$\begin{aligned}\dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 + j i_1 X_1 + \dot{i}_1 r_1 = -\dot{E}_1 + \dot{i}_1 (r_1 + j X_1) = -\dot{E}_1 + \dot{i}_1 Z_1 \\ \dot{U}_2 &= \dot{E}_2 - j i_2 X_2 - \dot{i}_2 r_2 = \dot{E}_2 - \dot{i}_2 (r_2 + j X_2) = \dot{E}_2 - \dot{i}_2 Z_2\end{aligned}\quad (3-9)$$

Trong đó  $Z_1 = r_1 + j X_1$  ;  $Z_2 = r_2 + j X_2$  : Tổng trở của dây quấn sơ và thứ cấp. Các thành phần  $\dot{i}_1 Z_1$  ;  $\dot{i}_2 Z_2$  gọi là điện áp rơi trên các dây quấn sơ và thứ cấp.

## 2. Phương trình cân bằng sức từ động:

Sức từ động chính là số ampe vòng để sinh ra  $\Phi$ .

Khi có tải : tổng s.t.đ  $F = i_1 w_1 + i_2 w_2$  sinh ra  $\Phi$ .

Khi không tải s.t.đ  $F_0 = i_0 w_1$

sinh ra  $\Phi$ .

Nếu bỏ qua điện áp rơi thì có thể xem điện áp đặt vào dây quấn sơ cấp bằng s.t.đ cảm ứng trong nó do từ thông chính gây nên:  $U_1 = E_1 = 4,44 f w_1 \Phi_m$ . Coi công suất lưới điện là vô cùng lớn  $U_1 = C^{te}$  dù có tải hay không tải nên  $E_1, \Phi_m = C^{te}$ . Từ đó ta có phương trình cân bằng s.t.đ:

$$i_1 w_1 + i_2 w_2 = i_0 w_1$$

Viết dưới dạng số phức (Khi  $i = f(t)$  là hình sin)

$$\dot{I}_1 w_1 + \dot{I}_2 w_2 = \dot{I}_0 w_1$$

Chia 2 vế của phương trình cho  $w_1$  ta có:

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 + \dot{I}_2 \frac{w_2}{w_1} &= \dot{I}_0 \\ \dot{I}_1 &= \dot{I}_0 + \left( -\dot{I}_2 \frac{w_2}{w_1} \right) \\ \dot{I}_1 &= \dot{I}_0 + \left( -\dot{I}_2' \right) \end{aligned} \quad (3-10)$$

Từ biểu thức (3-10) ta nhận thấy: lúc máy biến áp có tải, dòng điện trong dây quấn sơ cấp  $I_1$  như gồm 2 thành phần. Một thành phần là  $I_0$  dùng để tạo nên từ thông chính trong lõi thép và 1 thành phần là  $-I_2'$  dùng để bù lại tác dụng của dòng điện thứ cấp. Do đó khi tải tăng, tức dòng điện thứ cấp  $I_2$  tăng thì thành phần  $-I_2'$  cũng tăng nghĩa là  $I_1$  tăng để giữ sao cho  $I_0$  đảm bảo sinh ra  $\Phi_m = C^{te}$ .

### § 3.2. Mạch điện thay thế của máy biến áp

Để tiện lợi cho việc nghiên cứu, tính toán máy biến áp người ta thay các mạch điện và mạch từ của máy biến áp bằng một mạch điện tương đương gồm các điện trở và điện kháng đặc trưng cho máy biến áp gọi là mạch điện thay thế của máy biến áp. Để có thể nối trực tiếp mạch sơ cấp và thứ cấp với nhau thành một mạch điện, các dây quấn sơ và thứ cấp phải có cùng một điện áp. Trên thực tế điện áp các dây quấn đó lại khác nhau ( $U_1$  khác  $U_2$ ). Vì vậy phải qui đổi một trong hai dây quấn về dây quấn kia để cho chúng có cùng chung một cấp điện áp. Muốn vậy hai dây quấn phải có số vòng dây như nhau. Thường người ta qui đổi dây quấn thứ cấp về dây quấn sơ cấp, nghĩa là coi như dây quấn thứ cấp cũng có số vòng dây bằng số vòng dây quấn sơ cấp ( $w_2 = w_1$ ). Việc qui đổi chỉ thuận lợi cho việc tính toán chứ tuyệt nhiên không được làm thay đổi các quá trình vật lý và năng lượng xảy ra trong máy biến áp.

## 1. Qui đổi máy biến áp:

Trước tiên tất cả các lượng qui đổi từ thứ cấp về sơ cấp được gọi là những lượng qui đổi và được kí hiệu thêm một dấu phẩy ở trên đầu. Thí dụ sức điện động thứ cấp qui đổi  $E'_2$ .

### a) S.đ.đ và điện áp thứ cấp qui đổi $E'_2$ và $U'_2$ :

Do qui đổi dây quấn thứ cấp về dây quấn sơ cấp  $w_2 = w_1$  nên  $E'_2 = E_1$ .

Ta đã biết :  $k = \frac{w_1}{w_2} = \frac{E_1}{E_2}$  nên  $E_1 = \frac{w_1}{w_2} E_2$

$$E'_2 = \frac{w_1}{w_2} E_2 = k E_2$$

Tương tự ta có :  $U'_2 = k \cdot U_2$ .

### b) Dòng điện thứ cấp qui đổi $I'_2$ :

Việc qui đổi phải đảm bảo cho  $P = C^{te}$  trước và sau khi qui đổi, nghĩa là :

$$E_2 I_2 = E'_2 I'_2 \quad \text{nhên} \quad I'_2 = \frac{E_2}{E'_2} I_2 = \frac{1}{k} I_2$$

### c) Điện trở, điện kháng, tổng trở thứ cấp qui đổi $r'_2, x'_2, z'_2$ :

Khi qui đổi  $P = C^{te}$  nên tổn hao đồng trong dây quấn thứ cấp trước và sau khi qui đổi phải bằng nhau, nghĩa là :  $I_2^2 r_2 = I'^2_2 r'_2$

$$r'_2 = \left( \frac{I_2}{I'_2} \right)^2 r_2 = k^2 r_2$$

Tương tự có điện kháng thứ cấp qui đổi

$$x'_2 = k^2 x_2$$

Tổng trở thứ cấp qui đổi

$$z'_2 = r'_2 + jx'_2 = k^2 (r_2 + jx_2)$$

Tổng trở của phụ tải qui đổi

$$z'_t = k^2 z_t$$

$z_t = r_t + jx_t$  : Tổng trở tải lúc chưa qui đổi .

### d) Các phương trình qui đổi :

Thay các lượng qui đổi vào các phương trình cân bằng s.đ.đ và s.t.đ ở trên ta có hệ thống các phương trình đó viết dưới dạng qui đổi :

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 z_1$$

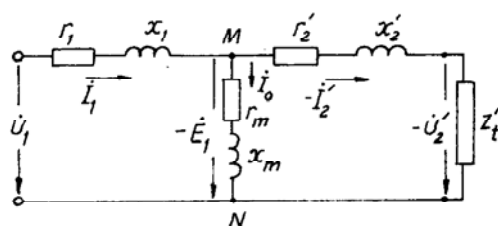
$$\dot{U}'_2 = \dot{E}'_2 - \dot{I}'_2 z'_2$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 - \dot{I}'_2$$



## 2. Mạch điện thay thế của máy biến áp:

Dựa vào các phương trình s.đ.đ và s.t.đ dưới dạng qui đổi, ta có thể suy ra một mạch điện tương ứng gọi là mạch điện thay thế của máy biến áp:

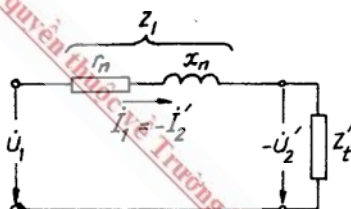


Hình 3.2 Mạch điện thay thế hình T của m.b.a

Với  $z_m = r_m + jx_m$  : tổng trở từ hóa.

## 3. Mạch điện thay thế đơn giản :

Trong thực tế  $z_m \gg z_1$  và  $z'_2$ ;  $z_m = 10 \div 50$  còn  $z_1 \gg z'_2 = 0,025 \div 0,01$  nên có thể coi  $z_m = \infty$ . Nghĩa là coi  $I_0 = 0$ , do đó  $I_1 = -I'_2$ . Như vậy máy biến áp có thể được thay thế bằng 1 mạch điện rất đơn giản sau :



Hình 3.3 Mạch điện thay thế đơn giản của m.b.a

Với :  $z_n = r_n + jx_n$  : Tổng trở ngắn mạch.

$r_n = r_1 + r'_2$  : Điện trở ngắn mạch.

$x_n = x_1 + x'_2$  : Điện kháng ngắn mạch.

### § 3.3. Đồ thị véc tơ của máy biến áp

Để thấy rõ quan hệ về trị số và góc lệch pha giữa các lượng vật lí trong máy biến áp như  $\Phi$ ,  $e$ ,  $I$ , ... Đồng thời để thấy rõ sự biến thiên của các lượng vật lí đó ở những chế độ làm việc khác nhau ta vẽ đồ thị véc tơ của máy biến áp.

#### 1. Đồ thị véc tơ của máy biến áp trong trường hợp tải có tính chất điện cảm:

Dựa vào các phương trình cân bằng s.đ.đ và s.t.đ

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1(r_1 + jx_1)$$

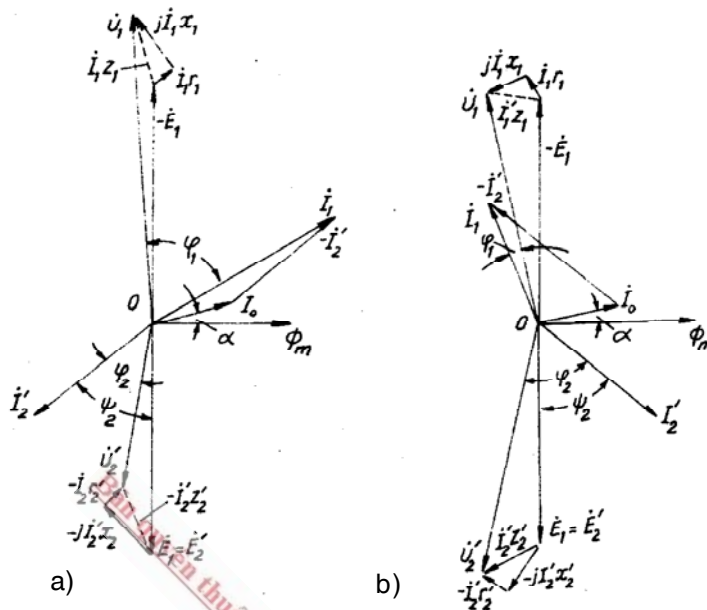
$$\dot{U}'_2 = \dot{E}'_2 - \dot{I}'_2(r'_2 + jx'_2)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 - \dot{I}'_2$$

Đặt véc tơ từ thông  $\Phi_m$  theo chiều dương trục hoành, dòng điện không tải  $I_0$  sinh ra  $\Phi_m$  vượt trước một góc  $\alpha$ . Các s.đ.đ  $E_1$  và  $E'_2$  do  $\Phi_m$  sinh ra chậm sau nó 1 góc  $90^\circ$ . Vì tải có tính chất điện cảm, dòng điện  $I'_2$  chậm sau  $E'_2$  một góc  $\psi_2$  quyết định bởi điện kháng và điện trở của tải và dây quấn thứ cấp:

$$\psi_2 = \arctg \frac{X'_2 + X'_t}{r'_2 + r'_t}$$

Dựa vào các phương trình cân bằng s.đ.đ và s.t.đ ta vẽ được các đồ thị véc tơ



Hình 3.4 Đồ thị véc tơ của m.b.a  
a) Lúc tải có tính cảm; b) Lúc tải có tính dung

## 2. Đồ thị véc tơ của MBA lúc tải có tính chất điện dung :

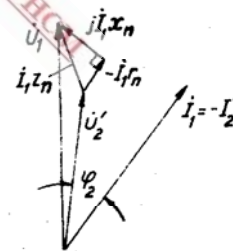
Vẽ trên hình 3.4b, cách vẽ không có gì đặc biệt so với trường hợp trên. Kết quả là  $I'_2$  vượt trước  $U'_2$  một góc  $\varphi_2$  và  $U'_2 > E'_2$

## 3. Đồ thị véc tơ của MBA ứng với giản đồ thay thế đơn giản lúc tải có tính chất điện cảm:

Từ giản đồ thay thế đơn giản ta có:

$$U_1 = -U'_2 + I_1 z_n = -U'_2 + I_1 (r_n + jx_n)$$

Từ đó ta vẽ đồ thị véc tơ như hình 3.5



Hình 3.5 Đồ thị véc tơ của m.b.a ứng với giản đồ thay thế đơn giản lúc tải có tính chất cảm.

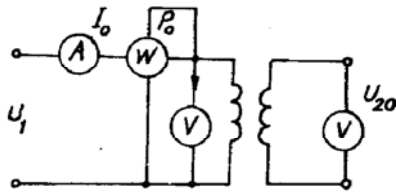
## § 3.4. Cách xác định các tham số của máy biến áp

Các tham số của máy biến áp có thể xác định bằng thí nghiệm hoặc bằng tính toán.

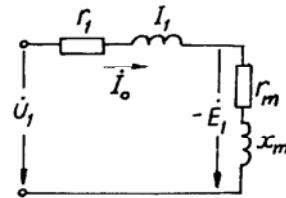
### 1. Phương pháp xác định các tham số bằng thí nghiệm

Có hai thí nghiệm để xác định các tham số của m.b.a là thí nghiệm không tải và thí nghiệm ngắn mạch.

#### a. Thí nghiệm không tải:



Hình 3.6 Sơ đồ thí nghiệm không tải của máy biến áp 1 pha



Hình 3.7 Mạch điện thay thế của m.b.a lúc không tải

Đặt 1 điện áp hình sin vào dây quấn sơ cấp  $U_1 = U_{dm}$ , hở mạch dây quấn thứ cấp, nhờ các vôn met, am pemet, oát met ta sẽ đo được  $U_1, U_{20}, I_0, P_0$ . Từ các số liệu đó ta xác định được tổng trở, điện trở và đện kháng của m.b.a lúc không tải:

$$z_0 = \frac{U_1}{I_0} \quad r_0 = \frac{P_0}{I_0^2} \quad x_0 = \sqrt{z_0^2 - r_0^2}$$

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

$$k = \frac{w_1}{w_2} \approx \frac{U_1}{U_{20}}$$

Và hệ số công suất lúc không tải

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_1 I_0}$$

Lúc không tải  $I_2 = 0$  nên mạch điện thay thế của m.b.a có dạng như hình 3.7. Như vậy các tham số  $z_0, r_0, x_0$  chính là:

$$z_0 = |z_1 + z_m| \quad ; \quad r_0 = r_1 + r_m \quad ; \quad x_0 = x_1 + x_m$$

Trong các m.b.a điện lực  $x_1$  và  $r_1$  rất nhỏ nên coi  $z_0 \approx z_m, r_0 \approx r_m, x_0 \approx x_m$ . Nên người ta coi công suất không tải  $P_0$  thực tế có thể xem là tổn hao sắt  $p_{Fe}$  :

$$P_0 = p_{Fe}$$

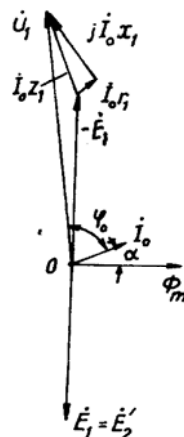
Khi không tải ta có hệ phương trình :

$$U_1 = -E_1 + I_0(r_1 + jx_1)$$

$$U_{20} = E_2$$

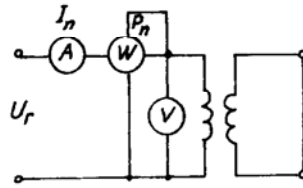
$$I_1 = I_0$$

Do đó đồ thị véc tơ có dạng:



Hình 3.8 Đồ thị véc tơ của m.b.a lúc không tải

## 2. Thí nghiệm ngắn mạch:



Hình 3.9 Sơ đồ thí nghiệm ngắn mạch của m.b.a 1 pha

Dây quấn thứ cấp bị nối ngắn mạch và điện áp dây quấn sơ cấp phải được hạ thấp sao cho dòng điện trong đó bằng dòng điện định mức  $I_n = I_{dm}$ . Từ các máy đo ta biết được  $U_n, I_n, P_n$ :

$$z_n = \frac{U_n}{I_n} \quad r_n = \frac{P_n}{I_n^2} \quad x_n = \sqrt{z_n^2 - r_n^2}$$

Các ngắn mạch  $U_n$  rất bé nên từ thông chính lúc ngắn mạch rất bé nghĩa là  $I_0$  bé do đó mạch điện thay thế của máy biến áp coi như hở mạch từ hóa.



Hình 3.10 Mạch điện hay thế của m.b.a lúc ngắn mạch.

Với:  $z_n = z_1 + z_2'$  ;  $r_n = r_1 + r_2'$  ;  $x_n = x_1 + x_2'$

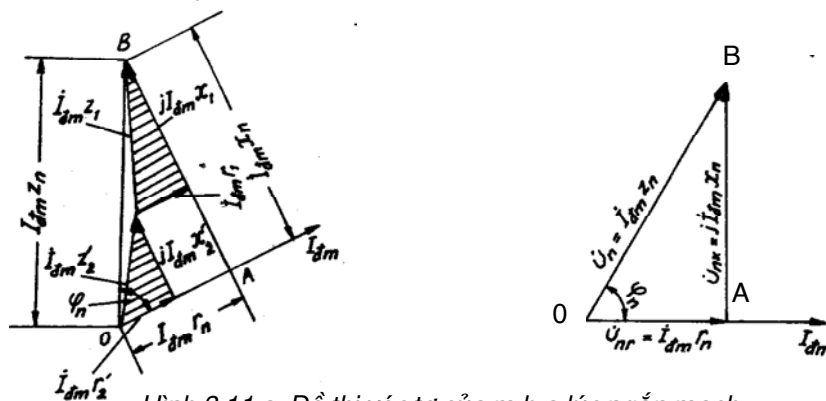
Vì lý do dòng điện  $I_0$  rất nhỏ nên ta xem công suất lúc ngắn mạch  $P_n$  là công suất dùng để bù vào tổn hao đồng trong dây quấn sơ cấp và thứ cấp của m.b.a:

$$P_n = p_{cu1} + p_{cu2} = I_n^2 r_1 + I_n^2 r_2' \\ = I_n^2 (r_1 + r_2') = I_n^2 r_n$$

Từ mạch điện thay thế hình 3.10 ta thấy điện áp ngắn mạch hoàn toàn cân bằng với điện áp rơi trong m.b.a,  $U_n$  gồm 2 thành phần:

- Thành phần tác dụng  $U_{nr} = I_n r_n$  là điện áp rơi trên điện trở.
- Thành phần phản kháng  $U_{nx} = I_n x_n$  là điện áp rơi trên điện kháng.

Đồ thị véc tơ của MBA lúc ngắn mạch:



Hình 3.11 a. Đồ thị véc tơ của m.b.a lúc ngắn mạch.  
b. Tam giác điện áp lúc ngắn mạch

Tam giác OAB gọi là tam giác điện áp ngắn mạch. Cạnh huyền biểu thị điện áp ngắn mạch toàn phần  $U_n$ , các cạnh góc vuông chính là điện áp rơi trên điện trở và điện kháng:

$$U_{nr} = U_n \cos \varphi_n \quad ; \quad U_{nx} = U_n \sin \varphi_n$$

Với  $\varphi_n$  là góc giữa  $I_n$  và  $U_n$ .

Điện áp ngắn mạch được ghi trên nhãn hiệu của máy và thường được biểu diễn bằng tỉ lệ % so với  $U_{dm}$  :

$$u_n \% = \frac{U_n}{U_{dm}} 100 = \frac{I_{dm} Z_n}{U_{dm}} 100$$

Các thành phần điện áp ngắn mạch :

$$u_{nr} \% = \frac{U_{nr}}{U_{dm}} 100 = \frac{I_{dm} r_n}{U_{dm}} 100$$

$$u_{nx} \% = \frac{U_{nx}}{U_{dm}} 100 = \frac{I_{dm} x_n}{U_{dm}} 100$$

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

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

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

$$I_n = \frac{U_{dm}}{Z_n}$$

Hay là:

$$\begin{aligned} I_n &= \frac{U_{dm}}{Z_n} \frac{100}{I_{dm}} 100 = \frac{I_{dm}}{\frac{Z_n I_{dm}}{U_{dm}}} 100 \\ &= \frac{I_{dm}}{u_n \%} 100 \end{aligned}$$

Thí dụ : Một máy biến áp có  $u_n \% = 10$  thì  $I_n$  sự cố là :

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

Dòng điện ngắn mạch lớn sẽ gây nên sự cố hư hỏng m.b.a. Do đó trong những trường hợp đó phải bố trí những thiết bị rơ le bảo vệ để cắt m.b.a ra khỏi lưới điện.

## 2. Xác định tham số bằng tính toán

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

Điện trở từ hoá  $r_m$  có thể xác định theo biểu thức:  $r_m = \frac{p_{Fe}}{I_0^2}$ .

Trong đó  $p_{Fe}$  xác định theo biểu thức:

$$p_{Fe} = p_{10/50} [B_t^2 G_t + B_g^2 G_g] \left( \frac{f}{50} \right)^{1,3}$$

$I_0$  xác định theo biểu thức:  $I_0 = \sqrt{I_{0r}^2 + I_{0x}^2}$

Điện kháng từ hoá  $x_m$  xác định gần đúng theo biểu thức:  $x_m = \frac{E_1}{I_{0x}}$

Trong đó  $I_{0x}$  tính theo biểu thức

$$I_{0x} = \frac{F}{\sqrt{2w}} \quad \text{hoặc} \quad I_{0x} = \frac{Q_0}{mU_1}$$

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

**a. Điện trở ngắn mạch:** Các điện trở của dây quấn sơ cấp và thứ cấp có thể tính được nếu biết các số liệu của dây quấn: Tiết diện dây quấn  $S_1$  và  $S_2$ , số vòng dây  $w_1$  và  $w_2$  và chiều dài trung bình của các vòng dây  $l_{tb1}$ ,  $l_{tb2}$ :

$$r_1 = k_r \rho_{75} \frac{w_1 l_{tb1}}{S_1} (\Omega)$$

Và:

$$r_2 = k_r \rho_{75} \frac{w_2 l_{tb2}}{S_2} (\Omega)$$

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

$\rho_{75} = \frac{1}{47}$  là điện trở suất của đồng ở  $75^\circ$  (đối với nhôm thì  $\rho_{75} = \frac{1}{29}$ )

Do đó điện trở ngắn mạch:

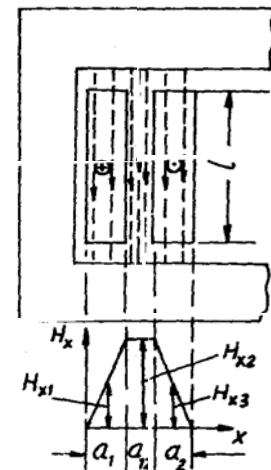
$$r_n = r_1 + \left( \frac{w_1}{w_2} \right)^2 r_2$$

**b. Điện kháng ngắn mạch:** Việc xác định  $x_1$  và  $x'_2$  liên quan đến sự phân bố từ trường tản của từng dây quấn. Nhưng việc xác định một cách chính xác sự phân bố của từ trường này rất phức tạp, do đó  $x_1$  và  $x'_2$  chỉ có thể tính toán gần đúng với những giả thiết đơn giản (thí dụ trường hợp dây quấn hình trụ). Điện kháng ngắn mạch có thể tính:

$$\begin{aligned} x_n &= x_1 + x'_2 = 2\pi f \frac{\psi_1 + \psi'_2}{i_1} \\ &= 2\pi \mu_0 f w_1^2 \frac{\pi D_{tb} k_r}{i_\sigma} \left( a_{12} + \frac{a_1 + a_2}{3} \right) \end{aligned}$$

Trong đó:  $D_{tb}$  là đường kính trung bình của hai ống dây

$k_r = 0,93 \div 0,98$  là hệ số quy đổi từ trường tản lý tưởng về từ trường tản thực tế. Các trị số  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_{12}$  như hình vẽ.



Hình 3.12 Đường biểu diễn cường độ từ trường

### Thí dụ

Cho một m.b.a ba pha có các số liệu sau:  $S_{dm} = 5600\text{kVA}$ ;  $U_1 / U_2 = 35000 / 66000\text{ V}$ ;  $I_1 / I_2 = 92,5 / 490\text{ A}$ ;  $P_0 = 18,5\text{ kVA}$ ;  $I_0 = 4,5\%$ ;  $U_n = 7,5\%$ ;  $P_n = 5\text{ kW}$ ;  $f = 50\text{ Hz}$ ;  $Y / \Delta - 11$ .

Hãy xác định:

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

### Giải

- Điện áp pha sơ cấp

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

Dòng điện pha không tải

$$I_{0f} = I_0\% \cdot I_{dm} = 0,045 \times 92,5 = 4,16\text{A}$$

Các tham số không tải

$$z_0 = \frac{U_{1f}}{I_{0f}} = \frac{20200}{4,16} = 4857,6\Omega$$

$$r_0 = \frac{P_0}{3I_{0f}^2} = \frac{18500}{3 \times 4,16^2} = 356\Omega$$

$$x_0 = \sqrt{z_0^2 - r_0^2} = \sqrt{4857,6^2 - 356^2} = 4844,5\Omega$$

- Điện áp pha ngắn mạch tính từ phía sơ cấp

$$U_{1n} = U_{1f} u_n = 20200 \times 0,075 = 1520\text{V}$$

Các tham số ngắn mạch

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

$$r_n = \frac{P_n}{3I_{1f}^2} = \frac{57000}{3 \times 92,5^2} = 2,22\Omega$$

$$x_n = \sqrt{z_n^2 - r_n^2} = \sqrt{16,4^2 - 2,22^2} = 16,25\Omega$$

Các thành phần điện áp ngắn mạch

$$u_{nr}\% = \frac{I_{1f} r_n}{U_{1f}} 100 = \frac{92,5 \times 2,22}{20200} 100 = 1,01$$

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

## Câu hỏi

1. Tại sao khi tăng dòng điện thứ cấp thì dòng điện sơ cấp lại tăng lên? Lúc đó từ thông trong máy biến áp có hay đổi hay không?
2. Làm thế nào để xác định được tham số từ hoá của máy biến áp? Thực chất của dòng điện không tải, tổn hao không tải là gì? Tại sao dung lượng máy biến áp nhỏ thì dòng điện không tải lại lớn? Khi không tải, tăng điện áp đặt vào máy biến áp thì  $\cos\varphi$  của máy biến áp thay đổi ra sao?
3. Làm thế nào để xác định được tổng trở sơ và thứ cấp của máy biến áp? Tổn hao ngắn mạch là tổn hao gì? Khi thí nghiệm ngắn mạch tại sao phải hạ điện áp xuống, thường bằng bao nhiêu? Nếu đặt toàn bộ điện áp định mức vào lúc ngắn mạch thì sao? Trị số điện áp ngắn mạch có ý nghĩa gì?

## Bài tập

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

Đáp số: a. Dây quấn sơ cấp và thứ cấp đều nối nối tiếp

$$I_1 = 0,227 \text{ A}; I_2 = 22,7 \text{ A}$$

b. Dây quấn sơ cấp nối nối tiếp, dây quấn thứ cấp nối song song:  $I_1 = 0,227 \text{ A}; I_2 = 45,45 \text{ A}$

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

d. Dây quấn sơ cấp và thứ cấp đều nối nối song song:  $I_1 = 0,45 \text{ A}; I_2 = 45,45 \text{ A}$

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

Đáp số:  $w_1 = 117694$  vòng

$$w_2 = 10210 \text{ vòng}$$

3. Một m.b.a ba pha Y/Y-12 có các số liệu sau đây  $S_{dm} = 180\text{kVA}$ ,  $U_1/U_2 = 6000/400\text{V}$ , dòng điện không tải  $I_0\% = 6,4$ , tổn hao không tải  $P_0 = 1000\text{W}$ , điện áp ngắn mạch  $u_n\% = 5,5$ , tổn hao ngắn mạch  $P_n = 4000\text{W}$ . Giả sử  $r_1 = r'_2$ ,  $x_1 = x'_2$ .

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

Đáp số:  $U_{nr}\% = 2,3$ ;  $U_{nx}\% = 5$



---

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

a) Tính  $z_n$ ,  $r_n$

b) Giả sử  $r_1 = r'_2$ . Tính điện trở không qui đổi của dây quấn thứ cấp.

Đáp số:      a.  $z_n = 14,8 \Omega$  ;  $r_n = 1,5 \Omega$   
                  b.  $r_2 = 0,061 \Omega$

*Bản quyền thuộc về Trường ĐH Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM*

## Chương 4: CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC Ở TẢI ĐỐI XỨNG CỦA MBA

### § 4.1. Giảm đồ năng lượng của máy biến áp

Trong lúc truyền tải năng lượng qua máy biến áp một phần công suất tác dụng và công suất phản kháng bị tiêu hao trong máy. Ta hãy xét sự cân bằng công suất tác dụng và công suất phản kháng trong máy biến áp.

Gọi  $P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1$  là công suất đưa vào 1 pha. Một phần công suất bị tiêu hao trên điện trở của dây quấn 1:  $\Delta p_{cu1} = I_1^2 r_1$  và trong lõi thép  $\Delta p_{Fe} = I_0^2 r_m$ . Phần còn lại là công suất điện từ truyền sang phía thứ cấp  $P_{dt}$ :

$$P_{dt} = P_1 - \Delta p_{cu1} - \Delta p_{Fe} = E_2' I_2' \cos \psi_2 \quad (4-1)$$

$\psi$  gọi là góc lệch pha giữa  $E_2'$  và  $I_2'$ .

Công suất đầu ra  $P_2$  của m.b.a sẽ nhỏ hơn công suất điện từ một lượng bằng tổn hao đồng trên dây quấn thứ cấp  $\Delta p_{cu2} = I_2^2 r_2$ :

$$P_2 = P_{dt} - \Delta p_{cu2} = U_2 I_2 \cos \varphi_2 \quad (4-2)$$

Tương tự ta có công suất phản kháng đầu vào:

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

(Đơn vị: vôn - ampe - phản kháng, VAR varờ)

$Q_1$  tiêu hao đi 1 phần để thành lập từ trường tản của dây quấn sơ cấp  $\Delta q_1 = I_1^2 x_1$  và từ trường trong lõi thép  $\Delta q_m = I_0^2 x_m$ , còn lại đưa sang phía thứ cấp:

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

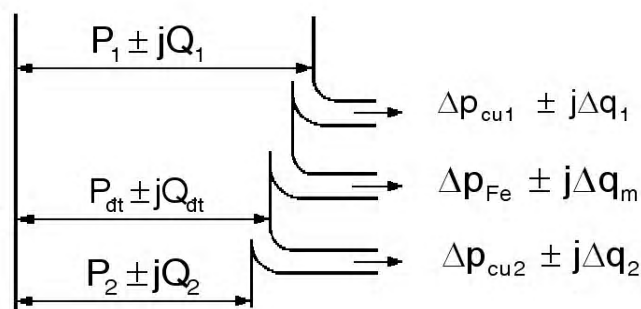
Công suất phản kháng đầu ra:

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

Trong đó  $\Delta q_2 = I_2^2 x_2$  để thành lập từ trường tản của dây quấn thứ cấp.

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

Khi tải có tính chất điện dung ( $\varphi_2 < 0$ )  $Q_2 < 0$ . Công suất phản kháng  $Q$  được truyền theo chiều ngược lại từ thứ cấp sang sơ cấp nếu  $Q_1 < 0$  hoặc toàn bộ công suất phản kháng  $Q$  từ 2 phía sơ cấp và thứ cấp đến dùng để từ hóa mạch từ nếu  $Q_1 > 0$ . Sự cân bằng công suất tác dụng và phản kháng được biểu thị:



Hình 4.1 Giảm đồ năng lượng của máy biến áp

## § 4.2. Độ thay đổi điện áp của m.b.a và cách điều chỉnh điện áp

### 1. Độ thay đổi điện áp của máy biến áp:

Khi máy biến áp làm việc trị số điện áp đầu ra  $U_2$  thay đổi theo trị số và tính chất điện cảm hay điện dung của dòng điện tải  $I_2$ . Hiệu số số học giữa các trị số của điện áp thứ cấp lúc không tải  $U_{20}$  và lúc có tải  $U_2$  trong điều kiện  $U_{1dm} = C^{te}$  gọi là độ thay đổi điện áp  $\Delta U$  của máy biến áp. trong hệ đơn vị tương đối ta có :

$$\Delta U_* = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} = \frac{U'_{20} - U'_2}{U'_{20}} = \frac{U_{1dm} - U'_2}{U_{1dm}} = 1 - U'_{2*} \quad (4-5)$$

Ta có thể tính  $\Delta U$  dựa vào  $\Delta$  đặc tính nhưng các cạnh  $\Delta$  bé nên xác định không chính xác. Thông thường người ta dùng phương pháp giải tích sau :

Giả sử MBA làm việc ở 1 tải nào đó với hệ số tải  $\beta = \frac{I_2}{I_{2dm}}$  và hệ số công suất  $\cos \varphi_2$  cho biết, đồ thị véc tơ tương ứng như hình vẽ. Các cạnh tam giác ABC có trị số :

$$BC_* = \frac{I'_2 r_n}{U_{1dm}} = \frac{I'_{2dm} r_n}{U_{1dm}} \frac{I_2}{I_{2dm}} = u_{nr*} \beta$$

$$AB_* = \frac{I'_2 X_n}{U_{1dm}} = \frac{I'_{2dm} X_n}{U_{1dm}} \frac{I_2}{I_{2dm}} = u_{nx*} \beta$$

Từ A ta hạ AP vuông góc  $U'_{2*}$ , gọi AP = n , CP = m ta có :

$$U'_{2*} = \sqrt{1 - n^2} - m \approx 1 - \frac{n^2}{2} - m$$

(vì  $n \ll 1$ ) Do đó :

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

Theo hình vẽ ta có :

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

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

Nên

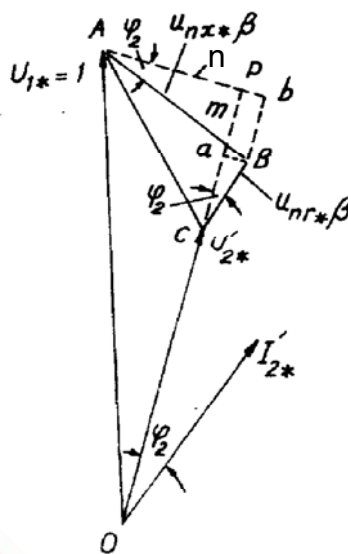
$$\Delta U_* = \beta(u_{nr*} \cos \varphi_2 + u_{nx*} \sin \varphi_2) + \frac{\beta^2(u_{nx*} \cos \varphi_2 - u_{nr*} \sin \varphi_2)^2}{2} \quad (4-7)$$

Số hạng sau của biểu thức rất nhỏ nên có thể bỏ qua

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

Muốn biểu thị  $\Delta U_*$  theo % của  $U_{1dm}$  ta nhân 2 vế của biểu thức trên với 100 vì :

$$\Delta U_* = \frac{\Delta U \%}{100} \quad u_{nr*} = \frac{u_{nr} \%}{100} \quad u_{nx*} = \frac{u_{nx} \%}{100}$$



Hình 4.2 Xác định  $\Delta U$  của máy biến áp

Nên biểu thức (4-8) trở thành

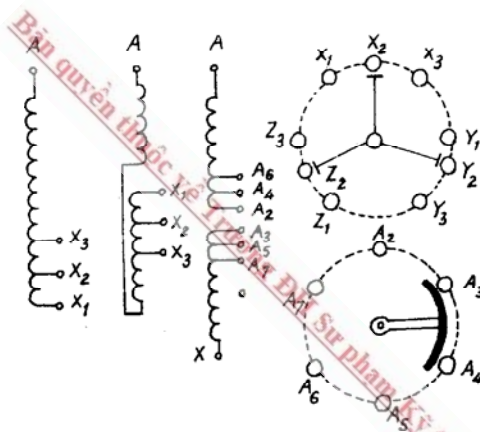
$$\Delta U\% = \beta(u_{nr}\% \cos \varphi_2 + u_{nx}\% \sin \varphi_2)$$

Ta thấy độ sụt áp phụ thuộc vào hệ số tải và tính chất của tải.

## 2. Cách điều chỉnh điện áp

Trong thực tế muốn giữ cho điện áp  $U_2 = C^{te}$  khi máy biến áp làm việc với các tải khác nhau thì phải điều chỉnh điện áp bằng cách thay đổi số vòng dây. Nói cách khác để thay đổi tỉ số máy biến áp  $k = \frac{W_1}{W_2}$ . Muốn vậy ở giữa hoặc cuối dây quấn cao áp người ta đưa ra một số đầu dây với các trị số khác nhau (hình 4-2). Trong thực tế người ta có thể dùng 2 cách để điều chỉnh điện áp:

- BA với thay đổi số vòng dây ở trạng thái ngắt mạch.
- BA với điều chỉnh điện áp khi có tải: chủ yếu được sản xuất ở Nga thường được tính toán để điều chỉnh điện áp trong phạm vi 10% qua từng 1%.



Hình 4.2 Các kiểu điều chỉnh điện áp

### § 4.3. Hiệu suất của máy biến áp

Hiệu suất  $\eta$  của máy biến áp là tỉ số giữa công suất đầu ra  $P_2$  và công suất đầu vào  $P_1$ .

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \sum p}{P_1} = 1 - \frac{\sum p}{P_1}$$

$\sum p = p_{cu1} + p_{cu2} + p_{Fe} = p_{cu} + p_{Fe}$  : Tổng tổn hao của máy biến áp.

$$\eta\% = \left(1 - \frac{\sum p}{P_1}\right) 100 = \left(1 - \frac{p_{cu} + p_{Fe}}{P_2 + p_{cu} + p_{Fe}}\right) 100$$

\* Khi thiết kế máy biến áp ta có thể tính được các tổn hao trên và xác định bằng tính toán.

\* Lúc vận hành của máy biến áp làm việc ở tải  $I_2$  và  $\cos \varphi_2$  cho biết có thể tính gián tiếp.

- Công suất đầu ra  $P_2$  ứng với tải  $I_2$  và  $\cos \varphi_2$  là :

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

$$\beta = \frac{I_2}{I_{2dm}} \quad \text{và coi} \quad U_2 \approx U_{2dm} \quad \text{vì} \quad U_{2dm} = U_{20}$$

Nên:  $S_{dm} = U_{20} I_{2dm} \approx U_2 I_{2dm}$

Do đó:  $P_2 = \beta S_{dm} \cos \varphi_2$

- Việc xác định  $p_{cu}$  và  $p_{Fe}$  cũng có tính chất giả định:

+ Tổn hao sắt  $p_{Fe}$  có thể xem như không phụ thuộc vào tải và bằng tổn hao không tải  $P_0$  ( $p_{Fe} = P_0$ ) vì thực tế  $U_1 = C^{te}$  khi tải thay đổi  $\Phi$  trong lõi thép thay đổi ít.

+ Tổn hao đồng phụ thuộc vào  $I_2$ :  $p_{cu} = r_n I_2^2$  có thể biểu thị theo tổn hao ngắn mạch  $p_n = r_n I_{2dm}^2$  như sau:

$$p_{cu} = r_n I_2^2 = r_n I_{2dm}^2 \left( \frac{I_2}{I_{2dm}} \right)^2 = \beta^2 p_n$$

Như vậy:

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

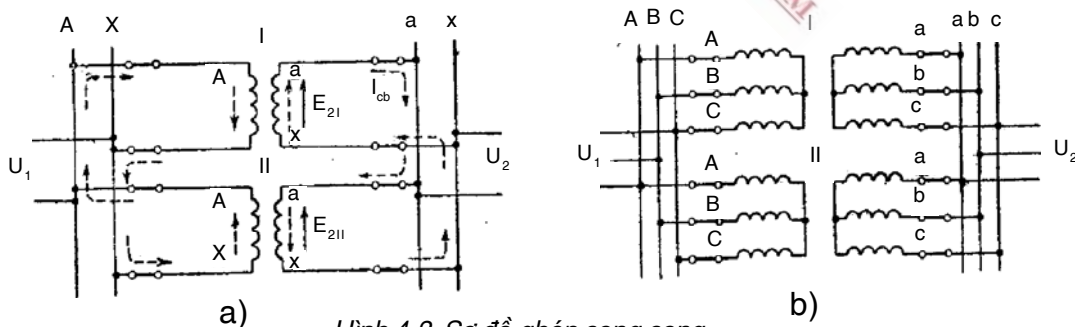
Nếu  $\cos \varphi_2 = C^{te}$  thì  $\eta$  phụ thuộc vào  $\beta$ ,  $\eta = f(\beta)$  có trị số cực đại ở hệ số tải nào đó ứng với điều kiện:

$$\frac{d\eta}{d\beta} = 0 \quad \text{do đó} \quad \beta = \sqrt{\frac{P_0}{p_n}} \quad \text{cuối cùng} \quad P_0 = \beta^2 p_n$$

#### §4.4 Máy biến áp làm việc song song

Ở 1 trạm biến áp tăng hoặc giảm áp thường đặt 2, 3 hay nhiều máy biến áp làm việc song song (hình 4.3) phụ thuộc vào công suất của trạm nhằm bảo đảm:

- Dự trữ về cung cấp năng lượng cho nơi tiêu thụ trong trường hợp sự cố và cần thiết sửa chữa máy biến áp.
- Giảm tổn thất năng lượng trong thời kì tải nhỏ của trạm bằng các cắt 1 số máy biến áp làm việc song song đi.



Hình 4.3 Sơ đồ ghép song song  
a. Máy biến áp một pha  
b. Máy biến áp 3 pha

Những máy biến áp làm việc song song trong điều kiện có lợi nhất nếu thỏa mãn các điều kiện sau:

- Cùng tổ nối dây.
- Điện áp định mức sơ cấp và thứ cấp bằng nhau hoặc hệ số MBA k bằng nhau:  $U_{11} = U_{111} = \dots = U_{1n}$  và  $U_{21} = U_{211} = \dots = U_{2n}$  hoặc  $k_1 = k_{11} = \dots = k_n$ .

- Điện áp ngắn mạch bằng nhau :  $U_{nI} = U_{nII} = \dots = U_{nn}$ .

Trong thực tế chỉ có điều kiện 1 phải tuân thủ một cách tuyệt đối. Các điều kiện 2, 3 được thực hiện với một mức độ sai khác nhất định được qui định trong 1 giới hạn cho phép.

### 1. Điều kiện cùng tổ nối dây:

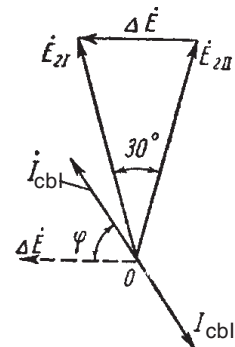
Giả sử trong 2 MBA làm việc // với tổ nối dây Y/Δ - 11 và Y/Y - 12 có điện áp định mức sơ và thứ cấp giống nhau. Khi S.đ.đ thứ cấp  $E_2$  của các pha tương ứng của các MBA này bằng nhau về trị số chúng sẽ lệch pha nhau  $30^\circ$ .

Trong mạch nối liền các dây quấn thứ của 2 MBA sẽ xuất hiện 1 s.đ.đ:  $\Delta E = 2E_2 \sin 15^\circ = 0,518 E_2$ .  
 Kết quả là ngay khi không tải trong cuộn sơ và thứ của các máy biến áp có dòng điện cân bằng:

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

Thí dụ:  $z_{nI}^* = z_{nII}^* = 0,05$ , thì:

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

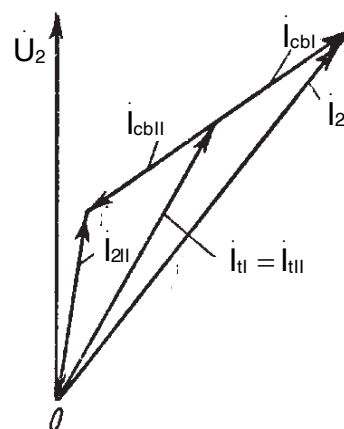
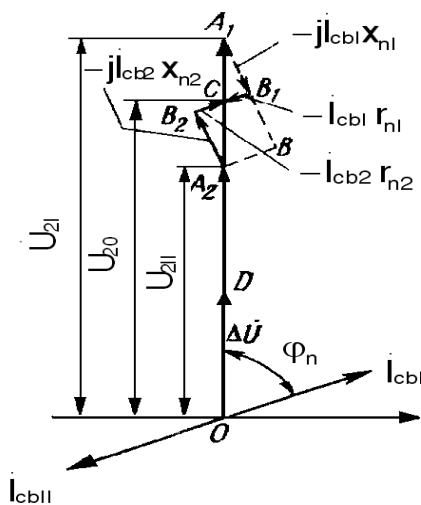


Hình 4.4 Sơ đồ điện áp và dòng điện của các m.b.a có tổ nối dây khác nhau làm việc //

Trị số dòng điện cân bằng lớn hơn 5 lần dòng định mức sẽ làm hỏng máy biến áp. Vì vậy khi làm việc song song máy biến áp bắt buộc phải cùng tổ nối dây.

### 2. Điều kiện cùng hệ số biến áp:

Giả sử 2 máy biến áp 1 pha làm việc song song thỏa mãn điều kiện 1 và điều kiện 3, ví dụ  $k_I < k_{II}$  và xem điện áp lưới bằng điện áp định mức của những MBA làm việc song song :  $U_1 = U_{1dml} = U_{1dmlI}$ .



Hình 4.5 Đồ thị véc tơ và sự phân phối phụ tải của các m.b.a làm việc song song  
 a. Khi không tải  
 b. Khi có k khác nhau

Khi đó :

$$U_{2I} = \frac{U_1}{k_I} > U_{2II} = \frac{U_1}{k_{II}}$$

Thêm vào đó các véc tơ  $\vec{U}_{2I} = 0\vec{A}_1$ ;  $\vec{U}_{2II} = 0\vec{A}_2$  trùng pha với nhau vì cùng tổ nối dây điều kiện 1 (h4-5a). Dưới tác dụng của hiệu điện áp  $\vec{U}_{2I} - \vec{U}_{2II} = \Delta U = 0D$

trong các MBA 1 và 2 xuất hiện  $I_{cb}$ , sự phân bố tức thời của nó trong các máy biến áp 1 và 2 vẽ trong h4-3 bằng những mũi tên. Chúng ta thấy đối với  $I_{cb}$  thì các MBA 1 và 2 ở vào chế độ ngắn mạch và dòng điện đó chạy trong dây quấn MBA theo chiều ngược nhau như h4-4b  $I_{cb}$  được biểu diễn bằng 2 véc tơ  $I_{cb2} = -I_{cb1}$ .

Nếu gọi  $z_{nI}$  và  $z_{nII}$  là tổng trở ngắn mạch của MBA 1 và 2 thì :

$$I_{cb} = \frac{\Delta U}{z_{nI} + z_{nII}} = \frac{U_1 \left( \frac{1}{k_I} - \frac{1}{k_{II}} \right)}{z_{nI} + z_{nII}} = \frac{U_1 \frac{k_{II} - k_I}{k_I k_{II}}}{z_{nI} + z_{nII}}$$

Để biến đổi công thức đó ta thay  $k_I \cdot k_{II} = k^2$  và  $U_1/k = U_{2dm}$  ở đây k là tỉ số biến đổi trung bình của 2 MBA và  $U_{2dm}$  là trị số trung bình điện áp định mức thứ cấp. vì  $U_{nI} = U_{nII}$  và  $U_{nXI} = U_{nXII}$  (theo điều kiện 3) nên:

$$\begin{aligned} I_{cb} &= \frac{\frac{U_1}{k} \frac{k_{II} - k_I}{k}}{z_{nI} + z_{nII}} = \frac{U_{2dm} \frac{k_{II} - k_I}{k}}{\frac{z_{nI} I_{2dml}}{I_{2dml}} + \frac{z_{nII} I_{2dmlI}}{I_{2dmlI}}} \\ &= \frac{\Delta k}{\frac{z_{nI} I_{2dml}}{U_{2dm} I_{2dml}} + \frac{z_{nII} I_{2dmlI}}{U_{2dm} I_{2dmlI}}} \\ &= \frac{\Delta k}{\frac{U_{nI} \%}{I_{2dml}} + \frac{U_{nII} \%}{I_{2dmlI}}} \end{aligned}$$

Trong đó:  $\Delta k = \frac{k_{II} - k_I}{k} 100$  là hiệu số tỉ số biến đổi tính theo phần trăm so với trị số trung bình của nó.  $I_{2dml}$  và  $I_{2dmlI}$  là trị số là các trị số dòng định mức của MBA 1 và 2. thường dòng điện  $I_{cb}$  được biểu diễn theo phần trăm so với dòng điện định mức của một trong những MBA. Thí dụ so với  $I_{2dml}$  của MBA1. Khi đó :

$$I_{cb} \% = \frac{I_{cbI}}{I_{2dml}} 100 = \frac{\Delta k \cdot 100}{U_{nI} \% + U_{nII} \% \frac{I_{2dml}}{I_{2dmlI}}} = \frac{\Delta k \cdot 100}{U_{nI} \% + U_{nII} \% \frac{S_{dml}}{S_{dmlI}}}$$

Thí dụ : Cho  $\Delta k = 1\%$ ,  $U_{nI} \% = U_{nII} \% = 5,5$  và  $\frac{S_{dml}}{S_{dmlI}} = \frac{100}{100} = \frac{100}{320} = \frac{100}{\infty}$   
 Khi đó  $I_{cbI} = 9,1\%$ ;  $14\%$ ;  $18,3\%$ .

Nếu công suất định mức của các MA như nhau nghĩa là  $S_{dml} = S_{dmlI}$  thì khi  $U_{nI} = U_{nII}$  (điều kiện 3) chúng ta có  $z_{nI} = z_{nII}$ . Trong trường hợp này tam giác ngắn

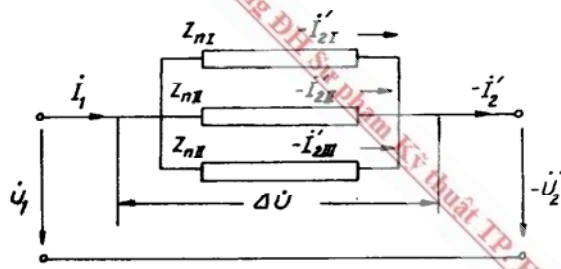
mạch  $A_1B_1C$  và  $A_2B_2C$  bằng nhau về độ lớn và đoạn  $A_1A_2$  được chia làm 2 phần bằng nhau tại C. Như vậy trong trường hợp này  $I_{cbI}$  làm giảm thấp điện áp  $U_{2I}$  tới điện áp chung trên thanh góp điện áp thứ cấp. Còn  $I_{cbII}$  làm tăng điện áp  $U_{2II}$  tới cùng điện áp ấy  $U_{20} = OC$ . Đó là vai trò của  $I_{cb}$  trong trường hợp này.

Nếu công suất MBA khác nhau thí dụ  $S_{dml} < S_{dmlI}$  thì khi  $U_{nI} = U_{nII}$  thì điện trở  $r_n$  và  $x_n$  tỉ lệ ngược với công suất nghĩa là :  $r_{nI} > r_{nII}$  và  $x_{nI} > x_{nII}$ . Tương ứng với điều đó  $A_1B_1C$  ở h4-4a sẽ lớn hơn  $A_2B_2C$  nhưng đồng dạng với nó. Vì vậy điểm C chuyển động theo  $A_1A_2$  xuống phía dưới. Tới giới hạn khi  $S_{dmlI} \gg S_{dml}$  điểm C trùng với điểm  $A_2$  và tam giác  $A_1B_1C$  trùng với vị trí của tam giác  $A_1BA_2$ . Trong trường hợp đó  $U_{20} = U_{2II} = 0A_2$ .

Khi có tải, trong MBA xuất hiện dòng tải  $I_{II}$  và  $I_{III}$ . Dòng cân bằng sẽ cộng vào dòng tải làm cho hệ số tải lẽ ra bằng nhau trở thành khác nhau làm ảnh hưởng xấu đến việc lợi dụng công suất của các MBA h4-4b.

Theo roct 404-41 khi các MBA làm việc // trong trường hợp chung cho phép sai khác hệ số biến áp là  $k \leq 0,5\%$ . Đối với các MBA có  $k < 3$  và biến áp tự dùng trong trạm BA thì  $k \leq 1\%$ .

### 3. Điều kiện 3: $U_{nI} = U_{nII} = \dots = U_{nIII}$



Hình 4.6 Mạch điện thay thế của các m.b.a làm việc song song

Xét sự làm việc // của 3 MBA có các điện áp ngắn mạch  $U_{nI}, U_{nII}, U_{nIII}$ . Nếu bỏ qua dòng điện từ hóa thì mạch điện thay thế như h4-6. Điện áp rơi:

$$\Delta U = U_1 - U_2 = U_{20} - U_2$$

Ở tất cả 3 MBA giống nhau :  $\Delta U = Z \cdot I$

Trong đó I là dòng điện tải chung và

$$Z = \frac{1}{\frac{1}{Z_{nI}} + \frac{1}{Z_{nII}} + \frac{1}{Z_{nIII}}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{Z_{ni}}}$$

Do đó dòng điện tải của các MBA :

$$I_i = \frac{\Delta U}{Z_{ni}} = \frac{I}{Z_{ni} \sum_{i=1}^n Z_i} ; \quad I_{II} = \frac{\Delta U}{Z_{nII}} = \frac{I}{Z_{nII} \sum_{i=1}^n Z_i} ; \quad I_{III} = \frac{\Delta U}{Z_{nIII}} = \frac{I}{Z_{nIII} \sum_{i=1}^n Z_i} \quad (2)$$



Nhưng trong trường hợp bình thường sự dịch chuyển về pha không lớn lắm nên các dòng điện tải xem như trùng pha, có thể coi tổng dòng điện  $I_I$ ,  $I_{II}$ ,  $I_{III}$  là tổng đại số nghĩa là :

$$I_I = I_I + I_{II} + I_{III}$$

Kết luận này có tính chất chung có thể áp dụng cho bất kì số MBA là bao nhiêu.

Do đó tổng số học của công suất toàn bộ các MBA bằng công suất toàn bộ của tải :

$$S_I = S_I + S_{II} + S_{III}$$

Ta có

$$z_{nI} = \frac{z_{nI} I_{dm}}{U_{dm}}$$

Vì

$$U_{nI} = \frac{U_n}{U_{dm}} = \frac{z_{nI} I_{dm}}{z_{ndm} I_{dm}} = \frac{z_{nI}}{z_{ndm}} = z_{nI}^*$$

Ta có thể thu được:

$$z_{nI} = z_{nI}^* \frac{U_{dm}}{I_{dm}} = \frac{U_{nI} \% U_{dm}}{100 I_{dm}}$$

Vì

$$U_{nI} \% = \frac{U_n}{U_{dm}} 100 = 100 \cdot U_{nI}^* = 100 \cdot z_{nI}^*$$

Tương tự ta có  $z_{nII}$ ,  $z_{nIII}$ . Thế  $z_n$  vào biểu thức (2) và thay dòng điện bằng công suất toàn bộ tỉ lệ với nó bằng cách nhân (2) với đại lượng  $m \cdot U_{dm}$  ta có :

$$m \cdot U_{dm} I_I = \frac{m \cdot U_{dm} I}{\frac{U_{nI} \% U_{dm}}{100 I_{dm}} \sum_{i=1}^n \frac{100 \cdot I_{dmi}}{U_{ni} \% U_{dm}}}$$

Hoặc:

$$S_I = \frac{S}{\frac{U_{nI} \%}{S_{dmi}} \sum_{i=1}^n \frac{S_{dmi}}{U_{ni} \%}} = \frac{S}{\sum_{i=1}^n \frac{S_{dmi}}{U_{ni} \%}} \frac{S_{dmi}}{U_{nI} \%}$$

Tương tự ta có

$$S_{II} = \frac{S}{\frac{U_{nII} \%}{S_{dmi}} \sum_{i=1}^n \frac{S_{dmi}}{U_{ni} \%}} = \frac{S}{\sum_{i=1}^n \frac{S_{dmi}}{U_{ni} \%}} \frac{S_{dmi}}{U_{nII} \%}$$

$$S_{III} = \frac{S}{\frac{U_{nIII} \%}{S_{dmi}} \sum_{i=1}^n \frac{S_{dmi}}{U_{ni} \%}} = \frac{S}{\sum_{i=1}^n \frac{S_{dmi}}{U_{ni} \%}} \frac{S_{dmi}}{U_{nIII} \%}$$

**Thí dụ 1:** Cho 3 MBA dầu 3 pha mỗi cái có công suất 100KVA, với  $U_{nI}\% = 3,5$ ,  $U_{nII}\% = 4$ ,  $U_{nIII}\% = 5,5$ . Công suất tổng  $S = 300\text{KVA}$ . Tính tải của mỗi máy.

**Giải:** Theo công thức (3) ta có :

$$\sum_{i=1}^3 \frac{S_{dmi}}{U_{ni}\%} = \frac{100}{3,5} + \frac{100}{4} + \frac{100}{5,5} = 71,8$$

Do đó :

$$S_I = \frac{300}{71,8} \times \frac{100}{3,5} = 119,5\text{kVA}$$

$$S_{II} = \frac{300}{71,8} \times \frac{100}{4} = 104,5\text{kVA}$$

$$S_{III} = \frac{300}{71,8} \times \frac{100}{5,5} = 76\text{kVA}$$

Nghĩa là máy biến áp thứ 1 quá tải 19,5%, còn máy 3 hụt tải 24%. Giảm phụ tải bên ngoài đi 16,2%, ta được sự phân phối phụ tải lại giữa các máy biến áp:  $S_I = 100\text{kVA}$ ,  $S_{II} = 87,5\text{kVA}$ ,  $S_{III} = 63,66\text{kVA}$ . Trong trường hợp này máy biến áp 1 làm việc ở phụ tải định mức, nhưng 2 máy kia hụt tải. Điều kiện làm việc song song như vậy không xem là như ý được. Vì vậy roct 401-41 qui định các máy biến áp dùng vào làm việc song song có điện áp  $U_n$  lệch so với trị số trung bình số học của tất cả các máy biến áp không được quá 10% và tỉ số công suất lớn nhất và công suất nhỏ nhất không vượt quá 3:1.

**Thí dụ 2:**

Cho ba máy biến áp 3 pha có cùng tổ nối dây quấn và tỉ số biến đổi với các số liệu:  $S_{dmi} = 180\text{kVA}$ ,  $S_{dmlI} = 240\text{kVA}$ ,  $S_{dmlII} = 320\text{kVA}$ ;  $u_{nI}\% = 5,4$ ,  $u_{nII}\% = 6$ ,  $u_{nIII}\% = 6,6$ . Hãy xác định tải của mỗi m.b.a khi tải chung của m.b.a bằng tổng công suất định mức của chúng:  $S = 180 + 240 + 320 = 740 \text{ kVA}$  và tính xem tải tổng tối đa để không m.b.a nào bị quá tải là bao nhiêu?

**Giải:**

Ta có:

$$\sum_{i=1}^3 \frac{S_{dmi}}{U_{ni}\%} = \frac{180}{5,4} + \frac{240}{6} + \frac{320}{6,6} = 121,8$$

Theo biểu thức :

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

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

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

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

$$\beta = \frac{S_1}{S_{dm1}} = \frac{S}{U_{n1} \% \sum_{i=1}^n \frac{S_{dmi}}{U_{ni} \%}} = 1$$

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

hay là:  $S = 657,72 \text{kVA}$ .

Rõ ràng phần công suất đặt của các m.b.a không được lợi dụng sẽ bằng :

$$740 - 658 = 82 \text{kVA}$$

### Câu hỏi

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

### Bài tập

1. Cho ba máy biến áp làm việc song song với các số liệu sau:

Máy	$S_{dm}$ (kVA)	$U_{1dm}$ (kV)	$U_{2dm}$ (kV)	$U_n$ (%)	Tổ nối dây
I	1000	35	6,3	6,25	Y/ $\Delta$ -11
II	1800	35	6,3	6,6	Y/ $\Delta$ -11
III	2400	35	6,3	7	Y/ $\Delta$ -11

Tính :

- a) Tải của m.b.a khi tải chung là 4500 kVA
- b) Tải lớn nhất có thể cung cấp cho hộ dùng điện với kiện không một m.b.a nào bị quá tải.
- c) Giả sử máy I được phép quá tải 20% thì tải chung của các máy là bao nhiêu?

Đáp số

- a)  $S_1 = 928 \text{kVA}$  ;  $S_2 = 1582 \text{kVA}$  ;  $S_3 = 1990 \text{kVA}$
- b) 4846 kVA
- c) 5817 kVA

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

Các số liệu	Máy 1	Máy 2
$S_{dm}$ kVA	320	420
$U_1$ kV	6+/- 5%	6+/-5%
$U_2$ v	230	220
$U_n$ %	4	4
$U_{nr}$ %	1,8	1,7
Tổ nối dây	Y/ $\Delta$ -11	Y/ $\Delta$ -11

Đáp số:  $I_{cb} = 496$  A

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

a)  $U_n$ (V),  $U_{nr}$ (V),  $U_{nx}$ (V), (điện áp thấp bị nối ngắn mạch)

b)  $z_n$ ,  $r_n$ ,  $x_n$ ,  $\cos\varphi_n$

c)  $\Delta U$  % lúc hệ số tải 0,25; 0,5; 0,75; 1 và hệ số công suất  $\cos\varphi_2 = 0,8$ (điện cảm)

d) Biết  $P_o = 0,18$ kW tính hiệu suất của máy ở các tải nói trên

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

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

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

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

4. Cho một m.b.a ba pha có  $S_{dm} = 5600$ kVA,  $P = 57.500$ W,  $U_n \% = 5,23$  Tính:

a)  $U_{nr}$  % ,  $U_{nx}$  %

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

Đáp số: a.  $U_{nr} = 1,026\%$  ;  $U_{nx} = 5,128\%$

c.  $\Delta U = 2,92\%$

## Chương 5

### CÁC LOẠI MÁY BIẾN ÁP ĐẶC BIỆT

#### **Giới thiệu chung về máy biến áp:**

Chương này trình bày về các loại máy biến áp đặc biệt (MBAĐB), các loại máy biến áp này không chỉ chuyển đổi năng lượng điện như các loại máy biến áp thông thường mà còn biến đổi các thông số của năng lượng điện mà chúng chuyển đổi. Các thông số đó là: tần số, số pha hay dạng sóng điện áp. Ngoài ra, chúng còn đáp ứng một số yêu cầu đặc biệt như: điều chỉnh điện áp một cách liên tục, tạo ra nguồn cung cấp có điện áp cao, cách ly thứ cấp của máy biến áp với tải trở kháng, cung cấp điện áp phía thứ cấp hoặc dòng điện phía thứ cấp cân xứng với điện áp hoặc dòng điện phía sơ cấp.

Các loại MBAĐB này thường được ứng dụng trong các thiết bị đo lường và điều khiển tự động. Trong đo lường chúng có nhiệm vụ biến đổi giá trị điện áp hoặc dòng điện phía sơ cấp thành giá trị điện áp hoặc dòng điện mà các thiết bị đo có thể chịu đựng được với một tỷ lệ chính xác. Trong điều khiển tự động MBAĐB có nhiệm vụ tạo ra nguồn áp hoặc nguồn dòng với các giá trị chuẩn và chất lượng cao.

#### **5.1 Máy biến áp đo lường:**

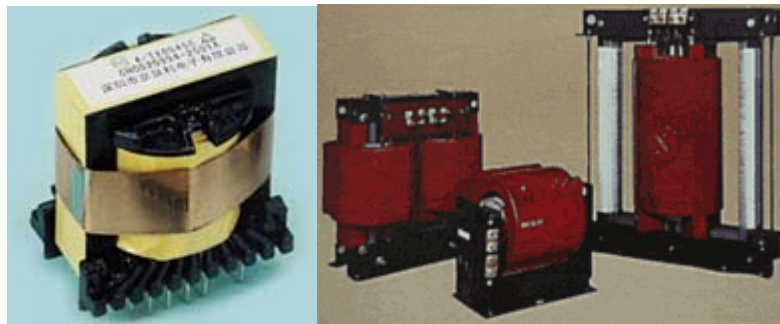
Trong thực tế hầu hết các hệ thống đều vận hành với điện áp và dòng điện rất lớn. Các giá trị này nếu đưa trực tiếp vào thiết bị đo sẽ làm hỏng thiết bị đo. Do đó, các thiết bị đo này cần phải được nối gián tiếp với điện áp hoặc dòng điện cần đo thông qua các máy biến áp đo lường. Các máy biến áp loại này còn được dùng trong điều khiển động lực, rơle an toàn, và các thiết bị tự động điều khiển khác. Máy biến áp đo lường gồm hai loại là: máy biến điện áp và máy biến dòng điện.

##### **5.1.1 Máy biến điện áp:**

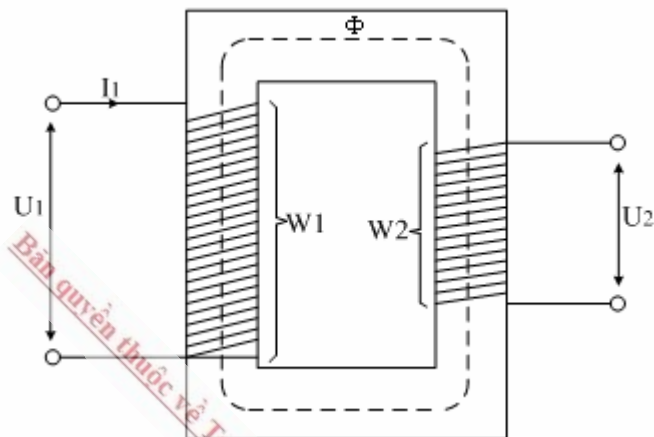
Máy biến điện áp trong đo lường hầu hết là máy biến áp giảm áp. Chúng được thiết kế để là giảm điện áp cuộn thứ cấp xuống còn khoảng 100 (V) (đây là giá trị điện áp thích hợp với hầu hết các thiết bị đo). Cấu tạo của máy biến điện áp như sau:

##### **Cấu tạo:**

Máy biến điện áp là một máy biến áp cách ly với cuộn sơ cấp có số vòng lớn và cuộn thứ cấp có ít vòng. Một vài hình dạng bên ngoài của máy biến điện áp được trình bày ở hình 1.4.1. Đặc điểm cấu tạo được trình bày ở hình 1.4.2.



Hình 5.1 Hình dạng bên ngoài của máy biến điện áp.



Hình 5.2 Đặc điểm cấu tạo của máy biến điện áp.

### Nguyên lý làm việc của máy biến điện áp:

Máy biến điện áp được thiết kế sao cho điện áp dây quấn thứ cấp ít thay đổi khi tải thay đổi từ lúc không tải đến đầy tải (tải định mức).

Theo lý thuyết máy điện ta có:

$$\dot{V}_2 \approx \frac{-\dot{V}_1 \cdot Z'}{Z_2 + Z'}$$

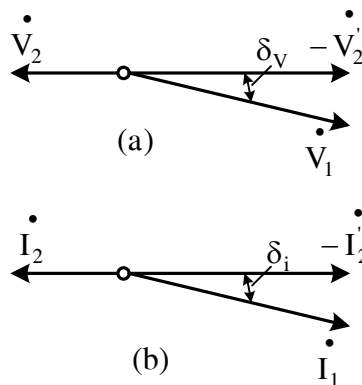
Trong đó:

$\dot{V}_2$  là giá trị điện áp thứ cấp qui đổi.

$\dot{V}_1$  điện áp hai đầu cuộn sơ cấp.

$Z'$  là giá trị tổng trở qui đổi.

$Z_2$  là giá trị tổng trở thứ cấp.



**Hình 5.3** Độ lệch pha của máy biến áp đo lường.

Khi  $Z' \gg Z_2$  thì  $\dot{V}_2' = -\dot{V}_1$ , lúc đó tỉ số giữa điện áp sơ cấp và thứ cấp luôn luôn như nhau và được xác định theo công thức:

$$\dot{V}_2 = -\dot{V}_1 \cdot W_2 / W_1 = -\dot{V}_1 \cdot n_{21} \quad (1.4.2)$$

Trong đó:

- $W_2$  số vòng dây quấn thứ cấp.
- $W_1$  số vòng dây quấn sơ cấp.
- $n_{21}$  là tỉ số biến áp

Trong hầu hết các trường hợp đo lường thì  $Z_2$  luôn có giá trị đáng kể so với  $Z'$  không thể bỏ qua được do đó biểu thức 1.4.2 sẽ không còn đúng. Khi đó xuất hiện hai loại sai số sau:

Sai số tỉ lệ (độ lệch điện áp  $\Delta V$ ):

Sai số tỉ lệ được cho bởi công thức:

$$\Delta V = \frac{V_2 \cdot \frac{W_1}{W_2} - V_1}{V_1} \cdot 100\%$$

Sai số góc pha (độ lệch pha  $\delta_v$ ): sai số này phụ thuộc vào góc pha giữa  $\dot{V}_1$  và  $-\dot{V}_2'$  hình 5.3 a.

Độ lớn của các sai số trên càng tăng khi tổng trở của máy biến điện áp  $Z$  tăng. Các sai số này là không thể tránh khỏi nhưng trong đo lường và điều khiển tự động để có một định lượng rõ ràng người ta qui định các sai số này không được vượt quá một số giá trị gọi là cấp chính xác. Theo tiêu chuẩn của Nga thì có 3 cấp chính xác đối với máy biến điện áp là:

- Cấp chính xác 1:  $\Delta V = \pm 0,5\%$ ,  $\delta_v = \pm 20'$
- Cấp chính xác 2:  $\Delta V = \pm 1,0\%$ ,  $\delta_v = \pm 40'$
- Cấp chính xác 3:  $\Delta V = \pm 3,0\%$ ,  $\delta_v$  không giới hạn.

### 5.1.2 Máy biến dòng điện:

Trong hầu hết các thiết bị đo lường và điều khiển dòng điện đều được qui về chuẩn 5A nên các máy biến dòng điện sử dụng trong các lĩnh vực này thường có dòng điện ngõ ra cuộn thứ cấp là 5A.

Như đã đề cập đến ở trên cuộn thứ cấp của máy biến dòng thường được nối với các thiết bị đo như ampere kế, watt kế hoặc các thiết bị tự động khác. Có một lưu ý là khi sử dụng máy biến dòng để cung cấp cho nhiều thiết bị thì phải mắc nối tiếp các thiết bị này với nhau.

#### Cấu tạo:

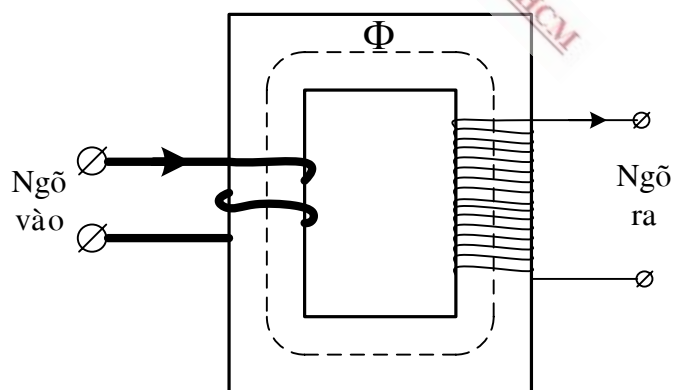
Máy biến dòng điện cũng giống như một máy biến áp cách ly thông thường gồm có lõi thép được ghép từ các lá thép kỹ thuật điện, hai cuộn dây quấn sơ cấp và thứ cấp đặt trên lõi thép. Điểm đặc biệt của máy biến dòng nằm ở tiết diện và số vòng dây quấn cuộn sơ cấp và thứ cấp.

Cuộn dây sơ cấp được quấn rất ít vòng thường chỉ được quấn một vòng dây.

Dây quấn sơ cấp có tiết diện rất lớn do máy phải làm việc ở điều kiện gần như ngắn mạch. Đường kính dây quấn sơ cấp phụ thuộc vào cấp công suất của máy biến dòng; máy biến dòng có công suất càng lớn thì đường kính dây quấn sơ cấp càng lớn.

Dây quấn thứ cấp của máy biến dòng có tiết diện nhỏ và có rất nhiều vòng (hình 1.4.4).

Hình dạng bên ngoài của máy biến dòng điện thường là hình tròn (hình 1.4.5). Vì có dạng hình tròn kín nên thông thường máy biến dòng được lắp trong lúc lắp đặt mạng điện.



Hình 5.4 Sơ đồ nguyên lý máy biến dòng.





Hình 5.5 Hình dáng bên ngoài của máy biến dòng điện

### Nguyên lý hoạt động của máy biến dòng:

Như đã đề cập đến ở trên, máy biến dòng thường xuyên hoạt động ở tình trạng gần như ngắn mạch. Do đó, một điều rất quan trọng khi sử dụng máy là không được phép để máy hoạt động ở chế độ không tải vì điện áp không tải phía thứ cấp của máy biến dòng điện rất lớn có thể gây hỏng lớp cách điện dẫn đến phá huỷ máy.

Dòng điện ngõ ra của máy biến dòng điện được xác định theo biểu thức sau:

$$\dot{I}_2 = I_2 \cdot \frac{W_2}{W_1} - \dot{I}_1 \cdot \frac{Z_0}{Z_0 + Z_2' + Z'}$$

Trong đó:

$Z_0$ : tổng trở của máy biến dòng điện lúc không tải.

$Z_2'$ : tổng trở thứ cấp qui đổi.

$Z'$ : tổng trở qui đổi của máy biến dòng

$\dot{I}_2$ : dòng điện thứ cấp qui đổi.

Giống như máy biến điện áp, máy biến dòng điện cũng có sai số tỉ lệ và sai số góc pha. Các sai số này sẽ giảm mạnh khi tổng  $Z_2' + Z'$  giảm so với tổng trở của máy lúc không tải  $Z_0$ . Đó là lý do tại sao các nhà sản xuất máy biến dòng điện luôn tìm mọi cách để tăng tổng trở lúc không tải  $Z_0$  của máy biến áp và giảm giá trị  $Z_2'$  xuống kết hợp với việc sử dụng đúng loại máy biến dòng (để có được  $Z < Z_R$ ).

Sai số tỉ lệ của máy biến dòng điện được xác định như sau:

$$\Delta i = \frac{I_2 \cdot W_2 / W_1 - I_1}{I_1} \cdot 100\%$$

Độ lệch pha  $\delta_i$  được minh họa ở hình 5.3 b.

Cấp chính xác và các giới hạn sai số cho phép đối với máy biến dòng điện theo tiêu chuẩn của Nga như sau:

Cấp chính xác 0,2:  $\Delta i = 0,2\%$ ,  $\delta_i = 10'$

Cấp chính xác 0,5:  $\Delta i = 0,5\%$ ,  $\delta_i = 40'$

Cấp chính xác 1:  $\Delta i = 1,0\%$ ,  $\delta_i = 80'$

Cấp chính xác 3:  $\Delta i = 3,0\%$ ,  $\delta_i$  không giới hạn.

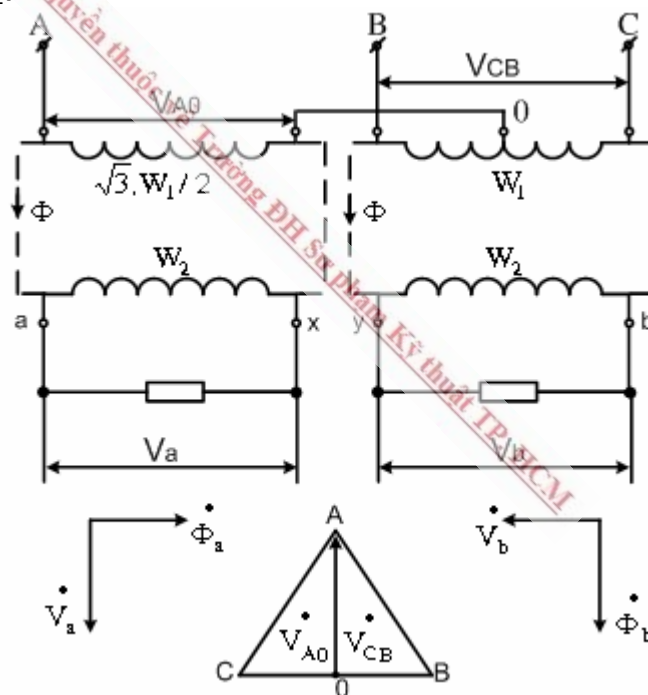
Cấp chính xác 10:  $\Delta i = 10\%$ ,  $\delta_i$  không giới hạn.

## 5.2 Máy biến áp chuyển đổi số pha (MBA Scott)

Có nhiều cách để chuyển đổi từ hai pha sang hai pha với hai máy biến áp. Một trong những phương pháp thường được áp dụng nhất hiện nay là mắt theo kiết hình T hay còn gọi là MBA Scott.

### Cấu tạo:

Máy biến áp Scott có cấu tạo từ hai máy biến áp cách ly. Hai máy này với số vòng dây quấn khác nhau sẽ được nối với nhau như hình 1.4.6. Trong đó máy b được xem như máy chính có số vòng là phía sơ cấp là  $W_1$  và máy còn lại (máy a) là máy phụ có số vòng sơ cấp là  $\sqrt{3}.W_1/2$ . Cả hai máy đều có số vòng dây thứ cấp là  $W_2$ .



Hình 5.6 Sơ đồ nguyên lý trong máy biến áp Scott.

### Nguyên lý hoạt động của máy biến áp Scott:

Máy biến áp Scott hoạt động dựa trên nguyên tắc cảm ứng điện từ giống như ở máy biến áp thông thường. Khi đặt vào vào hai đầu B và C của máy b một điện áp bằng với điện áp dây của nguồn điện 3 pha ( $V_{CB} = V_1$ ). Do máy biến áp a có số vòng là  $\sqrt{3}.W_1/2$  và được nối từ đầu A đến đầu 0 của máy biến áp chính (b) nên điện áp sơ cấp của máy biến áp này có giá trị là  $\sqrt{3}.V_1/2$ . Điện áp thứ cấp  $V_a$  và  $V_b$  của hai máy biến áp sẽ tạo thành hệ thống điện áp hai pha vì chúng bằng nhau về trị số:

## MỤC LỤC

	Trang
Mở đầu	01
<b>Phần I: Máy điện một chiều (MĐMC)</b>	
Chương 1: Đại cương về máy điện một chiều	07
Chương 2: Mạch từ lúc không tải của MĐMC	13
Chương 3: Dây quấn phần ứng của MĐMC	22
Chương 4: Quan hệ điện từ trong MĐMC	40
Chương 5: Từ trường lúc có tải của MĐMC	48
Chương 6: Đổi chiều	56
Chương 7: Máy phát điện một chiều	68
Chương 8: Động cơ điện một chiều	83
Chương 9: Máy điện một chiều đặc biệt công suất nhỏ	96
<b>Phần II: Máy biến áp (MBA)</b>	
Chương 1: Khái niệm chung về MBA	107
Chương 2: Tổ nối dây và mạch từ của MBA	116
Chương 3: Quan hệ điện từ trong MBA	125
Chương 4: Chế độ làm việc ở tải xác lập đối xứng của MBA	138
Chương 5: Máy biến áp đặc biệt	149

$$V_b = V_{CB} \cdot (W_2 / W_1) = V_1 \cdot (W_2 / W_1)$$

$$V_a = V_{A0} \cdot (2 \cdot W_2 / \sqrt{3} \cdot W_1) = V_1 \cdot (W_2 / W_1)$$

và lệch nhau một góc  $90^\circ$  điện như  $V_{A0}$  và  $V_{CB}$ .

Giải đồ vector của điện áp thứ cấp được trình bày trên hình 5.6

*Bản quyền thuộc về Trường ĐH Sư phạm Kỹ thuật TP. HCM*



# Giáo trình máy điện

# PHẦN THỨ NHẤT MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

## CHƯƠNG 1 ĐẠI CƯƠNG VỀ MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

Ngày nay, mặc dù dòng điện xoay chiều được sử dụng rất rộng rãi, song máy điện một chiều vẫn được coi là một loại máy quan trọng. Nó có thể dùng làm động cơ điện, máy phát điện hay dùng trong những điều kiện làm việc khác.

Động cơ điện một chiều có mô men mở máy lớn, có khả năng điều chỉnh tốc độ bằng phẳng, phạm vi điều chỉnh rộng nên chúng được dùng nhiều trong các máy công nghiệp có yêu cầu cao về điều chỉnh tốc độ như cán thép, hầm mỏ, giao thông vận tải...

Máy phát điện một chiều dùng làm nguồn điện cho các động cơ điện một chiều, làm nguồn điện một chiều kích thích từ trong máy điện đồng bộ. Ngoài ra trong công nghiệp điện hoá học như tinh luyện đồng, nhôm, mạ điện... cũng cần dùng nguồn điện một chiều điện áp thấp.

Máy điện một chiều cũng có những nhược điểm của nó so với máy điện xoay chiều như giá thành đắt hơn, sử dụng nhiều kim loại màu hơn, chế tạo và bảo quản cố góp phức tạp,... nhưng do những ưu điểm của nó nên máy điện một chiều vẫn còn có một tầm quan trọng nhất định trong sản xuất.

### 1-1. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

Máy điện một chiều có thể làm việc ở chế độ máy phát điện hoặc chế độ động cơ điện dựa vào nguyên lý cảm ứng điện từ.

#### 1.1.1. Chế độ máy phát điện

Sơ đồ nguyên lý làm việc của máy điện một chiều như hình 1-1. Máy gồm có một khung dây  $abcd$  hai đầu nối với hai phiến góp (hai nửa vòng đồng). Hai chổi điện (chổi than) A và B đặt cố định và luôn tì sát vào phiến góp. Khung dây và phiến góp được quay quanh trục của nó với một tốc độ không đổi trong từ trường của hai cực nam châm N - S.

Khi khung dây quay, các thanh dẫn  $ab$  và  $cd$  sẽ cắt các đường sức từ trường. Theo định luật cảm ứng điện từ, trong các thanh dẫn xuất hiện sức điện động (s.đ.đ) cảm ứng, trị số tức thời của s.đ.đ. cảm ứng được xác định theo biểu thức:

$$e = B.l.v \quad (1-1)$$

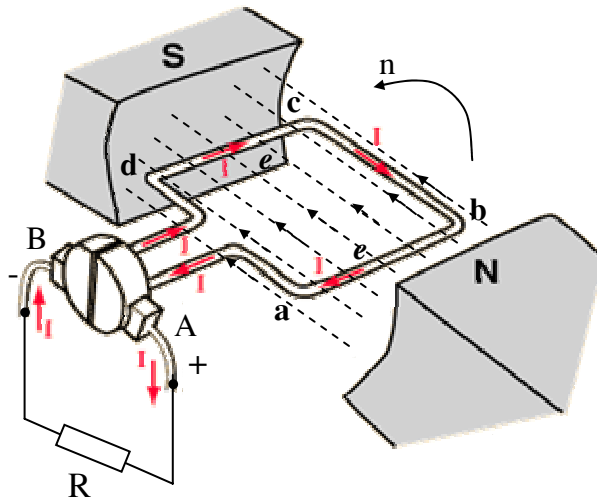
trong đó: B - từ cảm ở nơi thanh dẫn quét qua;

l - chiều dài thanh dẫn nằm trong từ trường;

v - vận tốc quét của thanh dẫn.

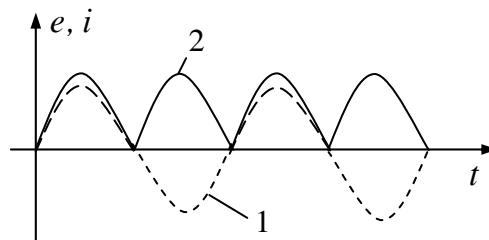
Chiều của s.đ.đ. cảm ứng được xác định theo quy tắc bàn tay phải. Theo vị trí của khung dây trên hình 1-1 và giả thiết chiều quay của khung dây ngược chiều kim đồng hồ thì thanh dẫn  $ab$  đang nằm dưới cực bắc N, s.đ.đ. cảm ứng  $e$  sẽ có chiều từ  $b$  đến  $a$ ,

còn thanh dẫn  $cd$  đang nằm dưới cực nam S, chiều của s.đ.đ. cảm ứng trong nó sẽ từ  $d$  đến  $c$ . Nếu mạch ngoài khép kín qua tải thì s.đ.đ. trong khung dây sẽ sinh ra trong mạch ngoài một dòng điện chạy từ chổi than A đến chổi than B. Do khung dây quay nên các thanh dẫn  $ab$  và  $cd$  lần lượt thay đổi vị trí nằm dưới các cực từ, do đó s.đ.đ. cảm ứng trong các thanh dẫn là s.đ.đ. xoay chiều. Nếu từ cảm trong khe hở không khí (nơi thanh dẫn quét qua) phân bố hình sin thì theo công thức (1-1) s.đ.đ. trong khung dây cũng là hình sin.



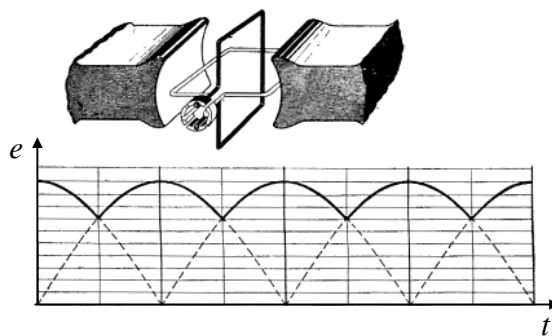
Hình 1-1. Nguyên lý làm việc của máy phát điện một chiều

Vì chổi điện A luôn từ lên phần tiếp xúc với thanh dẫn nằm dưới vùng cực bắc N, còn chổi điện B luôn từ lên phần tiếp xúc với thanh dẫn nằm dưới vùng cực nam S nên dòng điện ở mạch ngoài chỉ chạy theo một chiều từ chổi A (cực dương) đến chổi B (cực âm). Như vậy, s.đ.đ. xoay chiều cảm ứng trong khung dây và dòng điện tương ứng đã được chỉnh lưu thành s.đ.đ. và dòng điện một chiều ở mạch ngoài nhờ hệ thống vành góp và chổi than (hình 1-2).



Hình 1-2. S.đ.đ. và dòng điện trong khung dây (1) và ở mạch ngoài (2).

Nếu máy phát điện một chiều có một khung dây như ở hình 1-1 thì điện áp giữa hai chổi điện A, B có dạng như đường 2 ở hình 1-2, gọi là điện áp đập mạch. Trên thực tế, để có s.đ.đ. lớn giữa các chổi than và để giảm sự đập mạch của s.đ.đ. đó, người ta dùng nhiều khung dây đặt lệch nhau một góc trong không gian làm thành dây quấn phân ứng. Cũng chính vì vậy nên không phải chỉ có hai phần tiếp xúc mà có nhiều phần tiếp xúc ghép lại với nhau thành một cổ góp điện. Các phần tiếp xúc cách điện với nhau bằng mica mỏng. Điện áp giữa



Hình 1-3. S.đ.đ. ở mạch ngoài khi có 2 khung dây đặt lệch nhau  $90^\circ$

hai chổi điện là tổng các s.đ.đ. trên các thanh dẫn nối tiếp trong một mạch nhánh, nên nó có trị số lớn và giảm bớt sự đập mạch. Dạng điện áp giữa hai chổi điện trong trường hợp máy có hai khung dây đặt lệch nhau trong không gian một góc  $90^\circ$  như ở hình 1-3 (đường nét liền).

### 1.1.2. Chế độ động cơ điện

Ngược lại với máy phát, nếu ta nối hai chổi điện A và B vào nguồn điện một chiều, dòng một chiều chạy trong các thanh dẫn nằm trong từ trường của nam châm N - S, dưới tác dụng của từ trường nam châm lên các thanh dẫn có dòng điện sẽ sinh ra lực điện từ có độ lớn:

$$F = B_{tb} \cdot l \cdot i \quad (1-2)$$

trong đó:  $B_{tb}$ - cảm ứng từ trung bình trong khe hở;

$l$  - chiều dài của thanh dẫn;

$i$  - dòng điện chạy trong thanh dẫn.

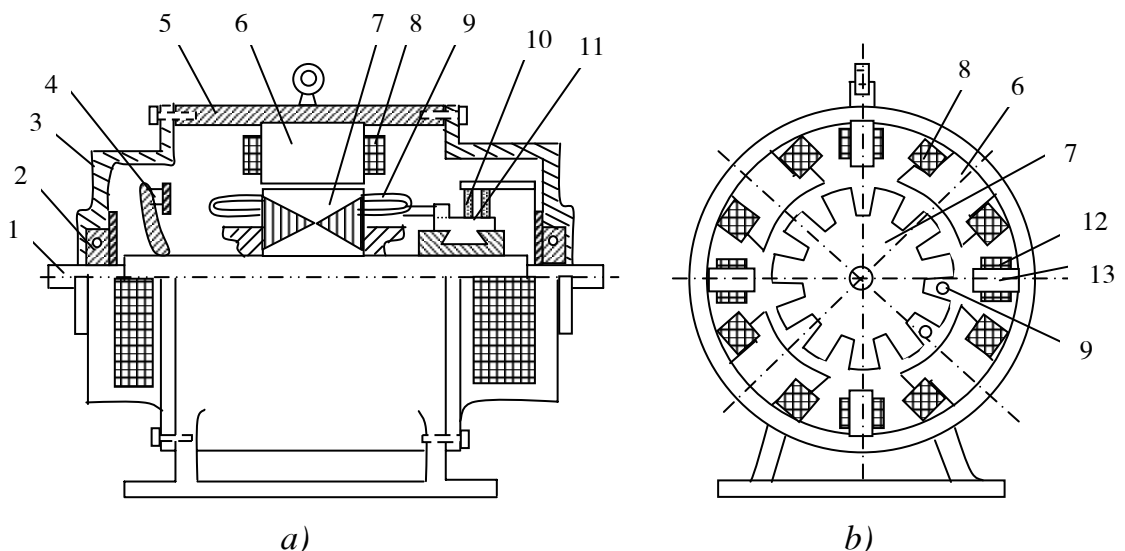
Chiều của lực điện từ được xác định theo quy tắc bàn tay trái.

Nếu chổi điện A nối vào cực (+) và chổi B nối vào cực (-) của nguồn điện thì thanh dẫn nào nằm dưới vùng cực S, dòng điện trong nó sẽ chạy từ trong ra ngoài (từ  $c$  đến  $d$  trên hình 1-1), còn thanh dẫn nào nằm dưới vùng cực N, dòng điện sẽ chạy từ ngoài vào trong (từ  $a$  đến  $b$ ).

Do đó lực điện từ tác dụng lên các thanh dẫn ở mỗi vùng cực có chiều không đổi, mô men do lực điện từ sinh ra có chiều không đổi làm cho khung dây quay theo một chiều nhất định. Đó là nguyên lý làm việc của động cơ điện một chiều.

## 1-2. KẾT CẤU CỦA MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

Kết cấu chủ yếu của máy điện một chiều như ở hình 1-4 và có thể chia thành hai phần chính: phần tĩnh (stato) và phần quay (rôto).



Hình 1-4. Mặt cắt dọc (a) và mặt cắt ngang (b) của máy điện một chiều  
 1. trục; 2. ổ bi; 3. nắp; 4. cánh quạt; 5. vỏ; 6. lõi thép cực từ chính; 7. lõi sắt phân ứng; 8. dây quấn cực từ chính; 9. dây quấn phân ứng; 10. chổi than; 11. cổ góp; 12. dây quấn cực từ phụ; 13. lõi sắt cực từ phụ.

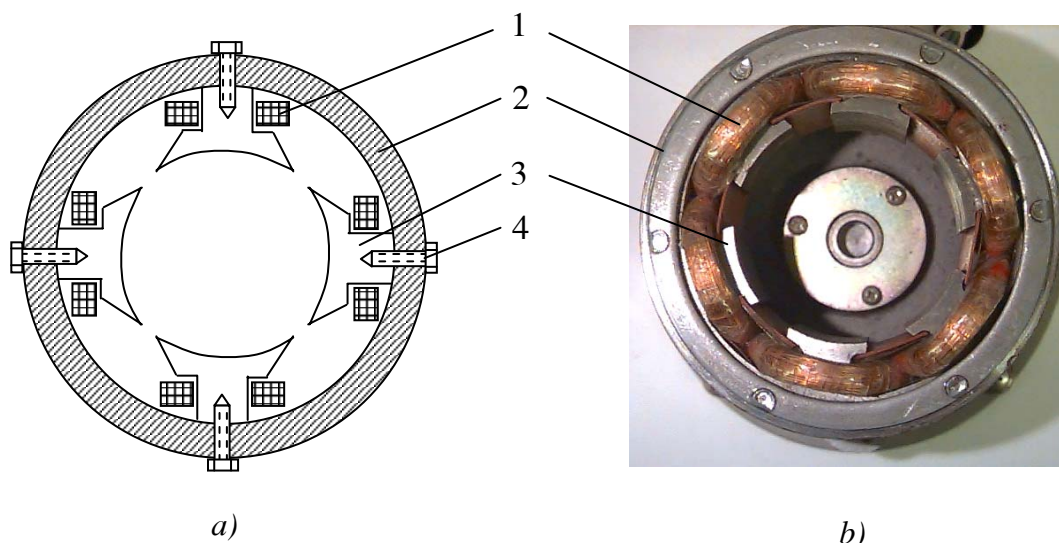


### 1.2.1. Phần tĩnh (stato)

Phần tĩnh còn được gọi là phần cảm, gồm cực từ chính, cực từ phụ, gông từ, nắp máy và cơ cấu chổi điện.

#### a. Cực từ chính

Cực từ chính là bộ phận sinh ra từ trường, gồm có lõi sắt cực từ và dây quấn kích từ lồng ngoài lõi sắt cực từ. Lõi thép cực từ làm bằng các lá thép kỹ thuật điện hay thép các bon dày 0,5 đến 1mm được ép lại và tán chặt. Trong máy điện nhỏ có thể dùng thép khối. Cực từ được gắn chặt vào vỏ máy bằng bu lông (hình 1-5). Dây quấn kích từ được làm bằng đồng bọc cách điện, được quấn thành từng cuộn, mỗi cuộn dây đều được bọc cách điện kỹ thành một khối và tẩm sơn cách điện trước khi đặt trên các cực từ. Các cuộn dây kích từ đặt trên các cực từ chính được nối nối tiếp nhau sao cho khi có dòng điện chạy qua chúng thì hình thành các cực từ trái dấu xen kẽ.



Hình 1-5. Cực từ chính trong máy điện một chiều: a) Bốn cực; b) Sáu cực  
1. Cuộn dây kích từ; 2. Gông từ; 3. Lõi thép cực từ; 4. Bu lông

#### b. Cực từ phụ

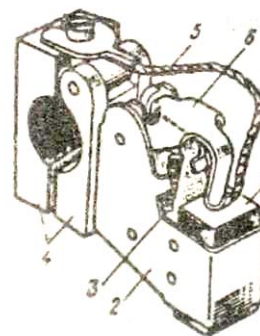
Cực từ phụ được đặt giữa các cực từ chính (hình 1-4) và dùng để cải thiện đổi chiều. Lõi thép thường làm bằng thép khối, trên thân cực từ có đặt dây quấn mà cấu tạo giống như dây quấn cực từ chính. Cực từ phụ được gắn vào vỏ máy nhờ những bulông.

#### c. Gông từ

Gông từ làm mạch từ nối liền các cực từ, đồng thời làm vỏ máy. Trong máy điện công suất lớn gông từ làm bằng thép đúc. Trong máy điện công suất nhỏ và vừa thường dùng thép tấm cuộn lại và hàn. Có khi trong máy điện nhỏ dùng gang làm vỏ máy.

#### d. Cơ cấu chổi than

Cơ cấu chổi than (hình 1-6) gồm có chổi than đặt trong hộp chổi than và nhờ một lò xo tì chặt lên cổ góp. Hộp chổi than được cố



Hình 1-6. Cơ cấu chổi than: 1. chổi than; 2. hộp chổi than; 3. lò xo; 4. giá đỡ; 5. dây dẫn điện; 6. cò mổ

định trên giá chổi than và cách điện với giá. Giá chổi than có thể quay được để điều chỉnh vị trí chổi than cho đúng chỗ. Sau khi điều chỉnh xong thì dùng vít cố định chặt lại. Chổi than làm bằng than hay graphit, đôi khi được trộn thêm bột đồng để tăng độ dẫn điện. Chổi than có nhiệm vụ đưa dòng điện từ phần ứng ra ngoài hoặc ngược lại.

### e. Nắp máy

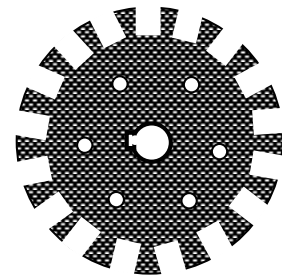
Nắp máy để bảo vệ máy khỏi bị những vật ngoài rơi vào làm hư hỏng dây quấn và đảm bảo an toàn cho người khỏi chạm phải điện. Trong các máy điện công suất nhỏ và vừa, nắp máy còn có tác dụng làm giá đỡ ổ bi. Trong trường hợp này nắp máy thường làm bằng gang.

### 1.2.2. Phần quay (rôto)

Phần quay còn gọi là phần ứng, gồm các bộ phận sau:

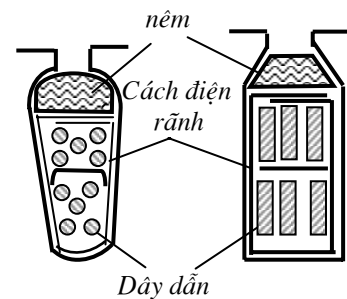
#### a. Lõi thép phần ứng

Lõi thép rôto dùng để dẫn từ, thường làm bằng các lá thép kỹ thuật điện (thép hợp kim silic) dày  $0,5mm$ , bề mặt có phủ sơn cách điện rồi ghép lại để giảm tổn hao do dòng điện xoáy gây nên. Trên lá thép có dập hình dạng rãnh để sau khi ghép lại thì đặt dây quấn vào. Trong những máy cỡ trung bình trở lên, người ta còn dập những lỗ thông gió để khi ép lại thành lõi sắt có thể tạo được những lỗ thông gió dọc trục (hình 1-7).



Hình 1-7. Lá thép phần ứng

Trong máy điện hơi lớn thì lõi sắt được chia thành từng đoạn nhỏ, giữa các đoạn ấy có để một khe hở gọi là khe thông gió ngang trục. Khi máy làm việc, gió thổi qua các khe làm nguội dây quấn và lõi sắt. Trong những máy điện nhỏ, lõi sắt phần ứng được ép trực tiếp vào trục. Trong máy điện lớn, giữa trục và lõi sắt có đặt giá rôto. Dùng giá rôto có thể tiết kiệm thép kỹ thuật điện và giảm nhẹ trọng lượng rôto.



Hình 1-8. Mặt cắt rãnh phần ứng

#### b. Dây quấn phần ứng

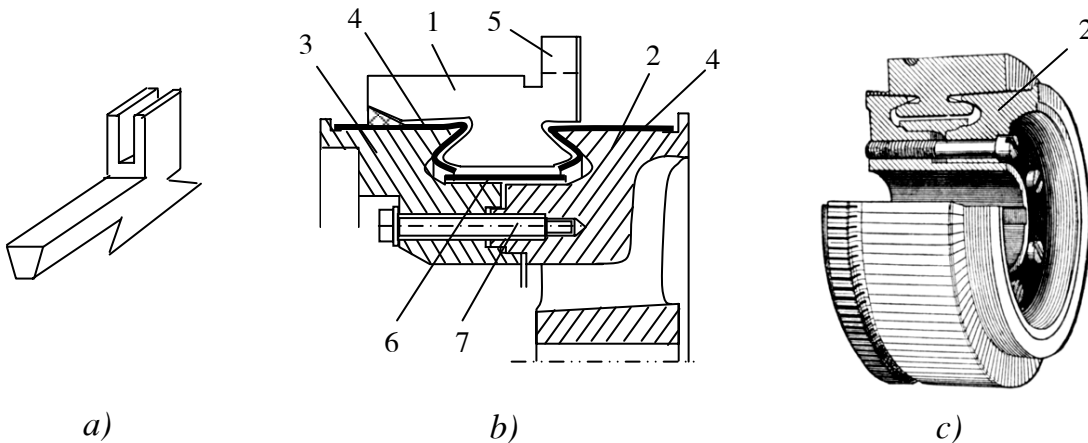
Dây quấn phần ứng là phần sinh ra s.đ.đ. cảm ứng và có dòng điện chạy qua. Dây quấn phần ứng làm bằng đồng có bọc cách điện, tiết diện hình tròn (trong máy công suất bé) hay hình chữ nhật (trong máy công suất lớn), được đặt trong các rãnh của lõi thép theo một sơ đồ cụ thể và được cách điện cẩn thận với rãnh. Để tránh khi quay bị vung ra do lực ly tâm, ở miệng rãnh có dùng nêm để đê chặt hoặc phải đai chặt dây quấn. Nêm có thể bằng tre, gỗ hay bakêlít (hình 1-8).

#### c. Cổ góp

Cổ góp (còn gọi là vành góp hay vành đổi chiều) dùng để chỉnh lưu dòng điện xoay chiều trong dây quấn phần ứng thành dòng điện một chiều đưa ra ngoài.

Kết cấu của cổ góp như hình 1-9, gồm có nhiều phiến đồng có đuôi én (hình 1-9a và b) ghép lại thành hình trụ tròn (hình 1-9c), giữa các phiến đồng được cách điện với nhau bằng các tấm mica dày  $0,4$  đến  $1,2mm$ . Hai đầu trụ tròn dùng hai vành ốp hình chữ V ép chặt lại. Giữa vành ốp và phiến góp cũng được cách điện bằng các tấm mica.

Đuôi vành góp nhô cao lên một ít để hàn các đầu dây của các phân tử dây quấn vào các phiến góp được dễ dàng.



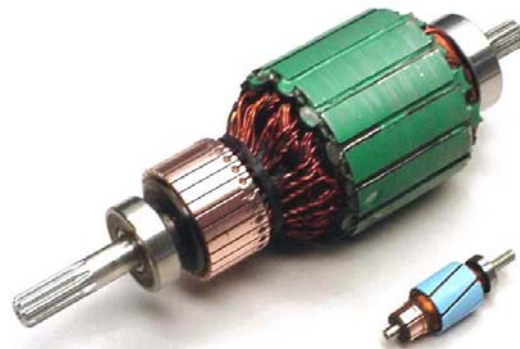
Hình 1-9. Phiến đổi chiều (a), (b) và cổ góp (c)  
1. phiến góp; 2, 3. ớp hình chữ V; 4. cách điện bằng mica; 5. rãnh nối dây; 6. vành đệm cách điện; 7. bulông xiết.

#### d. Các bộ phận khác

Các bộ phận khác gồm có:

Cánh quạt dùng để quạt gió làm mát máy. Máy điện một chiều thường chế tạo theo kiểu bảo vệ, ở hai đầu nắp máy có lỗ thông gió. Cánh quạt lắp trên trục máy. Khi máy quay, cánh quạt hút gió từ ngoài vào máy. Gió đi qua vành góp, cực từ, lõi sắt và dây quấn rồi qua quạt gió ra ngoài làm nguội máy.

Trục máy làm bằng thép các bon tốt. Trên trục máy lắp lõi sắt phần ứng, vành góp, cánh quạt.



Hình 1-10. Rôto của máy điện một chiều

Phần ứng (rôto) của máy điện một chiều như ở hình 1-10.

### 1-3. CÁC ĐẠI LƯỢNG ĐỊNH MỨC

Chế độ làm việc định mức của máy điện là chế độ làm việc trong những điều kiện mà xưởng chế tạo đã quy định. Chế độ đó được đặc trưng bởi những đại lượng ghi trên nhãn máy và gọi là những lượng định mức. Trên nhãn máy thường ghi những đại lượng sau:

Công suất định mức  $P_{dm}$  (W hay kW);

Điện áp định mức  $U_{dm}$  (V);

Dòng điện định mức  $I_{dm}$  (A);

Tốc độ định mức  $n_{dm}$  (vg/ph).

Ngoài ra còn ghi kiểu máy, phương pháp kích từ, dòng điện kích từ và các số liệu về điều kiện sử dụng v.v...

Cần chú ý là công suất định mức ở đây là chỉ công suất đưa ra của máy điện. Đối với máy phát điện, đó là công suất điện đưa ra ở đầu cực của máy. Đối với động cơ điện thì đó là công suất cơ đưa ra ở đầu trục.

### **Câu hỏi**

1. Kết cấu của máy điện một chiều gồm những bộ phận chính nào, công dụng của các bộ phận đó?

2. Tại sao lõi sắt phân ứng của máy điện một chiều phải làm bằng thép kỹ thuật điện, cực từ thì có thể dùng thép kỹ thuật điện hay thép lá thường ghép lại, còn gông từ lại dùng thép đúc hoặc thép tấm uốn lại rồi hàn? Tại sao vỏ của máy điện một chiều không dùng gang là loại vật liệu rẻ tiền và dễ đúc?

3. Cho biết ý nghĩa của trị số công suất định mức ghi trên nhãn máy? Công suất định mức của động cơ điện ghi trên nhãn máy là công suất cơ đưa ra đầu trục hay công suất điện đưa vào động cơ?

## CHƯƠNG 2 DÂY QUẤN PHẦN ỨNG MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

### 2-1. ĐẠI CƯƠNG

Dây quấn là bộ phận quan trọng nhất của máy điện vì nó tham gia trực tiếp vào quá trình biến đổi năng lượng từ điện năng thành cơ năng hay ngược lại. Về mặt kinh tế thì giá thành của dây quấn chiếm một tỷ lệ khá cao trong toàn bộ giá thành máy.

Các yêu cầu đối với dây quấn bao gồm:

- Sinh ra được một s.đ.đ. cần thiết, có thể cho một dòng điện nhất định chạy qua để sinh ra một mômen cần thiết mà không bị nóng quá một nhiệt độ nhất định, đồng thời đảm bảo đổi chiều tốt.

- Triệt để tiết kiệm vật liệu, kết cấu đơn giản, làm việc chắc chắn và an toàn.

Dây quấn phần ứng có thể phân ra làm các loại chủ yếu sau:

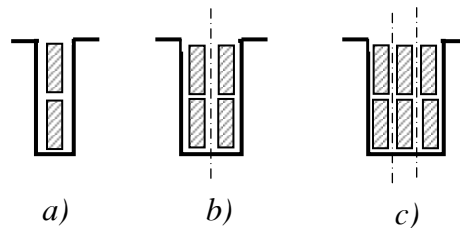
- Dây quấn xếp đơn và xếp phức tạp.
- Dây quấn sóng đơn và sóng phức tạp.

Trong một số máy điện cỡ lớn còn dùng dây quấn hỗn hợp, đó là sự kết hợp giữa hai dây quấn xếp và sóng.

#### 2.1.1. Cấu tạo của dây quấn phần ứng

Dây quấn phần ứng gồm nhiều "phần tử dây quấn" nối với nhau theo một quy luật nhất định. Phần tử thường là một bố dây gồm một hay nhiều vòng dây mà hai đầu của nó nối vào hai phiến góp. Các phần tử nối với nhau thông qua các phiến góp đó và làm thành mạch vòng kín. Mỗi phần tử có hai cạnh tác dụng, đó là phần đặt vào rãnh của lõi sắt. Phần nối hai cạnh tác dụng của phần tử nằm ngoài lõi sắt gọi là phần đầu nối.

Để dễ chế tạo, một cạnh tác dụng của phần tử đặt ở lớp dưới của một rãnh, còn cạnh tác dụng kia đặt ở lớp trên của một rãnh khác. Các phần tử khác cũng xếp theo thứ tự như vậy vào các rãnh kề bên cho đến khi đầy các rãnh. Nếu trong một rãnh phần ứng (gọi là rãnh thực) chỉ đặt hai cạnh tác dụng (một cạnh nằm ở lớp trên và một cạnh nằm ở lớp dưới rãnh) thì ta gọi rãnh đó là rãnh nguyên tố (hình 2-1a). Nếu trong một rãnh thực đó có đặt 2u cạnh tác dụng (trong đó  $u = 1, 2, 3... n$ ) thì ta có thể chia rãnh thực đó ra thành u rãnh



Hình 2-1  
Rãnh thực có 1, 2 và 3 rãnh nguyên tố

nguyên tố (hình 2-1b và c). Vì vậy quan hệ giữa số rãnh thực Z của phần ứng với số rãnh nguyên tố  $Z_{nt}$  như sau:

$$Z_{nt} = uZ \quad (2-1)$$

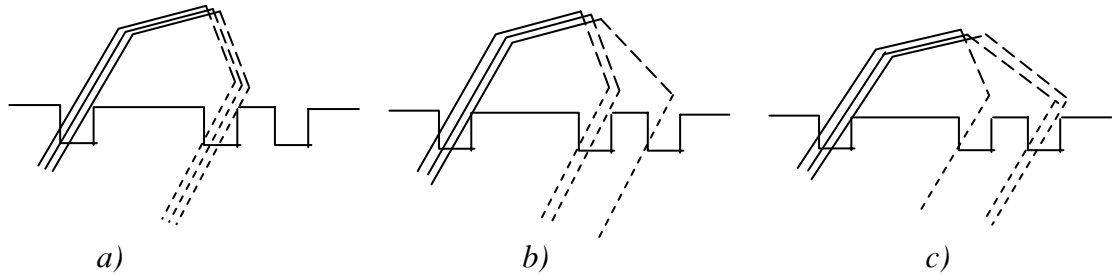
Giữa số phần tử của dây quấn S, số rãnh nguyên tố  $Z_{nt}$  và số phiến góp G cũng có một quan hệ nhất định. Vì mỗi phần tử có hai đầu nối với hai phiến góp, đồng thời ở

mỗi phiến góp lại nối hai đầu của hai phần tử lại với nhau, nên số phần tử  $S$  phải bằng số phiến góp  $G$ . Ta có:

$$S = G. \quad (2-2)$$

Do trong mỗi rãnh nguyên tố đặt hai cạnh tác dụng mà mỗi phần tử cũng có hai cạnh tác dụng nên ta có quan hệ:

$$Z_{nt} = S = G \quad (2-3)$$

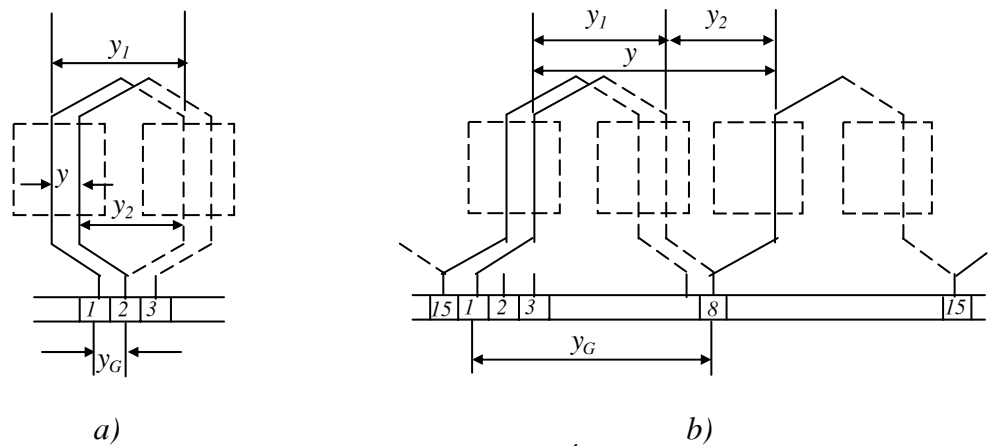


Hình 2-2. Dây quấn có phần tử đồng đều (a) và theo cấp (b và c)

Tùy theo kích thước của các phần tử mà ta chia dây quấn ra làm dây quấn có phần tử đồng đều và dây quấn theo cấp.

Dây quấn có phần tử đồng đều là dây quấn mà kích thước của các phần tử hoàn toàn giống nhau (hình 2-2a).

Dây quấn theo cấp là dây quấn mà khi cạnh tác dụng thứ nhất của các phần tử cùng nằm trong một rãnh thực thì cạnh tác dụng thứ hai của chúng lại nằm trong các rãnh thực khác nhau (hình 2-2b và c). Vì vậy trong dây quấn theo cấp, kích thước của các phần tử không giống nhau.



Hình 2-3. Các bước dây quấn.  
a) dây quấn xếp; b) dây quấn sóng

### 2.1.2. Các bước dây quấn

Quy luật nối các phần tử dây quấn có thể được xác định theo các bước dây quấn sau (hình 2-3):

**a. Bước dây quấn thứ nhất  $y_1$ .** Đó là khoảng cách giữa hai cạnh tác dụng của một phần tử đo bằng số rãnh nguyên tố.

**b. Bước dây quấn thứ hai  $y_2$ .** Đó là khoảng cách giữa cạnh tác dụng thứ hai của phần tử thứ nhất với cạnh tác dụng thứ nhất của phần tử thứ hai nối tiếp ngay sau đó và đo bằng số rãnh nguyên tố.

**c. Bước dây quấn tổng hợp  $y$ .** Đó là khoảng cách giữa hai cạnh tương ứng của hai phần tử liên tiếp nhau đo bằng số rãnh nguyên tố.

**d. Bước trên vành góp  $y_G$ .** Đó là khoảng cách giữa hai phiến góp có hai cạnh tác dụng của cùng một phần tử nối vào đó và đo bằng số phiến góp.

Gọi khoảng cách giữa hai cực từ tính theo chu vi phần ứng là bước cực  $\tau$ , ta có:

$$\tau = \frac{Z_{mt}}{2p} \quad (p \text{ là số đôi cực}).$$

## 2-2. DÂY QUẤN XẾP ĐƠN

### 2.2.1. Bước dây quấn

#### a. Bước dây quấn thứ nhất $y_1$

Bước dây quấn thứ nhất phải chọn sao cho s.đ.đ. cảm ứng trong phần tử lớn nhất. Muốn thế thì hai cạnh tác dụng của phần tử phải cách nhau một bước cực, vì lúc đó trị số tức thời của s.đ.đ. của hai cạnh tác dụng bằng nhau về trị số và ngược chiều nhau và do trong một phần tử đuôi của hai cạnh tác dụng nối với nhau nên s.đ.đ. tổng của phần tử bằng tổng số học của hai s.đ.đ. của hai cạnh tác dụng.

Nếu biểu thị s.đ.đ. của mỗi cạnh tác dụng bằng một véc tơ thì hai s.đ.đ. của hai cạnh tác dụng này cùng phương và véc tơ s.đ.đ. tổng của phần tử bằng hai lần véc tơ s.đ.đ. của mỗi cạnh tác dụng (hình 2-4a). Vì số rãnh nguyên tố dưới mỗi bước cực bằng  $Z_{mt}/2p$  (trong đó  $p$  là số đôi cực) nên tốt nhất là  $y_1 = \frac{Z_{mt}}{2p}$ . Nếu  $y_1 = \frac{Z_{mt}}{2p}$  không phải là số nguyên thì phải chọn  $y_1$  bằng một số nguyên gần bằng  $\frac{Z_{mt}}{2p}$ . Tổng quát ta có:

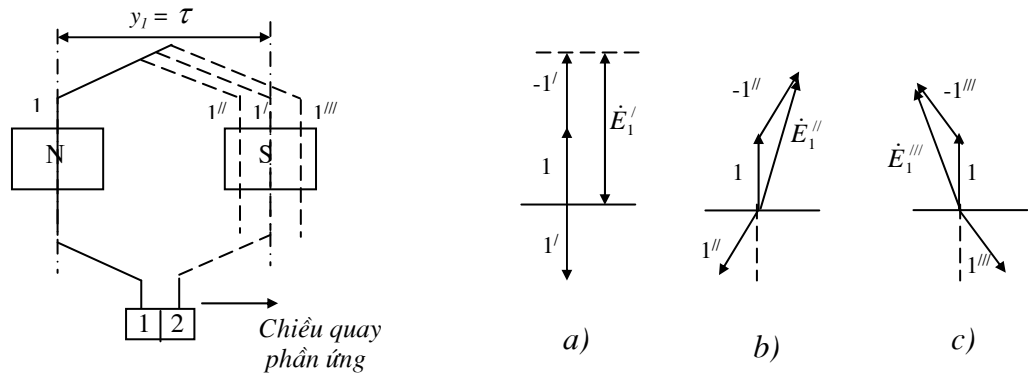
$$y_1 = \frac{Z_{mt}}{2p} \pm \varepsilon = \text{số nguyên.} \quad (2-4)$$

Khi  $y_1 = \frac{Z_{mt}}{2p}$  ta có dây quấn bước đủ;

$y_1 = \frac{Z_{mt}}{2p} + \varepsilon$  ta có dây quấn bước dài;

$y_1 = \frac{Z_{mt}}{2p} - \varepsilon$  ta có dây quấn bước ngắn.

Dây quấn thường được thực hiện theo bước ngắn vì đỡ tốn đồng hơn. Dù là bước dài hay bước ngắn thì s.đ.đ. của phần tử cũng nhỏ hơn so với bước đủ vì khi đó véc tơ s.đ.đ. của hai cạnh tác dụng không cùng phương nữa, nên s.đ.đ. tổng bằng cộng véc tơ hai s.đ.đ. đó chứ không thể cộng trị số số học của chúng được (hình 2-4b và c).



Hình 2-4. S.đ.đ. của phân tử: a) khi bước đủ; b) bước ngắn; c) bước dài

**b. Bước dây quấn tổng hợp y và bước vành góp y<sub>G</sub>**

Đặc điểm của dây quấn xếp đơn là hai đầu dây của một phân tử nối liền vào hai phiến góp kề nhau nên y<sub>G</sub> = 1.

Cũng từ đây ta thấy bước tổng hợp y cũng phải bằng 1, ta có:

$$y = y_G = 1 \tag{2-5}$$

**c. Bước dây quấn thứ hai y<sub>2</sub>**

Có thể xác định y<sub>2</sub> theo y<sub>1</sub> và y. Theo định nghĩa và hình 2-3, ta có:

$$y_2 = y_1 - y \tag{2-6}$$

Từ hình vẽ ta thấy, do đặc điểm về bước dây quấn của kiểu dây quấn này nên các phân tử nối tiếp nhau đều xếp lên nhau nên gọi là dây quấn xếp.

**2.2.2. Giải đồ khai triển của dây quấn**

Có thể phân tích cách đấu dây của các phân tử bằng giải đồ khai triển. Đó là hình vẽ khai triển của dây quấn khi cắt bề mặt phần ứng theo chiều trục rồi trải ra thành mặt phẳng. Để hiểu rõ cách phân tích hơn ta có thể xét ví dụ sau:

Có dây quấn xếp đơn với Z<sub>mt</sub> = S = G = 16, 2p = 4.

**a. Các bước dây quấn**

$$y_1 = \frac{Z_{mt}}{2p} \pm \varepsilon = \frac{16}{4} = 4$$

$$y = y_G = 1$$

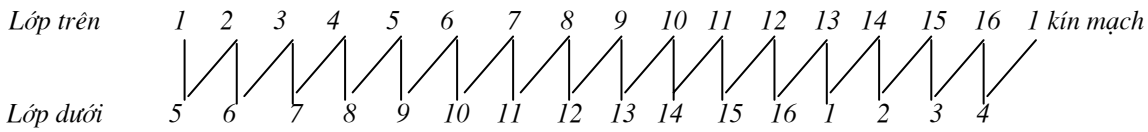
$$y_2 = y_1 - y = 4 - 1 = 3$$

**b. Thứ tự nối các phân tử**

Căn cứ vào các bước dây quấn có thể bố trí cách nối các phân tử để thực hiện dây quấn. Đánh số các rãnh từ 1 đến 16. Phân tử thứ nhất có cạnh tác dụng thứ nhất (coi như đặt nằm trên rãnh) đặt vào rãnh nguyên tố thứ nhất thì cạnh tác dụng thứ hai của phân tử đó phải đặt vào phía dưới của rãnh nguyên tố thứ 5 (vì y<sub>1</sub> = 5 - 1 = 4). Hai đầu của phân tử nối vào phiến đổi chiều 1 và 2. Cạnh thứ nhất của phân tử thứ hai phải đặt



ở rãnh nguyên tố thứ hai và nằm ở lớp trên (vì  $y_2 = 5 - 2 = 3$ ), và cứ tiếp tục như vậy cho đến khi mạch khép kín. Ta có thể diễn tả bằng sơ đồ sau:

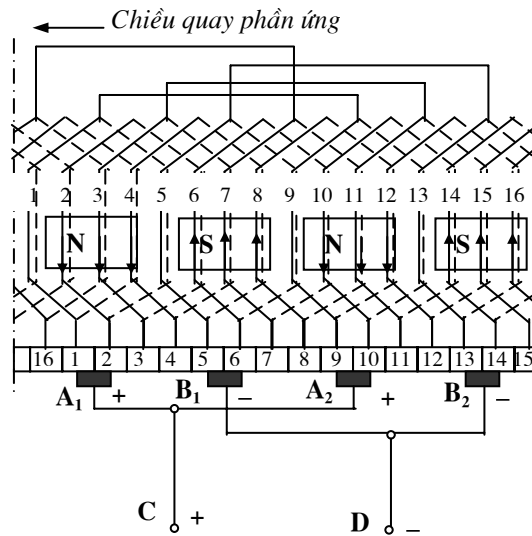


### c. Giản đồ khai triển

Ta có thể theo trình tự nối các phần tử để vẽ giản đồ khai triển (hình 2-5).

Khi vẽ, quy ước các cạnh của phần tử ở lớp trên vẽ bằng nét liền, còn ở lớp dưới vẽ bằng nét đứt.

Vị trí của các cực từ phải đối xứng, nghĩa là khoảng cách giữa chúng phải đều nhau, chiều rộng cực từ vào khoảng 0,7 bước cực. Theo cực tính của cực từ và chiều quay của phần ứng mà chiều s.đ.đ. cảm ứng như trong hình vẽ. Vị trí của chổi than trên phiên đổi chiều cũng phải đối xứng, nghĩa là khoảng cách giữa các chổi than phải bằng nhau. Chiều rộng của chổi than có thể lấy bằng một phiên đổi chiều. Vị trí tương đối giữa



Hình 2-5.  
Giản đồ khai triển dây quấn xếp đơn.

chổi than với cực từ phải có một quan hệ nhất định. Chổi than phải đặt ở vị trí để s.đ.đ. lấy ra ở hai đầu chổi than lớn nhất, đồng thời để dòng điện trong phần tử khi bị chổi than nối ngắn mạch là nhỏ nhất. Dòng điện trong phần tử bị chổi than nối ngắn mạch là nhỏ nhất khi hai cạnh của phần tử nằm ở vị trí trùng với đường trung tính hình học của phần ứng. Như vậy thì vị trí của chổi than đặt trên vành góp phải trùng với trục cực từ. Để tiện lợi, có khi trong một số hình vẽ ta quy ước vẽ vị trí của các chổi than ở đúng đường trung tính hình học trên phần ứng.

Theo hình vẽ 2-5, khi chổi than trên vành góp đặt đúng giữa trục cực từ thì s.đ.đ. của các phần tử giữa hai chổi than đều cộng với nhau nên s.đ.đ. giữa hai chổi than là lớn nhất. Nếu dịch chổi than đến vị trí khác thì s.đ.đ. sẽ giảm đi.

### d. Số đôi mạch nhánh

Giả thiết ở thời điểm nào đấy dây quấn quay đến vị trí như trong giản đồ khai triển trên. Ta thấy s.đ.đ. của các phần tử giữa hai chổi than cùng chiều và chổi than  $A_1, A_2$  cùng cực tính (cực +). Cực tính của các chổi than  $B_1, B_2$  cũng giống nhau (cực -). Vì vậy ta thường nối  $A_1$  với  $A_2$  và  $B_1$  với  $B_2$ . Từ ngoài nhìn vào, dây quấn có thể biểu thị bằng sơ đồ ký hiệu như hình 2-6.

Từ hình 2-6 ta thấy dây quấn là một mạch điện gồm bốn mạch nhánh ghép song song hợp lại. Khi phần ứng quay, vị trí của phần tử thay đổi nhưng nhìn từ ngoài vào vẫn là bốn mạch nhánh song song. Ở ví dụ trên, máy có bốn cực nên có bốn mạch nhánh song song. Nếu số cực là  $2p$  thì số mạch nhánh cũng sẽ là  $2p$ . Vì vậy, đặc điểm

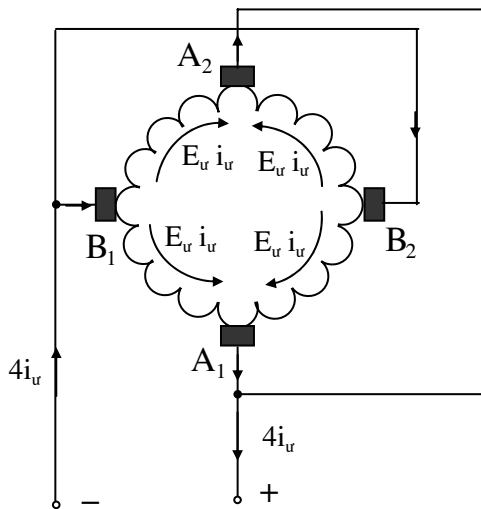
của dây quấn xếp đơn là số mạch nhánh ghép song song của dây quấn phần ứng bằng số cực từ:

$$2a = 2p$$

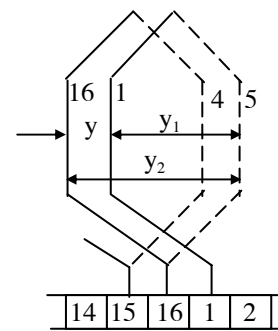
nghĩa là số đôi mạch nhánh bằng số đôi cực từ:

$$a = p \quad (2-7)$$

Trong thí dụ trên  $y_G = 1$  nên dây quấn được xếp theo thứ tự từ trái sang phải, ta gọi là *dây quấn phải*. Nếu  $y_G = -1$  thì đầu cuối của phần tử phải nằm bên trái của đầu đầu phần tử nên ta có *dây quấn trái* (hình 2-7). Cách quấn này tốn đồng hơn nên nói chung không được dùng.



Hình 2-6. Sơ đồ ký hiệu dây quấn xếp đơn



Hình 2-7. Dây quấn xếp trái

### e. Dùng đa giác s.đ.đ. nghiên cứu dây quấn phần ứng

Giả thiết từ cảm dưới cực từ phân bố hình sin, như vậy thì s.đ.đ. cảm ứng trong mỗi phần tử cũng biến đổi hình sin và có thể dùng một vectơ quay để biểu thị, trị số tức thời của s.đ.đ. phần tử là hình chiếu của vectơ lên trục tung. Như vậy có thể biểu thị s.đ.đ. của tất cả các phần tử bằng hình sao s.đ.đ. (hay còn gọi là hình tia s.đ.đ.).

Vì cứ qua mỗi đôi cực s.đ.đ. biến đổi một chu kỳ 360 độ điện và số rãnh nguyên tố dưới mỗi đôi cực là  $\frac{Z_{nt}}{p}$ , nên nếu coi như các phần tử dây quấn phân bố đều trên bề mặt phần ứng thì góc độ điện giữa hai rãnh nguyên tố (cũng là góc độ điện giữa hai s.đ.đ. của hai phần tử kề nhau) sẽ là:

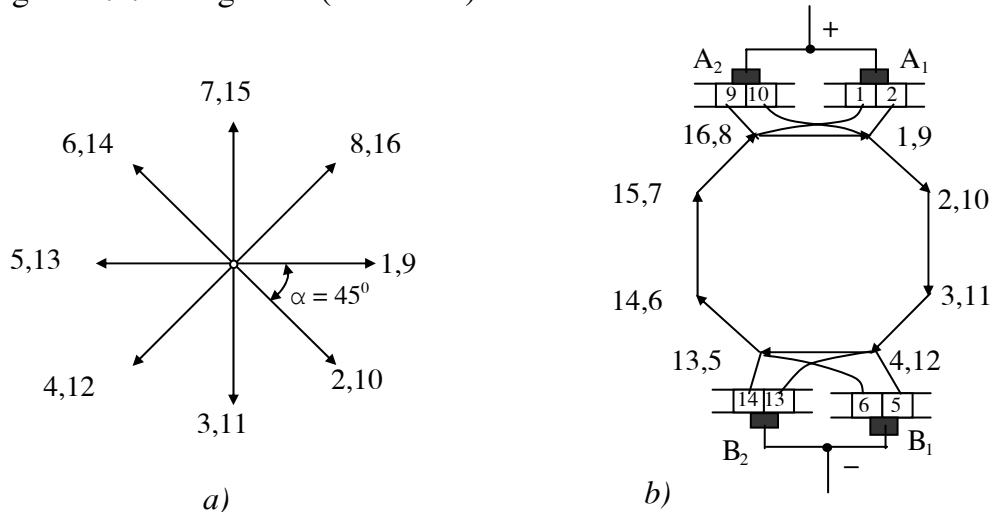
$$\alpha = \frac{360^\circ}{Z_{nt}/p} = \frac{p360^\circ}{Z_{nt}} = \frac{p360^\circ}{S} \quad (2-8)$$

Theo thí dụ trên,  $p = 2$ ,  $Z_{nt} = S = 16$  thì ta có  $\alpha = \frac{2 \cdot 360^\circ}{16} = 45^\circ$ .

Với chiều quay của phần ứng cho trước như trên hình 2-5 thì các phần tử 1, 2, 3, ... lần lượt quét qua cực từ nên s.đ.đ. của phần tử 2 (tức vectơ 2) chậm sau s.đ.đ. của phần tử 1 (tức vectơ 1) một góc  $\alpha = 45^\circ$ . Theo quy ước đó mà vẽ, ta có hình tia s.đ.đ. như hình 2-8a.

Từ hình vẽ 2-5 ta thấy, từ rãnh 1 đến rãnh 8 phân bố dưới đôi cực thứ nhất (chiếm  $360^\circ$  góc độ điện) nên ta vẽ được một hình sao s.đ.đ. gồm các vectơ từ 1 đến 8, góc lệch pha giữa các véc tơ là  $45^\circ$ . Từ rãnh 9 đến rãnh 16 phân bố dưới đôi cực thứ hai và ta vẽ được hình sao s.đ.đ. thứ hai trùng với hình sao s.đ.đ. thứ nhất. Sở dĩ như vậy vì chúng có vị trí tương đối giống nhau ở dưới cực từ.

Vì tất cả các phần tử của dây quấn phân ứng được nối nối tiếp nhau sao cho cuối phần tử trước nối với đầu phần tử sau, nên s.đ.đ. sinh ra trong nó được cộng hình học với nhau. Để thực hiện điều đó ta làm như sau: từ cuối của véc tơ 1 ta vẽ liên tiếp các véc tơ 2, 3, 4, ... Kết quả ta sẽ được đa giác s.đ.đ. Theo thí dụ trên ta thấy dây quấn này có hai đa giác s.đ.đ. trùng nhau (hình 2-8b).



Hình 2-8. Hình tia (a) và đa giác s.đ.đ.(b) của dây quấn xếp đơn ở hình 1-14

Dùng đa giác s.đ.đ. có thể thấy rõ các vấn đề sau:

1. Nếu đa giác s.đ.đ. khép kín thì chứng tỏ tổng s.đ.đ. trong mạch vòng phân ứng bằng 0 và trong điều kiện làm việc bình thường không có dòng điện cân bằng.

2. Hình chiếu của đa giác s.đ.đ. lên trục tung là trị số cực đại của các véc tơ s.đ.đ. của một số phần tử nối với nhau trong mạch vòng phân ứng, nên muốn cho s.đ.đ. lấy ra ở hai đầu chổi than cực đại thì chổi than phải đặt ở các phần tử ứng với các véc tơ ở đỉnh và đáy của đa giác. Khi rôto quay thì đa giác cũng quay, hình chiếu của đa giác lên trục tung có thay đổi chút ít theo chu kỳ. Điều đó nói lên điện áp phân ứng lấy ra ở chổi than có đập mạch.

Người ta đã chứng minh được rằng, nếu  $\frac{G}{2p}$  càng lớn thì sự đập mạch của điện áp càng ít. Khi  $\frac{G}{2p} = 8$  thì sự đập mạch đó đã khó nhận thấy và điện áp của máy phát được coi như không đổi.

3. Các véc tơ s.đ.đ. của đa giác cũng có thể biểu thị cho cách nối tiếp các phần tử. Do đó từ đa giác s.đ.đ. có thể thấy số đôi mạch nhánh a (cứ mỗi một đa giác tương ứng với một đôi mạch nhánh).

4. Những điểm trùng nhau trên đa giác là những điểm đẳng thế của dây quấn, có thể nối dây cân bằng điện thế được, như điểm 1- 9, 2-10, v.v...

## 2-3. DÂY QUẤN SÓNG ĐƠN

### 2.3.1. Bước dây quấn

Đặc điểm của dây quấn sóng là hai đầu của phân tử nối với hai phiến góp cách rất xa nhau và hai phân tử nối tiếp nhau cũng cách xa nhau nên nhìn cách đấu gần giống như làn sóng (hình 2-3b).

Cách xác định bước dây quấn  $y_1$  giống như đối với dây quấn xếp đơn, chỉ khác ở  $y_G$ . Khi chọn  $y_G$ , trước hết yêu cầu s.đ.đ. sinh ra trong hai phân tử nối tiếp nhau cùng chiều, có như vậy s.đ.đ. mới có thể cộng số học với nhau được. Muốn thế thì hai phân tử đó phải nằm dưới các cực từ cùng cực tính, có vị trí tương đối gần giống nhau trong từ trường, nghĩa là cách nhau một khoảng bằng hai bước cực. Mặt khác các phân tử nối tiếp nhau sau khi quấn vòng quanh bề mặt phần ứng phải trở về bên cạnh phân tử đầu tiên để lại tiếp tục nối với các phân tử khác quấn vòng thứ hai. Như vậy, nếu máy có p đôi cực thì muốn cho các phân tử nối tiếp nhau đi một vòng bề mặt phần ứng, phải có p phân tử. Hai phiến đối chiều nối với hai đầu của phân tử cách nhau  $y_G$  phiến, do đó muốn cho khi quấn xong vòng thứ nhất đầu cuối của phân tử phải kề với đầu đầu của phân tử đầu tiên thì số phiến đối chiều mà các phân tử vượt qua phải bằng:

$$p \cdot y_G = G \pm 1$$

và ta có:

$$y_G = \frac{G \pm 1}{p} \quad (2-9)$$

Nếu lấy dấu "-" ta có dây quấn trái, nếu lấy dấu "+" ta có dây quấn phải. Thường dùng dây quấn trái cho đỡ tốn đồng.

Theo định nghĩa của các bước dây quấn ta có:

$$y = y_G \quad (2-10)$$

$$y_2 = y - y_1 \quad (2-11)$$

Mặc dù hai phân tử nối tiếp nhau ở dưới các cực từ cùng cực tính nhưng vị trí tương đối trong từ trường không hoàn toàn như nhau, vì khoảng cách rãnh giữa hai phân tử đó là:

$$y = y_G = \frac{G \pm 1}{p} = \frac{Z_{nt} \pm 1}{p} = \frac{Z_{nt}}{p} \pm \frac{1}{p}$$

trong khi đó khoảng cách giữa hai bước cực tính bằng số rãnh lại là  $Z_{nt}/p$ , do đó hai cạnh tương ứng của của hai phân tử nối tiếp nhau lệch nhau đi một góc bằng  $1/p$  bước rãnh trong từ trường. Đó là hiện tượng tất nhiên trong dây quấn sóng.

### 2.3.2. Giải đồ khai triển của dây quấn

Ví dụ có dây quấn sóng đơn với  $2p = 4$ ,  $G = S = Z_{nt} = 15$ .

#### a. Bước dây quấn

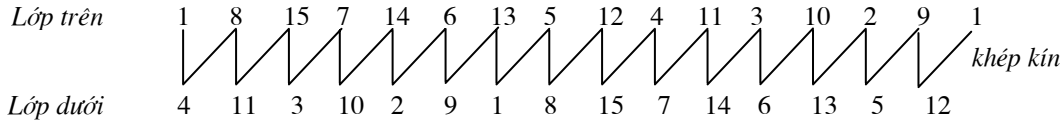
$$y_1 = \frac{Z_{nt}}{2p} \pm \varepsilon = \frac{15}{4} - \frac{3}{4} = 3, \text{ (chọn dây quấn bước ngắn).}$$

$$y_G = \frac{G \pm 1}{p} = \frac{15 - 1}{2} = 7, \text{ (dây quấn trái).}$$

$$y = y_G = 7$$

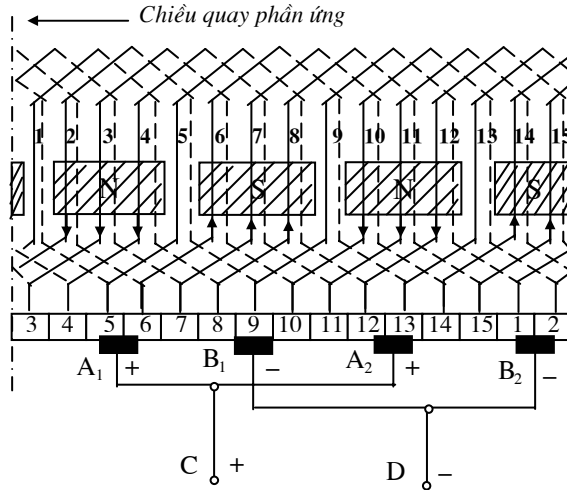
$$y_2 = y - y_1 = 7 - 3 = 4.$$

**b. Thứ tự nối các phân tử**



**c. Giản đồ khai triển dây quấn**

Cách vẽ vị trí cực từ và chổi than trong giản đồ khai triển giống như ở dây quấn xếp. Theo thứ tự nối các phân tử ta thấy, phân tử 1 nối với phân tử 8 rồi với phân tử 15, cách nhau 7 phân tử. Nhìn trên giản đồ khai triển (hình 2-9) ta thấy, các cạnh tương ứng của các phân tử ấy đều nằm dưới các cực từ cùng cực tính, ví dụ cạnh thứ nhất của các phân tử 1, 8, 15 đều nằm dưới cực S. Nhưng sau khi nối đến phân tử thứ 5 trở đi thì tất cả các cạnh sẽ nằm ở dưới cực N cho đến khi nối thành mạch kín.



Hình 2-9  
Giản đồ khai triển dây quấn sóng đơn

Như vậy dù máy có bao nhiêu đôi cực thì quy luật nối dây của dây quấn này vẫn là: trước hết nối nối tiếp tất cả các phân tử ở dưới các cực từ cùng cực tính lại sau đó nối các phân tử ở dưới các cực từ có cực tính khác cho đến khi hết.

**d. Số đôi mạch nhánh**

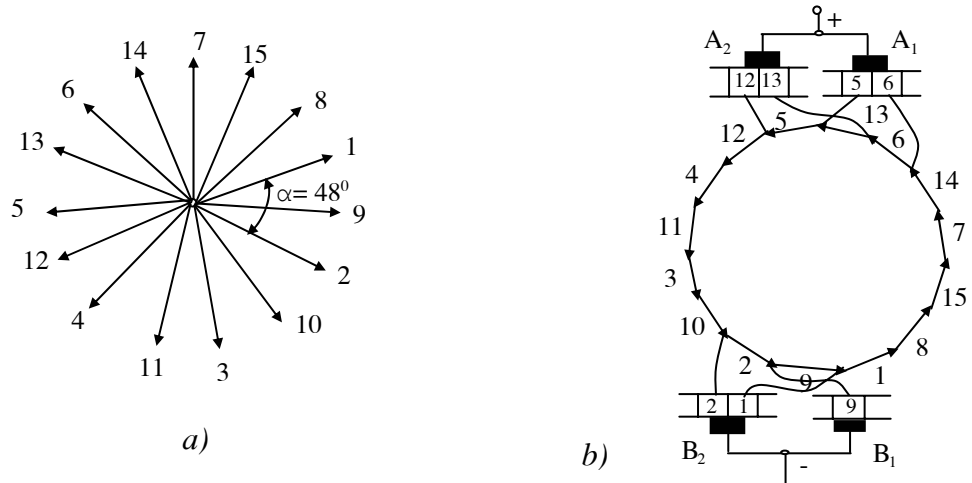
Có thể dùng đa giác s.đ.đ. để xác định nhanh chóng số đôi mạch nhánh của dây quấn sóng đơn. Theo hình tia s.đ.đ, góc độ điện giữa hai phân tử kề nhau là:

$$\alpha = \frac{p \cdot 360^\circ}{S} = \frac{2 \cdot 360^\circ}{15} = 48^\circ$$

Khi vẽ hình tia s.đ.đ. (hình 2-10a) ta thấy không có vectơ s.đ.đ. nào trùng nhau, do đó ta chỉ được một đa giác s.đ.đ. (hình 2-10b). Vì chỉ có một đa giác s.đ.đ. nên chỉ có một đôi mạch nhánh, ta có:

$$a = 1 \tag{2-12}$$

Về lý luận ta thấy chỉ cần hai chổi than cũng đủ (vì chỉ có một đôi mạch nhánh) nhưng thường vẫn đặt số chổi than bằng số cực từ. Làm như vậy để phân bố dòng điện trên nhiều chổi than hơn, kích thước chổi than ngắn đi, giảm được chiều dài của vành góp. Điều quan trọng là để đảm bảo tính đối xứng của cả hai mạch nhánh. Theo hình 2-10b ta thấy có năm phân tử bị ngắn mạch và khép kín qua chổi than (2, 5, 6, 9 và 13) nên trong mỗi mạch nhánh chỉ còn lại năm phân tử, nghĩa là chúng đối xứng nhau.



Hình 2-10. Hình tia và đa giác s.đ.đ của dây quấn sóng đơn theo hình 1-21

## 2-4. SỨC ĐIỆN ĐỘNG CẢM ỨNG TRONG DÂY QUẤN MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU (MĐMC)

Cho dòng điện kích thích vào dây quấn kích thích thì trong khe hở không khí sẽ sinh ra từ thông. Khi phân ứng quay với một tốc độ nhất định nào đó thì trong dây quấn phân ứng sẽ cảm ứng nên một s.đ.đ. S.đ.đ. đó phụ thuộc vào từ thông dưới mỗi cực từ, tốc độ quay của máy, số thanh dẫn của dây quấn và kiểu dây quấn.

Vì dây quấn gồm có  $2a$  mạch nhánh ghép song song nên s.đ.đ. của dây quấn bằng s.đ.đ. cảm ứng trên một mạch nhánh, nghĩa là bằng tổng s.đ.đ. của các thanh dẫn nối tiếp trong mạch nhánh đó.

S.đ.đ. trung bình cảm ứng trong thanh dẫn có chiều dài tác dụng  $l$ , chuyển động với tốc độ  $v$  trong từ trường bằng:

$$e_{tb} = B_{tb}lv \quad (2-13)$$

trong đó  $B_{tb}$  là cảm ứng từ trung bình trong khe hở.

$$\text{Do tốc độ quay } v = \frac{\pi Dn}{60} = 2\tau p \frac{n}{60} \text{ và } B_{tb} = \frac{\Phi_{\delta}}{\tau l},$$

trong đó:  $D$  - đường kính ngoài phân ứng;

$\tau$  - bước cực;

$p$  - số đôi cực;

$n$  - tốc độ quay phân ứng;

$\Phi_{\delta}$  - từ thông khe hở dưới mỗi cực từ.

Thay vào phương trình (2-13), ta có:

$$e_{tb} = 2p\Phi_{\delta} \frac{n}{60} \quad (2-14)$$

Gọi N là tổng số thanh dẫn của dây quấn thì mỗi mạch nhánh song song sẽ có N/2a thanh dẫn nối tiếp nhau, trong đó 2a là số mạch nhánh ghép song song, như vậy s.đ.đ của máy bằng:

$$E_u = \frac{N}{2a} e_{tb} = \frac{pN}{60a} \Phi_{\delta} n = C_e \Phi_{\delta} n, \text{ V} \quad (2-15)$$

trong đó:  $\Phi_{\delta}$  - tính bằng Wb ; n - tính bằng vg/ph.

$$C_e = \frac{pN}{60a} - \text{hệ số phụ thuộc vào kết cấu}$$

của máy và dây quấn.

Chiều của  $E_u$  phụ thuộc vào chiều của từ thông  $\Phi_{\delta}$ , chiều quay n và được xác định theo quy tắc bàn tay phải (hình 2-11).

Sự phân tích trên dựa trên giả thiết dây quấn bước đủ, s.đ.đ. trên các thanh dẫn của phân tử đều cộng số học với nhau. Nếu là bước ngắn thì s.đ.đ.

của các thanh dẫn của một phân tử sẽ cộng véc tơ nên s.đ.đ. của cả phân tử sẽ nhỏ hơn so với phân tử bước đủ và như vậy s.đ.đ. phản ứng cũng nhỏ đi một ít. Nhưng vì trong máy điện một chiều không cho phép bước ngắn nhiều nên ảnh hưởng này ít và thường là không xét đến khi tính s.đ.đ.

### Câu hỏi

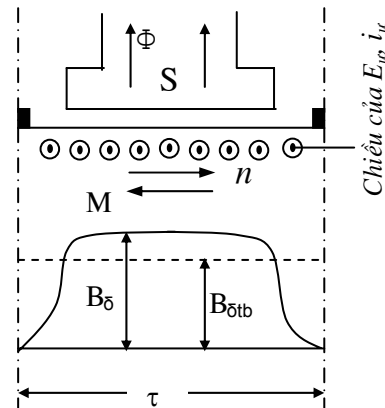
1. Quy luật nối các phân tử của dây quấn xếp và sóng có những điểm nào khác nhau? Quan hệ giữa số đôi mạch nhánh của chúng như thế nào?
2. Một máy 4 cực dây quấn xếp đơn đổi thành sóng đơn mà số thanh dẫn và những điều kiện khác không thay đổi thì điện áp và dòng điện của máy sau khi thay đổi sẽ như thế nào? Công suất định mức của máy có thay đổi không ?
3. Tại sao trong giản đồ khai triển của dây quấn khi vị trí chổi than trùng với trục cực từ thì s.đ.đ. lấy ra là lớn nhất ? Tại sao dây quấn bước ngắn và bước dài đều làm cho s.đ.đ. nhỏ đi một ít so với bước đủ?

### Bài tập

1. Vẽ giản đồ khai triển của dây quấn xếp đơn quấn phải có các số liệu như sau:  $S = G = Z_{nt} = 24, p = 3, u = 1$ , có lắp 1/3 tổng số dây cân bằng điện thế.
2. Một dây quấn sóng đơn quấn trái có số liệu sau:  $Z_{nt} = 19, p = 2$ . Hỏi:
  - a) Các bước dây quấn  $y_1, y_2, y$  và  $y_G$
  - b) Vẽ giản đồ khai triển.
  - c) Vẽ hình tia và đa giác s.đ.đ.
  - d) Số đôi mạch nhánh song song.

Đáp số: a)  $y_1 = 4; y_2 = 5; y = y_G = 9$

d)  $a = 1$



Hình 2-11. Xác định s.đ.đ. phản ứng và mômen điện từ trong MFD1 chiều

## CHƯƠNG 3 TỪ TRƯỜNG TRONG MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

### 3-1. TỪ TRƯỜNG LÚC KHÔNG TẢI (TỪ TRƯỜNG CỰC TỪ)

Từ trường trong máy điện là một yếu tố không thể thiếu được để sinh ra s.đ.đ. và mômen điện từ. Trong hầu hết các máy điện hiện nay, từ trường lúc không tải đều do dòng điện một chiều chạy trong dây quấn kích từ đặt trên cực từ sinh ra.

Việc nghiên cứu mạch từ lúc không tải của máy điện một chiều cũng như của tất cả các loại máy điện khác như máy điện đồng bộ, máy điện không đồng bộ v.v... là xác định sức từ động (viết tắt là s.t.đ.) cần thiết để tạo ra từ thông ở khe hở đủ để sinh ra trong dây quấn phần ứng một s.đ.đ. và mômen điện từ theo yêu cầu của thiết kế. Trong phần này sẽ trình bày cách tính toán cụ thể mạch từ của máy điện một chiều. Tuy nhiên, vì phương pháp đó có tính chất tổng quát nên cũng có thể ứng dụng để tính toán mạch từ của các loại máy điện quay khác.

#### 3.1.1. Từ trường chính và từ trường tản

Trong các máy điện, các cực từ có cực tính khác nhau được bố trí xen kẽ nhau dọc theo chu vi phía trong thân vỏ máy, từ thông đi từ cực bắc N qua khe hở và phần ứng rồi trở về hai cực nam S nằm kề bên. Sự phân bố của đường sức từ ở một máy bốn cực như trên hình 3-1. Theo hình vẽ đó ta thấy, từ thông đi ra dưới mỗi cực từ đại bộ phận đi qua khe hở vào phần ứng, chỉ có một bộ phận rất nhỏ không qua phần ứng mà trực tiếp đi vào các cực từ bên cạnh hoặc gông từ, nắp máy ... làm thành mạch kín. Phần từ thông đi vào phần ứng gọi là từ thông chính hay từ thông khe hở  $\Phi_0$ . Từ thông này cảm ứng nên s.đ.đ. trong dây quấn khi phần ứng quay và tác dụng với dòng điện trong dây quấn phần ứng để sinh ra mômen. Đây là phần chủ yếu của từ thông cực từ  $\Phi_c$ . Phần từ thông không đi qua phần ứng gọi là từ thông tản  $\Phi_\sigma$ , nó không cảm ứng nên s.đ.đ. và không sinh ra mômen trong phần ứng mà chỉ làm cho độ bão hoà từ trong cực từ và gông từ tăng lên. Từ thông này nhiều hay ít còn phụ thuộc vào độ bão hoà và kết cấu của cực từ.

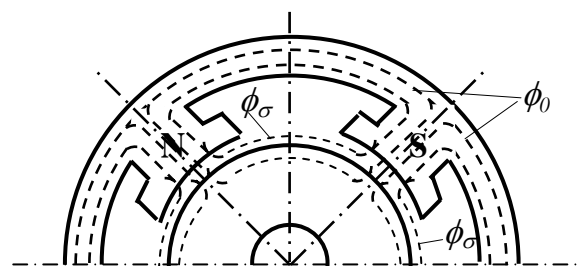
Tóm lại toàn bộ từ thông của cực từ bằng:

$$\Phi_c = \Phi_0 + \Phi_\sigma = \phi_0 \left( 1 + \frac{\phi_\sigma}{\phi_0} \right) = \sigma_t \Phi_0 \quad (3-1)$$

trong đó:  $\sigma_t = \left( 1 + \frac{\phi_\sigma}{\phi_0} \right)$  - hệ số tản từ của cực từ chính. Thường  $\sigma_t = 1,15 \div 1,28$ .

#### 3.1.2. S.t.đ. cần thiết sinh ra từ thông

Để có từ thông chính  $\Phi_0$  cần thiết phải



Hình 3-1

Sự phân bố của từ trường chính và từ trường tản trong máy điện một chiều



có một s.t.đ. kích từ  $F_0$  nào đó. S.t.đ. này do số ampe vòng của dây quấn kích từ trên một đôi cực sinh ra. Theo định luật toàn dòng điện, trong mạch từ kín, tổng s.t.đ. bằng tích phân vòng của cường độ từ trường trong mạch từ đó, tức là:

$$\Sigma Iw = \oint Hdl$$

Trong thiết kế máy điện, trực tiếp dùng công thức trên để tính toán có khó khăn vì mạch từ trong máy điện không quy củ, khó xác định cường độ từ trường  $H$  ở các điểm. Vì vậy để dễ tính toán ta dùng cách phân đoạn và trong các đoạn đó coi như cường độ từ trường không đổi. Trong máy điện thường chia mạch từ ra làm năm đoạn sau: khe hở, răng phần ứng, lưng phần ứng, cực từ và gông từ.

Như vậy s.t.đ. cần thiết cho một đôi cực  $F_0$  để sinh ra từ thông chính có thể tính như sau:

$$\begin{aligned} F_0 = \Sigma Iw = \Sigma Hl &= 2H_\delta \delta + 2H_r h_r + H_u l_u + 2H_c l_c + H_g l_g \\ &= F_\delta + F_r + F_u + F_c + F_g \end{aligned} \quad (3-2)$$

trong đó các chữ nhỏ  $\delta, r, u, c, g$  chỉ khe hở, răng phần ứng, lưng phần ứng, cực từ và gông từ;  $h$  chỉ chiều cao và  $l$  chỉ chiều dài.

Cường độ từ trường có thể tính theo công thức:

$$H = \frac{B}{\mu} \quad (3-3)$$

trong đó:  $B = \frac{\Phi}{S}$  - từ cảm trên từng đoạn;

$\Phi, S$  và  $\mu$  - từ thông, tiết diện và hệ số từ thẩm của các đoạn.

Trong không khí,  $\mu = \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} H/m$ , nhưng trong sắt từ  $\mu$  không phải là một hệ số không đổi, vì vậy thường không tính toán theo công thức (3-3) để được  $H$  mà trực tiếp tìm ra  $H$  theo đường đặc tính từ hoá của vật liệu, tức là đường  $B = f(H)$  khi biết  $B$ .

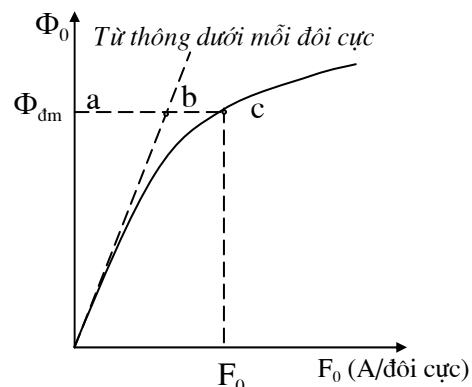
Đường đặc tính từ hoá cơ bản của các loại thép có ghi trong các tài liệu “thiết kế máy điện”.

Sau khi phân đoạn, tính s.t.đ. trên các đoạn, có thể tìm được s.t.đ. tổng dưới mỗi đôi cực theo công thức (3-2).

### 3.1.3. Đường cong từ hoá

Muốn sinh ra một từ thông  $\Phi_0$  nào đó cần có một s.t.đ. kích từ nhất định  $F_0$ . Khi  $\Phi_0$  thay đổi thì  $F_0$  cũng thay đổi theo. Đường biểu diễn quan hệ giữa  $\Phi_0$  và  $F_0$  gọi là đường cong từ hoá của máy điện (hình 3-2). Khi thiết kế máy điện, có thể giả thiết những giá trị  $\Phi_0$  khác nhau rồi tính  $F_0$  tương ứng. Đối với máy điện có sẵn thì dùng thí nghiệm để vẽ đường từ hoá.

Do s.t.đ. lúc không tải tỷ lệ thuận với  $\Phi_0$  và dòng điện kích từ  $I_t$  tỷ lệ thuận với  $F_0$  nên nếu dùng một tỷ lệ xích khác thì ta hoàn toàn có thể biến đường từ hoá  $\Phi_0 = f(F_0)$  thành đường biểu



Hình 3-2. đường từ hoá của máy điện một chiều

diễn quan hệ giữa  $E_0$  với  $I_1$ :  $E_0 = f(I_1)$ .

Khi từ thông trong máy điện nhỏ, thép của máy ít bão hoà đường từ hoá là đường thẳng.

Khi từ thông tăng lên, lõi sắt bắt đầu bão hoà nên đường từ hoá nghiêng về bên phải. Kéo dài phần đường thẳng của đường cong từ hoá ta được quan hệ  $F_\delta = f(\Phi_0)$ . Khi từ thông  $\Phi_0$  định mức (dùng để sinh ra điện áp định mức) thì s.t.đ. khe hở bằng đoạn ab trên hình 3-2. Đoạn bc trên hình vẽ chỉ s.t.đ. rơi trên các phần sắt của mạch từ. Tỷ số  $k_\mu = \frac{F_0}{F_\delta} = \frac{ac}{ab}$  gọi là hệ số bão hoà của mạch từ.

Trong máy điện thông thường, để triệt để lợi dụng vật liệu, khi điện áp định mức, máy điện làm việc ở đoạn đường cong từ hoá bắt đầu cong với hệ số bão hoà  $k_\mu = 1,1 \div 1,35$ . Đường cong từ hoá ảnh hưởng rất lớn đến đặc tính làm việc của máy điện.

### 3-2. TỪ TRƯỜNG PHẢN ỨNG

Khi máy điện làm việc không tải, trong máy chỉ có dòng điện trong dây quấn kích từ sinh ra từ trường. Từ trường đó gọi là từ trường lúc không tải.

Khi máy có tải, trong dây quấn phần ứng có dòng điện tải chạy qua. Dòng điện này còn chạy qua dây quấn cực từ phụ và trong những máy lớn còn chạy qua cả dây quấn bù. Dòng điện chạy qua các dây quấn đó sẽ sinh ra từ trường cho nên khi máy có tải, ngoài từ trường cực từ chính còn có từ trường phản ứng, từ trường cực từ phụ và từ trường dây quấn bù.

Tất cả các từ trường đó tác dụng với nhau để thành từ trường khe hở làm thay đổi từ trường lúc không tải của máy.

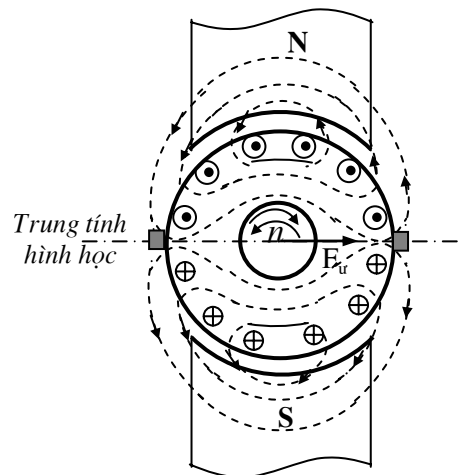
Để nghiên cứu được rõ ràng từ trường trong máy lúc có tải, trước hết xét riêng từ trường sinh ra trong các dây quấn rồi dùng nguyên lý xếp chồng tìm ra từ trường tổng của máy, từ đó thấy rõ tác dụng của từ trường các dây quấn đối với từ trường lúc không tải. Để đơn giản hoá vấn đề, lúc dùng nguyên lý xếp chồng ta giả thiết mạch từ không bão hoà, sau đó sẽ xét đến ảnh hưởng của bão hoà sau.

#### 3.2.1. Chiều của từ trường phản ứng

Muốn tạo nên một từ trường phản ứng riêng, ta cho qua chổi than vào phần ứng một dòng điện một chiều sao cho chiều dòng điện trong các thanh dẫn giống như lúc máy làm việc bình thường.

Trường hợp chổi than đặt trên đường trung tính hình học (hình 3-3) và không xét đến từ trường cực từ chính.

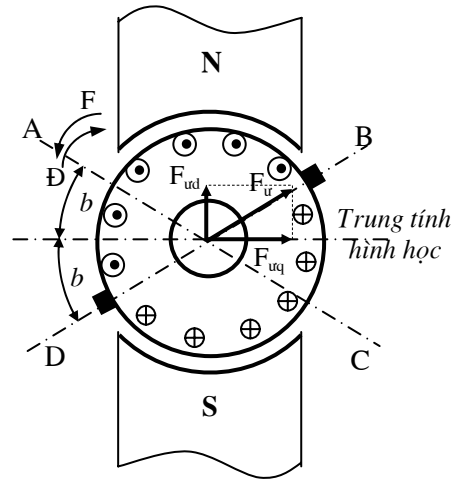
Khi phần ứng có dòng điện thì bản thân phần ứng là một nam châm điện. Dù máy quay hay không thì sự phân bố của dòng điện trong dây quấn vẫn không đổi, nghĩa là dòng điện ở hai phía của các chổi than luôn luôn



Hình 3-3  
Từ trường phản ứng khi chổi than ở đường trung tính hình học

khác dấu nhau. Vì vậy từ trường phân ứng sinh ra đứng yên và trục sức từ động (s.t.đ) của nó luôn luôn trùng với trục của chổi than, nghĩa là trùng với đường trung tính hình học. Ở đây nói đến trục s.t.đ. là chỉ trục s.t.đ. tổng của cả dây quấn sinh ra chứ không riêng gì phần tử dây quấn nào, cho nên kết luận trên đúng với kiểu dây quấn bất kỳ.

Nếu ta quay chổi than đi một góc khỏi đường trung tính hình học tương đương với một khoảng cách  $b$  trên phân ứng như ở hình 3-4, thì do sự phân bố của dòng điện ứng với vị trí chổi than là không đổi nên trục s.t.đ. cũng quay đi một góc và luôn luôn trùng với trục chổi than. Ta có thể phân tích s.t.đ. phân ứng  $F_r$  ra làm hai thành phần: thành phần thẳng góc với s.t.đ. cực từ gọi là s.t.đ. ngang trục  $F_{uq}$  và thành phần cùng trục với s.t.đ. cực từ gọi là s.t.đ. dọc trục  $F_{ud}$ .



Hình 3-4  
Từ trường phân ứng khi chổi than không ở đường trung tính hình học

Theo hình vẽ 3-4, ta có thể coi như s.t.đ.

ngang trục do dòng điện trong cung AB và CD sinh ra, còn s.t.đ. dọc trục do dòng điện trong cung AD và CB sinh ra (cung này bằng  $2b$ ).

### 3.2.2. Sự phân bố của từ trường trên bề mặt phân ứng

Khi chổi than ở trên đường trung tính hình học, theo hình vẽ 3-3 ta thấy, đường sức từ đi ra ở dưới nửa cực từ này và đi vào ở dưới nửa cực từ kia, do đó tác dụng của nó trong khe hở ở dưới hai nửa cực từ có chiều ngược nhau. Theo định luật toàn dòng điện, ở điểm giữa mạch nhánh dây quấn giữa hai chổi than, nghĩa là ở tâm cực từ khi chổi than ở trên đường trung tính hình học tác dụng của s.t.đ. phân ứng bằng 0. Vì vậy thường lấy điểm giữa hai chổi than làm gốc để xét sự phân bố của s.t.đ. phân ứng trên bề mặt phân ứng.

Giả thiết bề mặt phân ứng nhẵn, khe hở đều dưới mặt cực từ và dây quấn phân ứng phân bố đều trên mặt phân ứng.

Gọi  $N$  là tổng số thanh dẫn của dây quấn,  $i_u = \frac{I_u}{2a}$  là dòng điện trong thanh dẫn (trong đó  $I_u$  là dòng điện phân ứng,  $a$  là số đôi mạch nhánh) thì số ampe thanh dẫn trên đơn vị chiều dài của chu vi phân ứng bằng:

$$A = \frac{N.i_u}{\pi.D} \quad A/cm \quad (3-4)$$

trong đó:  $D$  là đường kính ngoài của phân ứng, tính bằng  $cm$ .

Trị số  $A$  bằng s.t.đ. trên một đơn vị dài ( $cm$ ) của chu vi phân ứng được gọi là *phụ tải đường của phân ứng*. Đó là một tham số quan trọng khi thiết kế máy điện.

Theo định luật toàn dòng điện, nếu lấy mạch vòng đối xứng với điểm giữa của hai chổi than thì ở một điểm cách gốc một khoảng cách  $x$ , s.t.đ. phân ứng sẽ bằng:

$$F_{ux} = A.2x \quad (A/\text{đôi cực}) \quad (3-5)$$

Rõ ràng s.t.đ. phân ứng sẽ lớn nhất ở chổi điện, nghĩa là khi  $x = \frac{\tau}{2}$ . Lúc đó s.t.đ. phân ứng sẽ bằng:

$$F_w = A2 \frac{\tau}{2} = A\tau \quad (A/\text{đôi cực}) \quad (3-6)$$

trong đó:  $\tau$  là bước cực tính bằng *cm*.

Vì  $A$  và  $i_w$  đều tỷ lệ với  $I_w$  nên  $F_w$  cũng tỷ lệ với  $I_w$ , nghĩa là khi dòng điện tải (tức là dòng  $I_w$ ) càng lớn thì s.t.đ. phân ứng càng lớn. Sự phân bố s.t.đ. phân ứng trên bề mặt phân ứng như ở hình 3-5a.

Nếu bỏ qua từ trở của thép thì từ trở của mạch từ phân ứng chỉ còn là hai khe hở không khí nên từ cảm phân ứng ở dưới bề mặt cực từ bằng:

$$B_{ux} = \mu_0 H_{ux} = \mu_0 \frac{F_{ux}}{2\delta} = \mu_0 \frac{A}{\delta} x \quad (3-7)$$

trong đó  $H_{ux}$  là cường độ từ trường phân ứng ở điểm cách gốc một đoạn  $x$ .

Từ công thức (3-7) ta thấy rằng đường từ cảm dưới mặt cực từ có dạng như đường cong s.t.đ. nhưng ở phần giữa hai cực từ, từ cảm giảm đi rất nhiều do chiều dài đường từ trong không khí tăng lên, nên đường cong từ cảm có dạng yên ngựa (hình 3-5b).

Nếu chổi than không ở trên đường trung tính hình học mà lệch đi một góc tương đương với một khoảng cách  $b$  trên chu vi phân ứng (hình 3-4) thì dưới mỗi bước cực, trong phạm vi  $2b$  dòng điện sinh ra s.t.đ. dọc trục  $F_{ud}$  và trong phạm vi  $(\tau - 2b)$  sinh ra s.t.đ. ngang trục  $F_{uq}$ . Do đó ta có:

$$F_{ud} = A \cdot 2b \quad (A/\text{đôi cực}) \quad (3-8)$$

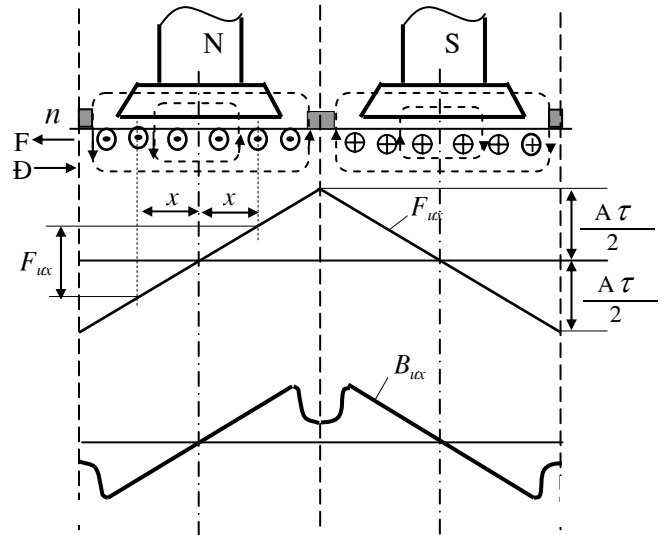
$$F_{uq} = A \cdot (\tau - 2b) \quad (A/\text{đôi cực}) \quad (3-9)$$

Tóm lại, từ trường phân ứng phụ thuộc vào vị trí chổi điện và mức độ tải. Chính những yếu tố đó quyết định tính chất tác dụng của từ trường phân ứng lên từ trường cực từ chính.

### 3.2.3. Phản ứng phân ứng trong máy điện một chiều

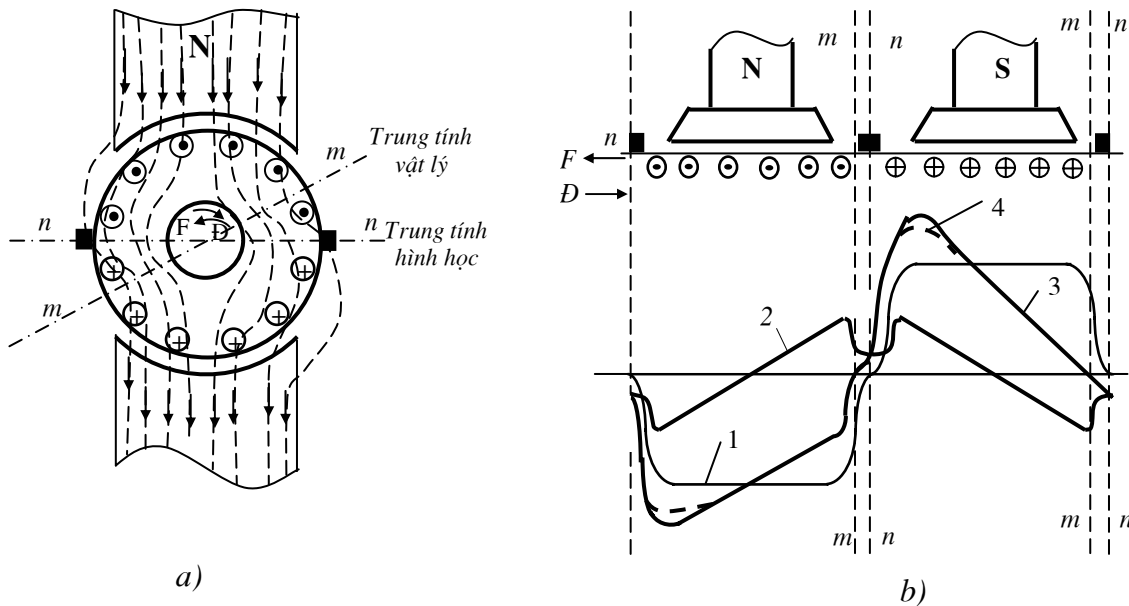
Khi máy điện làm việc có tải, dòng điện phân ứng sinh ra từ trường phân ứng. Tác dụng của từ trường phân ứng với từ trường cực từ gọi là phản ứng phân ứng.

Khi xét đến tác dụng của phản ứng ta cần chú ý rằng nếu máy có chiều dòng điện và cực tính của cực từ như trong hình 3-3 và 3-4 thì chiều quay của máy phát điện và của động cơ điện sẽ ngược nhau và được ký hiệu bằng những mũi tên như trên hình vẽ.



Hình 3-5

Đường phân bố s.t.đ. và từ cảm phân ứng khi chổi than ở trên đường trung tính hình học



Hình 3-6. Phản ứng phân ứng khi chổi than ở trên đường trung tính hình học

Sau đây sẽ nghiên cứu hai trường hợp: chổi than ở trên đường trung tính hình học và không ở trên đường trung tính hình học.

**a. Chổi than đặt ở trên đường trung tính hình học**

Sự phân bố của từ thông tổng do từ trường cực từ chính và từ trường phản ứng hợp lại như ở hình 3-6a. Cũng có thể dùng hình khai triển của nó (hình 3-6b) để phân tích sự thay đổi của từ thông khe hở khi có phản ứng phân ứng. Trong hình 3-6b đường 1 chỉ sự phân bố của từ trường chính, đường 2 là sự phân bố của từ trường phản ứng. Khi mạch từ không bão hoà thì theo nguyên lý xếp chồng, sự phân bố của từ trường tổng như đường 3, nhận được bằng cách cộng từ trường của cực từ (đường 1) với từ trường của phản ứng (đường 2). Nhưng khi mạch từ bão hoà thì dùng nguyên lý xếp chồng không hoàn toàn đúng vì lúc mạch từ bão hoà từ thông không tăng tỷ lệ với s.t.đ. nữa, nên thực tế sự phân bố từ trường tổng như đường 4.

Từ những phân tích trên, ta có thể rút ra những kết luận sau đây:

a. Khi chổi than ở trên đường trung tính hình học chỉ có phản ứng phân ứng ngang trục mà tác dụng của nó là làm méo từ trường khe hở. Đối với máy phát điện thì ở mỏm ra cực từ (mỏm cực mà phản ứng đi ra) máy được trợ từ, ở mỏm vào của cực từ thì bị khử từ. Đối với động cơ điện tác dụng sẽ ngược lại, vì chiều quay ngược với chiều quay của máy phát điện.

b. Nếu mạch từ không bão hoà thì từ trường tổng không đổi vì tác dụng trợ từ và khử từ như nhau. Nếu mạch từ bão hoà thì do tác dụng trợ từ ít hơn tác dụng khử từ nên từ thông tổng dưới mỗi cực giảm đi một ít, nghĩa là phản ứng phân ứng ngang trục có một ít tác dụng khử từ.

c. Từ cảm ở đường trung tính hình học không bằng 0, đường mà ở trên bề mặt phân ứng từ cảm bằng 0 - gọi là đường trung tính vật lý - đã lệch khỏi đường trung tính hình học một góc thuận theo chiều quay của máy phát điện, hay ngược chiều quay của động cơ điện (đường *mm* trên hình 3-6).

Tóm lại: Khi chổi than đặt trên đường trung tính hình học thì chỉ có phản ứng phân ứng ngang trục  $F_{uq}$  làm méo dạng từ trường khe hở, do đó xuất hiện đường trung tính vật lý. Nếu mạch từ không bão hoà thì từ thông tổng không đổi. Nếu mạch từ bão hoà thì từ thông tổng giảm đi một ít.

### b. Xê dịch chổi than khỏi đường trung tính hình học

Trong máy điện một chiều, thường chổi than đặt ở trên đường trung tính hình học nhưng do lắp ghép không tốt, hoặc khi máy không có cực từ phụ, muốn cải thiện đổi chiều, có thể xê dịch chổi than đi một góc khỏi đường trung tính hình học. Khi xê dịch chổi than như vậy thì s.t.đ. phân ứng có thể chia làm hai thành phần: ngang trục  $F_{uq}$  và dọc trục  $F_{ud}$ .

Tác dụng của phản ứng phân ứng ngang trục như đã nói ở trên là làm méo dạng từ trường của cực từ chính và khử từ một ít nếu mạch từ bão hoà.

Phản ứng phân ứng dọc trục trực tiếp ảnh hưởng đến từ trường cực từ chính và có tính chất trợ từ hay khử từ tùy theo chiều xê dịch của chổi than.

Nếu xê dịch chổi than theo chiều quay của máy phát (hay ngược chiều quay của động cơ) thì phản ứng phân ứng dọc trục có tính chất khử từ (hình 3-4), ngược lại nếu xê dịch chổi than ngược chiều quay của máy phát (thuận chiều quay của động cơ) thì phản ứng phân ứng dọc trục có tính chất trợ từ.

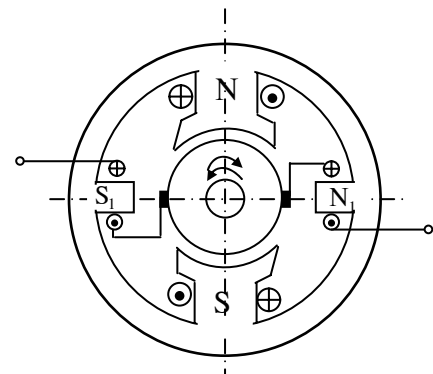
Trong máy phát điện một chiều, do yêu cầu về đổi chiều, chỉ cho phép quay chổi than theo chiều quay phân ứng nếu là máy phát, hay ngược chiều quay phân ứng nếu là động cơ.

Phản ứng phân ứng dọc trục chỉ ảnh hưởng đến trị số của từ trường tổng chứ không làm nó biến dạng.

## 3-3. TỪ TRƯỜNG CỰC TỪ PHỤ

Hiện nay, trong hầu hết các máy điện một chiều (trừ máy có công suất nhỏ hơn 0,5 kW) đều có đặt cực từ phụ. Cực từ phụ đặt giữa hai cực từ chính, trên đường trung tính hình học.

Như đã biết, khi có tải, do có phản ứng phân ứng nên trên đường trung tính hình học từ trường khác không và từ trường đó cùng chiều với từ trường cực từ đứng trước đường trung tính hình học theo chiều quay của máy phát (xem hình 3-6). Để cải thiện đổi chiều, thường yêu cầu ở khu vực đổi chiều (khu vực có chổi than, chổi than đặt ở đường trung tính hình học) có từ trường ngược chiều với từ trường phân ứng ở khu vực đó, vì vậy phải đặt cực từ phụ. Tác dụng của cực từ phụ là sinh ra một s.t.đ. để triệt tiêu từ trường phân ứng ngang trục đồng thời tạo ra một từ trường ngược chiều với từ trường phân ứng ở khu vực đổi chiều, vì vậy cực tính của cực từ phụ phải cùng cực tính của cực từ chính mà



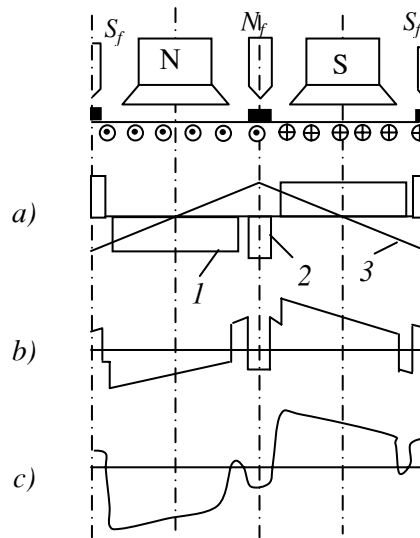
Hình 3-7. Cách bố trí và đấu dây của cực từ phụ trong máy điện một chiều

phần ứng sẽ chạy vào nếu máy ở chế độ máy phát (còn với động cơ thì ngược lại).

Để triệt tiêu từ trường phần ứng ngang trục, từ trường cực từ phụ phải tỉ lệ thuận với dòng điện tải (dòng phần ứng) nên dây quấn cực từ phụ phải được nối nối tiếp với dây quấn phần ứng và mạch từ không bão hoà (hình 3-7).

Sự phân bố từ trường tổng khi có cả từ trường cực từ phụ như ở hình 3-8, trong đó đường 1, 2 và 3 ở hình 3-8a là đường phân bố của s.t.đ. cực từ chính, cực từ phụ và s.t.đ. phần ứng. Hình 3-8b là đường phân bố s.t.đ. tổng, hình 3-8c là đường phân bố từ cảm.

Khi chổi than đặt trên đường trung tính hình học, các cực từ phụ không ảnh hưởng đến từ trường cực từ chính vì trong phạm vi một bước cực, tác dụng trợ từ và khử từ của các cực từ phụ là bằng nhau nên bù trừ cho nhau. Nếu xô dịch chổi than khỏi đường trung tính hình học theo chiều quay của phần ứng ở chế độ máy phát (hay ngược chiều quay ở chế độ động cơ) thì trong phạm vi một bước cực, tác dụng khử từ lớn hơn tác dụng trợ từ của nó, do đó trong trường hợp này các cực từ phụ làm cho máy bị khử từ. Nếu xô dịch chổi than ngược chiều quay phần ứng ở chế độ máy phát thì tác dụng ngược lại. Như vậy ảnh hưởng của các cực từ phụ đối với từ trường cực từ chính như phản ứng phần ứng dọc trục của phần ứng.



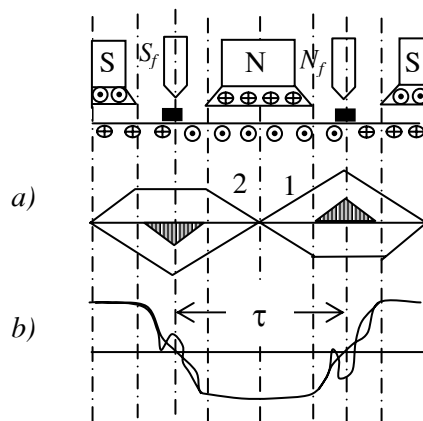
Hình 3-8. S.t.đ. và đường cong từ trường tổng của máy điện một chiều có cực từ phụ

### 3-4. TỪ TRƯỜNG CỦA DÂY QUẤN BÙ

Trong các máy điện một chiều công suất lớn hay điều kiện làm việc nặng nhọc (như tải thay đổi đột ngột), đều có đặt dây quấn bù. Tác dụng của dây quấn bù là sinh ra từ trường triệt tiêu phản ứng phần ứng làm cho từ trường khe hở căn bản không bị méo nữa. Dây quấn bù được đặt lên trên mặt cực của cực từ chính như hình 3-9.

Để có thể bù được ở bất cứ tải nào, dây quấn bù được mắc nối tiếp với dây quấn phần ứng sao cho s.t.đ. của hai dây quấn đó ngược chiều nhau.

Trên hình vẽ khai triển 3-9a, đường 1 biểu thị sự phân bố s.t.đ. phần ứng ngang trục  $F_{uq}$ , đường 2 biểu thị s.t.đ. của dây quấn bù  $F_b$ . Ta thấy, về cơ bản là bù được trên phạm vi mặt cực, chỉ có ở giữa hai cực là không bù được mà còn một phần (phần gạch chéo). Nhưng ở máy có dây quấn bù bao giờ cũng có đặt cực từ phụ nên dưới tác



Hình 3-9. Các đường s.t.đ. và từ trường tổng của máy điện một chiều có cực từ phụ và dây quấn bù

dụng của cực từ phụ và dây quấn bù, từ trường tổng của máy gần giống như từ trường lúc không tải mà không phụ thuộc vào tải của máy (hình 3-9b), điều đó đảm bảo cho máy đổi chiều tốt.

### **Câu hỏi**

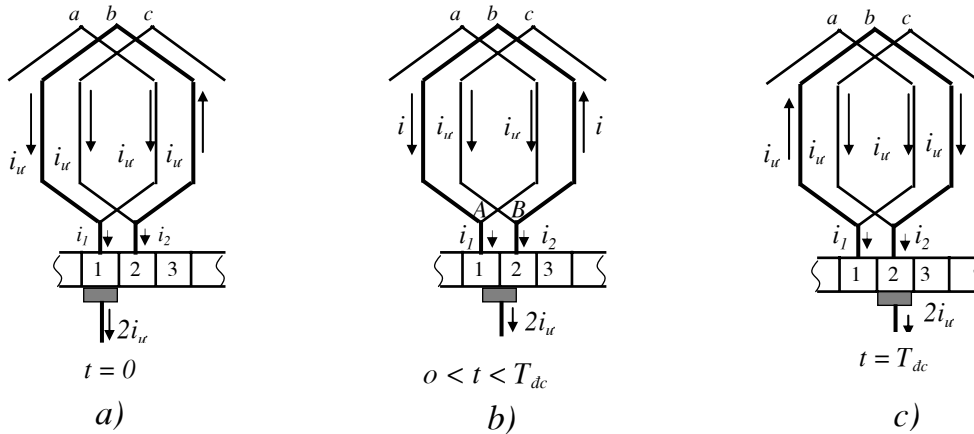
1. Tính chất của từ trường cực từ? Tại sao từ thông tản không có tác dụng sinh ra s.đ.đ? Tại sao từ thông tản chỉ chiếm khoảng  $10 \div 20\%$  từ thông khe hở?
2. Ở trạng thái định mức máy điện thường làm việc ở đoạn nào của đường cong từ hoá? Tại sao?
3. Tính chất của từ trường phản ứng?
4. Khi nào trong máy điện một chiều phản ứng phản ứng ngang trục có tính chất khử từ? Tại sao?
5. Nếu chổi than không ở trên đường trung tính hình học và dòng điện kích từ lúc có tải không đổi, hỏi khi máy phát quay thuận và quay ngược thì điện áp đầu cực máy có bằng nhau không? Có thể dùng phương pháp này để tìm đường trung tính vật lý không?
6. Tác dụng của từ trường cực từ phụ và từ trường dây quấn bù như thế nào?



## CHƯƠNG 4 ĐỔI CHIỀU DÒNG ĐIỆN

### 4-1. ĐẠI CƯƠNG

Như đã trình bày ở chương 2, khi chuyển động trong từ trường của một cực từ, mỗi phần tử của dây quấn phần ứng thuộc vào một nhánh song song và dòng điện  $i_u$  trong nó có chiều nhất định. Lúc các cạnh của phần tử đi vào vùng trung tính thì phần tử bị chổi than nối ngắn mạch, dòng điện trong phần tử thay đổi để sau đó khi phần tử bước sang ranh giới của cực kế tiếp và chuyển sang nhánh song song khác, dòng điện trong nó có chiều ngược lại  $-i_u$  (hình 4-1). Quá trình đổi chiều của dòng điện khi phần tử di động trong vùng trung tính và bị chổi than nối ngắn mạch được gọi là sự đổi chiều.



Hình 4-1. Quá trình đổi chiều

Để có khái niệm cụ thể, hình 4-1 trình bày quá trình đổi chiều dòng điện trong phần tử  $b$  của dây quấn xếp đơn. Ta thấy khi chổi than phủ hoàn toàn lên phiến góp 1 (hình 4-1a) dòng điện trong phần tử  $b$  giả sử có chiều  $+i_u$ . Khi chổi than hoàn toàn tách khỏi phiến góp 1 (hình 4-1c) thì dòng điện trong phần tử  $b$  có chiều ngược lại ( $-i_u$ ). Ở các vị trí trung gian, chổi than tiếp xúc với cả hai phiến đổi chiều 1 và 2 khiến cho phần tử bị nối tắt và dòng điện trong nó biến đổi theo những quy luật nhất định, phụ thuộc vào quá trình quá độ điện từ xảy ra trong và xung quanh phần tử đổi chiều.

Quá trình đổi chiều của dòng điện trong mỗi phần tử tồn tại trong một thời gian rất ngắn. Khoảng thời gian để dòng điện hoàn thành việc đổi chiều gọi là chu kỳ đổi chiều, ký hiệu  $T_{dc}$ . Đó là thời gian cần thiết để vành góp quay đi một góc tương ứng với chiều rộng của chổi điện, nghĩa là:

$$T_{dc} = \frac{b_c}{v_G} \tag{4-1}$$

trong đó:  $v_G$  - là tốc độ dài của vành góp;  $b_c$  - chiều rộng của chổi than.

Nếu chúng ta ký hiệu:  $D_G$  - đường kính của vành góp;  $b_G = \frac{\pi D_G}{G}$  - bước vành góp;  $G$  - số phiến góp;  $\beta_G = \frac{b_c}{b_G}$  và biết rằng tốc độ dài của vành góp là:

$$v_G = \pi D_G n = b_G \cdot G \cdot n \quad (4-2)$$

trong đó  $n$  là tốc độ quay của vành góp, thì chu kỳ đổi chiều ở dây quấn xếp đơn (hình 4-1) có dạng:

$$T_{dc} = \beta_G \frac{1}{G \cdot n} \quad (4-3a)$$

Ở loại dây quấn xếp phức tạp (mục 2.3) có bước vành góp  $y_G = m$  ( $m \neq 1$ ), giữa đầu và cuối của mỗi phần tử có  $(m - 1)$  phiến góp. Như vậy phần tử sẽ bị chổi than nối ngắn mạch trong khoảng thời gian để vành góp quay đi một cung  $b_c - (m - 1)b_G$ , do đó:

$$T_{dc} = \frac{b_c - (m - 1)b_G}{v_G}$$

Thay  $b_c = \beta_G \cdot b_G$ ,  $m = \frac{a}{p}$  và  $v_G$  ở biểu thức (4-2) ta sẽ thu được:

$$T_{dc} = \frac{\beta_G - \left(\frac{a}{p} - 1\right)}{G \cdot n} \quad (4-3b)$$

Rõ ràng ở dây quấn xếp đơn  $\frac{a}{p} = 1$  nên biểu thức (4-3b) sẽ có dạng như biểu thức (4-3a).

Khi máy điện làm việc, các phần tử liên tiếp tiến hành đổi chiều và trong thực tế  $T_{dc} \approx 0,001s$  nên quá trình đổi chiều diễn ra tuần hoàn với tần số  $1000 \div 3000 \text{ Hz}$ .

Việc đổi chiều có thuận lợi hay không, nói cách khác là chất lượng của sự đổi chiều phụ thuộc vào nhiều yếu tố cơ và điện từ. Sự đổi chiều kém chất lượng được biểu hiện bên ngoài bởi sự hình thành tia lửa điện trên bề mặt vành góp và dưới chổi than.

Tiêu chuẩn Nhà nước quy định các cấp tia lửa trình bày như ở bảng 4-1.

**Bảng 4-1. Cấp tia lửa của máy điện**

Cấp tia lửa	Đặc điểm	Tình trạng chổi điện và vành góp
1	Không có tia lửa	Không có vết trên vành góp và muội than trên các chổi
$1\frac{1}{4}$	Đốm lửa yếu ở một phần chổi than	
$1\frac{1}{2}$	Tia lửa yếu ở phần lớn chổi than	Có vết trên vành góp nhưng có thể chùi sạch bằng dầu, xăng. Có muội trên chổi.
2	Tia lửa ở toàn bộ chổi than chỉ cho phép đối với tải xung hoặc quá tải ngắn hạn.	Có vết trên vành góp không thể chùi sạch bằng dầu xăng và có muội than trên các chổi.
3	Tia lửa mạnh vung ra ở toàn bộ chổi than. Chỉ cho phép lúc mở máy trực tiếp với điều kiện sau đó vành góp và chổi than vẫn ở trạng thái bình thường, có thể tiếp tục làm việc được.	Vết đậm trên vành góp không thể chùi sạch bằng xăng dầu, cháy hoặc hỏng chổi điện.

## 4-2. QUÁ TRÌNH ĐỔI CHIỀU

### 4.2.1. Phương trình dòng điện

Để thấy rõ quy luật biến đổi của dòng điện trong phần tử đổi chiều và nguyên nhân chủ yếu phát sinh tia lửa, từ đó nêu ra biện pháp cải thiện đổi chiều, ta hãy nghiên cứu quy luật đổi chiều xảy ra ở phần tử của dây quấn xếp đơn trên hình 4-1b. Biểu thức của dòng điện trong bối dây đổi chiều có thể suy ra từ các định luật Kirhhoff viết cho bối dây đó.

Theo định luật Kirhhoff thứ hai viết cho mạch vòng của bối đổi chiều ta có:

$$i \cdot r_{pt} + i_1(r_d + r_{tx1}) - i_2(r_d + r_{tx2}) = \Sigma e \quad (4-4)$$

trong đó:

$i$  - dòng điện chạy trong phần tử đổi chiều (phần tử  $b$  trên hình 4-1);

$i_1, i_2$  - dòng điện chạy trên các dây nối với các phiến đổi chiều 1 và 2;

$r_{tx1}, r_{tx2}$  - là các điện trở tiếp xúc giữa chổi than với các phiến đổi chiều 1 và 2;

$r_{pt}, r_d$  - là điện trở của phần tử, điện trở của dây nối

$\Sigma e$  - tổng các s.đ.đ. cảm ứng sinh ra trong phần tử đổi chiều, bao gồm:

1. S.đ.đ. tự cảm  $e_L$  gây ra do sự biến đổi của dòng điện  $i$  trong phần tử đổi chiều.
2. S.đ.đ. hỗ cảm  $e_M$  sinh ra do ảnh hưởng của sự đổi chiều đồng thời của các phần tử khác nằm trong cùng một rãnh.
3. S.đ.đ. đổi chiều  $e_{dc}$  sinh ra khi phần tử đổi chiều chuyển động trong từ trường tổng hợp tại vùng trung tính. Từ trường này do cực từ phụ và phản ứng phần ứng tạo thành.

Các s.đ.đ.  $e_L$  và  $e_M$  có tác dụng như nhau đối với quá trình đổi chiều và tổng của chúng được gọi là s.đ.đ. phản kháng:  $e_{pk} = e_L + e_M$ . Để quá trình đổi chiều tiến hành được thuận lợi, s.đ.đ. đổi chiều  $e_{dc}$  phải luôn luôn ngược chiều với  $e_{pk}$  nói trên. Tùy theo quan hệ giữa hai loại s.đ.đ. đó, tính chất của quá trình đó sẽ được trình bày ở phần sau.

Theo định luật Kirhhoff thứ nhất, có thể viết phương trình dòng điện lần lượt tại các điểm nút A và B (hình 4-1b) như sau:

$$\left. \begin{aligned} i_u + i - i_1 &= 0 \\ i_u - i - i_2 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4-5)$$

Trên thực tế  $r_{tx1}, r_{tx2}$  không những phụ thuộc vào  $i_1, i_2$  và thời gian mà còn phụ thuộc vào sự đốt nóng của chổi than và phiến đổi chiều và cả hiện tượng điện phân dưới mặt chổi nữa. Hơn nữa tổng các s.đ.đ.  $\Sigma e$  cũng khó xác định được chính xác nên dưới đây ta chỉ xét vấn đề ở mức độ gần đúng.

Với giả thiết  $r_{pt} = r_d = 0$ , thay trị số của  $i_1$  và  $i_2$  theo (4-5) vào (4-4) ta được:

$$i = \frac{r_{tx2} - r_{tx1}}{r_{tx1} + r_{tx2}} i_u + \frac{\Sigma e}{r_{tx1} + r_{tx2}} \quad (4-6)$$

Số hạng thứ nhất của biểu thức (4-6) là thành phần cơ bản của dòng điện đổi chiều  $i_{cb}$ , số hạng thứ hai là thành phần phụ  $i_{ph}$ .

Với giả thiết  $r_{pt} = r_d = 0$  thì rõ ràng  $(r_{tx1} + r_{tx2})$  là tổng số điện trở của phân tử đổi chiều khi bị chổi than nối ngắn mạch. Vì vậy dòng điện phụ  $i_{ph}$  chính là dòng điện ngắn mạch trong phân tử gây nên bởi tổng các s.đ.đ.  $\Sigma e$ .

Giả thiết rằng các điện trở  $r_{tx1}$  và  $r_{tx2}$  tỉ lệ nghịch với các bề mặt tiếp xúc  $S_{tx1}$  và  $S_{tx2}$  giữa chổi than với các phiến đổi chiều 1 và 2. Nếu cho rằng quá trình đổi chiều bắt đầu khi  $t = 0$  và kết thúc khi  $t = T_{dc}$  với điều kiện  $b_c = b_G$  thì:

$$S_{tx1} = \frac{T_{dc} - t}{T_{dc}} S \quad (4-7)$$

$$S_{tx2} = \frac{t}{T_{dc}} S \quad (4-8)$$

trong đó:  $S$  là bề mặt tiếp xúc toàn phần giữa chổi than và phiến góp.

Gọi điện trở tiếp xúc toàn phần ứng với mặt tiếp xúc toàn phần là  $r_{tx}$ , ta có:

$$r_{tx1} = \frac{S}{S_{tx1}} r_{tx} = \frac{T_{dc}}{T_{dc} - t} r_{tx} \quad (4-9a)$$

$$r_{tx2} = \frac{S}{S_{tx2}} r_{tx} = \frac{T_{dc}}{t} r_{tx} \quad (4-9b)$$

Thay các trị số  $r_{tx1}$  và  $r_{tx2}$  vừa tìm được vào (4-6) ta có quan hệ giữa dòng điện  $i$  trong phân tử đổi chiều và thời gian  $t$  như sau:

$$i = \left(1 - \frac{2t}{T_{dc}}\right) i_u + \frac{\sum e}{r_n} \quad (4-10a)$$

trong đó: 
$$r_n = r_{tx1} + r_{tx2} = \frac{T_{dc}^2}{t(T_{dc} - t)} r_{tx} \quad (4-10b)$$

#### 4.2.2. Xác định các s.đ.đ. trong phân tử đổi chiều

Để đảm bảo điều kiện đổi chiều bình thường của máy, khi thiết kế cần phải xác định các s.đ.đ. sinh ra trong phân tử đổi chiều để giới hạn chúng trong một phạm vi nhất định. Dưới đây ta sẽ lần lượt tính các s.đ.đ. đó.

##### a. S.đ.đ. tự cảm $e_L$

S.đ.đ. tự cảm  $e_L$  có dạng:

$$e_L = -L \frac{di}{dt} \quad (4-11)$$

trong đó:  $L$  - hệ số tự cảm của phân tử.

Vì qua quá trình đổi chiều, dòng điện biến đổi từ  $+i_u$  đến  $-i_u$  nên  $\frac{di}{dt} < 0$ , do đó  $e_L > 0$  và làm cho sự thay đổi của dòng điện trong phân tử chậm dần.

Giá trị trung bình của s.đ.đ. tự cảm trong chu kỳ đổi chiều là:

$$e_{Lib} = \frac{2Li_{u'}}{T_{dc}} \quad (4-12)$$

**b. S.đ.đ. hồ cảm  $e_M$**

Cùng một lúc với sự đổi chiều dòng điện trong phân tử đang xét, sự đổi chiều cũng xảy ra ở một số phân tử khác. Ở dây quấn xếp đơn hai lớp bước đủ, sự đổi chiều xảy ra đồng thời trong các cạnh tác dụng cùng nằm trong một rãnh. Hơn nữa, thường  $b_c > b_G$  và các chổi than nối ngắn mạch vài phân tử liên tiếp nhau có cạnh nằm trong một rãnh, nên các phân tử cùng tham gia đổi chiều đó có sự liên hệ hồ cảm rất mạnh. Vì vậy trong phân tử tham gia đổi chiều đang xét, ngoài s.đ.đ. tự cảm còn có s.đ.đ. hồ cảm:

$$e_M = \sum_1^n e_M^n = -\sum_1^n M_n \frac{di_n}{dt} \quad (4-13)$$

trong đó:  $M_n$  - hệ số hồ cảm giữa phân tử đang xét với phân tử thứ  $n$ ;

$i_n$  - dòng điện trong bố trí thứ  $n$ .

S.đ.đ. hồ cảm  $e_M$  cũng có tác dụng đối với quá trình đổi chiều giống như s.đ.đ. tự cảm  $e_L$ . Trị số trung bình của s.đ.đ. hồ cảm bằng:

$$e_{Mtb} = \frac{2i_{u'}}{T_{dc}} \sum M_n \quad (4-14)$$

**c. S.đ.đ. phản kháng**

Vì  $e_L$  và  $e_M$  có tính chất giống nhau (đều làm chậm quá trình đổi chiều) nên tổng của chúng gọi là s.đ.đ. phản kháng  $e_{pk}$ . S.đ.đ. phản kháng trung bình bằng:

$$e_{pkb} = e_{Ltb} + e_{Mtb} \quad (4-15)$$

**d. S.đ.đ. đổi chiều  $e_{dc}$**

Gọi  $B_{dc}$  là từ cảm tổng hợp của từ trường cực từ phụ và từ trường của phân ứng tại vùng trung tính (còn gọi là từ cảm đổi chiều) thì biểu thức s.đ.đ. đổi chiều do từ cảm này sinh ra bằng:

$$e_{dc} = 2B_{dc} \cdot w_s \cdot l_{dc} \cdot v_u \quad (4-16)$$

trong đó:  $l_{dc}$  là chiều dài của thanh dẫn cắt đường sức của từ trường đổi chiều;

$w_s$  - số vòng dây của bố trí đổi chiều;

$v_u$  - tốc độ dài của phân ứng.

Chiều của s.đ.đ. đổi chiều phụ thuộc vào chiều của từ trường đổi chiều và chiều quay của phân ứng và được xác định theo quy tắc bàn tay phải. Vì vậy mà  $e_{dc}$  có thể cùng chiều hoặc ngược chiều với  $e_{pk}$ .

**4.2.3. Các loại đổi chiều**

**a. Đổi chiều đường thẳng**

Giả sử s.đ.đ. đổi chiều  $e_{dc}$  cảm ứng trong phân tử đổi chiều do tác dụng của các từ trường tổng hợp tại vùng trung tính triệt tiêu được hoàn toàn s.đ.đ. phản kháng  $e_{pk}$ , nghĩa là  $\Sigma e = 0$ , thì dòng điện phụ trong phân tử đổi chiều bằng không và từ phương trình (4-10a) ta có:

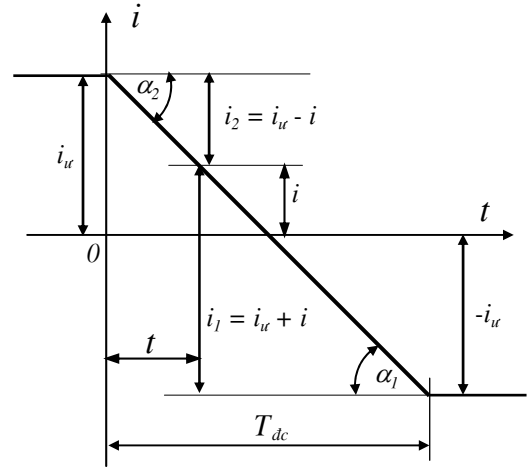
$$i = \left(1 - \frac{2t}{T_{dc}}\right) i_u \quad (4-17)$$

Đường biểu diễn của dòng điện  $i$  theo thời gian  $t$  là một đường thẳng (hình 4-2) và đổi chiều mang tên là đổi chiều đường thẳng.

Khi đổi chiều đường thẳng, mật độ dòng điện ở bề mặt tiếp xúc phía đi ra và phía đi vào của chổi than bằng:

$$J_1 = \frac{i_1}{S_{tx1}} = \frac{T_{dc}}{(T_{dc} - t)S} i_1$$

$$J_2 = \frac{i_2}{S_{tx2}} = \frac{T_{dc}}{S \cdot t} i_2 \quad (4-18)$$



Hình 4-2. Đổi chiều đường thẳng

Từ hình 4-2 ta thấy:

$$\frac{i_1}{T_{dc} - t} = \operatorname{tg} \alpha_1 \quad \text{và} \quad \frac{i_2}{t} = \operatorname{tg} \alpha_2.$$

Vì  $\alpha_1 = \alpha_2$  nên  $\operatorname{tg} \alpha_1 = \operatorname{tg} \alpha_2$  do đó trong suốt quá trình đổi chiều  $J_1 = J_2 = C^{tc}$  và quá trình đổi chiều được tiến hành thuận lợi (không phát sinh tia lửa).

### b. Đổi chiều đường cong

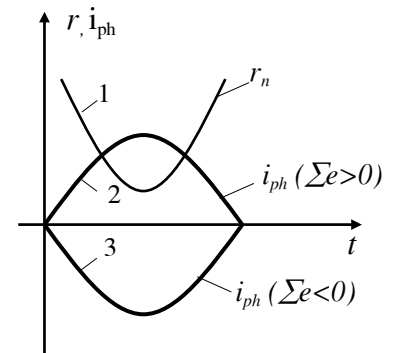
Trên thực tế các s.đ.đ.  $e_{pk}$  và  $e_{dc}$  trong phần tử đổi chiều không hoàn toàn triệt tiêu nhau, nghĩa là  $\Sigma e \neq 0$  và trong bối đổi chiều sẽ xuất hiện dòng điện phụ  $i_{ph} = \frac{\Sigma e}{r_n}$ .

Dòng điện phụ  $i_{ph}$  cộng với dòng điện cơ bản  $i_{cb}$  làm cho quan hệ  $i = f(t)$  không còn đường thẳng nữa và ta có đổi chiều đường cong.

Giả sử điện trở tiếp xúc toàn phần  $r_{tx}$  không đổi, từ biểu thức (4-10b) ta thấy rằng trong quá trình đổi chiều (từ  $t = 0$  đến  $t = T_{dc}$ ) sự biến đổi của  $r_n$  thay đổi có dạng như đường cong 1 trên hình 4-3.

Nếu  $e_{pk} > e_{dc}$  nghĩa là  $\Sigma e > 0$  và coi  $\Sigma e = C^{tc}$  thì dòng điện phụ  $i_{ph}$  biến thiên theo đường cong 2 trên hình 4-3 và dòng điện đổi chiều  $i = i_{cb} + i_{ph}$  thay đổi theo dạng đường cong trên hình 4-4. Trường hợp này đổi chiều mang tính chất trì hoãn, nghĩa là dòng điện đổi chiều  $i$  thay đổi chậm hẳn so với khi đổi chiều đường thẳng. Sở dĩ có sự trì hoãn đó là do tác dụng của s.đ.đ. phản kháng  $e_{pk}$  chống lại sự thay đổi của dòng điện  $i$ .

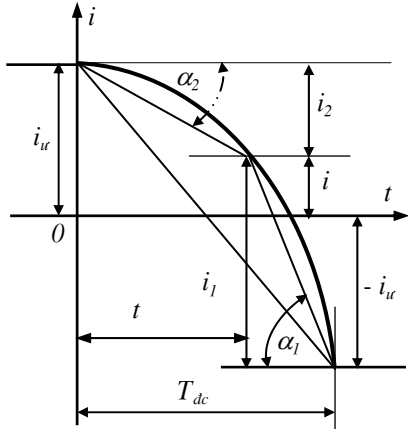
Từ hình 4-4 ta thấy  $\alpha_1 > \alpha_2$ , do đó  $J_1 > J_2$ . Như vậy, trong trường hợp đổi chiều trì hoãn tia lửa thường xuất hiện ở đầu ra của chổi than khi phần tử ra khỏi tình trạng bị chổi than nối ngắn mạch. Sự xuất hiện tia lửa này có thể giải thích như sau: do hiện tượng điện hoá và nhiệt ở bề mặt tiếp xúc giữa chổi than và



Hình 4-3

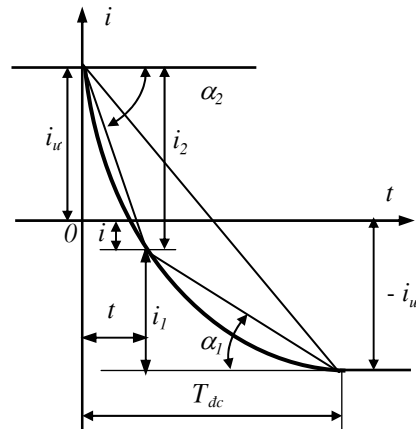
Dòng điện phụ khi đổi chiều

phiến đổi chiều, nên lúc quá trình đổi chiều kết thúc, điện trở tiếp xúc  $r_{tx1}$  trong biểu thức (4-9a) không phải là vô cùng lớn mà có một trị số nhất định, kết quả là lúc  $t = T_{dc}$  dòng điện phụ  $i_{ph} \neq 0$  và trong từ trường của phần tử đổi chiều tích lũy một năng lượng đáng kể  $\frac{1}{2} Li_{ph}^2$ . Khi phần tử đổi chiều ra khỏi tình trạng bị chổi than nối ngắn mạch, sự xuất hiện tia lửa chính là hậu quả của việc giải phóng năng lượng điện từ đó một cách đột ngột, tương tự như khi dùng cầu dao cắt mạch điện có  $r$  và  $L$ .



Hình 4-4

Đổi chiều có tính chất trì hoãn



Hình 4-5

Đổi chiều có tính chất vượt trước

Nếu  $e_{pk} < e_{dc}$ , hay  $\Sigma e < 0$  thì dòng điện  $i_{ph}$  đổi dấu so với khi  $\Sigma e > 0$  và có dạng như đường cong 3 ở hình 4-3. Đường biểu diễn dòng điện đổi chiều  $i$  tương ứng được trình bày trên hình 4-5 và sự đổi chiều mang tính chất vượt trước. Khi đổi chiều vượt trước  $\alpha_1 < \alpha_2$ , do đó  $J_1 < J_2$  và có hiện tượng phóng tia lửa ở đầu vào của chổi than tương tự như khi đóng cầu dao khép mạch điện. Trên thực tế hiện tượng phóng tia lửa này rất yếu. Ở giai đoạn cuối của quá trình đổi chiều vượt trước  $i_1$  và  $J_1$  rất nhỏ nên phần tử đổi chiều ra khỏi tình trạng bị chổi than nối ngắn mạch một cách nhẹ nhàng và thuận lợi.

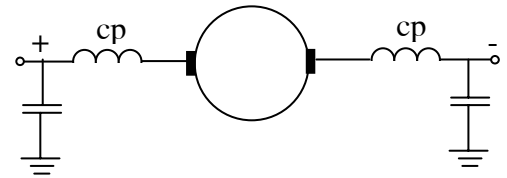
### 4-3. NGUYÊN NHÂN PHÁT SINH RA TIA LỬA VÀ CÁC BIỆN PHÁP CẢI THIỆN ĐỔI CHIỀU

#### 4.3.1. Nguyên nhân phát sinh tia lửa

Tia lửa sinh ra dưới chổi than có thể do những nguyên nhân cơ hoặc nguyên nhân điện từ. Những nguyên nhân về cơ có thể là: vành góp không đồng tâm với trục, sự cân bằng bộ phận quay không tốt, bề mặt vành góp không phẳng, lực ép trên chổi than không thích hợp, chổi than bị kẹt trong hộp, hộp chổi than không được giữ chặt hay đặt không đúng vị trí v.v... Nguyên nhân điện từ là do s.đ.đ. đổi chiều không triệt tiêu được s.đ.đ. phản kháng trong phần tử đổi chiều. Ngoài ra còn phải kể đến sự phân bố không đều của mật độ dòng điện trên bề mặt tiếp xúc và quan hệ phi tuyến của điện trở tiếp xúc  $R_{tx} = f(t, \theta)$  trong đó  $\theta$  là thông số đặc trưng cho tác dụng nhiệt và hiện tượng điện phân dưới chổi than.

Khi sự đổi chiều bị rối loạn phía sau chổi than phóng ra tia lửa mãnh liệt. Chùm tia lửa này khi tắt để lại một vùng ion hoá, đây chính là điều kiện tốt để chùm tia lửa sau đó sinh ra càng mạnh hơn nếu nguyên nhân gây ra rối loạn chưa bị loại trừ. Ở mức độ ác liệt, các chùm lửa càng dài ra và nối từ chổi này sang chổi khác tạo thành vòng lửa trên mặt vành góp. Vòng lửa xuất hiện khi dòng điện trong phần ứng tăng lên quá định mức (quá tải, ngắn mạch). Để chống lại vòng lửa phải dùng dây quấn bù và trang bị máy cắt cực nhanh kịp thời cắt mạch ngay sau khi xảy ra sự cố (0,05 ÷ 0,1s).

Cần chú ý rằng quá trình đổi chiều diễn ra tuần hoàn và sinh ra dao động điện từ với tần số khoảng 1000 ÷ 3000 Hz. Nếu máy được sử dụng vào lĩnh vực vô tuyến điện, sự đánh lửa dưới chổi than với tần số ấy sẽ gây nhiễu trong hệ thống vô tuyến. Để chống sự nhiễu loạn ấy người ta chia những cuộn dây nối tiếp với phần ứng, trong đó có các cuộn dây cực từ phụ thành hai phần và nối đối



Hình 4-6. Chống nhiễu vô tuyến điện

xúng với phần ứng như ở hình 4-6. Ngoài ra giữa các chổi than và thân máy còn nối những tụ để tạo đường thoát cho các dao động tần số cao tại các đầu ra của máy.

### 4.3.2. Các phương pháp cải thiện đổi chiều

Để tạo điều kiện tốt cho sự đổi chiều, trước hết phải giữ đúng những quy định về trạng thái của vành góp và cơ cấu giữ chổi than để loại trừ những nguyên nhân về cơ sinh ra tia lửa. Sau đây là những biện pháp cải thiện đổi chiều dựa vào khuynh hướng giảm dòng điện phụ chạy trong phần tử đổi chiều.

#### a. Đặt cực từ phụ

Biện pháp cơ bản để cải thiện đổi chiều trong các máy điện một chiều hiện đại là tạo ra từ trường ngoài, còn gọi là từ trường đổi chiều tại vùng trung tính, bằng cách đặt những cực từ phụ giữa những cực từ chính (hình 3-7).

S.t.đ. của cực từ phụ  $F_l$  phải có chiều ngược với s.t.đ. ngang trục  $F_{uq}$  của phần ứng phản ứng và phải có độ lớn sao cho vừa trung hoà được ảnh hưởng của  $F_{uq}$ , vừa tạo ra được từ trường phụ để sinh ra s.đ.đ. đổi chiều  $e_{dc}$  triệt tiêu được s.đ.đ. phản kháng  $e_{pk}$ . Để đạt được mục đích trên, người ta bố trí các cực từ phụ như sau: cực từ phụ ở máy phát điện phải có cùng cực tính với cực từ chính mà các cạnh của phần tử dây quấn phần ứng tại cực từ phụ sắp quay tới (hình 3-7). Ở động cơ điện cực tính sẽ ngược lại.

Như đã biết, s.đ.đ. phản kháng  $e_{pk} = (e_L + e_M) \equiv I_r$  và s.đ.đ. đổi chiều  $e_{dc} \equiv B_{dc}$  (theo biểu thức 4-16) nên để cực từ phụ phát huy tác dụng thì điều kiện cơ bản là  $B_{dc} \equiv I_r$ . Muốn vậy dây quấn cực từ phụ phải được nối nối tiếp với dây quấn phần ứng và dòng điện tải  $I_r$  chỉ được thay đổi trong phạm vi khiến cho mạch từ của cực từ phụ không bão hoà. Trên thực tế không thể đạt được điều kiện  $B_{dc} \equiv I_r$  ở nhiều tải khác nhau, do đó không thể đạt được một vùng đổi chiều đường thẳng. Vì vậy ở những máy điện làm việc ở chế độ thường bị quá tải không nặng lắm, người ta thường chế tạo cuộn dây cực từ phụ thích hợp sao cho khi máy làm việc ở chế độ định mức thì sự đổi chiều hơi vượt trước (nhưng chưa phát sinh tia lửa), khi quá tải - đổi chiều đường thẳng và khi quá tải nặng - đổi chiều hơi trì hoãn.

Cấu tạo của cực từ phụ phải làm sao tạo ra được từ trường đổi chiều trong khắp khu vực đổi chiều và sinh ra s.đ.đ. đổi chiều tương ứng với s.đ.đ. phản kháng. Thường khe



hở dưới cực từ phụ bằng  $1,5 \div 2$  lần khe hở dưới cực từ chính, bề rộng của cực từ phụ vào khoảng  $0,4 \div 0,8$  bề rộng của khu vực đổi chiều.

Cũng cần nói thêm là cực từ phụ chỉ đặt ở những máy có  $P > 0,3$  kW. Số cực từ phụ thường bằng số cực từ chính, tuy nhiên trong các máy  $P < 2 \div 2,5$  kW có thể chỉ đặt một nửa số cực từ phụ là đủ.

Ở máy có cực từ phụ thì chổi than được đặt cố định trên đường trung tính hình học.

### b. Xê dịch chổi than khỏi đường trung tính hình học

Ở những máy điện nhỏ, để thay thế cho tác dụng của cực từ phụ, ta có thể lợi dụng từ trường tổng của máy để tạo ra từ trường đổi chiều bằng cách xê dịch chổi than khỏi đường trung tính hình học (hình 4-7). Từ hình 4-7 có thể thấy rằng, ở trường hợp máy phát điện, muốn từ trường ở khu vực đổi chiều có cực tính của cực từ chính mà sau khi đổi chiều các cạnh bối dây sẽ đi tới như ở trường hợp cực từ phụ thì phải xê dịch chổi than thuận theo chiều quay của máy một góc:

$$\beta = \alpha + \gamma$$

trong đó:

$\alpha$  - góc giữa các đường trung tính hình học và vật lý;

$\gamma$  - góc có trị số ứng với điều kiện từ trường tổng bằng từ trường đổi chiều.

Đối với động cơ điện phải xê dịch chổi than ngược chiều quay của máy.

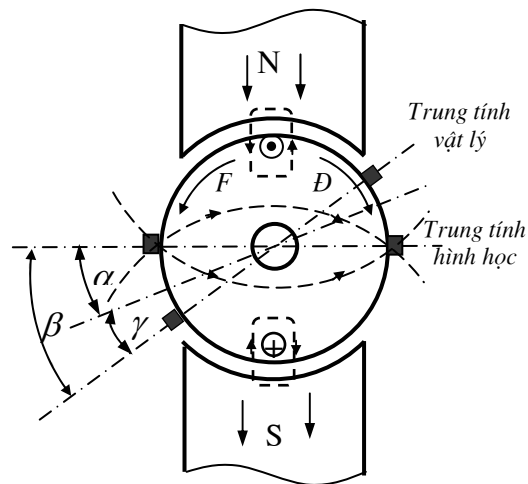
Vì s.đ.đ. phản kháng  $e_{pk} \equiv I_r$  nên khi tải thay đổi, muốn  $e_{dc}$  thay đổi theo thì phải xê dịch lại chổi than để thay đổi góc  $\gamma$ , điều mà trong thực tế không thể thực hiện được. Do đó phương pháp xê dịch chổi than chỉ cải thiện được đổi chiều ở một tải nhất định.

### c. Dùng dây quấn bù

Đối với các máy điện có công suất lớn hơn 150 kW và làm việc trong điều kiện tải thay đổi đột ngột, để ngăn ngừa hiện tượng vòng lửa và hỗ trợ thêm cho cực từ phụ, người ta dùng dây quấn bù. Tác dụng của dây quấn bù là triệt tiêu từ trường của phần ứng trong phạm vi dưới mặt cực từ chính. Kết quả là từ trường cực từ chính hầu như không bị biến dạng. Vì từ trường phản ứng phụ thuộc theo dòng điện tải  $I_r$  nên để có thể bù được từ trường đó ở tải bất kỳ, dây quấn bù được mắc nối tiếp với dây quấn phần ứng. Khi có dây quấn bù thì s.đ.đ. của cực từ phụ được giảm nhỏ, mạch từ của nó ít bão hoà hơn và hiệu quả cải thiện đổi chiều sẽ tăng lên.

### d. Những biện pháp khác

Để giảm nhỏ dòng điện phụ  $i_{ph}$  và do đó cải thiện đổi chiều, từ biểu thức 4-6 ta thấy còn có khả năng tăng điện trở tiếp xúc, hoặc khi thiết kế khống chế sao cho s.đ.đ. phản kháng  $e_{pk} \leq 7 \div 10V$ . Nhưng những biện pháp đó khiến cho cấu tạo của máy phức tạp và công nghệ chế tạo khó khăn cho nên không được thông dụng và ta cũng không đề cập đến.



Hình 4-7  
Xê dịch chổi than khỏi đường trung tính hình học để cải thiện đổi chiều

### **Câu hỏi**

1. Các s.đ.đ. xuất hiện trong phần tử đổi chiều? Tác dụng của các s.đ.đ. đó đối với quá trình đổi chiều của dòng điện?
2. Nguyên nhân phát sinh tia lửa dưới bề mặt chổi than?
3. So sánh các phương pháp cải thiện đổi chiều, hiệu quả và ứng dụng của từng phương pháp đó?
4. Vẽ cách nối dây của các dây quấn bù và dây quấn cực từ phụ.

### **Bài tập**

6. Tính số vòng dây của cực từ phụ của máy phát điện một chiều để có thể đổi chiều đường thẳng. Cho  $N = 834$ ,  $I_r = 50$  A,  $a = p = 1$ ,  $w_s = 3$ ,  $D = 24,5$  cm,  $n = 1460$  vg/ph,  $\lambda = 8,5 \cdot 10^6$  H/m,  $l_\delta = l_{dc} = 8$  cm,  $\delta_p = 3$  mm,  $k_{\delta p} = 1,3$ .

Đáp số:  $w_p = 118$  vg

CHƯƠNG 5

QUÁ TRÌNH ĐIỆN TỪ TRONG MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

5-1. MÔMEN ĐIỆN TỪ VÀ CÔNG SUẤT ĐIỆN TỪ

Khi máy điện làm việc, trong dây quấn phân 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.

Giả thiết ở một chế độ làm việc nào đó của máy điện một chiều, từ trường và dòng điện phân ứng ở dưới một cực từ như hình 5-1. Theo quy tắc bàn tay trái, mômen điện từ do lực điện từ tác dụng lên các thanh dẫn có chiều từ phải sang trái.

Lực điện từ tác dụng lên từng thanh dẫn bằng:

$$F = B_{tb} l i_u \quad (5-1)$$

Nếu tổng số thanh dẫn của dây quấn bằng N, dòng điện trong mạch nhánh  $i_u = \frac{I_u}{2a}$  thì mômen điện từ tác dụng lên dây quấn phân ứng bằng:

$$M = B_{tb} \frac{I_u}{2a} l N \frac{D}{2} \quad (5-2)$$

trong đó:

$B_{tb}$  - từ cảm trung bình trong khe hở không khí;

$I_u$  - dòng điện phân ứng;

l - chiều dài tác dụng của thanh dẫn;

D - đường kính ngoài của phân ứng.

Do  $D = \frac{2p\tau}{\pi}$ ,  $B_{tb} = \frac{\Phi_\delta}{\tau l}$  nên ta có:

$$M = \frac{pN}{2a\pi} \Phi_\delta I_u = C_M \Phi_\delta I_u, Nm \quad (5-3)$$

trong đó:

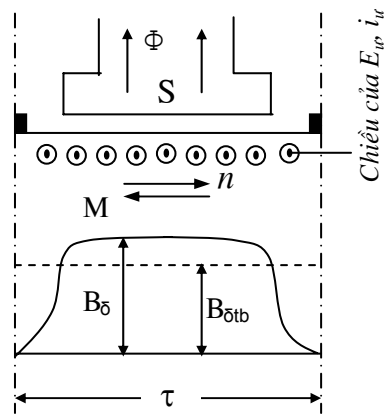
$\Phi_\delta$  - từ thông dưới mỗi cực từ, Wb;

$C_M = \frac{pN}{2a\pi}$  - hệ số phụ thuộc vào kết cấu của máy điện.

Nếu mômen tính bằng kGm thì công thức (5-3) phải chia cho 9,81.

$$M = \frac{1}{9,81} \frac{pN}{2a\pi} \Phi_\delta I_u, kGm \quad (5-4)$$

Trong máy phát điện, khi có tải thì dòng điện sinh ra sẽ cùng chiều với s.đ.đ nên mômen điện từ sinh ra sẽ ngược chiều với chiều quay của máy. Vì vậy ở máy phát điện, mômen điện từ là mômen hãm (hình 5-1).



Hình 5-1. Xác định s.đ.đ. phân ứng và mômen điện từ trong máy phát điện một chiều

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 cùng chiều với chiều của mômen (hình 5-2).

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 và bằng:

$$P_{dt} = M\omega \quad (5-5)$$

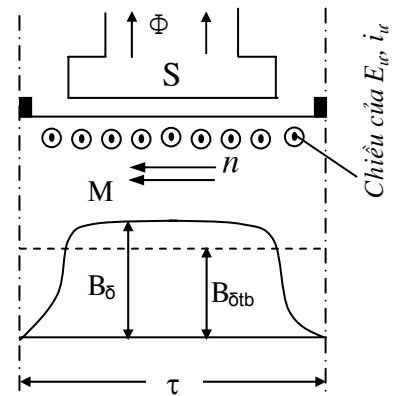
trong đó : M - là mômen điện từ;

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} - \text{tốc độ góc phần ứng.}$$

Thay vào biểu thức (5-5) ta có:

$$P_{dt} = M\omega = \frac{pN}{2a\pi} \Phi_{\delta} \cdot I_u \cdot \frac{2\pi n}{60} = \frac{pN}{60a} n \Phi_{\delta} I_u = E_u I_u \quad (5-6)$$

Từ công thức (5-6) 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 đã chuyển công suất điện  $E_u I_u$  thành công suất cơ  $M\omega$ .



Hình 5-2. Xác định mômen điện từ trong động cơ điện một chiều

## 5-2. QUÁ TRÌNH NĂNG LƯỢNG VÀ CÁC PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG

### 5.2.1. Tổn hao trong máy điện một chiều

Trong máy điện một chiều, đại bộ phận công suất cơ biến thành công suất điện (máy phát) hay công suất điện biến thành công suất cơ (động cơ), chỉ có một phần rất ít biến thành tổn hao trong máy dưới hình thức nhiệt toả ra ngoài không khí. Tổn hao trong máy được phân thành bốn loại sau:

**a. Tổn hao cơ  $p_{cơ}$ .** Tổn hao cơ bao gồm tổn hao ổ bi, tổn hao ma sát chổi than với vành góp, tổn hao do thông gió ... Tổn hao này phụ thuộc chủ yếu vào tốc độ quay của máy và làm cho ổ bi, vành góp nóng lên.

**b. Tổn hao sắt  $p_{Fe}$ .** Tổn hao sắt do từ trễ và dòng điện xoáy gây nên. Tổn hao này phụ thuộc vào vật liệu, chiều dày của tấm thép, trọng lượng lõi thép, từ cảm và tần số f. Khi lõi thép đã định hình thì tổn hao thép tỷ lệ với  $f^{1,2+1,6}$  và  $B^2$ .

Hai loại tổn hao trên khi không tải đã tồn tại nên gọi là tổn hao không tải:

$$P_0 = p_{cơ} + p_{Fe} \quad (5-7)$$

Tổn hao sắt và tổn hao cơ sinh ra mômen hãm và mômen này tồn tại khi không tải nên gọi là mômen không tải  $M_0$ . Quan hệ giữa  $M_0$  và  $p_0$  như sau:

$$M_0 = \frac{P_0}{\omega} \quad (5-8)$$

trong đó  $\omega$  là tốc độ góc của rôto.

**c. Tổn hao đồng  $p_{cu}$ .** Tổn hao đồng bao gồm tổn hao đồng trong mạch phần ứng  $p_{cu,u}$  và tổn hao đồng trong mạch kích thích  $p_{cu,t}$ .

Tổn hao đồng trong mạch phân ứng bao gồm tổn hao đồng trong dây quấn phân ứng  $I_u^2 r_u$ , tổn hao đồng trong dây quấn cực từ phụ  $I_u^2 r_f$ , tổn hao tiếp xúc giữa chổi than và vành góp  $p_{tx}$ . Thường với chổi than graphit điện áp giáng trên chỗ tiếp xúc của chổi than  $2\Delta U_{tx} = 2V$  nên  $p_{tx} = 2I_u$ .

Hiện nay thường gộp tất cả các tổn hao đồng trên phân ứng lại và viết dưới dạng  $p_{cu,u} = I_u^2 R_u$  trong đó  $R_u = r_u + r_f + r_{tx}$ .

Tổn hao đồng trong mạch kích thích bao gồm tổn hao đồng trên dây quấn kích thích và tổn hao đồng của điện trở điều chỉnh trong mạch kích thích. Vì vậy  $p_{cut} = U_l I_l$ , trong đó  $U_l$  là điện áp đặt trên mạch kích thích và  $I_l$  là dòng điện kích thích.

**d. Tổn hao phụ.** Tổn hao phụ bao gồm tổn hao phụ trong đồng và tổn hao phụ trong thép.

Tổn hao phụ trong thép có thể là do từ trường phân bố không đều trên bề mặt phân ứng, các bulông ốc vít trên phân ứng làm từ trường phân bố không đều trong lõi thép, ảnh hưởng của răng và rãnh làm từ trường đập mạch ... sinh ra

Tổn hao phụ trong đồng có thể do quá trình đổi chiều làm dòng điện trong phân tử thay đổi, dòng điện phân bố không đều trên bề mặt chổi than làm tổn hao tiếp xúc lớn, từ trường phân bố không đều trong rãnh làm sinh ra dòng điện xoáy trong dây dẫn, tổn hao trong dây nối cân bằng sinh ra. Trong máy điện một chiều thường lấy  $p_f = 1\% P_{dm}$ .

**5.2.2. Quá trình năng lượng và các phương trình cân bằng trong máy điện một chiều**

**a. Máy phát điện một chiều**

Máy phát điện biến cơ năng thành điện năng nên máy do một động cơ sơ cấp bất kỳ kéo quay với một tốc độ nhất định.

Giả thiết công suất kích thích do một máy khác cung cấp nên không tính vào công suất đưa từ động cơ sơ cấp vào của máy phát điện.

Công suất cơ  $P_1$  đưa vào máy phát điện, một phần để bù vào tổn hao cơ  $p_{co}$  và tổn hao sắt  $p_{Fe}$ , còn đại bộ phận biến đổi thành công suất điện từ  $P_{dt}$ . Ta có:

$$P_1 = P_{dt} + (p_{co} + p_{Fe}) = P_{dt} + P_0 \tag{5-9}$$

hay  $P_{dt} = P_1 - P_0 = E_u I_u \tag{5-10}$

Khi có dòng điện chạy trong dây quấn phân ứng thì có tổn hao đồng nên công suất điện đưa ra  $P_2$  bằng:

$$P_2 = P_{dt} - p_{cu} = E_u I_u - I_u^2 R_u = U I_u \tag{5-11}$$

Giản đồ năng lượng được trình bày trên hình 5-3.

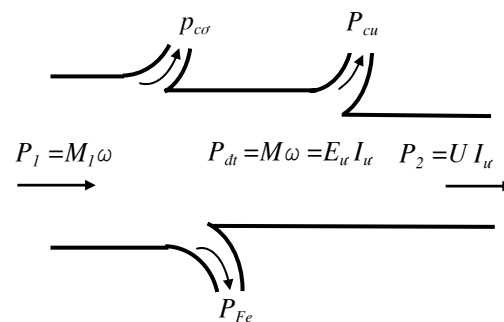
Chia hai vế của phương trình (5-11) cho  $I_u$  ta được:

$$U = E_u - I_u R_u \tag{5-12}$$

Đó là phương trình cân bằng s.d.đ của máy phát điện một chiều.

Có thể viết công suất cơ đưa vào, công suất không tải và công suất điện từ dưới dạng mômen nhân với tốc độ góc như sau:

$$M_1 \cdot \omega = M \cdot \omega + M_0 \cdot \omega \tag{5-13}$$



Hình 5-3.  
Giản đồ năng lượng của máy phát điện một chiều.

Chia hai vế của phương trình (5-13) cho  $\omega$  ta được:

$$M_1 = M + M_0 \quad (5-14)$$

trong đó:  $M_1$  – mômen đưa vào trục của máy phát điện;

$M$  – mômen điện từ;

$M_0$  – mômen không tải.

Biểu thức (5-14) gọi là phương trình cân bằng mô men của máy phát điện.

### b. Động cơ điện

Động cơ điện lấy công suất điện vào và truyền công suất cơ ra đầu trục.

Công suất điện mà động cơ nhận từ lưới vào là:

$$P_1 = UI = U(I_r + I_t) \quad (5-15)$$

trong đó:  $I = I_r + I_t$  là dòng điện lấy từ lưới vào;

$I_r$  là dòng điện đi vào phần ứng;

$I_t$  - dòng điện kích thích;

$U$  - điện áp ở đầu cực máy.

Công suất nhận vào  $P_1$ , một phần cung cấp cho mạch kích thích  $UI_t$ , còn phần lớn đi vào phần ứng  $UI_r$ , một phần tiêu hao trên dây quấn phần ứng  $p_{cu,r}$ , còn đại bộ phận là công suất điện từ  $P_{dt}$ . Ta có:

$$P_1 = p_{cu,r} + p_{cu,t} + P_{dt} \quad (5-16)$$

Công suất điện từ sau khi chuyển thành công suất cơ thì còn tiêu hao một ít để bù vào tổn hao cơ  $p_{cơ}$  và tổn hao sắt  $p_{Fe}$  (gọi chung là tổn hao không tải hay công suất không tải  $p_0$ ). Phần còn lại cuối cùng là công suất đưa ra đầu trục  $P_2 = M_2\omega$ .

Ta có:

$$P_{dt} = p_{cơ} + p_{Fe} + P_2 = p_0 + P_2 \quad (5-17)$$

Từ các phương trình (5-16) và (5-17) ta xây dựng được giản đồ năng lượng của động cơ điện một chiều như ở hình 5-4.

Từ công thức (5-15) và (5-16) ta có công suất điện trong mạch phần ứng bằng:

$$UI_r = P_{dt} + p_{cu,r} = E_r I_r + I_r^2 R_r \quad (5-18)$$

Chia hai vế của (5-18) cho  $I_r$  ta được phương trình:

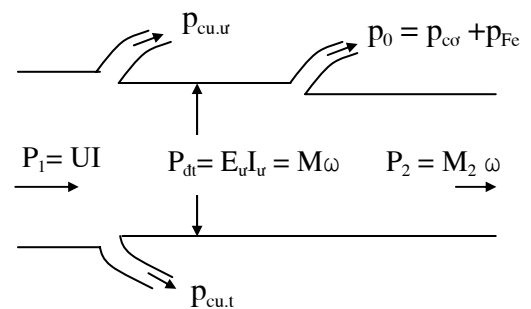
$$U = E_r + I_r R_r \quad (5-19)$$

Đây chính là phương trình cân bằng s.đ.đ. của động cơ điện một chiều.

Từ công thức (5-17) ta có thể viết:

$$M\omega = M_0\omega + M_2\omega \quad (5-20)$$

Chia hai vế cho  $\omega$  ta được:



Hình 5-4. Giản đồ năng lượng của động cơ điện một chiều

$$M = M_0 + M_2 \quad (5-21)$$

trong đó:  $M_2$ - mômen đưa ra đầu trục máy;

$M_0$  - mômen không tải.

Phương trình (5-21) gọi là phương trình cân bằng mômen của động cơ điện một chiều.

### 5-3. TÍNH CHẤT THUẬN NGHỊCH TRONG MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

Như đã biết ở trên, máy điện một chiều có thể làm việc ở chế độ máy phát và ở chế độ động cơ. Khi làm việc ở chế độ máy phát, chiều của mômen điện từ và chiều của tốc độ quay ngược nhau, còn dòng điện và s.đ.đ cùng chiều. Trong chế độ động cơ điện thì mômen và tốc độ cùng chiều, còn dòng điện và s.đ.đ ngược chiều nhau. Như vậy chỉ cần có một điều kiện khác nhau thì máy sẽ có tính chất làm việc khác nhau.

Giả sử máy đang làm việc ở trạng thái máy phát nối vào lưới có  $U = C^e$ , dòng điện phân ứng đưa ra là  $I_u = \frac{E_u - U}{R_u}$ , nghĩa là  $E_u > U$ . Máy sinh ra mômen điện từ có chiều

ngược với chiều quay và đóng vai trò mômen hãm. Bây giờ nếu ta giảm từ thông  $\Phi$  hoặc giảm tốc độ  $n$  để giảm  $E_u$  xuống một cách thích đáng thì  $E_u$  sẽ nhỏ hơn  $U$  và dòng điện  $I_u$  sẽ đổi chiều,  $E_u$  và  $I_u$  ngược chiều nhau. Do chiều của từ thông  $\Phi$  không đổi nên mômen điện từ đổi chiều (vì  $M = C_M \Phi I_u$ ), nghĩa là mômen đã trở nên cùng chiều với tốc độ và đã từ mômen hãm trở thành mômen quay. Máy đã chuyển từ chế độ máy phát điện sang chế độ động cơ điện. Bây giờ ta tách động cơ sơ cấp ra ta sẽ được một động cơ điện một chiều thông thường.

#### THÍ DỤ

1. Một máy phát điện một chiều lúc quay không tải ở tốc độ  $n_0 = 1000$  vg/ph thì s.đ.đ. phát ra bằng  $E_0 = 222$  V.

Hỏi lúc không tải muốn phát ra s.đ.đ. định mức  $E_{0dm} = 220$  V thì tốc độ  $n_{0dm}$  phải bằng bao nhiêu khi giữ dòng kích từ không đổi?

#### Giải

Dòng điện kích từ không đổi nghĩa là từ thông  $\Phi_0$  không đổi.

Theo công thức  $E_u = C_e \Phi_\delta \cdot n$ , khi  $E_0 = 222$  V ta có  $E_0 = C_e \Phi_0 \cdot n_0$  ( $n_0 = 1000$  vg/ph).

Khi  $E_{0dm} = 220$  V thì  $E_{0dm} = C_e \Phi_0 \cdot n_{0dm}$

Lấy  $E_0/E_{0dm}$  ta có: 
$$\frac{E_0}{E_{0dm}} = \frac{C_e \Phi_0 \cdot n_0}{C_e \Phi_0 \cdot n_{0dm}} = \frac{n_0}{n_{0dm}}$$

Từ đó suy ra  $n_{0dm} = n_0 \cdot \frac{E_0}{E_{0dm}} = 1000 \cdot \frac{222}{220} = 990$  vg/ph

2. Một động cơ điện một chiều kích thích song song công suất định mức  $P_{dm} = 5,5$  kW,  $U_{dm} = 110$  V,  $I_{dm} = 58$  A (dòng điện tổng đưa vào bằng dòng điện phân ứng  $I_u$  và

dòng kích từ  $I_t$ ),  $n_{dm} = 1470$  vg/ph. Điện trở phân ứng  $R_r = 0,15 \Omega$ , điện trở mạch kích thích  $r_t = 137 \Omega$ , điện áp giáng trên hai chổi than là  $2\Delta U_{tx} = 2$  V. Tính s.đ.đ. phân ứng, dòng điện phân ứng và mômen điện từ.

### Giải

Dòng điện kích từ:

$$I_t = \frac{U}{r_t} = \frac{110}{137} = 0,8A$$

Dòng điện phân ứng:

$$I_r = I_{dm} - I_t = 58 - 0,8 = 57,2 A$$

Sức điện động phân ứng:

$$E_r = U - I_r R_r - 2\Delta U_{tx} = 110 - (57,2 \times 0,15) - 2 = 99,4 V$$

Mômen điện từ:

$$M = \frac{P_{dt}}{\omega} = \frac{E_r I_u}{\frac{2\pi n}{60}} = \frac{99,4 \times 57,2}{\frac{2\pi \times 1470}{60}} = 36,9 \text{ N.m}$$

Nếu tính ra kG.m thì:

$$M = \frac{36,9}{9,81} = 3,76 \text{ kG.m}$$

### Câu hỏi

1. Sức điện động trong máy điện một chiều phụ thuộc vào những yếu tố nào?
2. Mômen điện từ trong máy điện một chiều phụ thuộc vào những yếu tố nào? Tính chất của mômen điện từ ở chế độ máy phát điện, chế độ động cơ điện?
3. Phân tích quá trình năng lượng của máy phát điện và động cơ điện một chiều, từ đó dẫn ra các quan hệ về công suất, mômen, dòng điện và s.đ.đ.

### Bài tập

1. Một động cơ điện một chiều kích thích song song có các số liệu sau:

$U_{dm} = 220$  V,  $R_r = 0,4 \Omega$ ,  $I_{dm} = 52$  A,  $r_t = 110 \Omega$  và tốc độ không tải  $n_0 = 1100$  vg/ph. Hãy tìm:

- a. S.đ.đ. phân 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.

Đáp số: a)  $E_{udm} = 200$  V

b)  $n_{dm} = 1000$  vg/ph

c)  $P_{dt} = 10$  kW,  $M = 95,5$  N.m

2. Một động cơ điện một chiều kích thích song song có các số liệu sau:



$P_{dm} = 90 \text{ kW}$ ,  $U_{dm} = 440 \text{ V}$ ,  $I_{dm} = 225 \text{ A}$ ,  $I_t = 5 \text{ A}$ ,  $n_{dm} = 500 \text{ vg/ph}$ ,  $R_r = 0,078 \Omega$ .  
Hãy tìm:

- Mômen định mức ở đầu trục  $M_{2dm}$ ;
- Mômen điện từ khi dòng điện định mức;
- Tốc độ quay lúc không tải lý tưởng ( $I = 0$ ).

Đáp số: a)  $M_{2dm} = 1719,75 \text{ N.m}$

b)  $M_{dt} = 2007,7 \text{ N.m}$

c)  $n_0 = 523 \text{ vg/ph}$

3. Một máy phát điện kích thích độc lập có  $U_{dm} = 220 \text{ V}$ ,  $n_{dm} = 1000 \text{ vg/ph}$ . Biết rằng ở tốc độ  $n = 750 \text{ vg/ph}$  thì s.đ.đ. lúc không tải  $E_0 = 176 \text{ V}$ . Hỏi s.đ.đ. và dòng điện phần ứng lúc tải định mức của máy là bao nhiêu, biết điện trở phần ứng  $R_r = 0,4 \Omega$ .

Đáp số:  $E_{udm} = 234,6 \text{ V}$

$I_{udm} = 36,5 \text{ A}$ .

## CHƯƠNG 6

### MÁY PHÁT ĐIỆN MỘT CHIỀU

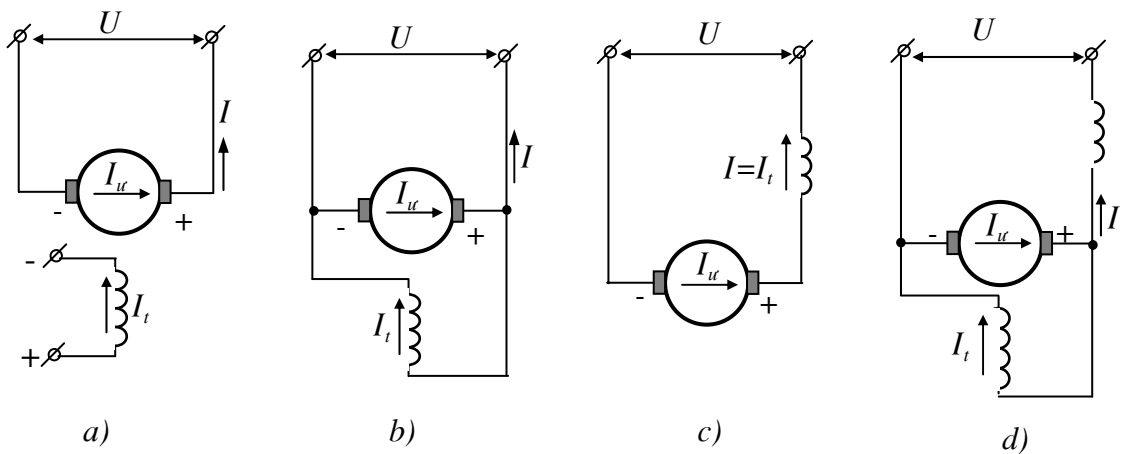
#### 6-1. ĐẠI CƯƠNG

Trong nền kinh tế quốc dân, nhiều ngành sản xuất như luyện kim, hoá chất, giao thông vận tải, ... đòi hỏi phải dùng nguồn điện một chiều, và ngày nay vẫn không thể thay thế được dòng điện một chiều mặc dù việc dùng dòng điện xoay chiều trong công nghiệp đã rất phổ biến. Thông thường để có nguồn điện một chiều có thể dùng các thiết bị chỉnh lưu hoặc máy phát điện một chiều quay bằng động cơ sơ cấp là động cơ xoay chiều, hoặc động cơ đốt trong, tuabin ...

Tuỳ theo cách kích thích cực từ chính, các máy phát điện một chiều được phân loại như sau:

##### 6.1.1. Máy phát điện một chiều kích thích độc lập

Máy phát điện một chiều kích thích độc lập bao gồm máy phát kích thích bằng nam châm vĩnh cửu và máy phát kích thích điện từ. Loại đầu chỉ được chế tạo với công suất nhỏ. Loại thứ hai có dây quấn kích thích nhận dòng điện một chiều từ ắc quy, lưới điện một chiều hoặc máy phát điện phụ gọi là máy phát kích thích (hình 6-1a) và được dùng nhiều trong các trường hợp cần điều chỉnh điện áp trong phạm vi rộng, công suất lớn.



Hình 6-1

Sơ đồ nguyên lý của máy phát điện một chiều: a) Kích thích độc lập; b) kích thích song song; c) kích thích nối tiếp; d) kích thích hỗn hợp.

##### 6.1.2. Máy phát điện một chiều tự kích thích

Máy phát điện một chiều tự kích thích có dòng điện kích thích lấy từ bản thân máy phát điện. Tuỳ theo cách nối các dây quấn kích thích, ta có:

Máy phát điện một chiều kích thích song song (hình 6-1b) có dây quấn kích thích nối vào hai đầu dây quấn phần ứng, song song với phụ tải.

Máy phát điện một chiều kích thích nối tiếp (hình 6-1c) có dây quấn kích thích mắc nối tiếp với dây quấn phần ứng.

Máy phát điện một chiều kích thích hỗn hợp (hình 6-1d) có hai dây quấn kích thích: nối tiếp và song song.

Trong mọi trường hợp, công suất kích thích chiếm  $0,3 \div 0,5\%$  công suất định mức của máy.

Từ hình vẽ 6-1 ta thấy rằng ở các máy kích thích song song và kích thích hỗn hợp  $I = I_r - I_t$ , còn ở máy phát kích thích nối tiếp  $I = I_r = I_t$ .

## 6-2. CÁC ĐẶC TÍNH CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN KÍCH THÍCH ĐỘC LẬP

Máy phát điện một chiều có bốn đại lượng đặc trưng là  $U$ ,  $I_r$ ,  $I_t$  và  $n$ . Trừ tốc độ quay được động cơ sơ cấp giữ không đổi, ba đại lượng còn lại  $U$ ,  $I_r$ ,  $I_t$  là những đại lượng biến thiên có liên hệ chặt chẽ với nhau. Với ba đại lượng đó có thể thành lập được các mối quan hệ (các đặc tính) của máy phát điện sau đây:

- 1) Đặc tính không tải  $U_0 = E = f(I_t)$  khi  $I = 0$ ,  $n = C^{tc}$ ;
- 1) Đặc tính ngắn mạch  $I_n = f(I_t)$  khi  $U = 0$ ,  $n = C^{tc}$ ;
- 3) Đặc tính ngoài  $U = f(I)$  khi  $I_t = C^{tc}$ ,  $n = C^{tc}$ ;
- 4) Đặc tính tải  $U = f(I_t)$  khi  $I_r = C^{tc}$ ,  $n = C^{tc}$ ;
- 5) Đặc tính điều chỉnh  $I_t = f(I_r)$  khi  $U = C^{tc}$ ,  $n = C^{tc}$ .

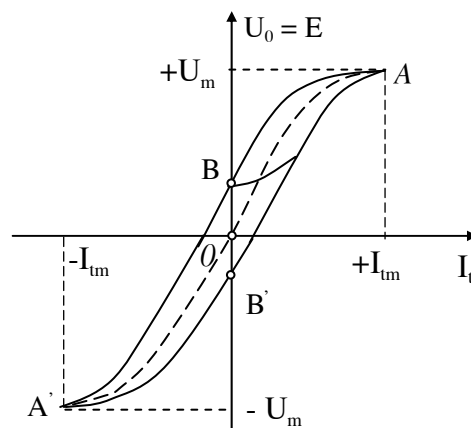
Trong các đặc tính trên, đặc tính không tải là trường hợp đặc biệt của đặc tính tải khi  $I = 0$  và đặc tính ngắn mạch là trường hợp đặc biệt của đặc tính điều chỉnh khi  $U = 0$ . Tất cả các đặc tính trên đều có thể thành lập được bằng thực nghiệm trực tiếp trên máy phát điện. Tuy nhiên trong một số trường hợp, để đơn giản chỉ cần làm hai thí nghiệm không tải và ngắn mạch, sau đó dựa vào tam giác đặc tính để suy ra ba đặc tính còn lại.

### 6.2.1. Đặc tính không tải $U_0 = E = f(I_t)$ khi $I = 0$ , $n = C^{tc}$

Khi làm thí nghiệm không tải, cầu dao để hở mạch không nối với tải bên ngoài ( $I = 0$ ), cho máy phát điện quay với tốc độ không đổi, đo các trị số  $I_t$  và  $U_0$  tương ứng ta sẽ có đặc tính không tải.

Cần chú ý rằng, đối với máy phát điện kích thích độc lập, do có thể đổi chiều dòng điện kích thích nên ta có thể vẽ được toàn bộ chu trình từ trễ đối xứng  $ABA'B'A$  giữa hai trị số giới hạn của dòng điện kích thích  $\pm I_{tm}$  ứng với điện áp  $U_m = \pm (1,15 \div 1,25)U_{đm}$  (hình 6-2).

Đoạn  $OB$  trên hình 6-2 là s.đ.đ. ứng với từ dư trong mạch từ của máy phát điện. S.đ.đ. này rất nhỏ, thường bằng khoảng  $2 \div 3\%U_{đm}$  nên có thể bỏ qua, vì vậy có thể coi đặc tính không tải của máy phát điện một chiều là



Hình 6-2. Đặc tính không tải của máy phát điện kích thích độc lập

đường trung bình AOA' đi qua gốc toạ độ. Đó cũng chính là đường cong từ hoá của máy phát điện suy ra được khi tính toán mạch từ của máy lúc không tải.

**6.2.2. Đặc tính ngắn mạch  $I = f(I_t)$  khi**

$U = 0, n = C^{te}$

Trước hết cần chú ý rằng, để có đặc tính ngắn mạch của tất cả các loại máy phát điện một chiều, chúng phải được kích thích độc lập.

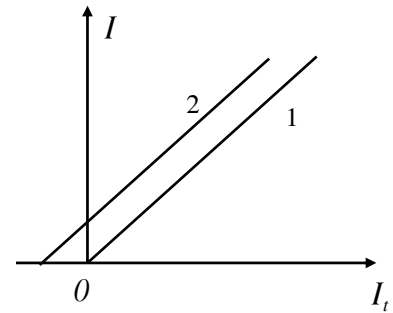
Nối ngắn mạch phản ứng qua một ampe mét, cho máy phát điện làm việc với tốc độ không đổi (bằng định mức) rồi đo các trị số  $I_t$  và  $I$  tương ứng ta sẽ được đặc tính ngắn mạch (hình 6-3).

Theo biểu thức (5-12), khi ngắn mạch  $U = 0$  nên  $E_r = R_r I_r$ . Do điện trở  $R_r$  của dây quấn phản ứng rất nhỏ, mặt khác phải giữ cho dòng điện  $I$  không vượt quá  $(1,25 \div 1,5)I_{dm}$  nên  $E_r$  rất nhỏ và dòng điện kích thích  $I_t$  tương ứng sẽ rất bé. Vì  $I_t$  nhỏ nên mạch từ của máy không bão hoà ( $\mu = C^{te}$ ), tức là  $E_r \equiv I_t$ , do đó  $I \equiv I_t$  và đặc tính ngắn mạch là một đường thẳng. Nếu máy đã được khử từ dư thì đường thẳng này đi qua gốc toạ độ (đường 1 trên hình 6-3). Nếu máy chưa được khử từ dư ta sẽ có đường đặc tính 2 và để có đường đặc tính ngắn mạch tiêu chuẩn ta chỉ việc vẽ đường thẳng song song với đường 2 qua gốc toạ độ.

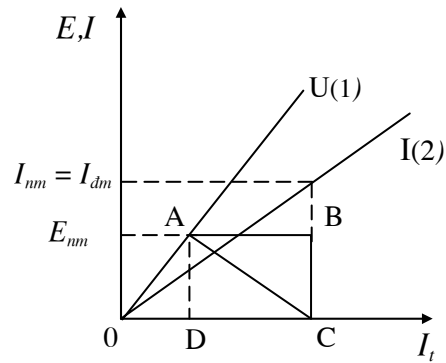
**Tam giác đặc tính**

Để thành lập tam giác đặc tính, trên hệ toạ độ chung có trục hoành  $I_t$  ta vẽ các đường đặc tính không tải (đường 1) và đặc tính ngắn mạch (đường 2) như trên hình 6-4. Giả thử rằng khi ngắn mạch trong phản ứng có dòng điện  $I_{dm}$  tương ứng với dòng điện kích thích  $I_t = OC$ . Dòng kích thích dành một phần  $OD$  để sinh ra s.đ.đ. khắc phục điện áp rơi trên điện trở phần ứng  $I_{dm}R_r = AD = BC$ ; phần còn lại  $DC = AB$

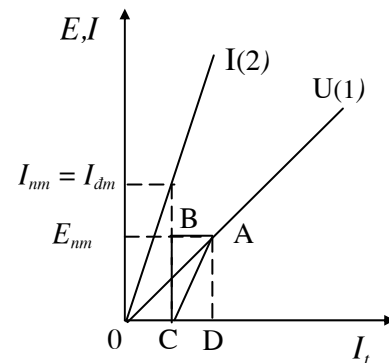
dùng để khắc phục phản ứng phần ứng dọc trục lúc ngắn mạch. Tam giác ABC gọi là tam giác đặc tính có cạnh BC tỉ lệ với dòng điện phần ứng  $I$ , cạnh AB trong điều kiện mạch từ không bão hoà tỉ lệ với phản ứng phần ứng, nghĩa là cũng tỉ lệ với dòng điện  $I$ .



Hình 6-3  
Đặc tính ngắn mạch của máy phát điện kích thích độc lập



Hình 6-4. Dựng tam giác đặc tính trong trường hợp phản ứng phần ứng khử từ



Hình 6-5. Dựng tam giác đặc tính trong trường hợp phản ứng phần ứng trợ từ

Độ lớn của cạnh AB phụ thuộc vào loại máy và lớn nhất ở máy điện một chiều không có dây quấn bù và cực từ phụ. Ở máy có dây quấn bù và cực từ phụ, phản ứng phân ứng hầu như bị triệt tiêu nên cạnh AB ≈ 0. Ở máy điện một chiều kích thích hỗn hợp, dây quấn nối tiếp có tác dụng trợ từ và nếu s.t.đ. của nó lớn hơn AB, nghĩa là ngoài phần s.t.đ. để triệt tiêu ảnh hưởng của phản ứng còn s.t.đ. để trợ từ, thì cạnh AB sẽ nằm về bên phải của BC (hình 6-5).

**6.2.3. Đặc tính ngoài U = f(I) khi I<sub>t</sub> = C<sup>tc</sup>; n = C<sup>tc</sup>**

Khi dòng điện I tăng, điện áp rơi trên dây quấn phân ứng tăng, mặt khác do phản ứng phân ứng cũng tăng theo I nên s.đ.đ. E giảm. Kết quả là điện áp U đầu cực máy phát giảm xuống. Dạng của đặc tính ngoài của máy phát điện kích thích độc lập có dạng như trên hình 6-6.

Hiệu số điện áp khi không tải (I = 0) và khi tải định mức (I = I<sub>dm</sub>) với điều kiện dòng điện kích từ bằng định mức (I<sub>t</sub> = I<sub>dm</sub>) được gọi là độ biến đổi điện áp định mức, được tính theo phần trăm so với điện áp định mức:

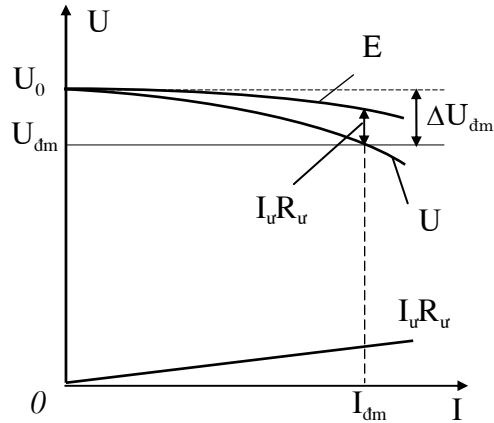
$$\Delta U_{dm} \% = \frac{U_0 - U_{dm}}{U_{dm}} 100.$$

Ở máy phát điện kích thích độc lập  $\Delta U_{dm} \% = 5 \div 15\%$ .

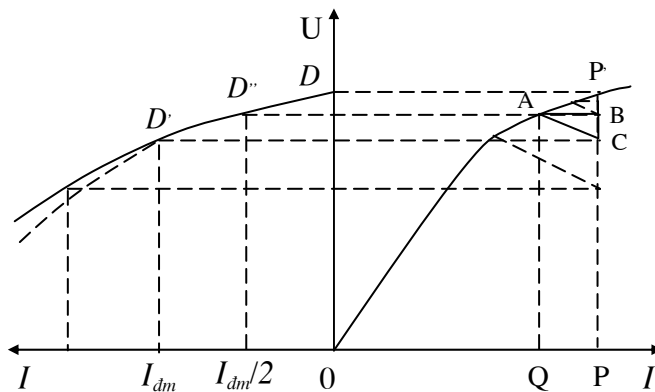
Đặc tính ngoài có thể có được bằng thí nghiệm trực tiếp hoặc bằng phương pháp gián tiếp dựa vào đặc tính không tải và tam giác đặc tính. Cách xây dựng đặc tính ngoài dựa vào đặc tính không tải và tam giác đặc tính được trình bày như trên hình 6-7.

Hãy cho đặc tính không tải của máy phát và đoạn OP = I<sub>t</sub> = C<sup>tc</sup>, đoạn PP' ứng với I<sub>t</sub> đã cho biểu thị điện áp U = E<sub>v</sub> lúc không tải (I = 0) và xác định điểm xuất phát D của đặc tính ngoài. Đặt tam giác ABC có các cạnh AB, BC theo tỉ lệ ứng với I = I<sub>dm</sub> sao cho đỉnh A nằm trên đặc tính không tải và cạnh BC trên đường thẳng PP' thì đoạn PC sẽ là điện áp khi I = I<sub>dm</sub>, tương ứng ta có điểm D' vẽ ở góc phần tư thứ hai.

Để chứng minh ta thấy rằng, nếu U = PC thì E<sub>v</sub> = U + I<sub>dm</sub>R<sub>v</sub> = PC + CB = BP = AQ. Lúc không tải để có E<sub>v</sub> = AQ cần có dòng điện kích từ I<sub>t(0)</sub> = OQ. Khi có tải định mức phải tăng dòng điện kích từ lên một lượng ΔI<sub>t</sub> = QP = AB để bù lại sự khử từ của phản



Hình 6-6  
Đặc tính ngoài của máy phát điện kích thích độc lập



Hình 6-7. Dựng đặc tính ngoài của máy phát điện kích thích độc lập từ đặc tính không tải và tam giác đặc tính

ứng phân ứng. Dòng điện kích thích toàn phần lúc ấy là  $I_t = I_{t(0)} + \Delta I_t = OQ + QP = OP$  như đã cho trước.

Nếu  $I = I_{dm}/2$  thì tam giác đặc tính có các cạnh bằng một nửa của tam giác ABC. Cũng làm như trên ta sẽ xác định được điểm D''. Tiếp tục làm với một số điểm ứng với các trị số khác nhau của dòng điện I theo trình tự như trên. Nối các điểm D, D', D'' ... lại với nhau ta được đặc tính ngoài  $U = f(I)$  khi  $I_t = C^{tc}$ ,  $n = C^{tc}$ .

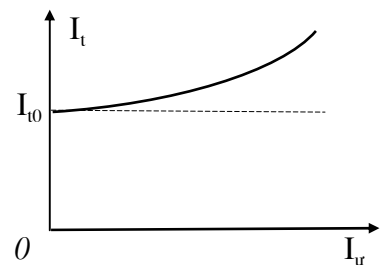
Trên thực tế do ảnh hưởng của bão hoà, khi I tăng và U giảm, cạnh AB của tam giác đặc tính không còn tỉ lệ với I nữa nên đường đặc tính ngoài thu được bằng thí nghiệm trực tiếp hơi lệch đi (đường nét đứt trên hình 6-7). Điểm ứng với  $U = 0$  của đặc tính ngoài cho ta trị số của dòng điện ngắn mạch khi kích thích hoàn toàn đầy đủ. Vì  $R_r$  rất bé nên dòng điện ngắn mạch  $I_n = (5 \div 15)I_{dm}$  và rất nguy hiểm, có thể gây ra vòng lửa trên vành góp và ứng lực điện động rất lớn, do đó phải trang bị máy cắt tự động cực nhanh tách máy phát điện ra khỏi lưới khi xảy ra ngắn mạch đột nhiên. Chú ý rằng biện pháp này không bảo vệ được ngắn mạch bên trong máy.

#### 6.2.4. Đặc tính điều chỉnh $I_t = f(I)$ khi $U = C^{tc}$ , $n = C^{tc}$

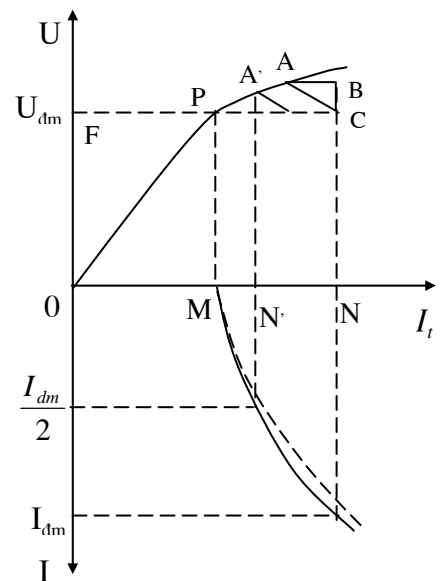
Đặc tính điều chỉnh cho ta biết cần điều chỉnh dòng kích thích thế nào để giữ cho điện áp đầu ra của máy phát không đổi khi tải thay đổi. Đặc tính điều chỉnh của máy phát điện một chiều kích thích độc lập được trình bày trên hình 6-8. Từ hình 6-8 ta thấy, khi tải tăng thì cần phải tăng  $I_t$  để bù được điện áp rơi trên  $R_r$  và ảnh hưởng của phản ứng phân ứng để giữ cho  $U = C^{tc}$ . Ngược lại, khi tải giảm cần phải giảm  $I_t$ .

Từ không tải ( $I = 0$ ) với  $U = U_{dm}$  tăng đến tải định mức ( $I = I_{dm}$ ) thường phải tăng dòng điện kích thích lên  $15 \div 25\%$ .

Phương pháp dựng đặc tính điều chỉnh bằng đặc tính không tải và tam giác đặc tính được trình bày trên hình 6-9. Với trị số xác định của  $U_0 = U_{dm} = MP$ , khi  $I = 0$  ta được điểm M ứng với dòng điện kích thích  $I_t = OM$ . Nếu đặt tam giác đặc tính ABC ứng với tải định mức  $I_{dm}$  sao cho đỉnh A nằm trên đặc tính không tải và đỉnh C nằm trên đường thẳng FC (ứng với  $U = U_{dm} = C^{tc}$ ) và hạ đường thẳng đứng BN thì đoạn ON cho ta dòng điện kích thích từ ở tải định mức. Việc chứng minh được tiến hành tương tự như ở trường hợp dựng đặc tính ngoài. Để tìm những điểm khác ta chỉ cần kẻ những đoạn A'C', A''C'', ... song song với cạnh huyền AC nằm giữa đặc tính không tải và đường thẳng CF, sau đó hạ những đường thẳng đứng cắt trục hoành tại những điểm N', N'', ... Các đoạn ON', ON'', ... sẽ biểu thị các dòng điện kích thích ứng với các trị số của dòng điện I xác định bằng tỉ



Hình 6-8  
Đặc tính điều chỉnh của máy phát điện kích thích độc lập



Hình 6-9. Dựng đặc tính điều chỉnh của máy phát điện kích thích độc lập từ đặc tính không tải và tam giác đặc tính

số giữa các đoạn  $A'C'$ ,  $A''C''$ , ... với cạnh huyền  $AC$ .

Do ảnh hưởng của bão hoà, đường đặc tính điều chỉnh thu được bằng thí nghiệm trực tiếp có dạng theo đường nét đứt trên hình 6-9.

**6.2.5. Đặc tính tải**  $U = f(I_t)$  khi  $I = C^{lc}$ ,  $n = C^{lc}$

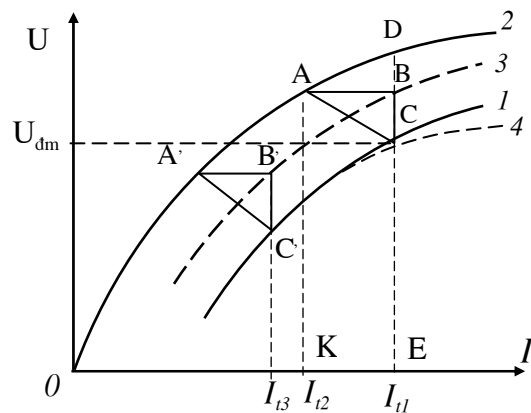
Khi có tải, điện áp trên cực của máy phát điện nhỏ hơn s.đ.đ. do có điện áp rơi trên dây quấn phần ứng  $I_t R_u$ . Vì vậy đường đặc tính tải (đường 1) biểu thị trên hình 6-10 nằm dưới đường đặc tính không tải (đường 2).

Đặc tính tải của máy phát điện một chiều kích thích độc lập có thể xây dựng bằng thí nghiệm trực tiếp, cũng có thể xây dựng được từ đặc tính không tải và tam giác đặc tính.

Cách xây dựng đặc tính tải dựa vào đặc tính không tải và tam giác đặc tính như sau: cho đặc tính không tải của máy phát, giả thiết mạch từ của máy chưa bão hoà, đặt tam giác đặc tính  $ABC$  (có các cạnh  $AB$ ,  $BC$  theo tỉ lệ ứng với dòng phụ tải đã cho) sao cho điểm  $A$  nằm trên đặc tính không tải, cạnh  $AB$  song song với trục hoành (trục  $I_t$ ). Dịch chuyển tam giác đặc tính song song với chính nó sao cho điểm  $A$  luôn nằm trên đặc tính không tải thì điểm  $C$  sẽ vẽ cho ta đường đặc tính phụ tải (đường 1 trên hình 6-10). Vì  $I = C^{lc}$  nên cạnh  $BC = \Delta U = I_t R_u = C^{lc}$  và không phụ thuộc vào dòng kích từ  $I_t$ , còn cạnh  $AB$  lại thay đổi tùy thuộc vào trạng thái bão hoà của mạch từ, nó chỉ không đổi khi mạch từ không chưa hoà. Khi mạch từ bão hoà ảnh hưởng của phản ứng phần ứng càng mạnh và độ dài cạnh  $AB$  càng tăng, do đó đường đặc tính càng thấp (đường 4 trên hình 6-10).

Theo hình 6-10 ta thấy, ứng với dòng điện kích thích  $I_{t1}$ , khi không tải điện áp là  $U_0 = DE$ , còn khi mang tải định mức thì điện áp giảm đến  $U_{dm} = CE$ . Như vậy đoạn thẳng  $CD$  biểu thị độ biến đổi điện áp định mức  $\Delta U_{dm}$ . Nguyên nhân của sự sụt áp là do điện áp rơi trong dây quấn phần ứng  $I_{dm} R_u$  và do ảnh hưởng của phản ứng phần ứng khử từ.

Trên đồ thị hình 6-10 đường 3 biểu thị đặc tính  $E = f(I_t)$  khi máy mang tải. S.đ.đ. này bé hơn điện áp  $U_0$  khi không tải là do ảnh hưởng của phản ứng phần ứng khử từ.



Hình 6-10  
Đặc tính tải của máy phát  
điện kích thích độc lập

**6-3. ĐẶC TÍNH CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN  
MỘT CHIỀU KÍCH THÍCH SONG SONG**

Máy phát điện một chiều kích thích song song (hình 6-1b) có dây quấn kích thích được nối song song với dây quấn phần ứng để có thể tự sinh ra dòng điện kích thích cần thiết mà không cần nguồn điện bên ngoài.

Sau đây ta hãy nghiên cứu điều kiện và quá trình tự kích của máy.

Như ta đã biết, khi máy ngừng hoạt động, trong lõi thép cực từ, gông từ còn lại từ dư. Nếu ta quay máy phát, do có từ thông dư trong dây quấn phần ứng sẽ cảm ứng được s.d.đ. gọi là điện áp dư  $E_{dur}$ . Ở tốc độ quay định mức thì  $E_{dur}$  vào khoảng  $2 \div 3\% U_{dm}$ .

Khi mạch kích thích kín mạch thì trong dây quấn kích thích sẽ có dòng điện  $I_t = \frac{U}{r_t}$

trong đó  $r_t$  là điện trở mạch kích thích, kết quả là sinh ra sức từ động  $I_t w_t$ . Nếu s.t.đ. này sinh ra từ thông cùng chiều với từ thông dư thì máy sẽ được tăng cường kích thích, điện áp đầu cực máy phát tăng và cứ tiếp tục như vậy cho đến khi điện áp đầu cực máy phát đạt giá trị xác định. Nếu từ thông sinh ra ngược chiều với từ thông dư thì máy sẽ bị khử từ, không thể tự kích thích và tạo ra điện áp được.

Để thấy rõ quá trình tạo ra điện áp của máy phát điện kích thích song song, ta hãy viết phương trình điện áp cho mạch vòng kín bao gồm dây quấn kích thích và dây quấn phần ứng. Bỏ qua phản ứng phần ứng rất nhỏ sinh ra bởi dòng điện  $i_t$  khi chạy qua dây quấn phần ứng và giả thiết rằng hệ số tự cảm của dây quấn kích thích  $L_t = C^{te}$ , hơn nữa có thể bỏ qua  $R_r$  vì nó rất nhỏ so với  $r_t$ , ta có:

$$r_t i_t + L_t \frac{di_t}{dt} = E \quad (6-1)$$

với điều kiện ban đầu  $t = 0, i_t = 0$ .

Trong biểu thức (6-1), s.d.đ. cảm ứng  $E$  sinh ra trong dây quấn phần ứng phụ thuộc vào dòng điện kích từ  $i_t$  và tốc độ quay  $n$  của máy. Để đơn giản cho việc nghiên cứu ta giả thiết rằng quá trình tự kích thích được tiến hành khi máy được quay với tốc độ  $n = n_{dm} = C^{te}$ , mặc dù trong thực tế quá trình đó tiến hành đồng thời với việc tăng tốc độ của máy phát từ  $n = 0$  đến  $n = n_{dm}$ . Với giả thiết  $n = C^{te}$ , ta có  $E = f(I_t)$  và đó chính là đặc tính không tải của máy phát điện (đường 1 trên hình 6-11).

Phương trình (6-1) có thể viết lại như sau:

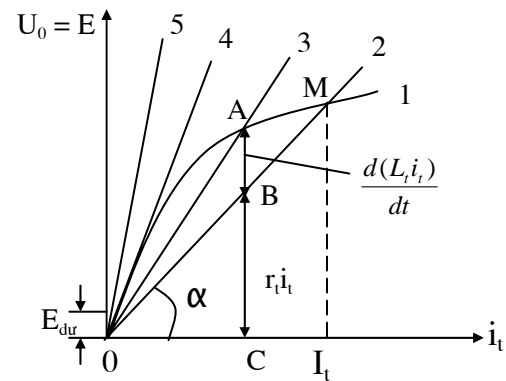
$$E - i_t r_t = L_t \frac{di_t}{dt} \quad (6-2)$$

Nếu coi  $r_t = C^{te}$  thì quan hệ  $r_t i_t$  là đường thẳng hợp với trục ngang một góc  $\alpha$  xác định bởi  $tg \alpha = \frac{r_t i_t}{i_t}$  (đường 2).

Hiệu số đường cong số 1 với đường thẳng số 2 chính là  $E - i_t r_t = L_t \frac{di_t}{dt}$ , nó đặc trưng cho quá trình tự kích thích của máy phát. Nếu đường cong số 1 cao hơn đường

thẳng số 2, tức  $L_t \frac{di_t}{dt} > 0$ , nghĩa là dòng  $i_t$  tăng và máy được tự kích thích. Điện áp của máy phát tăng lên cho đến khi  $i_t = I_t$  (điểm M - giao điểm của đường 1 và đường 2), quá trình tự kích thích kết thúc khi  $L_t \frac{di_t}{dt} = 0$  và điện áp ở đầu cực máy phát bằng:

$$r_t I_t = E = U_0$$



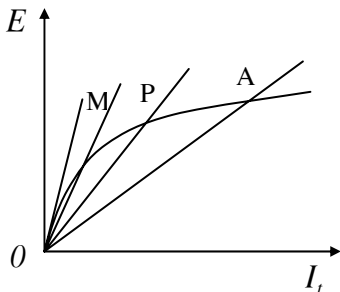
Hình 6-11. Điện áp xác lập của máy phát kích thích song song ứng với các trị số khác nhau của  $r_t$



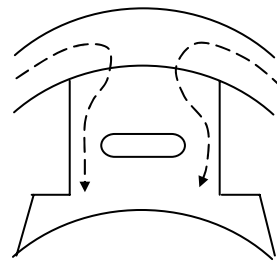
Ta cũng cần chú ý rằng nếu  $r_t$  tăng thì đường thẳng  $U = r_t i_t$  có độ dốc lớn hơn (đường 3), điện áp thành lập được sẽ nhỏ hơn. Trị số  $r_t$  ứng với đường thẳng 4 trùng với phần đoạn thẳng của đặc tính không tải gọi là điện trở tới hạn  $r_{t(th)}$ . Khi đó điện áp đầu cực máy phát sẽ không ổn định. Nếu  $r_t > r_{t(th)}$  ta có đường thẳng 5 và điện áp đầu cực máy phát bằng s.d.đ.  $E_{dur}$ , máy không thể tự kích được.

Từ những phân tích trên ta thấy rằng, điều kiện để máy tự kích thích và tạo ra được điện áp là:

- a) Máy phải có từ dư, vì nếu không thì phương trình (6-1) không có lời giải nào, nói khác đi là máy không thể tự kích được.
- b) Chiều quay của máy phát phải theo chiều nhất định để dòng điện  $i_t$  (do s.d.đ. E sinh ra) có chiều sao cho từ thông do nó sinh ra cùng chiều với từ thông dư, nếu ngược chiều sẽ khử mất từ dư và máy không thành lập được điện áp được.
- c) Điện trở mạch kích thích  $r_t$  phải không được quá lớn vì nếu  $r_t$  quá lớn, dòng điện  $i_t$  xác lập sẽ rất nhỏ, điện áp xác lập bằng điện áp dư của máy  $E_{dur}$ .



Hình 6-12. Uốn cong phần thẳng của đặc tính không tải của máy phát điện một chiều kích thích song song



Hình 6-13. Xẻ rãnh ở cực từ

Ta cũng thấy rằng, do tính chất bão hoà của mạch từ, bằng cách tăng  $r_t$  ta có thể điều chỉnh được điện áp xác lập của máy đến trị số nhỏ nhất  $U_{min} = (0,65 \div 0,75)U_{dm}$ . Trong trường hợp cần điều chỉnh trong phạm vi rộng ứng với  $U_{dm} : U_{min} = 5 : 1$  (hoặc  $10 : 1$ ) thì cần phải uốn cong đầu của đặc tính không tải (hình 6-12). Muốn vậy, phải làm cho mạch từ sớm bão hoà bằng cách xẻ rãnh cực từ như ở hình 6-13.

### 6.3.1. Đặc tính không tải $U_0 = E = f(I_t)$ khi $I = 0$ , $n = C^{te}$

Thí nghiệm để xây dựng đặc tính không tải của máy phát điện một chiều kích thích song song cũng tương tự như ở máy phát kích thích độc lập nhưng cần chú ý rằng, đối với máy phát kích thích độc lập ta có thể vẽ được toàn bộ chu trình từ trễ đối xứng ABA'B'A giữa hai trị số giới hạn của dòng điện kích thích  $\pm I_{tm}$  ứng với điện áp  $\pm (1,15 \div 1,25)U_{dm}$ .

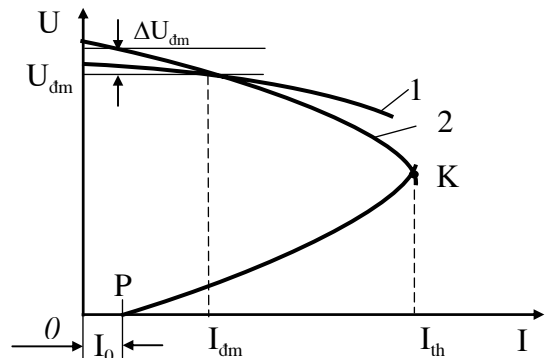
Đối với máy phát điện tự kích thích, do máy chỉ tự kích được theo một chiều nhất định (không thể đổi chiều dòng kích từ  $I_t$ ) nên ta chỉ có thể vẽ được chu trình phụ theo chiều dương từ 0 đến  $+ I_{tm}$  (chu trình BAB trên hình 6-2).

### 6.3.2. Đặc tính ngoài $U = f(I)$ khi $r_t = C^{te}$ , $n = C^{te}$

Đặc tính ngoài của máy phát điện một chiều kích thích song song được trình bày trên hình 6-14 (đường số 2). Để tiện so sánh, trên hình đó cũng vẽ đặc tính ngoài của máy phát điện kích thích độc lập (đường 1). Ta thấy khi tải tăng, điện áp của máy phát

kích thích song song giảm nhiều hơn so với điện áp của máy phát kích thích độc lập, vì ngoài ảnh hưởng của phản ứng phần ứng và điện áp rơi trên  $R_{pt}$ , trong máy phát kích thích song song s.d.đ.  $E$  còn giảm theo dòng điện kích từ  $I_t$ . Vì vậy độ thay đổi điện áp của máy phát kích thích song song lớn hơn độ thay đổi điện áp của máy phát kích thích độc lập. Ở máy phát kích thích song song, thường  $\Delta U_{dm} = 10 \div 12\% U_{dm}$ .

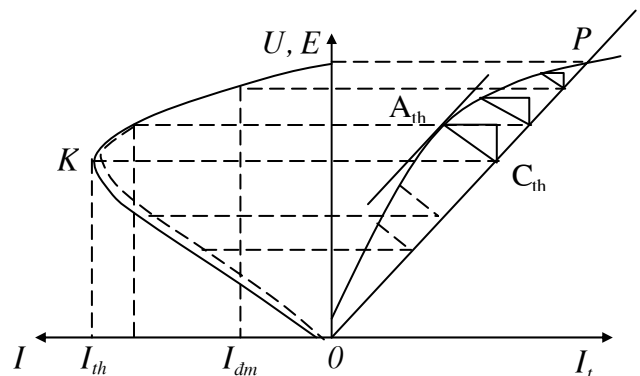
Điểm đặc biệt ở máy phát kích thích song song là dòng điện tải chỉ tăng đến một giá trị nhất định  $I = I_{th}$ , sau đó nếu tiếp tục giảm điện trở  $R_{pt}$  ở mạch ngoài thì dòng điện  $I$  không tăng mà giảm nhanh đến trị số  $I_0$  xác định bởi từ dư của máy (ứng với điểm P trên hình 6-14).



Hình 6-14. Đặc tính ngoài của máy MFD một chiều kích thích song song (2) và máy MFD một chiều kích thích độc lập (1)

Sở dĩ như vậy là do máy làm việc trong tình trạng không bão hoà ứng với đoạn thẳng của đường cong từ hoá, dòng điện  $I_t$  giảm làm cho  $E, U$  giảm rất nhanh. Điện áp  $U$  giảm nhanh hơn  $R_{pt}$  dẫn đến kết quả là dòng điện tải  $I$  giảm đến trị số  $I_0$  như đã nói ở trên. Như vậy ta thấy rằng sự cố ngắn mạch ở đầu cực máy phát kích thích song song không gây nguy hiểm như ở trường hợp máy phát kích thích độc lập.

Cách thành lập đặc tính ngoài từ đặc tính không tải và tam giác đặc tính tiến hành như ở trường hợp máy phát kích thích độc lập. Điều khác nhau cơ bản là ở máy phát kích thích độc lập  $I_t = C^{tc}$ , còn ở đây  $I_t$  phụ thuộc vào  $U$  và đường  $U = r_t I_t$  là đường thẳng OP qua gốc tọa độ (hình 6-15).



Hình 6-15. Dựng đặc tính ngoài của máy phát điện một chiều kích thích song song bằng đặc tính không tải và tam giác đặc tính

Tam giác đặc tính ABC ở đây sẽ tịnh tiến trong vùng giới hạn giữa đặc tính không tải và đường OP, trong khi ở máy phát kích thích độc lập, trong vùng giới hạn giữa đặc tính không tải và đường thẳng PP'.

### 6.3.3. Đặc tính điều chỉnh $I_t = f(I)$ khi $U = C^{tc}, n = C^{tc}$

Đặc tính điều chỉnh của máy phát điện một chiều kích thích song song giống như đặc tính điều chỉnh của phát điện một chiều kích thích độc lập, bởi vì đối với bản thân máy phát, việc điều chỉnh dòng kích từ để giữ điện áp không đổi khi tải thay đổi không phụ thuộc vào dòng điện đó lấy từ đâu. Điều cần chú ý là đối với máy điện kích thích song song, khi tải tăng điện áp bị sụt nhiều hơn nên mức độ tăng dòng điện kích thích phải nhiều hơn, do đó đặc tính điều chỉnh sẽ dốc hơn.

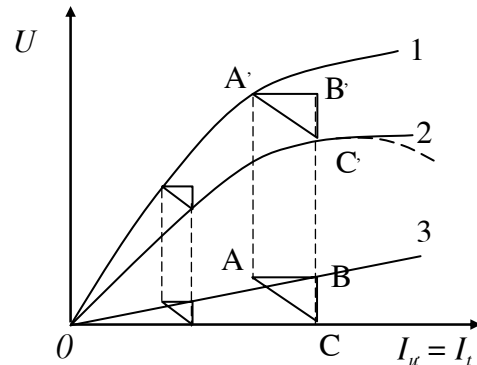
## 6-4. ĐẶC TÍNH CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN MỘT CHIỀU KÍCH THÍCH NỐI TIẾP

Trong máy phát điện một chiều kích thích nối tiếp (hình 6-1c), dây quấn kích thích được nối nối tiếp với dây quấn phần ứng. Vì vậy mà số vòng dây của dây quấn kích thích ít hơn nhiều so với số vòng dây của dây quấn kích thích của máy phát kích thích song song, nhưng ngược lại tiết diện dây lại lớn hơn một cách tương ứng.

Máy phát điện một chiều kích thích nối tiếp thuộc loại tự kích thích nên cần có từ dư và phải được quay theo chiều quy định để từ thông ban đầu cùng chiều với từ dư. Mặt khác máy chỉ được kích thích khi mạch ngoài khép kín qua một điện trở, nói khác đi là máy chỉ được kích thích khi có tải.

Vì  $I_l = I_r = I$  nên khi  $n = C^{te}$  chỉ còn hai đại lượng biến đổi là  $U$  và  $I$ , do đó máy phát điện này chỉ có một đặc tính ngoài  $U = f(I)$ , còn các đặc tính khác chỉ có thể xây dựng được theo sơ đồ kích thích độc lập.

Phương pháp suy ra đặc tính ngoài từ đặc tính không tải và tam giác đặc tính được trình bày trên hình 6-16. Trên hình 6-16, đường cong 1 là đặc tính không tải, đường 3 là đường biểu diễn quan hệ  $I.R_r = f(I)$ . Ta tịnh tiến tam giác đặc tính ABC ứng với  $I_{dm}$  đến vị trí A'B'C' sao cho A' nằm trên đặc tính không tải thì C' sẽ nằm trên đặc tính ngoài. Thay đổi các cạnh của tam giác đặc tính ứng với các trị số khác nhau của dòng điện  $I$  và tiến hành tương tự như trên ta sẽ được toàn bộ đặc tính ngoài.



Hình 6-16. Đặc tính ngoài của máy phát điện kích thích nối tiếp.

Ta thấy rằng, khi có tải, do  $I_l = I$  nên điện áp của máy phát điện tăng lên theo dòng điện tải. Tuy nhiên điện áp chỉ tăng đến một trị số tới hạn  $U_{th}$  xác định bởi sự bão hòa của mạch từ. Khi dòng điện tải lớn hơn giá trị tới hạn  $I_{th}$  thì điện áp của máy phát điện lại giảm (đường nét đứt trên hình 6-16). Sở dĩ như vậy là do mạch từ bão hòa, từ thông của máy phát không tăng nữa, trong khi đó phản ứng phần ứng và điện áp rơi trong mạch phần ứng vẫn tiếp tục tăng theo sự tăng của dòng điện.

Do điện áp phụ thuộc nhiều vào phụ tải nên trong thực tế máy phát điện một chiều kích thích nối tiếp ít được sử dụng.

## 6-5. MÁY PHÁT ĐIỆN MỘT CHIỀU KÍCH THÍCH HỖN HỢP

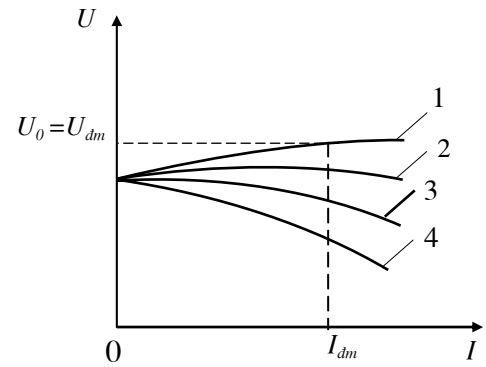
Máy phát điện một chiều kích thích hỗn hợp có đồng thời hai dây quấn kích thích song song và nối tiếp cho nên trong nó tập hợp các tính chất của cả hai loại máy này. Tùy theo cách nối, s.t.đ. của hai dây quấn kích thích có thể cùng chiều hoặc ngược chiều nhau.

Khi nối thuận ( $\Phi_{v//}$  cùng chiều với  $\Phi_{nt}$ ) thì dây quấn kích thích song song đóng vai trò chủ yếu, dây quấn kích thích nối tiếp chỉ làm nhiệm vụ bù lại tác dụng của phản ứng phần ứng và điện áp rơi trên điện trở  $R_r$ , nhờ đó máy có khả năng điều chỉnh tự

động điện áp trong một phạm vi tải nhất định. Trường hợp nối ngược ( $\Phi_{v//}$  ngược chiều với  $\Phi_{m\prime}$ ) rất ít gặp và chỉ áp dụng với những mục đích đặc biệt như máy phát điện hàn.

**6.5.1. Đặc tính ngoài  $U = f(I)$  khi  $n = C^{te}$**

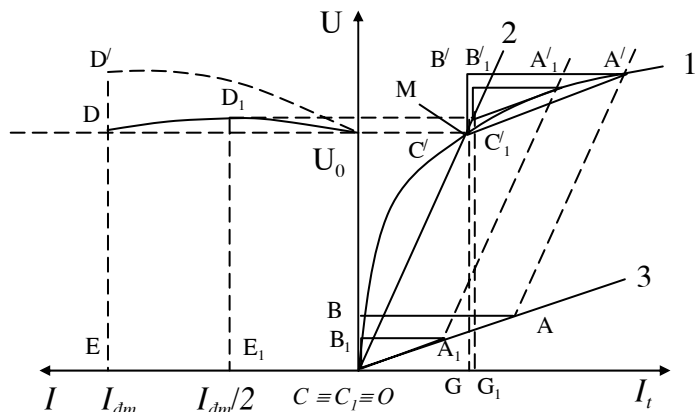
Khi nối thuận s.t.đ. của dây quấn kích thích nối tiếp cùng chiều với s.t.đ. của dây quấn kích thích song song, nó có tác dụng bù phản ứng phần ứng và điện áp rơi trên điện trở phần ứng, do đó điện áp ở đầu cực máy phát được giữ hầu như không đổi (đường 2 trên hình 6-17). Trường hợp bù thừa điện áp sẽ tăng khi tải tăng (đường 1). Điều này có ý nghĩa đặc biệt khi cần bù hao hụt điện áp trên đường dây tải điện để giữ cho điện áp ở hộ tiêu thụ điện không đổi.



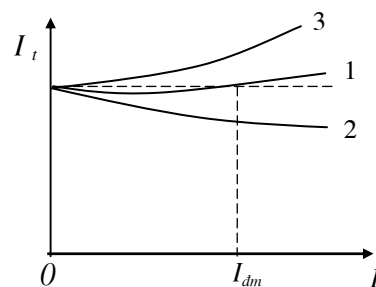
Hình 6 - 17  
Đặc tính ngoài của máy phát điện kích thích hỗn hợp

Nếu nối ngược hai dây quấn kích thích thì khi tải tăng, điện áp sẽ giảm nhanh hơn so với ở máy phát điện kích thích song song (đường 3 và 4) do tác dụng khử từ của dây quấn kích thích nối tiếp.

Phương pháp dựng đặc tính ngoài từ đặc tính không tải và tam giác đặc tính ở đây không có gì khác so với ở trường hợp máy phát kích thích song song. Trên hình 6-18, đường cong số 1 biểu thị đặc tính không tải, đường 2 biểu thị quan hệ  $U = I_t \cdot r_t$  và đường 3 - điện áp rơi trên điện trở phần ứng  $I_v R_v$ . Tam giác đặc tính trên hình ứng với trường hợp bù thừa. Cho  $A_1 B_1 C_1$  là tam giác đặc tính ứng với  $I = I_{dm}/2$ . Tịnh tiến  $A_1 B_1 C_1$  theo đường thẳng 2 sao cho đỉnh  $C_1$  chiếm vị trí  $C_1'$  trên đường thẳng 2 và đỉnh  $A_1$  chiếm vị trí  $A_1'$  trên đường cong 1 thì đoạn  $C_1' G_1 = D_1 E_1$  là điện áp ứng với dòng điện tải bằng  $I_{dm}/2$ . Nếu  $ABC$  là tam giác đặc tính ứng với  $I = I_{dm}$  thì cũng tương tự ta có  $C'G = DE$  là điện áp ứng với tải định mức. Nếu  $C'$  trùng với điểm  $M$  - giao điểm của đường cong 1 và đường thẳng 2 thì sẽ có trường hợp  $U_{dm} = U_0$ . Khi cần bù điện áp rơi trên đường dây tải điện để giữ cho hộ dùng điện nhận được điện áp định mức phải tăng cường dây



Hình 6-18. Dựng đặc tính ngoài của máy phát điện một chiều kích thích hỗn hợp bằng đặc tính không tải và tam giác đặc tính



Hình 6-19. Đặc tính điều chỉnh của máy phát điện một chiều kích thích hỗn hợp

quấn kích thích nối tiếp sao cho điện áp đầu cực máy phát điện bằng đoạn D'E ứng với đặc tính ngoài theo đường nét đứt.

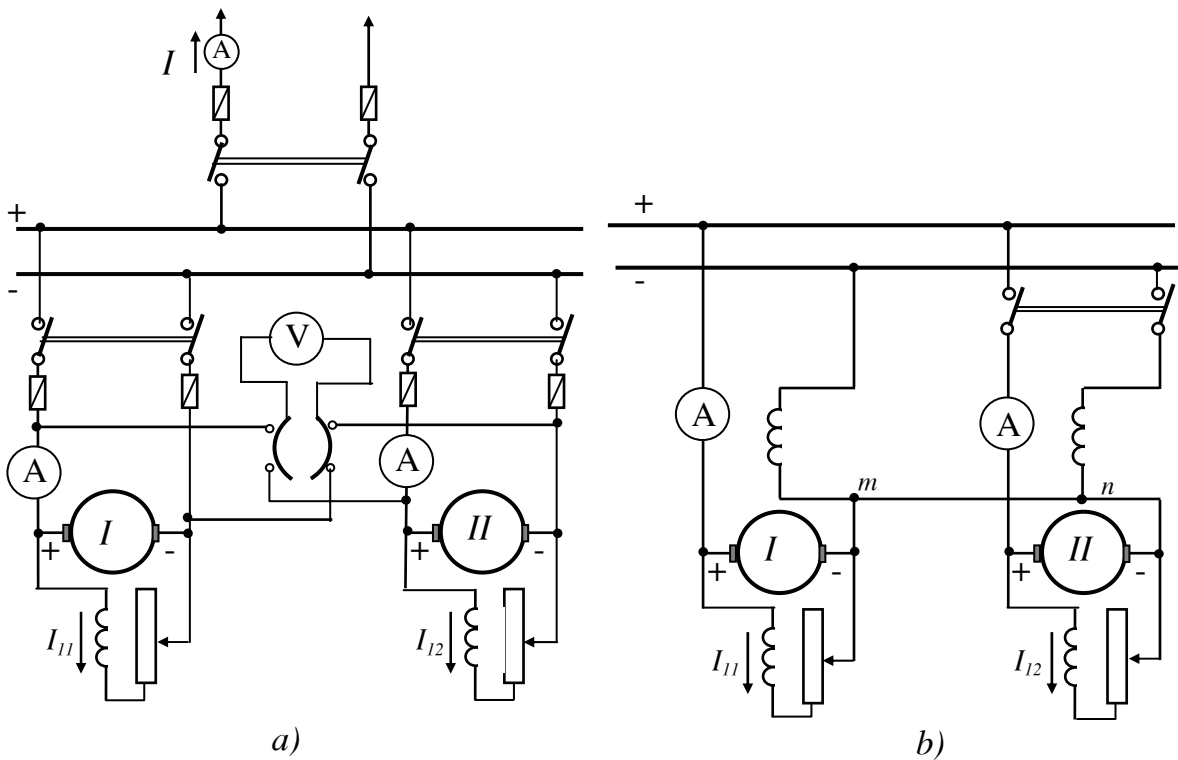
**6.5.2. Đặc tính điều chỉnh  $I_t = f(I)$  khi  $U = C^{tc}$ ,  $n = C^{tc}$**

Đặc tính điều chỉnh của máy phát kích thích hỗn hợp được trình bày trên hình 6-19, trong đó đường cong 1 là đặc tính điều chỉnh khi nối thuận hai dây quấn kích thích và bù bình thường, đường 2 - bù thừa và đường 3 - khi nối ngược.

**6-6. MÁY PHÁT ĐIỆN MỘT CHIỀU LÀM VIỆC SONG SONG**

Việc ghép những máy phát điện làm việc song song trong cùng một đường dây phân phối điện năng là một đòi hỏi thực tế nhằm đảm bảo an toàn cung cấp điện và sử dụng kinh tế nhất các máy phát điện. Với một hệ thống các máy phát như vậy, khi tải giảm, một hoặc một số máy sẽ ngừng hoạt động để cho các máy phát còn lại làm việc với công suất định mức, do đó hiệu suất sẽ cao.

Dưới đây ta sẽ xét các điều kiện cần thiết để ghép các máy phát làm việc song song và sự phân phối cũng như chuyển công suất giữa hai máy.



Hình 6 -20

Máy phát điện một chiều làm việc song song : a) máy phát kích thích song song; b) máy phát kích thích hỗn hợp.

**6.6.1. Điều kiện làm việc song song của máy phát điện một chiều**

Giả thử ta có hai máy phát điện một chiều I và II, trong đó máy phát điện I đang làm việc với một tải I nào đó (hình 6-20). Muốn ghép máy phát II vào làm việc song song với máy phát I cần phải tuân theo đúng những điều kiện sau:

1. Điều kiện cùng cực tính, nghĩa là các cực dương của máy II vào cực dương của thanh góp và âm vào cực âm của thanh góp.
2. S.đ.đ. của máy phát II phải bằng điện áp  $U$  của thanh góp.
3. Nếu những máy làm việc song song thuộc loại máy phát kích thích hỗn hợp thì phải nối dây cân bằng giữa các điểm  $m$  và  $n$  như ở hình 6-20b.

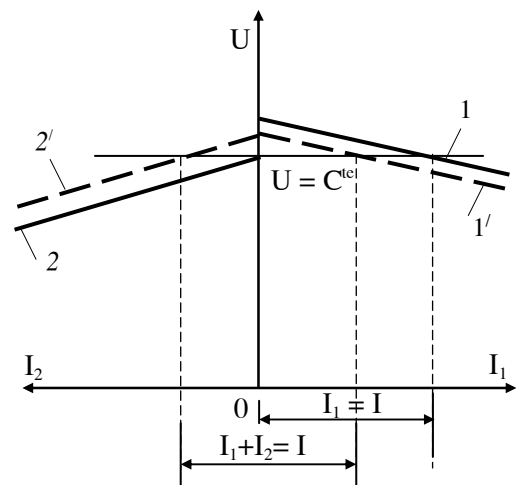
Điều kiện thứ nhất cần phải đảm bảo thật chặt chẽ vì nếu không sau khi đóng cầu dao ghép song song, hai máy phát I và II sẽ bị nối tiếp nhau tạo thành mạch kín không qua điện trở của tải gây nên tình trạng ngắn mạch của cả hai máy. Nếu điều kiện thứ hai không thoả mãn thì sau khi ghép vào, máy II hoặc nhận tải đột ngột (nếu  $E > U$ ) và làm cho điện áp của lưới điện thay đổi hoặc làm việc theo chế độ động cơ (nếu  $E < U$ ). Sự cần thiết của điều kiện thứ ba có thể giải thích như sau: nếu không có dây cân bằng thì sau khi ghép song song, nếu đột nhiên vì một lý do nào đó tốc độ của một trong hai máy, ví dụ máy II, tăng lên đột ngột thì s.đ.đ.  $E_2$  tăng làm cho dòng điện  $I_2$  tăng. Vì các dây quấn kích thích song song và nối tiếp của máy phát kích thích hỗn hợp thường được nối thuận nên khi  $I_2$  tăng thì  $E_2$  càng tăng và cứ tiếp tục như vậy khiến cho máy II sẽ giành hết tải và bị quá tải, đồng thời máy I giảm dần tải và chuyển từ chế độ máy phát sang chế độ động cơ. Nếu có dây cân bằng thì dòng điện phản ứng của máy II tăng sẽ được phân phối cho dây quấn kích thích nối tiếp của cả hai máy khiến cho s.đ.đ. của hai máy cùng tăng, do đó không xảy ra hiện tượng trên.

### 6.6.2. Phân phối và chuyển tải giữa các máy phát điện

Sau khi ghép máy phát II làm việc song song với máy phát I (trên sơ đồ hình 6-20), do  $E_2 = U$  nên máy phát II vẫn chưa mang tải ( $I_2 = 0$ ) và toàn bộ tải vẫn do máy I đảm nhận ( $I_1 = I$ ). Lúc đó, đặc tính ngoài của hai máy được biểu thị bằng đường 1 và 2 trên hình 6-21. Muốn cho máy II mang tải ta tăng  $E_2$  lớn hơn  $U$  và như vậy đặc tính ngoài của máy II sẽ tịnh tiến lên phía trên (đường nét đứt 2'). Vì dòng điện tải tổng  $I$  không đổi nên muốn giữ cho điện áp  $U$  của mạng không đổi thì cùng với việc tăng  $E_2$  phải đồng thời giảm thích đáng  $E_1$  sao cho đặc tính của máy I tịnh tiến xuống phía dưới đến vị trí thích đáng (đường nét đứt 1') để cho ở điện áp  $U = C^{te}$  ta có  $I_1 + I_2 = I$ .

Việc thay đổi  $E_1$  và  $E_2$  có thể thực hiện bằng cách thay đổi các dòng điện kích thích  $I_{11}$  và  $I_{12}$  của mỗi máy hoặc bằng cách thay đổi tốc độ của các động cơ sơ cấp kéo các máy phát điện. Trong thực tế vận hành thường dùng phương pháp thay đổi dòng điện kích thích để phân phối lại tải giữa các máy phát, tuy nhiên phải nói rằng cả hai phương pháp trên đều khiến cho công suất của động cơ sơ cấp thay đổi, vì lúc đó bộ điều chỉnh của chúng sẽ tác động làm thay đổi lượng nhiên liệu đưa vào các động cơ sơ cấp.

Như vậy nếu muốn chuyển tải hoàn toàn từ máy phát I cho máy phát II chỉ việc tiếp tục tăng  $E_2$  và giảm  $E_1$  đồng thời cho đến khi  $E_1 = U$ . Lúc đó máy II hoàn toàn đảm nhiệm tải ( $I_2 = I$ ) và có



Hình 6-21. Phân phối lại tải giữa các máy phát điện

thể tách máy I ra khỏi lưới điện. Chú ý rằng nếu giảm  $I_{11}$  quá nhiều thì  $E_1 < U$  và máy I sẽ làm việc ở chế độ động cơ điện tiêu thụ công suất điện lấy từ máy phát II. Nếu động cơ sơ cấp là động cơ nhiệt hoặc động cơ thủy lực thì không cho phép làm việc ở chế độ đó vì sẽ gây ra hư hỏng động cơ sơ cấp. Cũng cần chú ý thêm rằng việc điều chỉnh các dòng điện kích thích  $I_{11}$  và  $I_{12}$  phải tiến hành rất chậm và liên tục vì một thay đổi nhỏ của các dòng điện đó sẽ làm cho các dòng điện  $I_1$  và  $I_2$  thay đổi rất nhiều.

Từ hình vẽ 6-21 ta thấy rằng khi làm việc song song trong điều kiện lúc không tải s.đ.đ. E bằng nhau và kích thích không đổi thì lúc có tải, máy phát nào có đặc tính ngoài cứng hơn (độ dốc nhỏ) sẽ nhận tải nhiều hơn. Ngược lại, máy phát điện nào có đặc tính ngoài mềm sẽ nhận tải ít (trường hợp máy II trên hình vẽ). Tình trạng làm việc như vậy sẽ không có lợi, vì vậy để lợi dụng tốt công suất của máy cần phải đảm bảo đặc tính ngoài của các máy phát điện một chiều làm việc song song biểu thị trong hệ đơn vị tương đối hoàn toàn trùng nhau. Trong trường hợp đó tải sẽ tự động phân phối theo tỷ lệ công suất giữa các máy.

## THÍ DỤ

### Thí dụ 1.

Cho một máy phát điện kích thích song song có  $P_{dm} = 25 \text{ kW}$ ,  $U_{dm} = 230 \text{ V}$ ,  $n_{dm} = 1800 \text{ vg/ph}$ ,  $R_r = 0,09 \Omega$ , điện áp giáng trên các chổi than  $2\Delta U_{tx} = 2 \text{ V}$ , phản ứng phân ứng lúc tải đầy ( $I_r = I_{dm}$ , bỏ qua  $I_l$ ) tương đương với dòng điện  $I_l = 0,05 \text{ A}$ . Đường cong từ hoá ứng với tốc độ định mức như sau:

$I_t, \text{ A}$	1	1,5	2	3	4	5	6
$U_0, \text{ V}$	134	180	209	237	256	268	279

Tính: a) Điện trở mạch kích từ  $R_i$ ;

b) Điện áp không tải (điện trở mạch kích từ giữ không đổi).

### Giải

a) Khi tải đầy, ta có:

$$I_{dm} \approx I_u = \frac{P_{dm}}{U_{dm}} = \frac{25000}{230} = 108,7 \text{ A}$$

$$E_r = U + I_r R_r + 2\Delta U_{tx} = 230 + 108,7 \times 0,09 + 2 = 241,8 \text{ V}$$

Từ đường cong từ hoá tìm được  $I_t = 3,25 \text{ A}$ . Tuy nhiên để khắc phục phản ứng phân ứng, trên thực tế phải có:

$$I_t = 3,25 + 0,05 = 3,3 \text{ A}$$

Vậy: 
$$R_i = \frac{U}{I_t} = \frac{230}{3,3} = 69,6 \Omega$$

b) Điện áp lúc không tải  $U_0$  là giao điểm của đường thẳng  $U_0 = R_i I_t = 69,6 I_t$  với đặc tính không tải. Bằng phương pháp vẽ ta suy ra giao điểm đó ứng với  $I_t = 3,56 \text{ A}$  và  $U_0 = 247,6 \text{ V}$

### Thí dụ 2

Cho một máy phát điện kích thích độc lập có các số liệu lúc tải đầy như sau:

$U = 220 \text{ V}$ ,  $I_t = 2,5 \text{ A} = C^c$ ,  $I_r = 10 \text{ A}$ ,  $n = 1000 \text{ vg/ph}$ ,  $R_r = 0,4 \Omega$ . Số vòng dây của dây quấn kích thích  $w_t = 850 \text{ vg}$ . Đường cong từ hoá ở  $750 \text{ vg/ph}$  như sau:

$I_t, \text{ A}$	1,0	1,6	2	2,5	2,6	3	3,6	4,4
$U_0, \text{ V}$	78	120	150	176	180	193,5	206	225

Tính: a) Điện áp không tải ở tốc độ  $n = 1000 \text{ vg/ph}$

b) Số ampe - vòng khử từ của phản ứng phần ứng khi tải đầy

c) Điện áp đầu cực khi quá tải 25%

### Giải

a) Vì s.d.d. tỉ lệ với tốc độ nên:

$$\frac{E_{(1000)}}{E_{(750)}} = \frac{1000}{750} \Rightarrow E_{(1000)} = E_{(750)} \cdot \frac{1000}{750} = 176 \cdot \frac{1000}{750} = 235 \text{ V}$$

(Theo đường đặc tính từ hoá đã cho ta tìm được  $E_{(750)} = 176 \text{ V}$ )

b) S.d.d. của máy phát khi tải đầy ở tốc độ  $1000 \text{ vg/ph}$  là:

$$E_r = U + I_r R_r = 220 + 10 \times 0,4 = 224 \text{ V}$$

và s.d.d. ở tốc độ  $750 \text{ vg/ph}$  là:

$$E_{(750)} = \frac{E_{(1000)} \cdot 750}{1000} = \frac{224 \times 750}{1000} = 168 \text{ V}$$

Từ đường cong từ hoá ta tìm được dòng điện kích từ tương ứng với  $168 \text{ V}$  là  $I_t = 2,35 \text{ A}$ . Vậy dòng điện kích từ tương đương với khử từ là:

$$I_t = 2,5 - 2,35 = 0,15 \text{ A}$$

và số ampe vòng khử từ bằng:

$$w_t \cdot (I_{t(1000)} - I_{t(750)}) = 850 \times (2,5 - 2,35) = 127,5 \text{ A.vg.}$$

c) Khi quá tải 25%, phản ứng phần ứng sẽ tăng 25% tương ứng, nghĩa là:

$$I_t = (2,5 - 2,35) \times 1,25 = 0,1875 \text{ A}$$

và dòng kích thích có hiệu quả bằng:

$$I_t = 2,5 - 0,1875 = 2,315 \text{ A}$$

Từ đường cong từ hoá suy ra  $E_{(750)} = 165 \text{ V}$ , do đó:

$$E_{(1000)} = \frac{165 \times 1000}{750} = 220 \text{ V}$$

Điện áp đầu cực máy phát bằng:

$$U = E - I_r R_r = 220 - (10 \times 1,25) \cdot 0,4 = 215 \text{ V}$$

### Câu hỏi

1. Các đặc tính của máy phát điện một chiều kích thích độc lập? Tam giác đặc tính? Cách xây dựng đặc tính ngoài, đặc tính điều chỉnh bằng đặc tính không tải và tam giác đặc tính?



2. Tìm các nguyên nhân khiến cho máy phát điện một chiều kích thích song song không thể tự kích thích và tạo ra được điện áp?
3. Nếu máy phát điện kích thích song không tự kích thích do mất từ dư thì làm thế nào để tạo ra được điện áp?
4. Sự khác nhau giữa đặc tính ngoài của các máy phát điện kích thích độc lập và kích thích song song. Tại sao máy phát điện một chiều kích thích song song không lấy được đặc tính ngắn mạch?
5. Tại sao máy phát điện một chiều kích thích nối tiếp ít được sử dụng?
6. Tác dụng của dây quấn kích thích nối thuận và nối ngược trong máy phát điện một chiều kích thích hỗn hợp?
7. Điều kiện làm việc song song của các máy phát điện một chiều? Cách phân phối tải lại giữa các máy đó?
8. Có hai máy phát vận hành song song, khi tải chung của hai máy không đổi, nếu tăng kích thích của máy phát điện I mà không giảm kích thích của máy phát điện II thì tải sẽ phân phối lại giữa hai máy như thế nào? Điện áp của lưới lúc đó ra sao?
9. Hai máy phát điện làm việc song song với  $U = 220V$ ,  $\Delta U_1 = 4,8\%$ ,  $\Delta U_2 = 5,5\%$ . Hỏi máy phát nào chong đầy tải, lúc đó tải của máy kia bằng bao nhiêu?

### Bài tập

1. Cho một máy phát điện một chiều có  $P_{dm} = 215 \text{ kW}$ ,  $U_{dm} = 115 \text{ V}$  và  $n_{dm} = 450 \text{ vg/ph}$ . Điện trở của dây quấn phần ứng và cực từ phụ bằng  $0,002 \Omega$ ,  $2\Delta U_{tx} = 2 \text{ V}$ .

2. Các số liệu của đường đặc tính không tải và đặc tính ngắn mạch như sau:

$I_t, \text{ A}$	5,0	1,0	15	20	25	30	3,5
$U_0, \text{ V}$	49	87	108	119,3	125,2	129,5	135
$I_t, \text{ A}$	0	6,0					
$I_{nm}, \text{ A}$	0	$I_{dm}$					

a) Vẽ tam giác đặc tính.

b) Dùng kích thích ngoài sao cho máy đầy tải  $U = U_{dm}$ ,  $I = I_{dm}$ ,  $n = n_{dm}$ . Nếu bỏ tải đi, tính  $\Delta U\%$ .

c) Dùng kích thích ngoài khiến cho khi không tải  $U = U_{dm}$  và giữ  $I_t = C^{tc}$  thì khi dòng điện  $I = I_{dm}$ ,  $\Delta U\%$  bằng bao nhiêu?

Đáp số: b) 20%; c) 5%

## CHƯƠNG 7

### ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU

#### 7-1. ĐẠI CƯƠNG

Như đã biết ở chương 5, máy điện một chiều có thể làm việc ở chế độ máy phát khi  $E > U$  và ở chế độ động cơ khi  $E < U$ . Khi làm việc ở chế độ máy phát chiều của mômen điện từ và chiều của tốc độ quay ngược nhau, còn dòng điện và s.đ.đ. cùng chiều. Trong chế độ động cơ điện thì mômen và tốc độ cùng chiều, còn dòng điện và s.đ.đ. ngược chiều nhau. Việc chuyển từ chế độ máy phát sang chế độ động cơ xảy ra hoàn toàn tự động không cần thay đổi gì ở mạch nối, cụ thể là khi giảm dòng kích thích khiến cho s.đ.đ. của máy phát  $E$  hạ đến mức  $E < U$ , dòng trong phần ứng sẽ tự động đổi chiều, năng lượng sẽ chuyển theo chiều ngược lại và máy phát nghiêm nhiên trở thành động cơ.

Động cơ điện một chiều được dùng phổ biến trong công nghiệp, giao thông vận tải và nói chung trong những thiết bị cần điều chỉnh tốc độ quay liên tục trong một phạm vi rộng (máy cán thép, máy công cụ, ...)

Cũng như máy phát, theo cách kích thích từ, động cơ điện một chiều được phân thành các loại như sau: động cơ điện một chiều kích thích độc lập, kích thích song song, kích thích nối tiếp và kích thích hỗn hợp. Sơ đồ nối dây của các loại động cơ này tương tự như ở trường hợp máy phát. Ở động cơ kích thích độc lập  $I_r = I$ ; ở động cơ kích thích song song và hỗn hợp  $I = I_r + I_f$ ; ở động cơ kích thích nối tiếp  $I = I_r = I_f$ .

Trên thực tế, đặc tính của động cơ điện kích thích độc lập và kích thích song song hầu như giống nhau nhưng khi cần công suất lớn người ta thường dùng động cơ điện kích thích độc lập để điều chỉnh dòng kích thích thuận lợi và kinh tế hơn mặc dù loại động cơ này đòi hỏi phải có thêm nguồn điện phụ bên ngoài. Ngoài ra, khác với máy phát điện một chiều kích thích nối tiếp, động cơ điện một chiều kích thích nối tiếp được dùng rất nhiều, chủ yếu trong ngành kéo tải bằng điện.

Trong chương này chúng ta sẽ nghiên cứu các vấn đề chính của các loại động cơ điện một chiều bao gồm vấn đề mở máy, đặc tính cơ và điều chỉnh tốc độ.

#### 7-2. MỞ MÁY ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU

Để mở máy động cơ điện một chiều được tốt cần phải thực hiện được những yêu cầu sau đây:

- 1) Mômen mở máy  $M_{mm}$  phải có trị số cao nhất có thể có để hoàn thành quá trình mở máy trong thời gian ngắn nhất.
- 2) Dòng điện mở máy  $I_{mm}$  được hạn chế đến mức thấp nhất để dây quấn khỏi bị cháy hoặc ảnh hưởng xấu đến đổi chiều.

Trong tất cả mọi trường hợp, khi mở máy bao giờ cũng phải đảm bảo có  $\Phi_{max}$ , nghĩa là trước khi đóng động cơ vào nguồn điện, biến trở điều chỉnh dòng kích thích

phải ở vị trí ứng với trị số nhỏ nhất để sau khi đóng động cơ vào nguồn động cơ được kích thích đến mức tối đa và như vậy mômen ứng với mỗi trị số của dòng điện  $I_r$  luôn luôn lớn nhất. Ngoài ra phải đảm bảo không xảy ra đứt mạch kích thích vì nếu mạch kích thích bị đứt thì  $\Phi = 0, M = 0$ , động cơ không quay được do đó  $E_u = 0$  và  $I_u = \frac{U}{R_u}$

sẽ có trị số rất lớn làm cháy vành góp và dây quấn.

Khi mở máy, chiều quay của động cơ điện một chiều phụ thuộc vào chiều của mômen. Để đổi chiều quay của động cơ (tức đổi chiều mômen) có thể dùng hai phương pháp: hoặc đổi chiều từ thông (đổi chiều dòng kích thích) hoặc đổi chiều dòng điện trong phần ứng. Điều đó có thể thực hiện được bằng cách trao đổi cách nối đầu dây quấn phần ứng hoặc các đầu dây quấn kích thích trước lúc mở máy. Vấn đề đổi chiều quay của động cơ điện lúc đang quay về nguyên tắc cũng có thể thực hiện được bằng cả hai phương pháp trên, tuy nhiên trên thực tế chỉ dùng phương pháp đổi chiều dòng phần ứng  $I_r$  vì như đã biết dây quấn kích thích có nhiều vòng dây do đó hệ số tự cảm  $L$  rất lớn và việc thay đổi chiều dòng điện kích thích dẫn đến sự xuất hiện s.d.đ. tự cảm rất lớn gây ra quá điện áp đánh thủng cách điện của dây quấn kích thích.

Sau đây ta xét các phương pháp mở máy động cơ điện một chiều.

### 7.2.1. Mở máy trực tiếp

Phương pháp này được thực hiện bằng cách đóng thẳng động cơ điện vào nguồn với  $U_{mm} = U_{dm}$ . Như vậy ngay lúc đầu mở máy rôto chưa quay, s.d.đ.  $E_u = 0$  và dòng điện phần ứng bằng  $I_u = \frac{U - E_u}{R_u} = \frac{U}{R_u}$ . Vì trong thực tế  $R_{u*} = 0,02 \div 0,1$ , nên với điện

áp định mức  $U_* = 1$  dòng điện  $I_r$  sẽ có trị số rất lớn và bằng  $(5 \div 10)I_{dm}$ . Với dòng điện lớn như vậy có thể gây nguy hiểm cho động cơ, vì vậy phương pháp mở máy trực tiếp chỉ được áp dụng cho những động cơ điện có công suất vài trăm oát. Ở cỡ động cơ này  $R_r$  tương đối lớn, do đó khi mở máy  $I_r \leq (4 \div 6)I_{dm}$ . Trong những trường hợp đặc biệt có thể cho phép mở máy trực tiếp những động cơ có công suất vài kilôoat.

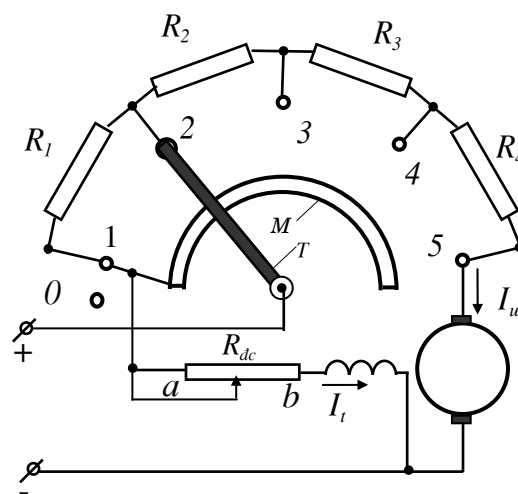
### 7.2.2. Mở máy bằng biến trở

Để hạn chế dòng điện mở máy, tránh gây nguy hiểm cho động cơ người ta dùng biến trở mở máy. Biến trở mở máy gồm một số điện trở nối tiếp nhau và mắc nối tiếp với mạch phần ứng (hình 7-1). Như vậy trong quá trình mở máy ta có:

$$I_u = \frac{U - E_i}{R_u + R_{mi}}$$

trong đó "i" là chỉ số ứng với thứ tự các bậc điện trở.

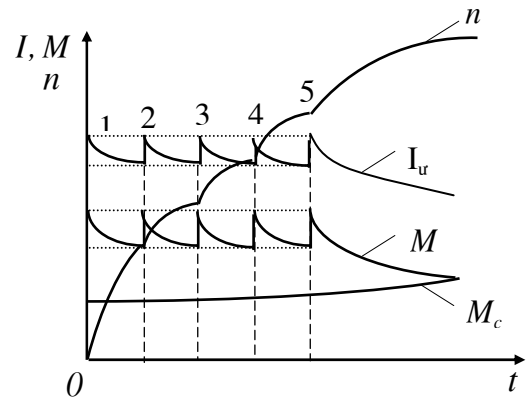
Biến trở mở máy được tính sao cho  $I_{mm} = (1,4 \div 1,7)I_{dm}$  đối với các động cơ công suất lớn và  $I_{mm} = (2,0 \div 2,5)I_{dm}$  đối với các động cơ công suất nhỏ.



Hình 7-1  
Sơ đồ mở máy động cơ điện một chiều kích thích song song bằng biến trở

Trước khi mở máy tay gạt T đặt ở vị trí 0, con trượt của biến trở điều chỉnh ở mạch kích thích đặt ở vị trí b ( $R_{dc} = 0$ ), động cơ hở mạch. Khi bắt đầu mở máy, đưa tay gạt T về vị trí 1, mạch phản ứng bắt đầu xuất hiện dòng điện, cuộn kích thích nhờ cung đồng M nên được đặt vào toàn bộ điện áp định mức, do đó  $\Phi$  đạt giá trị cực đại và không đổi trong suốt quá trình mở máy. Nếu mômen do động cơ sinh ra lớn hơn mômen cản ( $M > M_c$ ) thì rôto động cơ bắt đầu quay, s.d.d. E sẽ tăng tỉ lệ với tốc độ quay n. Do sự xuất hiện và tăng lên của E làm cho dòng điện  $I_r$  và mômen M giảm theo khiến cho tốc độ quay n của động cơ tăng chậm hơn (hình 7-2). Khi  $I_r$  giảm đến trị số  $(1,1 \div 1,3)I_{dm}$  ta đưa tay gạt T sang vị trí 2, vì một bậc điện trở bị loại trừ nên  $I_r$  lập tức tăng đến giới hạn trên của nó, kéo theo M, n và E tăng. Sau đó  $I_r$  và M lại giảm theo quy luật trên.

Lần lượt chuyển tay gạt T đến các vị trí 3, 4, 5. Quá trình trên cứ lặp lại cho đến khi  $n \approx n_{dm}$  thì  $R_{mm}$  cũng được loại trừ hoàn toàn và động cơ làm việc với toàn bộ điện áp. Sự biến thiên của I, M và n trong quá trình mở máy được trình bày trên hình 7-2. Từ hình vẽ 7-2 ta thấy mỗi khi một bậc điện trở bị loại trừ, I và M tăng với hằng số thời gian  $T_r \approx 0$ , đó là do hệ số tự cảm của phân ứng rất bé. Trái lại sự giảm của I và M xảy ra chậm hơn vì phụ thuộc vào sự tăng của E hay tốc độ n, nghĩa là phụ thuộc vào hằng số thời gian  $T_{co}$  rất lớn của cả khối quay.



Hình 7-2

Quan hệ I, M và n đối với thời gian t khi mở máy động cơ

Số bậc điện trở mở máy và trị số của mỗi bậc được thiết kế sao cho dòng điện mở máy cực đại và cực tiểu ở mỗi bậc đều như nhau để đảm bảo quá trình mở máy được tốt nhất.

### 7.2.3. Mở máy bằng điện áp thấp ( $U_{mm} < U_{dm}$ )

Phương pháp này đòi hỏi phải dùng một nguồn điện độc lập có thể điều chỉnh được điện áp để cung cấp cho phân ứng của động cơ, trong khi đó mạch kích thích phải được đặt dưới điện áp  $U = U_{dm}$  của một nguồn khác.

Đây là phương pháp thường dùng hơn cả để mở máy động cơ điện một chiều công suất lớn. Ngoài việc mở máy ra nó còn kết hợp để điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện áp.

## 7-3. ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU

### 7.3.1. Đặc tính cơ và điều chỉnh tốc độ động cơ điện một chiều

Từ các biểu thức (2-19) và (5-19) có thể suy ra đặc tính cơ  $n = f(M)$  của động cơ điện một chiều:

$$n = \frac{E}{C_e \Phi} = \frac{U - I_r R_u}{C_e \Phi} \quad (7-1)$$

Vì  $M = C_M \Phi I_r$  nên biểu thức (7-1) có thể viết dưới dạng:

$$n = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{R_w M}{C_M C_e \Phi^2} \quad (7-2)$$

Biểu thức (7-2) được gọi là phương trình đặc tính cơ của động cơ điện một chiều.

Trong truyền động điện lực một vấn đề quan trọng được đặt ra là phải phối hợp tốt đặc tính cơ của động cơ điện và đặc tính cơ của tải hoặc của máy công tác. Tùy theo tính chất của truyền động điện mà có thể có những yêu cầu khác nhau đối với động cơ điện, thí dụ tốc độ không đổi hoặc thay đổi nhiều khi mômen cần thay đổi. Để thỏa mãn những yêu cầu đó cần phải dùng những loại động cơ khác nhau có đặc tính cơ thích hợp.

Từ biểu thức (7-2) ta thấy rằng việc điều chỉnh tốc độ động cơ điện một chiều có thể thực hiện được bằng cách thay đổi các đại lượng  $\Phi$ ,  $R_w$  và  $U$ .

Phương pháp điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi từ thông  $\Phi$  được áp dụng tương đối phổ biến, có thể thay đổi tốc độ được liên tục và kinh tế. Trong quá trình điều chỉnh hiệu suất  $\eta \approx C^{\text{te}}$  vì sự điều chỉnh dựa trên sự tác dụng lên mạch kích thích có công suất rất nhỏ so với công suất của động cơ. Cần chú ý rằng, bình thường động cơ làm việc ở chế độ định mức với kích thích tối đa ( $\Phi = \Phi_{\text{max}}$ ) nên chỉ có thể điều chỉnh theo chiều hướng giảm  $\Phi$ , tức là điều chỉnh tốc độ trong vùng trên tốc độ định mức và giới hạn điều chỉnh tốc độ bị hạn chế bởi các điều kiện cơ khí và đổi chiều của máy.

Phương pháp điều chỉnh tốc độ bằng cách thêm điện trở phụ vào mạch phần ứng để tăng  $R_w$  chỉ cho phép điều chỉnh tốc độ quay trong vùng dưới tốc độ quay định mức và luôn kèm theo tổn hao năng lượng trên điện trở phụ, làm giảm hiệu suất của động cơ điện. Vì vậy phương pháp này chỉ được áp dụng ở động cơ điện có công suất nhỏ. Trên thực tế thường dùng ở động cơ điện trong cầu trục.

Phương pháp điều chỉnh tốc độ quay bằng cách thay đổi điện áp cũng chỉ cho phép điều chỉnh tốc độ quay dưới tốc độ định mức vì không thể nâng cao điện áp hơn điện áp định mức của động cơ điện. Phương pháp này không gây thêm tổn hao trong động cơ điện, nhưng đòi hỏi phải có nguồn riêng có điện áp điều chỉnh được.

Sau đây ta xét đặc tính cơ và cách điều chỉnh tốc độ của từng loại động cơ điện.

### 7.3.2. Động cơ điện một chiều kích thích độc lập hoặc kích thích song song

Với những điều kiện  $U = C^{\text{te}}$ ,  $I_t = C^{\text{te}}$ , khi  $M$  (hoặc  $I_w$ ) của động cơ thay đổi, từ thông  $\Phi$  của động cơ hầu như không đổi vì ảnh hưởng làm giảm  $\Phi$  của phản ứng ngang trục rất nhỏ, cho nên biểu thức (7-2) có thể viết dưới dạng:

$$n = n_0 - \frac{M}{k} \quad (7-3)$$

trong đó:

$n_0 = \frac{U}{C_e \Phi}$  - là tốc độ của động cơ khi  $M = 0$ , gọi là tốc độ không tải lý tưởng;

$k = \frac{C_e C_M \Phi^2}{R_w}$  - biểu thị độ cứng của đặc tính cơ.  $k$  càng lớn, đặc tính cơ càng cứng.

Nhìn vào biểu thức (7-3) ta thấy, đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích thích song song là một đường thẳng như trình bày ở hình 7-3. Đường đặc tính cơ ứng với

trường hợp  $U = U_{dm}$ ,  $\Phi = \Phi_{dm}$  và trên mạch phản ứng không có điện trở phụ được gọi là đặc tính cơ tự nhiên.

Do  $R_u$  rất nhỏ nên khi tải thay đổi từ không đến định mức tốc độ giảm rất ít (khoảng 2 ÷ 8% tốc độ định mức), cho nên đặc tính cơ của động cơ điện kích thích song song rất cứng. Với đặc tính cơ như vậy, động cơ điện một chiều kích thích song song được dùng trong trường hợp tốc độ hầu như không đổi khi tải thay đổi (máy cắt gọt kim loại, quạt, ...).

**a. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện trở phụ  $R_f$  trên mạch phản ứng**

Khi nối thêm điện trở phụ vào mạch phản ứng thì biểu thức (7-2) có dạng:

$$n = n_0 - \frac{(R_u + R_f)M}{C_e C_M \Phi^2} \quad (7-4)$$

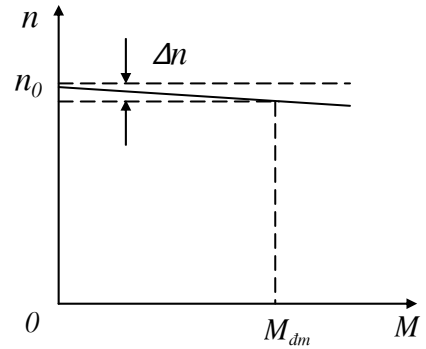
Ta thấy rằng nếu  $R_f$  càng lớn đặc tính cơ có độ cứng càng thấp và do đó đặc tính càng mềm, nghĩa là tốc độ sẽ thay đổi nhiều khi tải thay đổi. Hình 7-4 trình bày các đặc tính cơ ứng với các trị số khác nhau của  $R_f$  trong đó đường ứng với  $R_f = 0$  là đặc tính cơ tự nhiên. Giao điểm của những đường đặc tính cơ trên với đường mômen cản của tải  $M_C = f(n)$  cho biết trị số tốc độ xác lập khi điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi điện trở phụ  $R_f$ .

**b. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện áp**

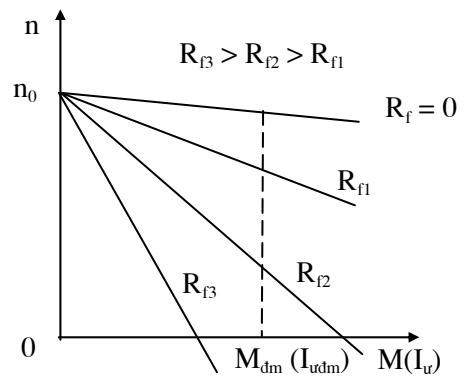
Phương pháp này chỉ áp dụng được đối với động cơ điện một chiều kích thích độc lập hoặc động cơ điện kích thích song song làm việc ở chế độ kích thích độc lập. Việc cung cấp điện áp có thể điều chỉnh được cho động cơ từ một nguồn độc lập được thực hiện trong kỹ thuật bằng cách ghép thành tổ máy phát - động cơ có sơ đồ nguyên lý như ở hình 7-5. Khi thay đổi điện áp  $U$  ta có một họ đặc tính cơ có cùng độ dốc (hình 7-6). Ở hình 7-6, đường 1 ứng với  $U_{dm}$ , đường 2, đường 3 ứng với  $U_3 < U_2 < U_{dm}$  và đường 4 ứng với  $U_4 > U_{dm}$ .

Nói chung vì không cho phép điện áp đặt vào động cơ vượt quá điện áp định mức nên phương pháp này chỉ cho phép điều chỉnh tốc độ động cơ dưới tốc độ định mức, còn việc điều chỉnh tốc độ trên tốc độ định mức không được áp dụng hoặc chỉ được áp dụng trong một phạm vi rất hẹp. Đặc điểm của phương pháp điều chỉnh này là lúc điều chỉnh tốc độ, mômen không đổi vì  $\Phi$  và  $I_u$  đều không đổi. Sở dĩ  $I_u$  không đổi là vì khi giảm điện áp  $U$ , tốc độ  $n$  giảm làm  $E$  cũng giảm nên:

$$I_u = \frac{U - E}{R_u} \approx C^{te}$$

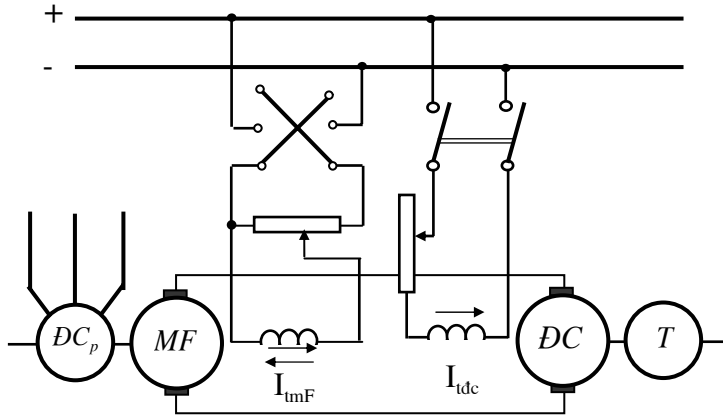


Hình 7-3. Đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích thích song



Hình 7-4. Đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích thích song song với những điện trở phụ khác nhau

Ngày nay, tổ máy phát - động cơ thường dùng trong các máy cắt kim loại và máy cán thép lớn để điều chỉnh tốc độ động cơ điện với hiệu suất cao, phạm vi điều chỉnh rộng 1 : 10 hoặc hơn nữa.



Hình 7-5

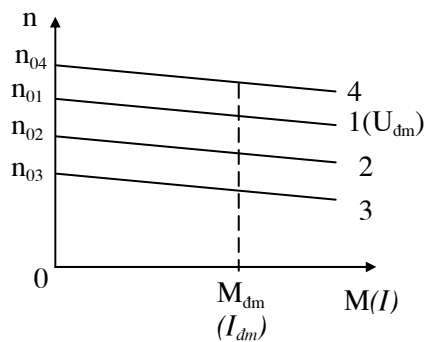
Sơ đồ Máy phát - động cơ dùng để điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện áp ở động cơ điện một chiều kích thích độc lập

**c. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi từ thông  $\Phi$**

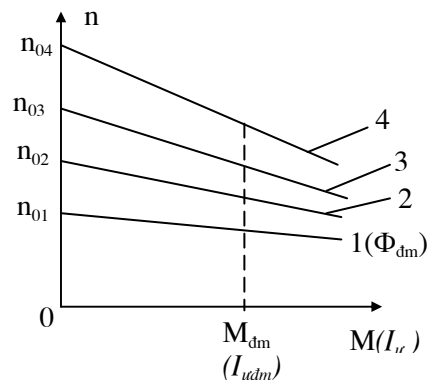
Nếu ta thay đổi điện trở  $R_{dc}$  ở mạch kích thích (hình 7-1) thì ứng với mỗi trị số khác nhau của điện trở mạch kích thích ta có một giá trị của  $I_t$ , do đó có một giá trị của  $\Phi$  và có một đường đặc tính cơ tương ứng. Trên hình 7-7 trình bày các đặc tính cơ ứng với các giá trị khác nhau của từ thông  $\Phi$ . Các đường đó có  $n_0 > n_{0dm}$  và có độ dốc khác nhau, chúng gặp nhau trên trục hoành tại điểm ứng với  $n = 0$  và dòng điện  $I_w = \frac{U}{R_w}$ .

Cần chú ý rằng, bình thường động cơ làm việc ở chế độ định mức với dòng kích từ định mức nên chỉ có thể điều chỉnh dòng kích từ (tức từ thông  $\Phi$ ) theo chiều hướng giảm, nghĩa là chỉ điều chỉnh được tốc độ trong vùng trên tốc độ định mức. Ở hình 7-7, đường thấp nhất ứng với từ thông  $\Phi_{dm}$ . Giao điểm của đường đặc tính mômen cản  $M_c = f(n)$  với các đường đặc tính cơ cho biết tốc độ xác lập ứng với các trị số khác nhau của từ thông.

Do hạn chế bởi các điều kiện về cơ khí và điều kiện đổi chiều của máy nên các động cơ thông dụng hiện nay có thể điều



Hình 7-6. Đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích thích độc lập ở những điện áp khác nhau



Hình 7-7. Đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích thích song song với những dòng điện  $I_t$  khác nhau

chỉnh tốc độ bằng phương pháp này trong giới hạn 1 : 2. Cũng có thể sản xuất những động cơ giới hạn điều chỉnh 1 : 5, thậm chí đến 1 : 8 nhưng phải dùng những phương pháp khống chế đặc biệt, do đó cấu tạo phức tạp, công nghệ chế tạo cũng khó khăn khiến cho giá thành của máy tăng lên.

### 7.3.3. Điều chỉnh tốc độ động cơ điện một chiều kích thích nối tiếp

Ở động cơ điện một chiều kích thích nối tiếp, dòng điện kích thích chính là dòng điện phần ứng  $I_t = I_r = I$ . Vì vậy trong một phạm vi khá rộng có thể biểu thị:

$$\Phi = k_\Phi I \quad (7-5)$$

trong đó  $k_\Phi$  là hệ số tỷ lệ và không đổi trong vùng  $I < 0,8I_{dm}$ . Khi  $I > (0,8 \div 0,9)I_{dm}$  thì  $k_\Phi$  hơi giảm xuống do ảnh hưởng của bão hoà mạch từ.

Như vậy biểu thức mômen có thể viết:

$$M = C_M \Phi I_u = C_M \frac{\Phi^2}{k_\Phi} \quad (7-6)$$

và kết hợp với biểu thức (7-2) ta có:

$$n = \frac{\sqrt{C_M} \cdot U}{C_e \sqrt{k_\Phi} \sqrt{M}} - \frac{R_u}{C_e k_\Phi} \quad (7-7)$$

Nếu bỏ qua  $R_u$  thì:

$$n \approx \frac{U}{\sqrt{M}} \text{ hay } M = \frac{C^2}{n^2} \quad (7-8)$$

Như vậy khi mạch từ chưa bão hoà, đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích thích nối tiếp có dạng của đường hypecbôn bậc hai như trình bày ở hình 7-8 (đường 1).

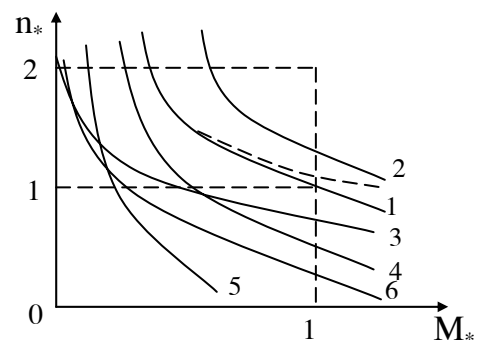
Ta thấy rằng, ở động cơ điện một chiều kích thích nối tiếp, tốc độ quay  $n$  giảm rất nhanh khi tải tăng, đặc biệt khi mất tải ( $I = 0, M = 0$ ) tốc độ có trị số rất lớn. Cũng chính vì lý do đó mà không được cho loại động cơ điện này làm việc ở điều kiện có thể xảy ra mất tải như dùng đài truyền, vì khi xảy ra đứt hoặc trượt đài truyền tốc độ động cơ tăng rất cao. Thông thường chỉ cho phép động cơ điện loại này làm việc với tải tối thiểu  $P_2 = (0,2 \div 0,25)P_{dm}$ .

Trên thực tế do ảnh hưởng của bão hoà mạch từ khi tải tăng, tốc độ của động cơ giảm ít hơn theo đường nét đứt ở hình 7-8.

Với đặc tính cơ như vậy, động cơ điện một chiều kích thích nối tiếp có ưu điểm

đối với những nơi cần điều kiện mở máy nặng nề và cần tốc độ thay đổi trong phạm vi rộng, thí dụ ở các đầu máy kéo tải (xe điện, đầu máy điện, cần trục,...).

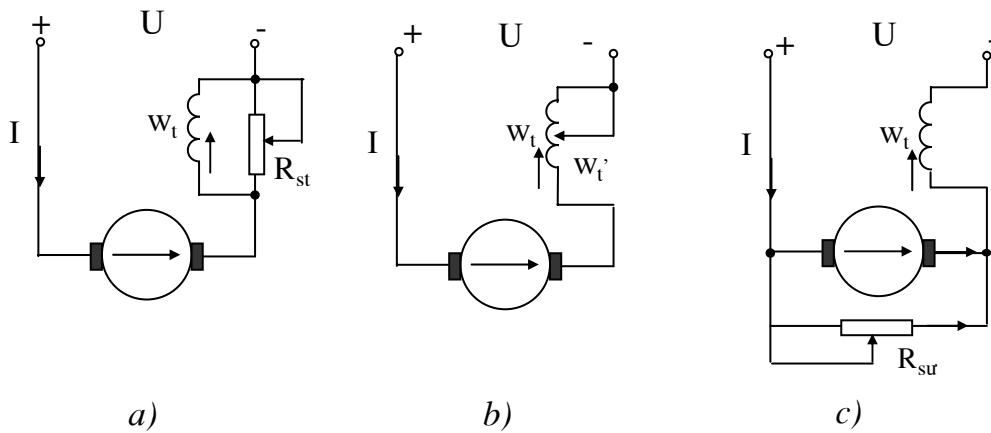
#### a. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi từ thông $\Phi$



Hình 7- 8.  
Đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích thích nối tiếp ở các trường hợp điều chỉnh tốc độ khác nhau



Thay đổi từ thông  $\Phi$  của động cơ kích thích nối tiếp có thể thực hiện bằng những biện pháp sau đây: rẽ mạch (mắc sun) dây quấn kích thích bằng một điện trở, thay đổi số vòng dây của dây quấn kích thích, rẽ mạch dây quấn phần ứng như các sơ đồ trình bày trên hình 7-9.



Hình 7-9. Các sơ đồ điều chỉnh tốc độ động cơ điện một chiều kích thích nối tiếp: a) rẽ mạch dây quấn kích thích; b) thay đổi số vòng dây của dây quấn kích thích; c) rẽ mạch dây quấn phần ứng.

Ở hình 7-9a, nếu dòng điện kích thích lúc chưa rẽ mạch là  $I_t = I$  thì sau khi rẽ mạch dòng điện kích thích sẽ giảm xuống còn  $I_t = kI$ , trong đó  $k = \frac{R_{st}}{R_t + R_{st}} < 1$  với  $R_{st}$  là điện trở rẽ mạch (sun).

Theo phương pháp thứ hai (hình 7-9b), trước lúc điều chỉnh ta có s.t.đ.  $F_t = I_t w_t$ , sau khi điều chỉnh s.t.đ.  $F_t' = I_t w_t' = kF_t$ , với  $k = w_t'/w_t < 1$ .

Rõ ràng là với hai phương pháp trên chỉ điều chỉnh được  $\Phi < \Phi_{dm}$  và tốc độ sẽ thay đổi được trong vùng trên định mức, đường đặc tính cơ sẽ nằm trên đường đặc tính cơ tự nhiên (đường 2 ở hình 7-8).

Nếu dùng phương pháp thứ ba (hình 7-9c) thì điện trở tổng của toàn mạch sẽ bé đi, dòng điện  $I_t = I$  sẽ tăng lên, từ thông  $\Phi$  tăng và do đó tốc độ quay của động cơ giảm xuống. Như vậy phương pháp này chỉ điều chỉnh được tốc độ dưới vùng định mức và đường đặc tính cơ tương ứng nằm ở phía dưới đường đặc tính cơ tự nhiên (đường 3 trên hình 7-8). Vì điện trở cuộn kích thích rất bé nên hầu như toàn bộ điện áp của mạng được đặt vào  $R_{sr}$ , do đó tổn hao rất lớn và hiệu suất của máy giảm đi nhiều. Mặt khác việc tăng từ thông  $\Phi$  còn bị hạn chế bởi sự bão hoà của mạch từ nên phương pháp này rất ít được áp dụng.

### b. Điều chỉnh tốc độ bằng cách ghép thêm điện trở phụ vào mạch phần ứng

Khi ghép thêm điện trở phụ vào mạch phần ứng thì chỉ điều chỉnh được tốc độ động cơ dưới tốc độ định mức nhưng tổn hao trên điện trở phụ lớn làm giảm hiệu suất của động cơ nên phương pháp này cũng ít được sử dụng. Đặc tính cơ ứng với các trường hợp này được trình bày trên hình 7-8 như đường 4 và 5.

### c. Điều chỉnh tốc độ động cơ bằng thay đổi điện áp

Vì không cho phép tăng điện áp đặt vào động cơ quá định mức nên phương pháp này chỉ điều chỉnh được tốc độ động cơ dưới tốc độ định mức. Phương pháp này giữ

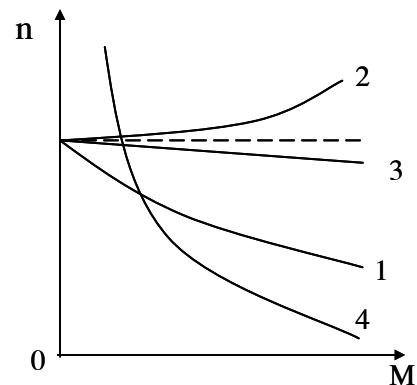
được hiệu suất cao vì không gây thêm tổn hao khi điều chỉnh, được áp dụng rộng rãi trong giao thông vận tải và được thực hiện bằng cách đổi nối từ song song nối tiếp hai động cơ. Khi làm việc song song, các động cơ sẽ làm việc với  $U = U_{dm}$ . Sau khi chuyển thành đấu nối tiếp thì điện áp đặt vào động cơ là  $U = \frac{1}{2} U_{dm}$ . Đặc tính cơ của động cơ điện trong trường hợp này có dạng như đường 6 trên hình 7-8.

### 7.3.4. Điều chỉnh tốc độ động cơ điện một chiều kích thích hỗn hợp

Động cơ điện một chiều kích thích hỗn hợp có thể được chế tạo sao cho tác dụng của dây quấn kích thích song song và nối tiếp hoặc bù nhau hoặc ngược chiều nhau. Nhưng trên thực tế người ta chỉ dùng loại động cơ điện kích thích hỗn hợp bù vì động cơ điện kích thích hỗn hợp ngược không đảm bảo được điều kiện làm việc ổn định. Động cơ điện kích thích hỗn hợp bù có đặc tính cơ mang tính chất trung gian giữa hai loại động cơ kích thích song song và nối tiếp. Khi tải tăng, từ thông  $\Phi$  tăng, do đó đặc tính cơ của động cơ kích thích hỗn hợp bù mềm hơn so với đặc tính cơ của động cơ kích thích song song. Tuy nhiên mức độ tăng của  $\Phi$  không mạnh như ở động cơ kích thích nối tiếp cho nên đặc tính cơ của động cơ kích thích hỗn hợp bù cứng hơn so với đặc tính cơ của động cơ kích thích nối tiếp. Để tiện so sánh, trên hình 7-10 vẽ đặc tính cơ của các loại động cơ điện nói trên trong đó đường 1 ứng với kích thích hỗn hợp bù, đường 2 ứng với hỗn hợp ngược, đường 3 - kích thích song song và đường 4 - kích thích nối tiếp.

Việc điều chỉnh tốc độ động cơ điện một chiều kích thích hỗn hợp thực hiện như ở trường hợp động cơ điện kích thích song song, mặc dù về nguyên tắc có thể áp dụng những phương pháp điều chỉnh tốc độ dùng cho động cơ điện một chiều kích thích nối tiếp.

Động cơ điện một chiều kích thích hỗn hợp được dùng trong những nơi cần điều kiện mômen mở máy lớn, gia tốc quay khi mở máy lớn, tốc độ biến đổi theo tải trong một vùng rộng như trong máy ép, máy bào, máy in, máy cán thép, máy nâng tải ... Trong thời gian gần đây, động cơ điện một chiều kích thích hỗn hợp được dùng trong giao thông vận tải vì nó có ưu điểm hơn so với động cơ kích thích nối tiếp ở chỗ dễ hãm bằng chế độ phát điện trả năng lượng trở về lưới điện.



Hình 7-10. So sánh đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích thích hỗn hợp với các loại động cơ điện một chiều khác

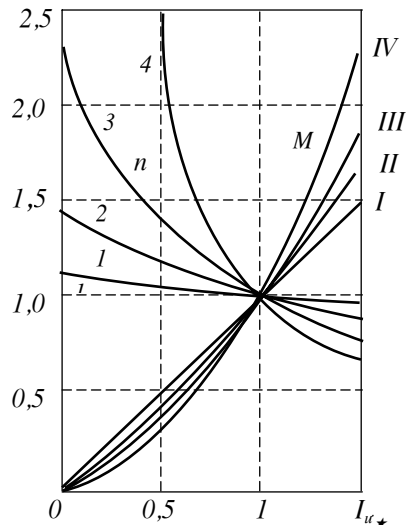
## 7-4. ĐẶC TÍNH LÀM VIỆC CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU

Đặc tính làm việc của động cơ điện một chiều bao gồm các quan hệ  $n$ ,  $M$ ,  $\eta = f(I_v)$  khi  $U = U_{dm} = C^{te}$ .

Từ các biểu thức (7-1) và (7-2) ta thấy rằng về cơ bản đặc tính tốc độ  $n = f(I_v)$  có dạng giống đặc tính cơ  $n = f(M)$ . Các đặc tính tốc độ của các loại động cơ biểu thị theo đơn vị tương đối được trình bày trên hình 7-11, trong đó đường 1 ứng với động cơ kích

thích song song, đường 2 và 3 ứng với động cơ kích thích hỗn hợp và đường 4 ứng với động cơ kích thích nối tiếp.

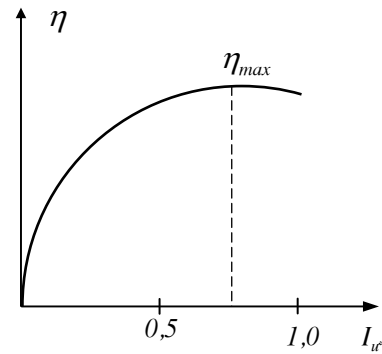
Đặc tính mômen  $M = f(I_u)$  là quan hệ  $M = C_M \Phi I_u$ . Ở động cơ kích thích song song  $\Phi \approx C^{te}$  nên  $M$  phụ thuộc vào  $I_u$  theo quan hệ bậc nhất (đường I trên hình 7-11). Ở động cơ một chiều kích thích nối tiếp  $\Phi \equiv I_u$  nên đặc tính mômen có dạng parabol (đường IV) vì  $M \equiv I_u^2$ . Còn ở động cơ kích thích hỗn hợp, khi  $I_u$  tăng thì  $\Phi$  cũng tăng nhưng với tốc độ chậm hơn so với sự tăng của  $\Phi$  ở động cơ kích thích nối tiếp cho nên đặc tính mômen có tính chất trung gian giữa đường I và IV (các đường II và III).



Hình 7-11. Đặc tính tốc độ và đặc tính mômen của các động cơ điện một chiều.

Đặc tính hiệu suất  $\eta = f(I_u)$  khi  $U = U_{dm} = C^{te}$  của các loại động cơ điện một chiều nói chung có dạng như ở hình 7-12. Hiệu suất cực đại của động cơ điện một chiều thường được tính toán với dòng điện

tải  $I = 0,75 I_{dm}$  và lúc đó tổn hao không đổi trong động cơ điện (bao gồm tổn hao cơ và tổn hao sắt) bằng tổn hao biến đổi phụ thuộc vào điện trở của các dây quấn và tỷ lệ với bình phương của dòng điện  $I_u$ . Hiệu suất của động cơ điện một chiều vào khoảng  $\eta = 0,75 \div 0,85$  đối với động cơ công suất bé, và  $\eta = 0,75 \div 0,94$  ở động cơ công suất trung bình và lớn.



Hình 7 - 12. Đặc tính hiệu suất của các động cơ điện một chiều

**Thí dụ**

Cho một động cơ điện một chiều kích thích song song có số liệu như sau: 10 sức ngựa, 230 V, kích thích song song, điện trở  $R_u = 0,35 \Omega$ ,  $R_t = 288 \Omega$ . Khi  $I_u = 1,6 \text{ A}$  thì  $n = 1040 \text{ vg/ph}$ . Hỏi:

- a) Muốn cho dòng điện mạch ngoài  $I = 40,8 \text{ A}$  và  $n = 600 \text{ vg/ph}$  thì trị số điện trở cần thiết ghép vào mạch phân ứng bằng bao nhiêu ?
- b) Với điện trở đó nếu  $I = 22,8 \text{ A}$  thì tốc độ bằng bao nhiêu ?
- c) Nếu  $I_{dm} = 38,5 \text{ A}$ , hãy tính  $M/M_{dm}$  trong hai câu hỏi trên.
- d) Tính công suất đưa vào động cơ điện, công suất mạch phân ứng, công suất cơ khi  $I = 40,8 \text{ A}$ .

**Giải**

a) Cho rằng khi tải thay đổi, từ thông là hằng số, ta có:

$$\frac{n}{n'} = \frac{U - I_u R_u}{U - I_u (R_u + R_f)}$$

Với  $n = 1040 \text{ vg/ph}$ ;  $n' = 600 \text{ vg/ph}$ ;  $I_u = 1,6 \text{ A}$ ;  $I_u = I - I_t = 40,8 - \frac{230}{288} = 40 \text{ A}$ ;

$U = 230 \text{ V}$ ;  $R_u = 0,35 \Omega$ .

Từ biểu thức trên ta tính được  $R_f = 2,1 \Omega$ .

b) Với điện trở  $R_f = 2,1 \Omega$ ,  $I = 22,8 \text{ A}$ , ta có  $I_u = 22,8 - \frac{230}{288} = 22 \text{ A}$ .

Tương tự như trên ta có:

$$\frac{n''}{n'} = \frac{n''}{600} = \frac{230 - 22(0,35 + 2,1)}{230 - 40(0,35 + 2,1)}$$

Ta suy ra  $n'' = 800 \text{ vg/ph}$ .

c) Ta có  $M = C_M \Phi I_u$ , vậy:

$$\frac{M'}{M_{dm}} = \frac{I_u'}{I_{dm}} = \frac{40}{38,5 - 0,8} = 1,06$$

$$\frac{M''}{M_{dm}} = \frac{I_u''}{I_{dm}} = \frac{22}{38,5 - 0,8} = 0,58$$

d) Công suất đưa vào bằng:

$$P_1 = U_{dm} \cdot I = 230 \cdot 40,8 = 9400 \text{ W}$$

Công suất mạch phản ứng bằng:

$$P_u = P_1 - P_t = 9400 - r_t \cdot I^2 = 9400 - 288 \cdot 0,8^2 = 9216 \text{ W}$$

Công suất cơ bằng:

$$P_{cơ} = P_1 - P_{cu.u} - P_t = 9216 - 40^2 \cdot 2,35 = 5296 \text{ W}$$

$$(P_{cu.u} = I_u^2 (R_u + R_f) = 40^2 (0,35 + 2,1) = 3920 \text{ W})$$

### Câu hỏi

1. Các yêu cầu khi mở máy động cơ điện một chiều? Các phương pháp mở máy động cơ điện một chiều?
2. Thành lập phương trình đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích thích độc lập (hay song song) và kích thích nối tiếp.
3. So sánh các đặc tính của các động cơ điện một chiều.
4. Hiện tượng gì sẽ xảy ra khi mở máy động cơ điện một chiều kích thích song song trong trường hợp mạch kích thích bị đứt?
5. Trình bày các phương pháp điều chỉnh tốc độ của các động cơ một chiều kích thích độc lập (song song) và kích thích nối tiếp.
6. Nếu chổi than đặt không đúng vị trí mà bị xô dịch ngược chiều quay của rôto thì tốc độ của động cơ điện sẽ như thế nào?

### Bài tập

1. Cho một động cơ điện kích thích song song với các số liệu sau:

$P_{dm} = 95 \text{ kW}$ ,  $U_{dm} = 220 \text{ V}$ ,  $I_{dm} = 470 \text{ A}$ ,  $I_{tdm} = 4,25 \text{ A}$ ,  $R_r = 0,0125 \Omega$ ,  $n_{dm} = 500 \text{ vg/ph}$ . Hãy xác định:

- Hiệu suất của động cơ;
- Tổn hao đồng trong máy, tổn hao không tải và dòng điện không tải;
- Mômen của động cơ;
- Trị số dòng điện tải để hiệu suất cực đại;
- Điện trở điều chỉnh  $R_f$  cần thiết để động cơ quay với  $n = n_{dm}$ ,  $I_r = I_{rđm}$  và từ thông giảm đi 40% .

Đáp số : a) 91,8%

b)  $P_{cu} = 8,4 \text{ kW}$ ,  $P_0 = 4753,5 \text{ W}$ ;

$I_0 = 25,8 \text{ A}$

c)  $M = 1814 \text{ N.m}$

d)  $I' = 536 \text{ A}$

e)  $R_f = 0,45 \Omega$

2. Một máy phát kích thích song song có số liệu như sau:  $P_{dm} = 27 \text{ kW}$ ,  $U_{dm} = 115 \text{ V}$ ,  $n = 1150 \text{ vg/ph}$ ,  $I_t = 5 \text{ A}$ ,  $\eta_{dm} = 86\%$ ,  $R_r = 0,01673 \Omega$ ,  $r_{ctp} = 0,00717 \Omega$ ,  $2\Delta U_{tx} = 2 \text{ V}$ . Nếu chuyển sang làm việc ở chế độ động cơ với điện áp 110 V thì có công suất ở trục là 25 kW. Giả thiết rằng trạng thái bão hoà và hiệu suất của máy không đổi. Tính:

- Tốc độ quay;
- Khi đột nhiên không tải thì động cơ làm việc với tốc độ bằng bao nhiêu? (bỏ qua dòng điện không tải và phản ứng phần ứng).

Đáp số : a) 954 vg/ph

b) 1031 vg/ph

3. Cho một máy phát điện kích thích song song có  $P_{dm} = 27 \text{ kW}$ ,  $U_{dm} = 115 \text{ V}$ ,  $n_{dm} = 1150 \text{ vg/ph}$ ,  $I_t = 5 \text{ A}$ , hiệu suất  $\eta_{dm} = 86\%$ . Điện trở mạch phần ứng  $R_r = 0,02 \Omega$ ,  $2\Delta U_{tx} = 2 \text{ V}$ .

- Nếu đem dùng như một động cơ điện (bỏ qua tác dụng của phản ứng phần ứng) với  $U_{dm} = 110 \text{ V}$ ,  $P_{dm} = 25 \text{ kW}$ ,  $\eta = 0,86$ . Hãy tính tốc độ  $n$ .
- Tốc độ không tải của động cơ?

Đáp số : a)  $n_D = 1030 \text{ vg/ph}$

b)  $n_{0D} = 1105 \text{ vg/ph}$

PHẦN THỨ HAI  
MÁY BIẾN ÁP

CHƯƠNG 8

KHÁI NIỆM CHUNG VỀ MÁY BIẾN ÁP (M.B.A)

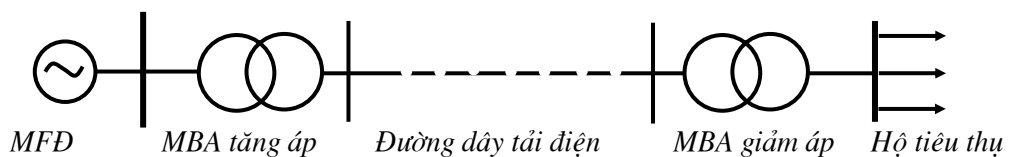
8-1. ĐẠI CƯƠNG

Để dẫn điện từ các trạm phát điện đến nơi tiêu thụ cần phải có đường dây tải điện (hình 8-1). Nếu khoảng cách giữa nơi sản xuất điện và hộ tiêu thụ lớn thì một vấn đề lớn đặt ra và cần được giải quyết là: việc truyền tải điện năng đi xa làm sao cho kinh tế nhất.

Như ta đã biết, cùng một công suất truyền tải trên đường dây, nếu điện áp được tăng cao thì dòng điện chạy trên đường dây sẽ giảm xuống, như vậy có thể làm tiết diện dây nhỏ đi, do đó trọng lượng và chi phí dây dẫn sẽ giảm xuống, đồng thời tổn hao năng lượng trên đường dây cũng giảm xuống. Vì thế, muốn truyền tải điện năng đi xa, ít tổn hao và tiết kiệm kim loại màu, trên đường dây người ta phải dùng điện áp cao, thường là 35kV, 110 kV, 220 kV và 500 kV. Trên thực tế, các máy phát điện chỉ có khả năng phát ra điện áp có giá trị trong khoảng từ 3 đến 21 kV, do đó phải có thiết bị để tăng điện áp ở đầu đường dây lên. Mặt khác, các hộ tiêu thụ thường yêu cầu điện áp thấp, từ 0,4 đến 6 kV, do đó tới đây phải có thiết bị giảm điện áp xuống. Những thiết bị dùng để tăng điện áp ở đầu ra của máy phát điện, tức là ở đầu đường dây dẫn điện và giảm điện áp khi tới các hộ tiêu thụ, tức là ở cuối đường dây dẫn điện gọi là máy biến áp (viết tắt là m.b.a).

Trong hệ thống điện lực, muốn truyền tải và phân phối công suất từ nhà máy điện tới hộ tiêu thụ một cách hợp lý thường phải qua ba, bốn lần tăng và giảm điện áp. Do đó tổng công suất của các m.b.a trong hệ thống điện lực thường gấp ba, bốn lần tổng công suất của các trạm phát điện. Những m.b.a dùng trong hệ thống điện lực gọi là m.b.a điện lực hay m.b.a công suất. Như vậy m.b.a chỉ làm nhiệm vụ truyền tải và phân phối năng lượng chứ không phải là biến hoá năng lượng.

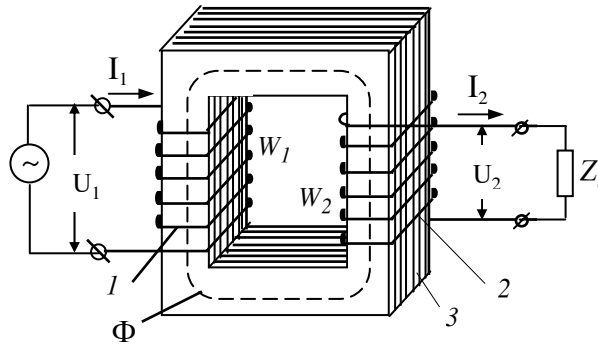
Ngoài các m.b.a lực để truyền tải và phân phối điện năng còn có nhiều loại m.b.a dùng trong các ngành chuyên môn như: m.b.a đặc biệt dùng để chỉnh lưu cho các thiết bị mạ, điện phân; m.b.a chuyên dùng cho các lò điện luyện kim; m.b.a hàn điện; m.b.a dùng trong đo lường, điều khiển, thí nghiệm ...



Hình 8-1. Sơ đồ cung cấp điện đơn giản

## 8-2. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CƠ BẢN CỦA M.B.A

Xét máy biến áp một pha hai dây quấn như hình 8-2. Dây quấn 1 có  $w_1$  vòng dây và dây quấn 2 có  $w_2$  vòng dây được quấn trên lõi thép 3. Khi đặt điện áp xoay chiều  $u_1$  vào dây quấn 1, trong đó sẽ có dòng điện  $i_1$ . Trong lõi thép sẽ sinh ra từ thông  $\Phi$  móc vòng với cả dây quấn 1 và 2, cảm ứng ra các s.đ.đ. cảm ứng  $e_1$  và  $e_2$ . S.đ.đ.  $e_2$  trong dây quấn 2 sẽ sinh ra dòng điện  $i_2$  đưa ra tải với điện áp là  $u_2$ . Như vậy năng lượng của dòng điện xoay chiều đã được truyền từ dây quấn 1 sang dây quấn 2 thông qua từ trường trong lõi thép.



Hình 8 - 2  
Nguyên lý làm việc của máy biến áp

Nếu điện áp xoay chiều  $u_1$  đặt vào dây quấn sơ cấp là một hàm số sin thì từ thông do nó sinh ra cũng là một hàm số sin:

$$\Phi = \Phi_m \sin \omega t \quad (8-1)$$

Theo định luật cảm ứng điện từ, s.đ.đ. cảm ứng trong các dây quấn 1 và 2 sẽ là:

$$e_1 = -w_1 \frac{d\phi}{dt} = -w_1 \frac{d\phi_m \sin \omega t}{dt} = -w_1 \omega \phi_m \cos \omega t = \sqrt{2} E_1 \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}). \quad (8-2a)$$

$$e_2 = -w_2 \frac{d\phi}{dt} = -w_2 \frac{d\phi_m \sin \omega t}{dt} = -w_2 \omega \phi_m \cos \omega t = \sqrt{2} E_2 \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}). \quad (8-2b)$$

trong đó:

$$E_1 = \frac{\omega \phi_m w_1}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi f w_1 \Phi_m}{\sqrt{2}} = 4,44 f w_1 \phi_m \quad \text{và} \quad E_2 = \frac{\omega \phi_m w_2}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi f w_2 \Phi_m}{\sqrt{2}} = 4,44 f w_2 \phi_m$$

là trị số hiệu dụng của các s.đ.đ. ở dây quấn 1 và 2.

Các biểu thức (8-2a,b) cho thấy s.đ.đ. cảm ứng trong các dây quấn chậm pha so với từ thông sinh ra nó một góc  $\pi/2$ .

Người ta định nghĩa tỷ số biến đổi của m.b.a như sau:

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} \quad (8-3)$$

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

$$k = \frac{E_1}{E_2} \approx \frac{U_1}{U_2} \quad (8-4)$$

Từ nguyên lý làm việc cơ bản trên ta có thể định nghĩa m.b.a như sau:

M.b.a là một thiết bị điện từ đứng yên, làm việc trên nguyên lý cảm ứng điện từ, dùng để biến đổi một hệ thống dòng điện xoay chiều ở cấp điện áp này thành một hệ thống dòng điện xoay chiều ở cấp điện áp khác, với tần số không đổi.

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

Ở m.b.a ba dây quấn, ngoài hai dây quấn CA và HA còn có dây quấn thứ ba với điện áp trung gian giữa giá trị điện áp sơ cấp và giá trị điện áp thứ cấp (viết tắt là TA).

M.b.a biến đổi hệ thống dòng điện xoay chiều một pha gọi là m.b.a một pha; m.b.a biến đổi hệ thống dòng điện xoay chiều ba pha gọi là m.b.a ba pha. M.b.a ngâm trong dầu gọi là m.b.a dầu; m.b.a không ngâm trong dầu (hay m.b.a làm mát bằng không khí) gọi là m.b.a khô.

### 8-3. PHÂN LOẠI VÀ KẾT CẤU CỦA M.B.A

#### 8.3.1. Phân loại m.b.a

Có nhiều cách phân loại m.b.a, nhưng theo công dụng, m.b.a được phân thành những loại chính sau đây:

1. M.b.a điện lực dùng để truyền tải và phân phối công suất trong hệ thống điện lực.
2. M.b.a chuyên dùng cho các lò luyện kim, cho các thiết bị chỉnh lưu; m.b.a hàn điện; ...
3. M.b.a tự ngẫu biến đổi điện áp trong phạm vi không lớn lắm dùng để mở máy các động cơ điện xoay chiều.
4. M.b.a thí nghiệm dùng để thí nghiệm các điện áp cao.

M.b.a có rất nhiều, song thực chất các hiện tượng xảy ra trong chúng đều giống nhau. Để thuận tiện cho việc nghiên cứu, sau đây ta chủ yếu xét đến m.b.a điện lực hai dây quấn một pha và ba pha. Các m.b.a khác sẽ được nghiên cứu trong chương 12.

#### 8.3.2. Cấu tạo của m.b.a

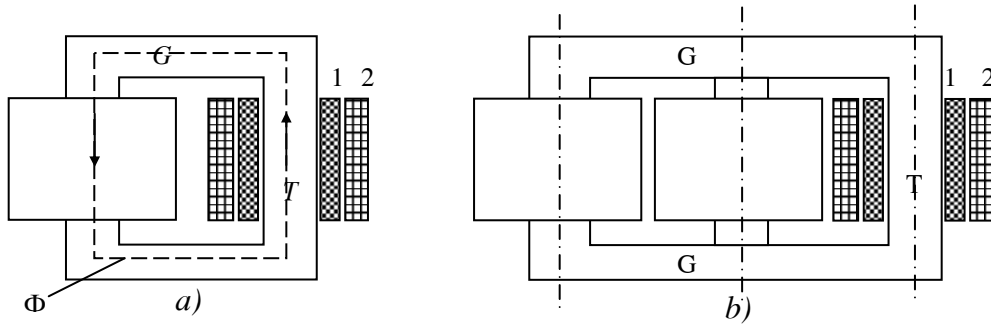
M.b.a có các bộ phận chính sau đây: lõi thép, dây quấn và vỏ máy.

##### 1. Lõi thép

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

- *M.b.a kiểu lõi hay kiểu trụ (hình 8-3)*: Dây quấn bao quanh trụ thép. Loại này rất thông dụng cho các m.b.a một pha và ba pha có dung lượng nhỏ và trung bình.

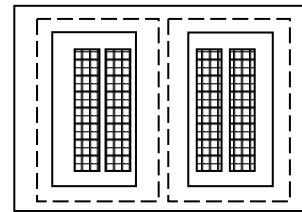




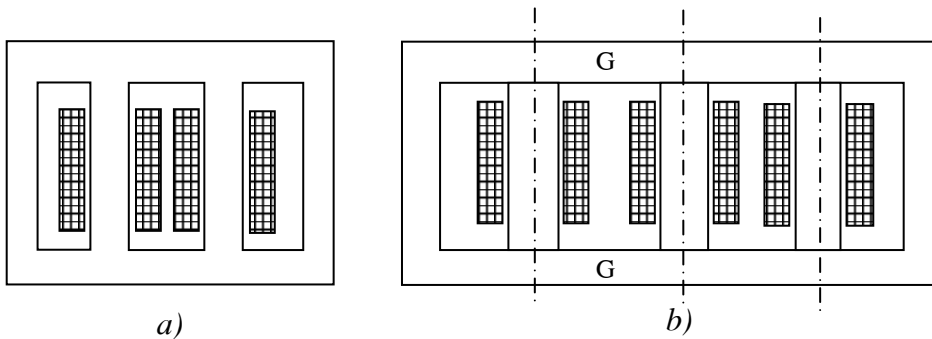
Hình 8-3. M.b.a kiểu lõi một pha (a) và ba pha (b)

- M.b.a kiểu bọc (hình 8-4): Loại này mạch từ được phân ra hai bên và bọc lấy một phần dây quấn. Loại này thường chỉ dùng trong một vài ngành chuyên môn đặc biệt như m.b.a dùng trong lò luyện kim hay m.b.a một pha công suất nhỏ dùng trong kỹ thuật vô tuyến điện, âm thanh, .v.v.

Ở các m.b.a hiện đại dung lượng lớn và cực lớn (80 ÷ 100 MVA trên một pha), điện áp thật cao (220 ÷ 400 kV), để giảm chiều cao của trụ thép, tiện lợi cho việc vận chuyển thì mạch từ của m.b.a kiểu trụ được phân nhánh sang hai bên nên m.b.a vừa kiểu trụ, vừa kiểu bọc, gọi là m.b.a kiểu trụ - bọc (hình 8-5).



Hình 8-4. M.b.a kiểu bọc



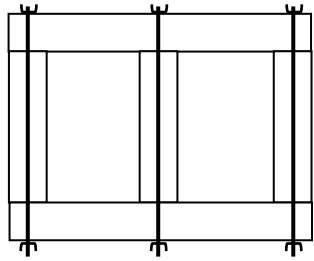
Hình 8-5. M.b.a kiểu trụ- bọc một pha (a) và ba pha (b)

Lõi thép gồm có hai phần: phần trụ - ký hiệu bằng chữ T và phần gông - ký hiệu bằng chữ G. Trụ là phần lõi thép có quấn dây quấn, gông là phần lõi thép nối các trụ lại với nhau thành mạch từ kín và không có dây quấn. Để giảm tổn hao do dòng điện xoáy gây nên, lõi thép được ghép bằng những lá thép kỹ thuật điện dày 0,35 mm có phủ sơn cách điện trên bề mặt. Trụ và gông có thể ghép với nhau bằng phương pháp ghép nối hoặc ghép xen kẽ. Ghép nối thì trụ và gông ghép riêng sau đó dùng xà ép và bu lông vít chặt lại (hình 8-6). Ghép xen kẽ thì các lá thép làm trụ và gông phải được ghép đồng thời, xen kẽ nhau từng lớp lần lượt theo trình tự a, b như ở hình 8-7. Sau khi ghép, mạch từ cũng được vít chặt bằng xà ép và bu lông. Phương pháp ghép xen kẽ tuy phức tạp hơn nhưng giảm được tổn hao do dòng điện xoáy và tăng độ bền cơ học, vì thế hầu hết các m.b.a hiện nay đều dùng kiểu ghép này.

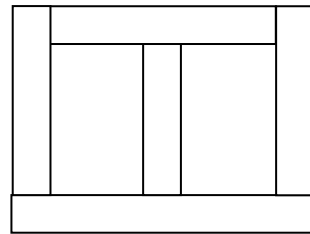
Do dây quấn thường quấn thành hình tròn nên tiết diện ngang của trụ thép thường làm thành hình bậc thang gần tròn (hình 8-8). Gông từ vì không quấn dây, do đó để

thuận tiện cho việc chế tạo, tiết diện ngang của gông có thể làm đơn giản: hình vuông, hình chữ thập hoặc hình chữ T (hình 8-9).

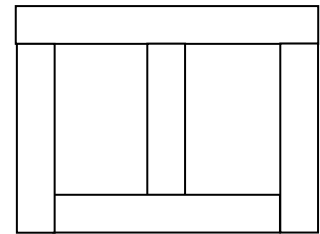
Vì lý do an toàn, toàn bộ lõi thép được nối điện với vỏ máy và vỏ máy phải được nối đất.



Hình 8-6  
Ghép rời lõi thép m.b.a

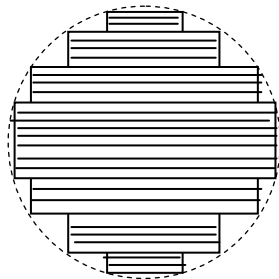


a)

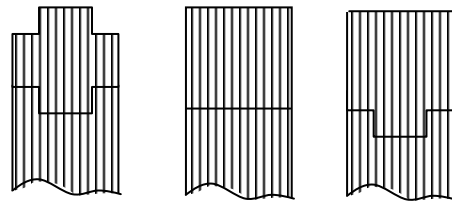


b)

Hình 8-7 Ghép xen kẽ lõi thép m.b.a



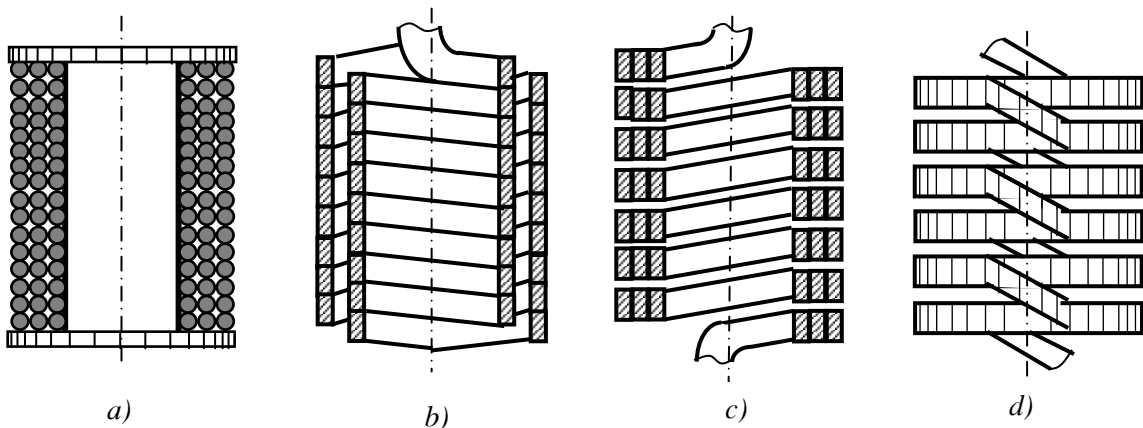
Hình 8-8. Tiết diện của trụ thép



Hình 8-9. Các dạng tiết diện của gông từ.

## 2. Dây quấn

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



Hình 8-10. Các kiểu dây quấn đồng tâm: a) dây tròn nhiều lớp, b) dây bện hai lớp, c) dây quấn hình xoắn, d) dây quấn xoắn ốc liên tục

**a. Dây quấn đồng tâm.** Ở dây quấn đồng tâm, tiết diện ngang là những đường tròn đồng tâm. Dây quấn HA thường quấn phía trong gần trụ thép, còn dây quấn CA quấn phía ngoài bọc lấy dây quấn HA. Với cách quấn này có thể giảm bớt được điều kiện cách điện của dây quấn CA bởi vì giữa dây quấn CA và trụ đã có cách điện của bản thân dây quấn HA. Những kiểu dây quấn đồng tâm chính bao gồm:

- *Dây quấn hình trụ.* Ở dây quấn hình trụ, nếu tiết diện dây nhỏ thì dùng dây tròn, quấn thành nhiều lớp (hình 8 -10a), nếu tiết diện dây lớn thì dùng dây bẹt và thường quấn thành hai lớp (hình 8 -10b). Dây quấn hình trụ dây tròn thường thường làm dây quấn CA, điện áp tới 35 kV; dây quấn hình trụ dây bẹt chủ yếu dùng dây quấn HA với điện áp từ 6 kV trở xuống. Nói chung dây quấn hình trụ thường dùng cho các m.b.a dung lượng 560 kVA trở xuống.

- *Dây quấn hình xoắn.* Dây quấn hình xoắn gồm nhiều dây bẹt chập lại quấn theo đường xoắn ốc, giữa các vòng dây có rãnh hở (hình 8-10c). Kiểu này thường dùng cho dây quấn HA của các m.b.a dung lượng trung bình và lớn.

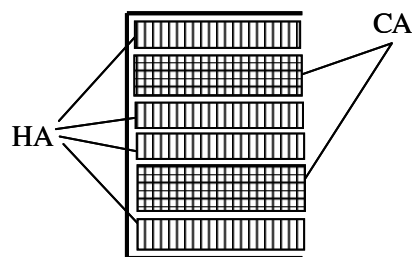
- *Dây quấn xoáy ốc liên tục.* Dây quấn xoáy ốc liên tục làm bằng dây bẹt và khác với dây quấn hình xoắn ở chỗ, dây quấn này được quấn thành những bánh dây phẳng cách nhau bằng những rãnh hở (hình 8-10d). Bằng cách hoán vị đặc biệt trong khi quấn, các bánh dây được nối tiếp một cách liên tục mà không cần mối hàn giữa chúng, cũng chính vì thế mà dây quấn được gọi là xoáy ốc liên tục. Dây quấn này chủ yếu dùng làm cuộn CA, điện áp 35 kV trở lên và dung lượng lớn.

**b. Dây quấn xen kẽ.** Ở dây quấn xen kẽ các bánh dây CA và HA lần lượt xen kẽ nhau dọc theo trụ thép (hình 8-11). Để cách điện được dễ dàng, các bánh dây đặt sát gông thường thuộc dây quấn HA. Kiểu dây quấn này hay dùng trong các m.b.a kiểu bọc. Vì chế tạo và cách điện khó khăn, kém vững chắc về cơ khí nên các m.b.a kiểu trụ hầu như không dùng kiểu dây quấn xen kẽ.

### 3. Vỏ máy

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

**a. Thùng m.b.a.** Thùng máy làm bằng thép, có hình dạng và kết cấu khác nhau tùy theo công suất của m.b.a, thường là hình bầu dục. Khi m.b.a làm việc, một phần năng lượng bị tiêu hao, thoát ra dưới dạng nhiệt đốt nóng lõi thép, dây quấn và các bộ phận khác làm cho nhiệt độ của chúng tăng lên. Nếu độ chênh nhiệt độ giữa m.b.a và môi trường



Hình 8-11. Dây quấn xen kẽ

xung quanh vượt quá mức quy định thì sẽ làm giảm tuổi thọ cách điện m.b.a và có thể gây sự cố cho m.b.a. Để đảm bảo cho m.b.a vận hành với tải liên tục trong thời gian qui định ( thường từ 15 đến 20 năm ) và không bị sự cố, phải tăng cường làm mát m.b.a bằng cách ngâm m.b.a trong thùng dầu. Nhờ sự đối lưu trong dầu nhiệt độ được truyền từ các bộ phận bên trong m.b.a sang dầu, sau đó truyền từ dầu qua vách thùng ra môi trường xung quanh. Lớp dầu sát vách thùng nguội dần, chuyển động xuống phía dưới và lại tiếp tục làm mát một cách tuần hoàn các bộ phận bên trong m.b.a. Ngoài ra, dầu m.b.a còn làm nhiệm vụ tăng cường cách điện.

Tùy theo dung lượng m.b.a mà hình dáng và kết cấu thùng dầu có khác nhau. Loại thùng dầu đơn giản nhất là thùng dầu phẳng (hình 8-12), thường dùng cho các m.b.a có dung lượng từ 30 kVA trở xuống.



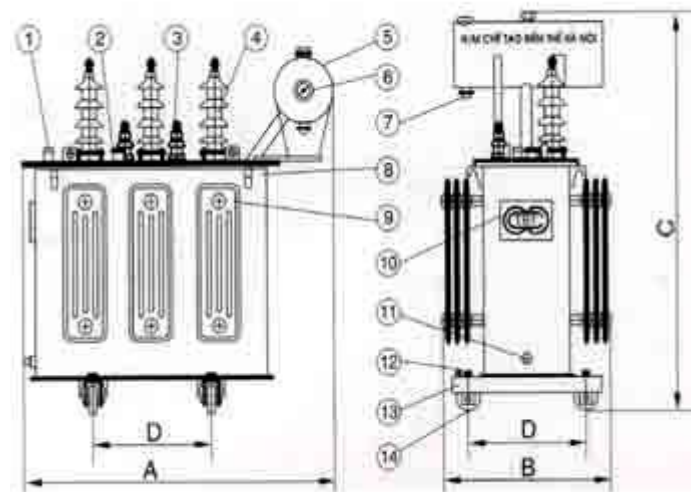
a)



b)

Hình 8-12. Hình dáng bên ngoài của máy biến áp loại thùng dầu phẳng.

a) Máy biến áp ba pha; b) Máy biến áp một pha

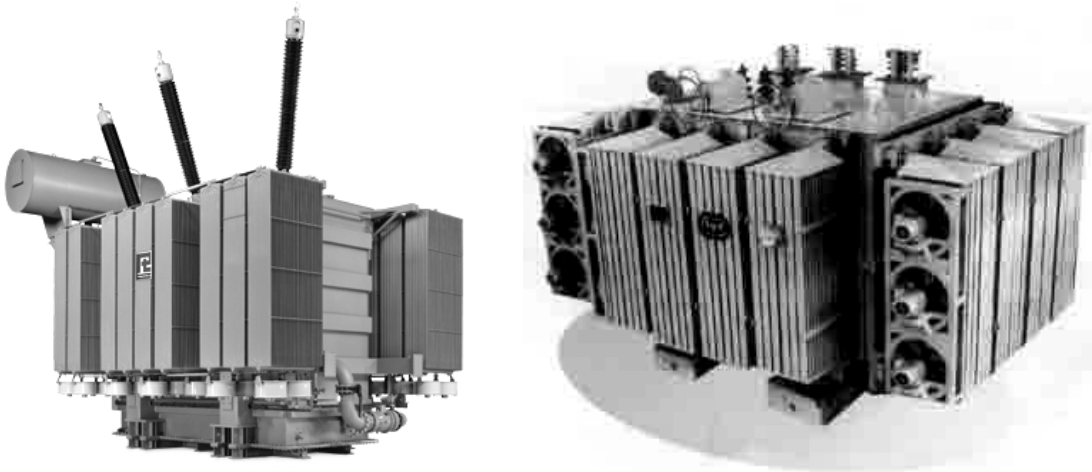


Hình 8-13. Vỏ m.b.a 35/0,4 kV- tổ đấu dây Y/Yo-12. 1. Ống nhiệt kế 2. Điều chỉnh điện áp 3. Sứ hạ thế 4. Sứ cao thế 5. Bầu dầu 6. Chỉ thị dầu 7. Bình hút ẩm 8. Vỏ máy 9. Bộ tản nhiệt 10. Nhãn máy 11. Van xả dầu 12. Tiếp địa 13. Khung bánh xe 14. Bánh xe

Đối với các m.b.a cỡ trung bình và lớn, người ta hay dùng loại thùng dầu có ống hoặc loại thùng có bộ tản nhiệt (hình 8-13). Ở những m.b.a dung lượng đến 10.000 kVA, người ta dùng bộ tản nhiệt có quạt gió để tăng cường làm mát (hình 8-14).

**b. Nắp thùng.** Nắp thùng dùng để đậy thùng và đặt một số chi tiết máy quan trọng như:

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

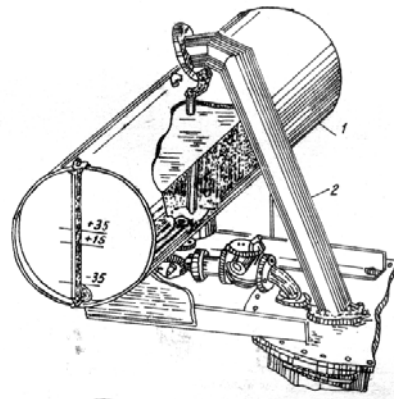


Hình 8-14. Hình dáng bên ngoài máy biến áp bộ tản nhiệt có quạt gió để tăng cường làm mát.

- Bình giãn dầu: là một thùng hình trụ bằng thép đặt trên nắp và nối với thùng m.b.a bằng một ống dẫn dầu (hình 8-15). Đây là nơi chứa lượng dầu nở ra do bị nóng khi máy làm việc. Để đảm bảo cho dầu trong thùng luôn luôn đầy, phải duy trì dầu ở một mức nhất định nào đấy. Dầu trong thùng m.b.a thông qua bình giãn dầu giãn nở tự do. Người ta theo dõi lượng dầu trong máy qua ống chỉ mức dầu đặt bên cạnh bình giãn dầu.

- Ống bảo hiểm: làm bằng thép, thường là hình trụ nghiêng, một đầu nối với thùng, một đầu bịt bằng một đĩa thủy tinh (hình 8-15). Nếu vì lý do nào đó áp suất trong thùng tăng lên đột ngột, đĩa thủy tinh sẽ bị vỡ, dầu theo đó thoát ra ngoài để m.b.a không bị hư hỏng.

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



Hình 8-15. Bình giãn dầu  
1. Bình giãn dầu. 2. Ống bảo hiểm.

#### 8-4. CÁC ĐẠI LƯỢNG ĐỊNH MỨC CỦA M.B.A

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

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

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

3. Điện áp dây thứ cấp định mức  $U_{2dm}$  (tính bằng V hay kV) là điện áp dây của dây quấn thứ cấp khi máy biến áp không tải và điện áp đặt vào dây quấn sơ cấp là định mức.

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

$$\text{Đối với m.b.a một pha: } I_{1dm} = \frac{S_{dm}}{U_{1dm}} ; I_{2dm} = \frac{S_{dm}}{U_{2dm}} \quad (8-5a)$$

$$\text{Đối với m.b.a ba pha: } I_{1dm} = \frac{S_{dm}}{\sqrt{3}U_{1dm}} ; I_{2dm} = \frac{S_{dm}}{\sqrt{3}U_{2dm}} \quad (8-5b)$$

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

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

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

### Câu hỏi

1. M.b.a là gì? Vai trò của m.b.a trong hệ thống điện lực?
2. Kết cấu của m.b.a gồm những bộ phận chính nào, tác dụng của từng bộ phận đó?
3. Trên m.b.a thường ghi những đại lượng định mức nào? Ý nghĩa của từng đại lượng định mức đó?

Hãy tính dòng điện định mức của một m.b.a một pha và ba pha khi biết các số liệu sau đây:  $S_{dm} = 120 \text{ kVA}$ ;  $U_{1dm}/U_{2dm} = 6000/230 \text{ V}$ .

CHƯƠNG 9

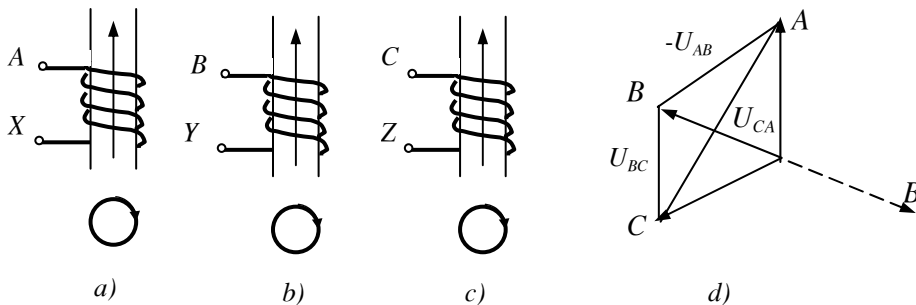
TỔ NỐI DÂY VÀ MẠCH TỪ CỦA M.B.A

9-1. TỔ NỐI DÂY CỦA M.B.A

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

9.1.1. Cách ký hiệu các đầu dây

Các đầu tận cùng của dây quấn m.b.a, một đầu gọi là đầu đầu, đầu kia gọi là đầu cuối. Đối với dây quấn một pha có thể chọn tùy ý đầu đầu và đầu cuối. Đối với dây quấn ba pha, các đầu đầu và đầu cuối phải chọn một cách thống nhất: giả sử dây quấn pha A đã chọn đầu đầu đến đầu cuối đi theo chiều kim đồng hồ (hình 9-1a) thì dây quấn các pha B, C còn lại cũng phải chọn như vậy (hình 9-1b và hình 9-1c). Điều này rất cần thiết, bởi vì nếu một pha dây quấn ký hiệu ngược lại thì điện áp dây lấy ra sẽ mất đối xứng (hình 9-1d).



Hình 9-1. Cách quy ước các đầu đầu và đầu cuối của dây quấn ba pha (a, b, c) và điện áp dây không đối xứng khi ký hiệu ngược hay dấu ngược một pha (d)

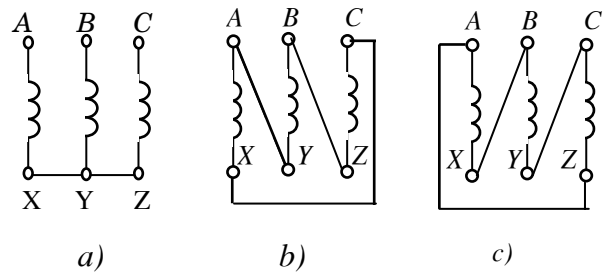
Để đơn giản và thuận tiện cho việc nghiên cứu, các đầu đầu và đầu cuối trên sơ đồ ký hiệu dây quấn của m.b.a thường được đánh dấu theo quy ước sau đây:

Các đầu tận cùng	Dây quấn cao áp (CA)	Dây quấn hạ áp (HA)	Sơ đồ ký hiệu dây quấn
Đầu đầu	A, B, C	a, b, c	
Đầu cuối	X, Y, Z	x, y, z	
Đầu trung tính	0	O	

Với m.b.a ba pha ba dây quấn, ngoài hai dây quấn sơ cấp và thứ cấp còn có dây quấn điện áp trung (ký hiệu TA). Dây quấn này được ký hiệu như sau: đầu đầu bằng các chữ  $A_m, B_m$  và  $C_m$ ; đầu cuối bằng các chữ  $X_m, Y_m, Z_m$ ; đầu trung tính bằng chữ  $0_m$ .

### 9.1.2. Các kiểu đấu dây quấn

Dây quấn của m.b.a có thể nối hình sao (ký hiệu bằng dấu “Y”) hoặc hình tam giác (ký hiệu bằng dấu “Δ”). Đấu sao thì ba đầu X, Y, Z nối lại với nhau, còn ba đầu A, B, C để tự do (hình 9-2a). Nếu nối hình sao có dây trung tính thì ký hiệu bằng dấu “Y<sub>0</sub>”. Đấu tam giác thì đầu cuối của pha này nối với đầu đầu của pha kia (hình 9-2b, c).



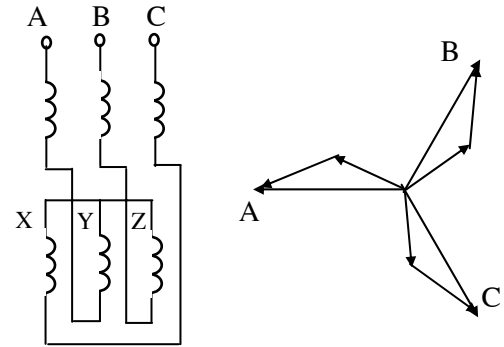
Hình 9-2. Các kiểu đấu dây quấn m.b.a

Cách đấu dây quấn CA và HA trong m.b.a thường được ký hiệu như sau: ví dụ m.b.a đấu Y/Δ có nghĩa là dây quấn CA đấu Y, còn dây quấn HA đấu Δ. Ở các m.b.a lực, dây quấn cao áp CA thường được nối hình “Y” còn dây quấn hạ áp HA nối hình “Δ” vì khi nối như vậy thì ở phía cao áp, điện áp pha nhỏ đi  $\sqrt{3}$  lần so với điện áp dây

( $U_p = \frac{1}{\sqrt{3}} U_d$ ), do đó có thể giảm bớt được

chi phí và điều kiện cách điện; phía hạ áp thì dòng điện pha nhỏ đi  $\sqrt{3}$  lần so với dòng điện dây ( $I_p = \frac{1}{\sqrt{3}} I_d$ ), do đó có thể

chọn được tiết diện dây quấn nhỏ hơn, thuận tiện cho việc chế tạo và kinh tế. Cách nối hình “Δ” được dùng nhiều khi không cần điện áp pha. Dây quấn “Y<sub>0</sub>” được dùng ở các m.b.a cung cấp cho tải hỗn hợp vừa dùng điện áp dây (cung cấp cho các động



Hình 9-3. Các kiểu đấu zig-zắc

cơ không đồng bộ) vừa dùng điện áp pha (để cung cấp cho chiếu sáng và sinh hoạt).

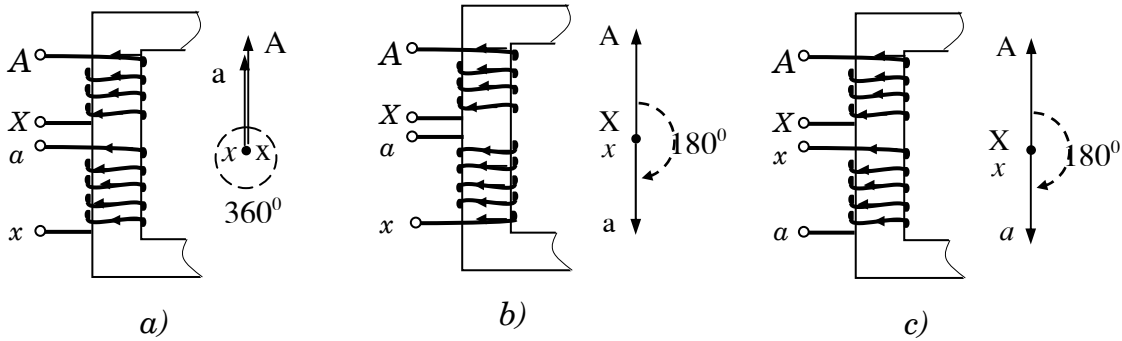
Ngoài hai kiểu nối dây chủ yếu trên, dây quấn m.b.a còn có thể nối theo kiểu zig-zắc (ký hiệu bằng dấu “Z”). Khi đó mỗi pha dây quấn gồm hai nửa cuộn dây ở trên hai trụ khác nhau nối nối tiếp và mắc ngược nhau (hình 9-3). Kiểu đấu dây này ít dùng vì tốn nhiều đồng hơn và chỉ gặp trong các thiết bị chỉnh lưu hoặc trong máy biến áp đo lường để hiệu chỉnh sai số về góc lệch pha.

### 9.1.3. Tổ nối dây của m.b.a

Tổ nối dây của m.b.a được hình thành do sự phối hợp kiểu đấu dây sơ cấp so với kiểu đấu dây thứ cấp. Nó biểu thị góc lệch pha giữa các s.đ.đ. dây của dây quấn sơ cấp và s.đ.đ. dây của dây quấn thứ cấp tương ứng. Góc lệch pha này phụ thuộc vào chiều quấn dây, cách ký hiệu các đầu dây và kiểu đấu dây quấn ở sơ cấp và thứ cấp.

Thật vậy, ta hãy xét m.b.a một pha có hai dây quấn sơ cấp AX và thứ cấp ax sau đây. Nếu hai dây quấn quấn cùng chiều trên trụ thép, ký hiệu các đầu dây như nhau, thí dụ A và a ở phía trên, X và x ở phía dưới (hình 9-4a) thì khi có từ thông biến thiên trong lõi thép, s.đ.đ. cảm ứng trong chúng hoàn toàn trùng pha nhau: hoặc từ đầu đầu đến đầu cuối, hoặc từ đầu cuối đến đầu đầu - chẳng hạn từ đầu cuối đến đầu đầu dây quấn (hình 9-4a), góc lệch pha giữa chúng là 360°.



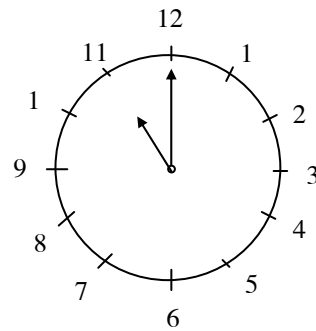


Hình 9-4. Tổ nối dây của m.b.a một pha

Khi đổi chiều quấn dây của một trong hai dây quấn, thí dụ của dây quấn thứ cấp (hình 9-4b) hoặc đổi ký hiệu đầu dây của một dây quấn, thí dụ cũng của dây quấn thứ cấp (hình 9-4c) thì các s.đ.đ. trong hai dây quấn sẽ ngược pha nhau, góc lệch pha giữa chúng là  $180^\circ$ .

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

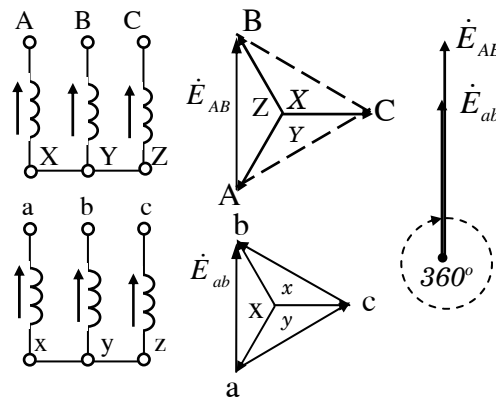
Trong thực tế, để thuận tiện, người ta không dùng "độ" để chỉ góc lệch pha đó mà dùng phương pháp kim đồng hồ để biểu thị và gọi tên tổ nối dây của m.b.a. Theo phương pháp này, kim dài của đồng hồ chỉ s.đ.đ. dây sơ cấp đặt cố định ở con số 12, kim ngắn chỉ s.đ.đ. dây thứ cấp tương ứng đặt ở số 1, 2, ..., 12 tùy theo góc lệch pha giữa chúng là  $30^\circ, 60^\circ, \dots, 360^\circ$  (hình 9-5). Với cách biểu thị này, đối với m.b.a một pha trong ví dụ trên, ở trường hợp của hình 9-4a, m.b.a thuộc tổ nối dây I/I-12, vì góc lệch pha giữa hai s.đ.đ. là  $360^\circ$ ; còn hai trường hợp ở hình 9-4b và 9-4c, các m.b.a có tổ nối dây I/I-6, vì góc lệch pha là  $180^\circ$  (ký hiệu I dùng cho m.b.a một pha).



Hình 9-5. Phương pháp ký hiệu tổ nối dây bằng kim đồng hồ

Đối với m.b.a ba pha sẽ có 12 tổ nối dây. Ví dụ một m.b.a ba pha có hai dây quấn nối hình Y, cùng chiều quấn dây và cùng ký hiệu đầu dây (hình 9-6) thì các hình sao s.đ.đ. pha của hai dây quấn sơ cấp và

thứ cấp hoàn toàn trùng nhau và góc lệch pha giữa hai điện áp dây tương ứng bằng  $0^\circ$  (hay  $360^\circ$ ). Ta nói m.b.a thuộc tổ nối dây 12 và ký hiệu là Y/Y-12. Nếu đổi chiều quấn dây hoặc đổi ký hiệu đầu dây của dây quấn thứ cấp, ta có tổ nối dây Y/Y-6. Hoán vị thứ tự các pha của dây quấn thứ cấp ta sẽ có các tổ nối dây chẵn 2, 4, 8 và 10.

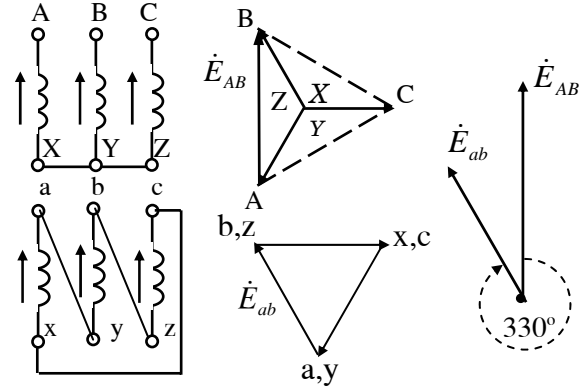


Hình 9-6. Tổ nối dây Y/Y-12

Cũng m.b.a trên, khi các dây quấn nối theo sơ đồ Y/ $\Delta$  (hình 9-7) thì góc lệch pha giữa điện áp dây sơ

cấp và thứ cấp tương ứng là  $330^\circ$  - m.b.a thuộc tổ nối dây Y/ $\Delta$ -11. Thay đổi chiều quấn dây hay đổi ký hiệu đầu dây của dây quấn thứ cấp ta có tổ nối dây Y/ $\Delta$  -5. Hoán vị các pha của dây quấn thứ cấp ta sẽ có tổ nối dây lẻ 1, 3, 7, và 9.

Trong thực tế ở nước ta, để thuận tiện cho việc chế tạo và sử dụng, người ta chỉ sản xuất các m.b.a điện lực có tổ đấu dây sau: m.b.a một pha có tổ đấu dây I/I-12, m.b.a ba pha có các tổ nối dây Y/Y<sub>0</sub>-12, Y/ $\Delta$ -11 và Y<sub>0</sub>/ $\Delta$ -11. Phạm vi ứng dụng của chúng được ghi trong bảng dưới đây:



Hình 9-7. Tổ nối dây Y/ $\Delta$ -11

Tổ nối dây	Điện áp		Dung lượng của m.b.a (kVA)
	CA (kV)	HA (V)	
Y/Y <sub>0</sub> -12	$\leq 35$	230	$\leq 560$
		400	$\leq 1800$
Y/ $\Delta$ -11	$\leq 35$	525	$\leq 1800$
		$> 525$	$\leq 5600$
Y/ $\Delta$ -11	$\geq 110$	$\geq 3150$	$\geq 3200$
Y <sub>0</sub> / $\Delta$ -11	$\geq 6,3$	$\geq 3300$	$\geq 7500$

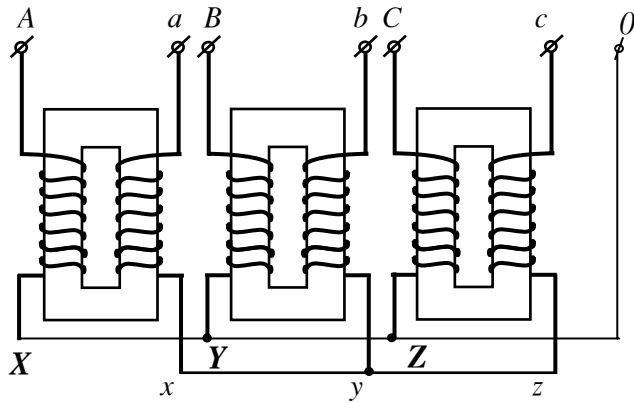
## 9-2. MẠCH TỪ CỦA M.B.A

### 9.2.1. Các dạng mạch từ

Đối với m.b.a một pha có thể có hai loại kết cấu mạch từ: mạch từ kiểu lõi và mạch từ kiểu bọc (mục 8-3). Đối với m.b.a ba pha, dựa vào sự không liên quan hay có liên quan của các mạch từ giữa các pha người ta chia ra: m.b.a có hệ thống mạch từ riêng và m.b.a có hệ thống mạch từ chung.

Hệ thống mạch từ riêng là hệ thống mạch từ trong đó từ thông của ba pha độc lập đối với nhau như ở trong trường hợp m.b.a ba pha ghép từ ba m.b.a một pha, gọi tắt là tổ m.b.a ba pha (hình 9-8).

Hệ thống mạch từ chung là hệ thống mạch từ trong đó từ thông ba pha có liên quan với nhau như ở m.b.a ba pha ba trụ (hình 9-9). Thực ra kết cấu của loại sau là đi từ loại đầu mà ra. Thực vậy khi đem ghép ba m.b.a một pha lại (tức ghép ba m.b.a có mạch từ riêng như ở hình 9-10a), nếu điện áp đặt vào ba pha là đối xứng, nghĩa là  $\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C = 0$  thì tổng từ thông tương ứng của ba pha cũng bằng không, tức là  $\dot{\Phi}_A + \dot{\Phi}_B + \dot{\Phi}_C = \Sigma \dot{\Phi} = 0$ . Như vậy trụ thép chung cả ba pha từ thông không tồn tại ở mọi thời điểm, do đó có thể cắt bỏ trụ thép chung rồi rút ngắn trụ giữa lại sao cho cả ba trụ cùng nằm trong một mặt phẳng (hình 9-10b) mà vẫn không ảnh hưởng gì đến tình



a)

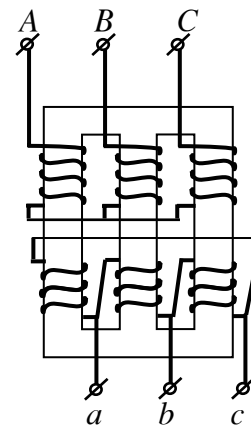


b)

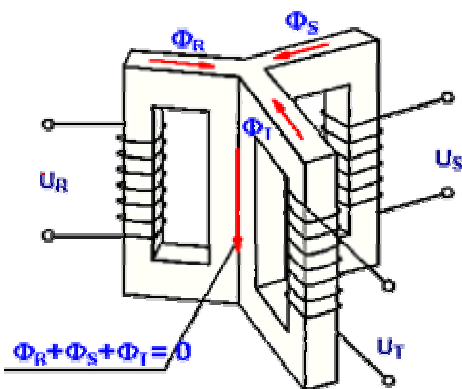
Hình 9-8. Máy biến áp ba pha có hệ thống mạch từ riêng  
a) Sơ đồ nối dây; b) Lắp đặt trong thực tế.

trạng làm việc bình thường của m.b.a, do đó m.b.a ba pha ba trụ mang hình dáng như đã nói ở trên. Rõ ràng kết cấu lõi sắt trong trường hợp này rõ ràng là không đối xứng, ở trụ giữa mạch từ ngắn hơn, do đó dòng điện từ hoá của ba pha cũng không đối xứng:  $I_{OA} \approx I_{OC} = (1,2 \div 1,5) I_{OB}$ . Tuy nhiên sự không đối xứng này không ảnh hưởng nhiều đến sự làm việc bình thường của m.b.a, vì bản thân dòng điện từ hoá rất bé so với dòng điện định mức, nên có thể xem như không đáng kể.

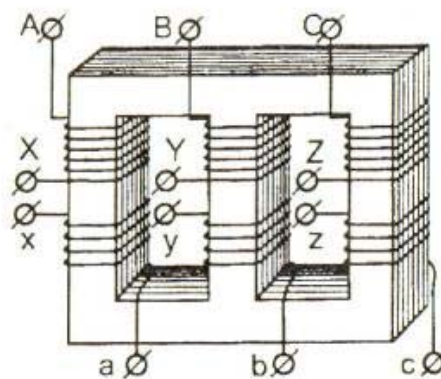
Trong thực tế, m.b.a ba pha ba trụ được dùng rất phổ biến với các cỡ dung lượng nhỏ và trung bình vì loại này có hình dáng gọn, nhỏ, ít tốn nguyên liệu và rẻ hơn so với dùng tổ m.b.a ba pha có dung lượng tương ứng. Loại tổ m.b.a ba pha chỉ dùng cho các máy cỡ lớn (dung lượng từ 36.000 kVA trở lên) vì vậy có thể dễ dàng vận chuyển từng pha một cách dễ dàng và thuận lợi.



Hình 9-9. M.b.a ba pha ba trụ có mạch từ chung



a)



b)

Hình 9-10. Cách tạo nên m.b.a ba pha ba trụ từ ba m.b.a một pha

### 9.2.2. Những hiện tượng xuất hiện khi từ hoá lõi thép m.b.a

Khi từ hoá lõi thép m.b.a, do mạch từ bão hoà sẽ làm xuất hiện những hiện tượng mà trong một số trường hợp những hiện tượng ấy có thể ảnh hưởng xấu đến sự làm việc của m.b.a. Sau đây ta sẽ xét đến những ảnh hưởng đáng kể đó khi m.b.a không tải.

#### 1. M.b.a một pha

Đặt điện áp vào dây quấn sơ cấp, trong nó sẽ có dòng điện không tải  $i_0$ , dòng  $i_0$  sinh ra từ thông  $\Phi$  chạy trong lõi thép (xem mục 8-2).

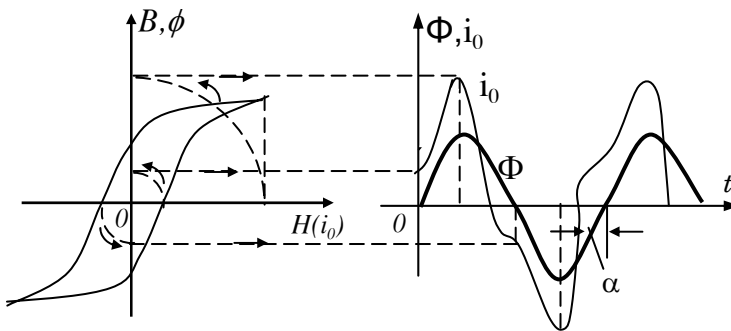
Như ta đã biết, nếu điện áp đặt vào dây quấn sơ cấp của m.b.a biến thiên hình sin theo thời gian  $u = U_m \sin \omega t$  và bỏ qua điện áp rơi trên điện trở dây quấn thì:

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

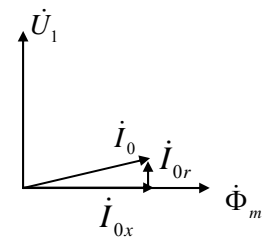
nghĩa là từ thông sinh ra trong mạch từ cũng biến thiên hình sin theo thời gian:

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

Nếu không kể đến tổn hao trong lõi thép thì dòng điện không tải  $i_0$  thuần túy là dòng điện phản kháng dùng để từ hoá lõi thép  $i_0 = i_{0x}$ . Do đó quan hệ giữa  $\Phi = f(i_0)$  cũng chính là quan hệ từ hoá  $B = f(H)$ . Theo lý thuyết cơ sở kỹ thuật điện ta đã biết, do hiện tượng bão hoà của lõi thép, nếu  $\Phi$  là hình sin,  $i_0$  sẽ không sin mà có dạng nhọn đầu trùng pha với  $\Phi$ , nghĩa là dòng điện  $i_0$  ngoài thành phần sóng cơ bản  $i_{01}$  còn có các thành phần sóng bậc cao: bậc 3 -  $i_{03}$ , bậc 5 -  $i_{05}$ , bậc 7 -  $i_{07}, \dots$ , trong đó thành phần  $i_{03}$  lớn nhất và đáng kể hơn cả, còn các thành phần khác rất bé có thể bỏ qua. Ta có thể xem như chính thành phần  $i_{03}$  có tác dụng làm cho dòng từ hoá nhọn đầu. Cũng từ lý luận đó ta thấy, nếu mạch từ càng bão hoà,  $i_0$  càng nhọn đầu, nghĩa là thành phần  $i_{03}$  càng lớn.



Hình 9-11. Ảnh hưởng của từ trễ đến đường cong dòng điện



Hình 9-12. Dòng điện từ hoá với các thành phần của nó

Khi có kể đến tổn hao trong lõi thép thì quan hệ  $\Phi(i_0)$  là quan hệ trễ  $B(H)$ . Từ quan hệ  $\Phi(i_0)$  và  $\Phi(t)$  ta có thể vẽ được đường biểu diễn quan hệ  $i_0(t)$  như hình 9-11. Đường cong  $i_0(t)$  cho thấy nếu  $\Phi$  là hình sin thì  $i_0$  có dạng nhọn đầu nhưng vượt pha với  $\Phi$  một góc  $\alpha$  nào đó. Góc  $\alpha$  lớn hay bé tùy thuộc vào mức độ trễ của  $B$  đối với  $H$  nhiều hay ít, nghĩa là tổn hao từ trễ trong lõi thép nhiều hay ít. Vì thế góc  $\alpha$  được gọi là góc tổn hao từ trễ. Hình 9-12 biểu diễn vectơ dòng điện  $I_0$  và từ thông  $\Phi_m$  khi kể đến tổn hao trong lõi thép. Cũng cần chú ý rằng, vì dòng điện  $i_0$  là không hình sin nên trên đồ thị vectơ

chỉ vẽ gần đúng với thành phần bậc 1 của  $i_0$ , hoặc là phải thay  $i_0$  bằng một dòng điện hình sin đẳng trị có trị số hiệu dụng bằng trị số hiệu dụng của dòng điện  $i_0$  thực. Ta thấy dòng điện không tải  $I_0$  gồm hai thành phần: thành phần phản kháng  $I_{0x}$  là dòng điện từ hoá lõi thép, tạo nên từ thông và cùng chiều với từ thông; thành phần tác dụng  $I_{0r}$  vuông góc với thành phần trên, là dòng điện gây nên tổn hao sắt từ trong lõi thép:

$$I_0 = \sqrt{I_{0r}^2 + I_{0x}^2} \quad (9-1)$$

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

## 2. M.b.a ba pha

Khi m.b.a không tải, nếu xét từng pha riêng lẻ thì dòng điện bậc 3 trong các pha như sau:

$$i_{03A} = I_{03m} \sin 3\omega t, \quad (9-2a)$$

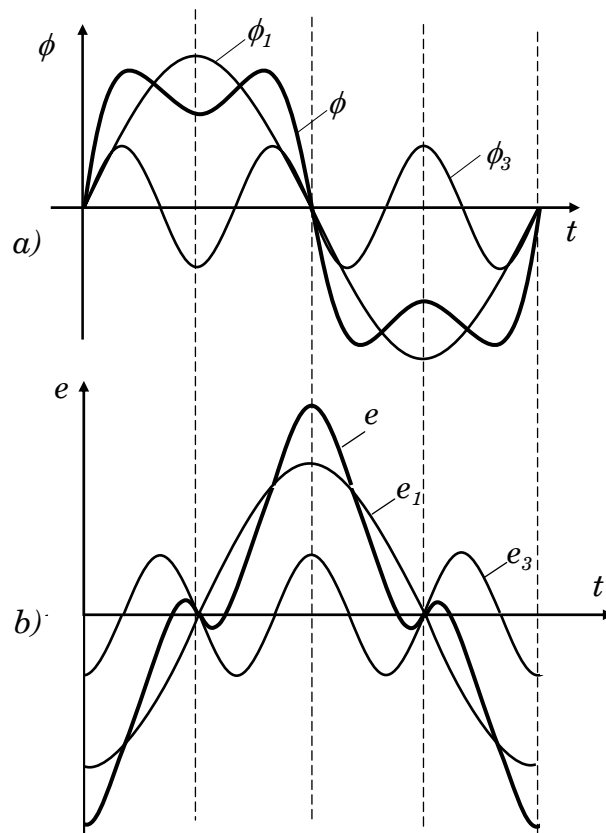
$$i_{03B} = I_{03m} \sin 3(\omega t - 120^\circ) = I_{03m} \sin 3\omega t, \quad (9-2b)$$

$$i_{03C} = I_{03m} \sin 3(\omega t - 240^\circ) = I_{03m} \sin 3\omega t. \quad (9-2c)$$

Như vậy chúng trùng pha nhau về thời gian, nghĩa là tại mọi thời điểm chúng có chiều như nhau trong cả ba pha. Song chúng có tồn tại hay không và dạng sóng như thế nào còn phụ thuộc vào kết cấu mạch từ và cách đấu dây quấn nữa.

### a. Trường hợp máy biến áp nối Y/Y

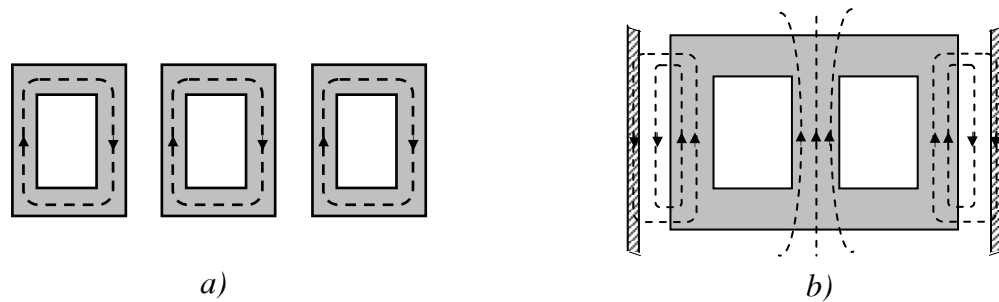
Vì dây quấn sơ cấp nối Y nên thành phần dòng điện bậc 3 ( $i_{03}$ ) không tồn tại, do đó dòng điện từ hoá  $i_0$  có dạng hình sin và từ thông  $\Phi$  do nó sinh ra có dạng vạt đầu (đường đậm nét trên hình 9-13a). Như vậy có thể xem từ thông tổng  $\Phi$  gồm sóng cơ bản  $\Phi_1$  và các sóng điều hoà bậc cao  $\Phi_3, \Phi_5, \dots$  trong đó có thể bỏ qua các thành phần bậc cao hơn 3 vì chúng có trị số rất nhỏ. Trên hình 9-13a ta chỉ vẽ các từ thông  $\Phi_1$  và  $\Phi_3$ . Đối với tổ m.b.a ba pha, vì mạch từ của cả ba pha riêng rẽ, từ thông  $\Phi_3$  của cả ba pha cùng chiều với nhau tại mọi thời điểm, dễ dàng khép kín trong từng lõi thép của từng pha như  $\Phi_1$  (hình 9-14a). Do từ trở của lõi thép rất bé, nên  $\Phi_3$  có trị số khá lớn, có thể đạt tới  $(15 \div 20)\% \Phi_1$ . Kết quả là trong dây quấn sơ cấp và thứ cấp, ngoài s.đ.đ. cơ bản  $e_1$  do  $\Phi_1$  cảm ứng nên (chậm pha sau  $\Phi_1$   $90^\circ$ ) còn có s.đ.đ. bậc ba  $e_3$  khá lớn, có thể đạt đến trị số  $E_3 = (45 \div 60)\% E_1$ , do từ thông  $\Phi_3$  tạo



Hình 9-13. Đường biểu diễn từ thông (a) và s.đ.đ (b) của tổ máy biến áp ba pha nối Y/Y

nên và chậm sau  $\Phi_3$  một góc  $90^\circ$ , do đó s.đ.đ. tổng trong từng pha  $e = e_1 + e_3$  sẽ có dạng nhọn đầu (hình 9-13b), nghĩa là biên độ của s.đ.đ. pha tăng lên rõ rệt. Sự tăng vọt của s.đ.đ. như vậy hoàn toàn không có lợi, trong nhiều trường hợp rất nguy hiểm như có thể làm chọc thủng cách điện của dây quấn, làm hư hỏng thiết bị đo lường và gây ảnh hưởng đến các đường dây thông tin nếu trung tính có nối đất. Bởi những lý do trên, *trong thực tế người ta không dùng kiểu đấu Y/Y cho tổ m.b.a ba pha*. Cũng cần nói thêm rằng, dù s.đ.đ. pha có trị số và hình dáng biến đổi nhiều nhưng các s.đ.đ. dây vẫn luôn luôn là hình sin, vì dây quấn nối Y thì s.đ.đ. dây không có thành phần bậc 3.

Những hiện tượng xuất hiện trong m.b.a ba pha năm trụ cũng tương tự như vậy, do đó các m.b.a này cũng không dùng kiểu nối Y/Y.

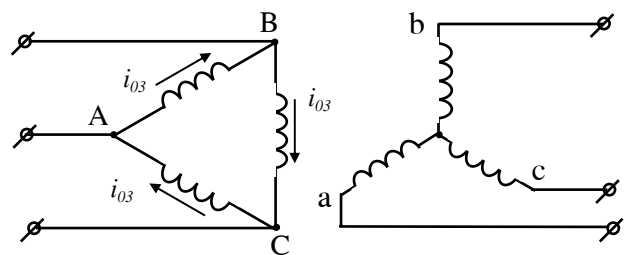


Hình 9-14. Từ thông  $\phi_3$  trong tổ m.b.a ba pha (a) và trong m.b.a ba pha ba trụ (b)

Trong các m.b.a ba pha ba trụ, các từ thông  $\Phi_3$  bằng nhau và cùng chiều trong ba trụ thép tại mọi thời điểm, nên chúng không thể khép mạch từ trụ này qua trụ khác mà bị đẩy ra ngoài và khép mạch qua không khí hoặc dầu (hình 9-14b) là những môi trường có từ trở lớn. Vì vậy  $\Phi_3$  không lớn lắm và có thể xem từ thông tổng và do đó s.đ.đ. pha là hình sin. Tuy nhiên cần nhớ rằng từ thông  $\Phi_3$  đập mạch với tần số  $3f$  qua vách thùng và các bu lông ghép v.v... sẽ gây nên tổn hao phụ làm cho hiệu suất của m.b.a giảm. Do đó phương pháp nối Y/Y đối với m.b.a ba pha ba trụ cũng chỉ áp dụng cho các m.b.a với dung lượng từ 5600 kVA trở xuống.

**b. Trường hợp m.b.a nối  $\Delta/Y$  (hình 9-15)**

Dây quấn sơ cấp nối tam giác nên dòng điện  $i_{03}$  sẽ khép kín trong tam giác đó, như vậy dòng điện từ hoá  $i_0$  vì chứa thành phần bậc ba, nên có dạng nhọn đầu, từ thông tổng và các s.đ.đ. của các dây quấn sơ cấp và thứ cấp đều có dạng hình sin. Do đó sẽ không có những hiện tượng bất lợi như trường hợp trên.



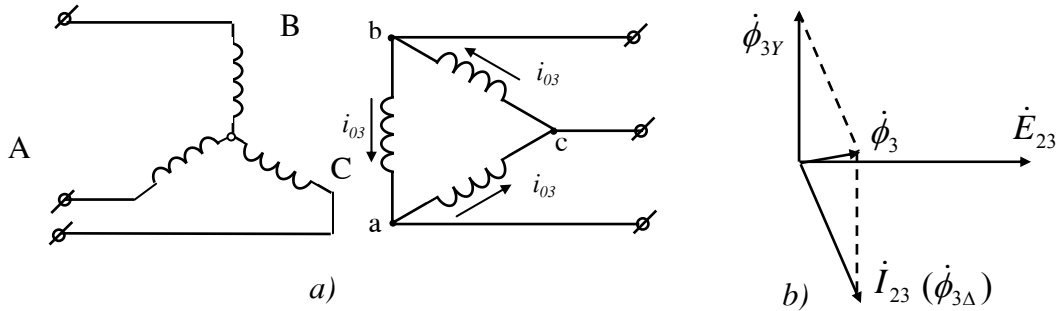
Hình 9-15. Dòng điện điều hoà bậc ba trong m.b.a nối  $\Delta/Y$

**c. Trường hợp m.b.a nối Y/ $\Delta$**

Trên hình 9-16a, do dây quấn sơ cấp đấu Y nên dòng điện từ hoá trong đó không có thành phần điều hoà bậc 3 nên  $i_0$  có dạng hình sin,  $\Phi$  có dạng vọt đầu và có thành phần bậc 3 -  $\Phi_{3Y}$ . Từ thông  $\Phi_{3Y}$  cảm ứng sang dây quấn thứ cấp s.đ.đ. bậc 3 -  $e_{23}$  chậm sau  $\Phi_{3Y}$  một góc gần  $90^\circ$  (hình 9-16b). Đến lượt  $e_{23}$  gây nên trong mạch vòng thứ cấp nối hình  $\Delta$  dòng điện  $i_{23}$  chậm sau  $e_{23}$  một góc gần  $90^\circ$  (vì điện kháng của dây quấn rất

lớn). Dòng điện  $i_{23}$  sẽ sinh ra từ thông  $\Phi_{3\Delta}$  coi như trùng pha với  $i_{23}$ , nghĩa là gần như ngược pha với  $\Phi_{3Y}$ . Do đó từ thông tổng bậc ba trong lõi thép  $\Phi_3 = \Phi_{3Y} + \Phi_{3\Delta}$  gần như bị triệt tiêu. Ảnh hưởng của từ thông bậc 3 trong mạch từ không đáng kể nữa, kết quả là s.đ.đ. pha sẽ gần hình sin.

Tóm lại, khi m.b.a làm việc không tải, các cách nối dây  $\Delta/Y$  hay  $Y/\Delta$  đều tránh được tác hại của từ thông và s.đ.đ. điều hoà bậc 3.



Hình 9-16: a) Dòng điện điều hoà bậc ba trong m.b.a nối  $Y/\Delta$ ; b) Tác dụng của dòng  $i_{23}$  khi dây quấn đấu  $Y/\Delta$ .

### 9.2.3. Tính toán mạch từ m.b.a

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

#### 1. Thành phần dòng điện tác dụng $i_{0r}$

Như đã biết, dòng điện tác dụng phụ thuộc vào tổn hao sắt từ trong lõi thép. Tổn hao này có thể tính gần đúng theo biểu thức:

$$P_{Fe} = P_{1/50} [B_t^2 G_t + B_g^2 G_g] \left(\frac{f}{50}\right)^{1,3} W \quad (9-3)$$

trong đó:

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

$B_t$  và  $B_g$  - cường độ từ cảm trong trụ và trong gông (T);

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

Thành phần tác dụng của dòng điện từ hoá:

$$i_{0r} = \frac{P_{Fe}}{mU} A \quad (9-4)$$

trong đó m là số pha.

#### 2. Thành phần dòng điện phản kháng $i_{0x}$

Dòng điện phản kháng có thể tính được theo hai phương pháp.

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

$$\sqrt{2}I_{0x}.w = F = \Sigma Hl \quad (9-5)$$

Đối với m.b.a một pha (hình 9-17a), sức từ động (viết tắt là s.t.đ):

$$F = 2H_t l_t + 2H_g l_g + n_k \frac{B_t}{\mu_0} \delta \quad (9-6)$$

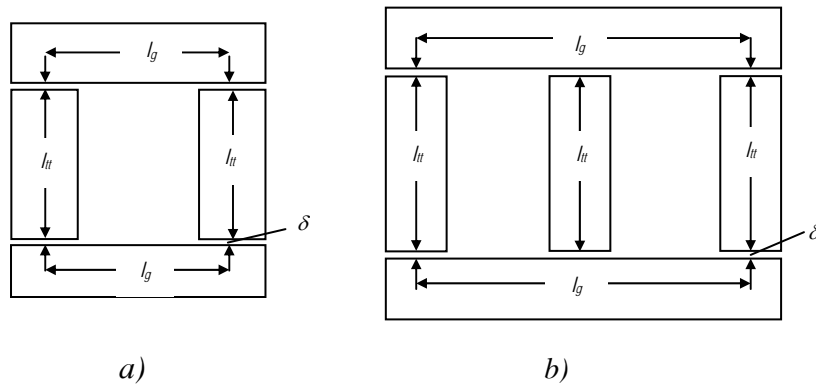
trong đó:

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

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

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

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



Hình 9-17. Mạch từ của m.b.a một pha (a) và ba pha (b)

Đối với m.b.a ba pha ba trụ, do mạch từ không đối xứng (hình 9-17b) nên s.t.đ. phải tính theo trị số trung bình:

Nếu ghép các lá thép xen kẽ theo hình 8-7 thì ở hai pha thuộc hai trụ ngoài cùng:

$$F' = H_t l_t + H_g l_g + n_k \frac{B_t}{\mu_0} \delta \quad (9-7a)$$

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

$$F'' = H_t l_t + n_k \frac{B_t}{\mu_0} \delta \quad (9-7b)$$

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

$$F = \frac{2F' + F''}{3} = H_t l_t + \frac{2}{3} H_g l_g + n_k \frac{B_t}{\mu_0} \delta \quad (9-8)$$

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

Biểu thức (9-8) cũng dùng để tính toán cho cả trường hợp lõi thép ghép nối (hình 9-17b) nhưng trong đó  $n_k = 2$ .

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

$$I_{0.x} = \frac{F}{\sqrt{2} \cdot w} \quad (9-9)$$



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

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

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

Công suất phản kháng cho một đơn vị thể tích là:

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

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

$$Q = Q' \cdot V = \frac{Q' \cdot G}{\gamma} = \frac{\pi f \cdot BH}{\gamma} \cdot G = q_t \cdot G \quad (9-10)$$

trong đó:

$\gamma$  - trọng lượng riêng của thép.

$$q_t = \frac{\pi f \cdot BH}{\gamma} = \frac{\pi f \cdot B^2}{\mu_0 \gamma} - \text{công suất phản kháng trên một đơn vị trọng lượng của thép,}$$

gọi là suất từ hoá.

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

$$Q = q_n \delta \cdot S = n_k \cdot q_\delta \cdot S \quad (9-11)$$

trong đó:

S - diện tích của khe hở không khí,

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

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

$q_\delta = q \cdot \delta$  - công suất phản kháng trên một đơn vị diện tích khe hở.

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

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

$$Q_0 = mU_1 I_{0x}$$

do đó dòng điện phản kháng:

$$I_{0x} = \frac{Q_0}{mU_1} = \frac{q_{t.t} G_t + q_{t.g} G_g + n q_\delta S}{mU_1} \quad (9-12)$$

trong đó:

$q_{t.t}$  và  $q_{t.g}$  - suất từ hoá trong trụ và gông;

$G_t$  và  $G_g$  - trọng lượng trụ và gông.

Cuối cùng dòng điện từ hoá toàn phần:

$$I_0 = \sqrt{I_{0r}^2 + I_{0x}^2} \quad (9-13)$$

Dòng điện  $I_0$  trong m.b.a điện lực thường rất nhỏ, lúc điện áp định mức, trị số phần trăm của nó so với dòng điện định mức thường vào khoảng  $2 \div 10$ , trong đó trị số sau dùng cho m.b.a dung lượng bé.

$$I_0 \% = \frac{I_0}{I_{dm}} \cdot 100 \quad (9-14)$$

### Câu hỏi

1. Tổ nối dây của m.b.a là gì? Tại sao phải xác định tổ nối dây của m.b.a?
2. Vẽ sơ đồ nối dây của các m.b.a ứng với các tổ nối dây Y/Y-2, 4, 8, 10 và Y/ $\Delta$ -1, 3 7, 9.
3. Dòng điện từ hoá của m.b.a lớn hay bé, nó phụ thuộc vào những yếu tố nào?
4. Kết cấu mạch từ khác nhau và cách đấu dây quấn khác nhau ảnh hưởng như thế nào đối với dòng điện và điện áp lúc không tải của m.b.a ba pha?
5. Tính toán mạch từ m.b.a nhằm mục đích gì? Các phương pháp tính?

## CHƯƠNG 10

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

Trong điều kiện làm việc bình thường của lưới điện, ta có thể phân phối tải đều cho ba pha, lúc đó m.b.a làm việc với điện áp đối xứng và dòng điện ở các pha bằng nhau. Trong chương này chúng ta nghiên cứu sự làm việc của m.b.a khi tải đối xứng, sự cân bằng năng lượng trong m.b.a và các đặc tính của m.b.a khi mang tải. Vì tải đối xứng, ta có thể xét riêng đối với một pha.

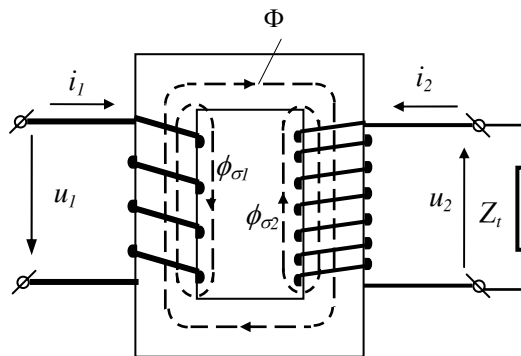
#### 10-1. CÁC PHƯƠNG TRÌNH CƠ BẢN CỦA M.B.A

Để thấy rõ quá trình năng lượng trong m.b.a, ta hãy xét các quan hệ điện từ trong máy. Mọi vấn đề đều được xét trên một pha của m.b.a ba pha hoặc trên m.b.a một pha.

##### 10.1.1. Phương trình cân bằng s.d.đ

Ta xét máy biến áp một pha hai dây quấn như hình 10-1.

Khi đặt vào dây quấn sơ cấp một điện áp xoay chiều  $u_1$ , trong nó có dòng điện  $i_1$  chạy qua. Nếu phía thứ cấp có tải, trong dây quấn thứ cấp có dòng điện  $i_2$  chạy qua. Các dòng điện  $i_1$  và  $i_2$  sẽ tạo nên các sức từ động (s.t.đ) sơ cấp  $i_1 w_1$  và s.t.đ. thứ cấp  $i_2 w_2$ . Phần lớn từ thông do  $i_1 w_1$  và  $i_2 w_2$  sinh ra khép mạch qua lõi thép và móc vòng qua cả hai dây quấn sơ cấp và thứ cấp, gọi là từ thông chính  $\Phi$ . Từ thông chính  $\Phi$  gây nên trong các dây quấn sơ và thứ cấp các s.d.đ. chính  $e_1$  và  $e_2$  như đã biết ở trên (mục 8-2):



Hình 10-1. Máy biến áp một pha làm việc có tải

$$e_1 = -w_1 \frac{d\phi}{dt} = \frac{-d\psi_1}{dt} \quad (10-1a)$$

$$e_2 = -w_2 \frac{d\phi}{dt} = \frac{-d\psi_2}{dt} \quad (10-1b)$$

trong đó  $\psi_1 = w_1 \cdot \Phi_1$  và  $\psi_2 = w_2 \cdot \Phi_2$  là tổng từ thông móc vòng với cuộn dây sơ cấp và cuộn dây thứ cấp.

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

Các từ thông tản  $\Phi_{\sigma 1}$  và  $\Phi_{\sigma 2}$  cũng gây nên các s.d.đ. tản tương ứng:

$$e_{\sigma_1} = -w_1 \frac{d\phi_{\sigma_1}}{dt} = -\frac{d\psi_{\sigma_1}}{dt} \quad (10-2a)$$

$$e_{\sigma_2} = -w_2 \frac{d\phi_{\sigma_2}}{dt} = -\frac{d\psi_{\sigma_2}}{dt} \quad (10-2b)$$

trong đó  $\psi_{\sigma_1} = w_1 \Phi_{\sigma_1}$  và  $\psi_{\sigma_2} = w_2 \Phi_{\sigma_2}$  là tổng từ thông tản móc vòng với dây quấn sơ cấp và thứ cấp.

Vì các từ thông tản chủ yếu đi qua môi trường không từ tính (như dầu, không khí, đồng,...) có độ từ thẩm  $\mu = C^e$  nên có thể coi  $\psi_{\sigma_1}$  và  $\psi_{\sigma_2}$  tỉ lệ với các dòng điện tương ứng sinh ra chúng qua các hệ số điện cảm  $L_{\sigma_1}$  và  $L_{\sigma_2}$  là những hằng số:

$$\psi_{\sigma_1} = L_{\sigma_1} i_1 \quad (10-3a)$$

$$\psi_{\sigma_2} = L_{\sigma_2} i_2 \quad (10-3b)$$

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

$$e_{\sigma_1} = -L_{\sigma_1} \frac{di_1}{dt} \quad (10-4a)$$

$$e_{\sigma_2} = -L_{\sigma_2} \frac{di_2}{dt} \quad (10-4b)$$

Theo định luật Kirkhoff 2 ta có phương trình cân bằng s.đ.đ. của dây quấn sơ cấp:

$$u_1 + e_1 + e_{\sigma_1} = i_1 r_1 \quad (10-5)$$

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

Phương trình (10-5) còn có thể viết dưới dạng:

$$u_1 = -e_1 - e_{\sigma_1} + i_1 r_1 \quad (10-6)$$

Đối với dây quấn thứ cấp ta có:

$$e_2 + e_{\sigma_2} = u_2 + i_2 r_2 \quad (10-7)$$

hay

$$u_2 = e_2 + e_{\sigma_2} - i_2 r_2 \quad (10-8)$$

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

Để thấy rõ sự liên hệ giữa các dây quấn sơ cấp và thứ cấp, ta cũng có thể biểu thị các phương trình cân bằng s.đ.đ. (10-6) và (10-8) dưới dạng khác. Như đã trình bày ở trên,  $\psi_1$  và  $\psi_2$  là những từ thông móc vòng với các dây quấn tương ứng khép mạch qua lõi thép do tác dụng đồng thời của các dòng điện  $i_1$  và  $i_2$  sinh ra nên ta có thể viết:

$$\psi_1 = L_{11} i_1 + L_{12} i_2 \quad (10-9a)$$

$$\psi_2 = L_{21} i_1 + L_{22} i_2 \quad (10-9b)$$

trong đó:

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

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

Vì sự liên hệ về từ nói trên được thực hiện qua lõi thép là môi trường sắt từ có độ từ thẩm  $\mu_{Fe}$  không phải là hằng số nên các hệ số  $L_{11}$  và  $L_{22}$  và  $M$  không phải là những hằng số mà phụ thuộc vào độ bão hòa từ của lõi thép.

Thay (10-9a,b) và (10-3a,b) vào các phương trình (10-6) và (10-8) ta được:

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

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

trong đó:

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

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

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

Khi điện áp, s.đ.đ, dòng điện là những lượng xoay chiều biến thiên theo quy luật hình sin theo thời gian thì các phương trình cân bằng s.đ.đ. (10-6) và (10-8) ở trên có thể viết dưới dạng số phức như sau:

Với dây quấn sơ cấp:

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 - \dot{E}_{\sigma 1} + \dot{I}_1 r_1 \quad (10-11a)$$

Với dây quấn thứ cấp:

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 + \dot{E}_{\sigma 2} - \dot{I}_2 r_2 \quad (10-11b)$$

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

$$\begin{aligned} e_{\sigma 1} &= -L_{\sigma 1} \frac{di_1}{dt} = -L_{\sigma 1} \frac{dI_{1m} \sin \omega t}{dt} = -I_{1m} \omega L_{\sigma 1} \cos \omega t \\ &= \sqrt{2} I_{1x_1} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) = \sqrt{2} E_{\sigma 1} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \end{aligned}$$

nghĩa là s.đ.đ.  $e_{\sigma 1}$  cũng biến thiên hình sin theo thời gian và chậm pha so với dòng điện  $i_1$  sinh ra nó một góc  $90^\circ$ . Ta có thể viết s.đ.đ. tản sơ cấp dưới dạng phức số như sau:

$$\dot{E}_{\sigma 1} = -j \dot{I}_1 x_1 \quad (10-12)$$

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

Tương tự như vậy, biểu thức của s.đ.đ. tản của dây quấn thứ cấp:

$$\dot{E}_{\sigma 2} = -j \dot{I}_2 x_2 \quad (10-13)$$

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

Thay các giá trị của  $\dot{E}_{\sigma 1}$  và  $\dot{E}_{\sigma 2}$  vào các biểu thức (10-11a,b) ta được phương trình cân bằng s.đ.đ. cho các mạch sơ cấp và thứ cấp viết dưới dạng số phức:

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + j \dot{I}_1 x_1 + \dot{I}_1 r_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 (r_1 + jx_1) = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 Z_1. \quad (10-14a)$$

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - j \dot{I}_2 x_2 - \dot{I}_2 r_2 = \dot{E}_2 - \dot{I}_2 (r_2 + jx_2) = \dot{E}_2 - \dot{I}_2 Z_2. \quad (10-14b)$$

trong đó:  $Z_1 = r_1 + jx_1$  và  $Z_2 = r_2 + jx_2$  là tổng trở của dây quấn sơ cấp và thứ cấp. Các thành phần  $\dot{I}_1 Z_1$  và  $\dot{I}_2 Z_2$  gọi là các điện áp rơi trên dây quấn sơ cấp và thứ cấp.

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

Như trên ta đã thấy, khi m.b.a có tải, từ thông chính trong m.b.a là do s.t.đ tổng ( $i_1 w_1 + i_2 w_2$ ) của các dây quấn sơ cấp và thứ cấp sinh ra.

Khi m.b.a không tải (hở mạch thứ cấp), dòng điện trong dây quấn sơ cấp là  $i_0$ , từ thông chính trong lõi thép chỉ do s.t.đ.  $i_0 w_1$  sinh ra. Nếu bỏ qua điện áp rơi trong m.b.a, ta có thể xem điện áp đặt vào dây quấn sơ cấp bằng s.d.đ. cảm ứng trong nó do từ thông chính gây nên:  $U_1 \approx E_1 = 4,44 f w_1 \Phi_m$ . Nhưng điện áp  $U_1$  đặt vào thường được giữ không đổi và bằng định mức dù m.b.a có tải hay không, nên s.d.đ.  $E_1$  và do đó từ thông  $\Phi_m$  cũng luôn luôn có giá trị không đổi. Như vậy s.t.đ. tổng ( $i_1 w_1 + i_2 w_2$ ) sinh ra  $\Phi_m$  lúc có tải phải bằng s.t.đ.  $i_0 w_1$  lúc không tải để bảo đảm cùng sinh ra được một từ thông chính  $\Phi_m$ . Từ đó ta có phương trình cân bằng s.t.đ:

$$i_1 w_1 + i_2 w_2 = i_0 w_1 \quad (10-15)$$

Khi dòng điện biến thiên hình sin theo thời gian thì ta có thể viết phương trình cân bằng s.t.đ. dưới dạng phức số như sau:

$$\dot{I}_1 w_1 + \dot{I}_2 w_2 = \dot{I}_0 w_1 \quad (10-16)$$

Chia hai vế cho  $w_1$  ta có:

$$\dot{I}_1 + \dot{I}_2 \frac{w_2}{w_1} = \dot{I}_0$$

hay

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

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}'_2) \quad (10-17)$$

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

Từ biểu thức (10-17) ta thấy, khi m.b.a có tải dòng điện trong dây quấn sơ cấp  $\dot{I}_1$  gồm hai thành phần: một thành phần là  $\dot{I}_0$  dùng để tạo từ thông chính trong lõi thép và một thành phần là  $(-\dot{I}'_2)$  dùng để bù lại tác dụng của dòng điện thứ cấp. Do đó khi tải tăng lên, tức dòng điện thứ cấp  $\dot{I}_2$  tăng thì thành phần  $(-\dot{I}'_2)$  cũng tăng lên để giữ cho dòng điện  $\dot{I}_0$  đảm bảo sinh ra từ thông trong máy hầu như không đổi. Chính vì thế dây quấn sơ cấp nhận thêm năng lượng từ lưới để truyền sang dây quấn thứ cấp, cung cấp cho tải.

## 10-2. MẠCH ĐIỆN THAY THẾ VÀ ĐỒ THỊ VÉCTƠ CỦA M.B.A

### 10.2.1. Mạch điện thay thế của m.b.a

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

việc tính toán đối với bản thân m.b.a cũng như đối với toàn bộ lưới điện, người ta thay các mạch điện và mạch từ của m.b.a bằng một mạch điện tương đương gồm các điện trở và điện kháng đặc trưng cho m.b.a gọi là mạch điện thay thế của m.b.a.

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

### a. Quy đổi máy biến áp

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

#### \* S.đ.đ. và điện áp thứ cấp qui đổi $E'_2$ và $U'_2$

Do qui đổi dây quấn thứ cấp về dây quấn sơ cấp  $w_2 = w_1$  nên s.đ.đ. thứ cấp qui đổi lúc này đúng bằng s.đ.đ. sơ cấp:

$$E'_2 = E_1$$

Ta đã biết:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} \quad \text{nên} \quad E_1 = \frac{w_1}{w_2} E_2$$

do đó: 
$$E'_2 = \frac{w_1}{w_2} E_2 = k E_2 \quad (10-18)$$

với  $k = \frac{w_1}{w_2}$  gọi là hệ số qui đổi thứ cấp về sơ cấp.

Tương tự, điện áp thứ cấp qui đổi:

$$U'_2 = k U_2 \quad (10-19)$$

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

#### \* Dòng điện thứ cấp qui đổi $I'_2$

Việc qui đổi phải đảm bảo công suất thứ cấp trước và sau qui đổi không thay đổi, nghĩa là:

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

Do đó dòng điện thứ cấp qui đổi là:

$$I'_2 = I_2 \frac{E_2}{E'_2} = \frac{1}{k} I_2 \quad (10-20)$$

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

**\* Điện trở, điện kháng và tổng trở thứ cấp qui đổi ( $r'_2, x'_2, \text{ và } z'_2$ )**

Vì khi qui đổi công suất không thay đổi nên tổn hao đồng ở dây quấn thứ cấp trước và sau khi qui đổi phải bằng nhau:

$$I_2^2 r_2 = I_2'^2 r_2'$$

do đó điện trở thứ cấp qui đổi:

$$r_2' = r_2 \frac{I_2^2}{I_2'^2} = k^2 r_2 \quad (10-21a)$$

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

Tương tự ta có điện kháng thứ cấp qui đổi:

$$x_2' = k^2 x_2 \quad (10-21b)$$

Tổng trở thứ cấp qui đổi:

$$Z_2' = r_2' + jx_2' = k^2 (r_2 + jx_2) = k^2 Z_2 \quad (10-21c)$$

Đối với tải ở mạch thứ cấp ta cũng có:

$$Z_t' = k^2 Z_t \quad (10-21d)$$

trong đó  $Z_t = r_t + jx_t$  là tổng trở tải trước khi qui đổi.

**\* Các phương trình qui đổi**

Thay các đại lượng qui đổi vào các phương trình cân bằng s.đ.đ. và phương trình cân bằng s.t.đ. ta được hệ thống các phương trình đó ở dạng qui đổi như sau:

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 Z_1 \quad (10-22)$$

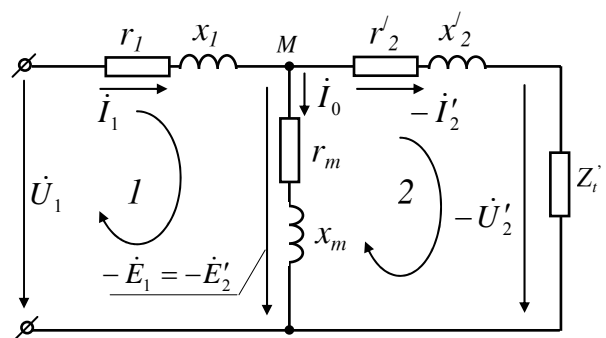
$$\dot{U}_2' = \dot{E}_2' - \dot{I}_2' Z_2' \quad (10-23)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}_2') \quad (10-24)$$

Từ đây việc nghiên cứu m.b.a chủ yếu dựa trên các phương trình sau qui đổi.

**b. Mạch điện thay thế của m.b.a**

Dựa vào các phương trình s.đ.đ. và s.t.đ. dưới dạng đã qui đổi ta có thể suy ra một mạch điện tương ứng gọi là mạch điện thay thế của m.b.a như ở hình 10-2. Rõ ràng là các phương trình kirkhoff 2 viết cho các mạch vòng 1 và 2 và phương trình kirkhoff 1 viết cho nút M của mạch điện đó hoàn toàn phù hợp với các phương trình cân bằng điện áp và cân bằng s.t.đ. đã thành lập ở trên.



Hình 10-2  
Mạch điện thay thế hình T của m.b.a



Trong mạch điện thay thế nói trên, tổng trở  $Z_m$  được suy ra như sau: vì từ thông chính  $\Phi$  được xem như dòng điện  $i_0$  sinh ra nên các từ thông móc vòng  $\Psi_1$  và  $\Psi_2$  trong các biểu thức (10-1a,b) có thể viết dưới dạng:

$$\Psi_2 = Mi_0 \quad \text{và} \quad \Psi_1 = kMi_0$$

do đó:

$$e_1 = -kM \frac{di_0}{dt} \quad \text{và} \quad e_2 = -M \frac{di_0}{dt}$$

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

$$\dot{E}_1 = \dot{E}_2 = -j\omega kMI_0 = -jI_0 x_m \quad (10-25)$$

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

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

$$r_m = \frac{P_{Fe}}{I_0^2} \quad (10-26)$$

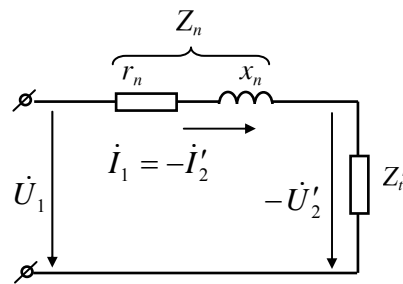
Cuối cùng ta có:

$$\dot{E}_1 = \dot{E}_2 = \dot{I}_0 (r_m + jx_m) \quad (10-27)$$

Như vậy ta đã thay thế m.b.a thực gồm các mạch điện sơ cấp, thứ cấp riêng biệt và mạch từ của nó bằng một mạch điện thống nhất. Từ đó m.b.a được xem như một mạng 4 cực hình T có ba nhánh: hai nhánh sơ cấp và thứ cấp có tổng trở  $Z_1 = r_1 + jx_1$  và  $Z_2 = r_2 + jx_2$  biểu thị điện trở và điện kháng của từng dây quấn tương ứng, các dòng điện chạy trong chúng là  $I_1$  và  $(-I_2')$ , nhánh thứ ba có tổng trở  $Z_m = r_m + jx_m$  còn gọi là nhánh từ hoá có dòng điện  $I_0$  chạy qua, biểu thị các hiện tượng trong lõi thép và sự liên hệ giữa các dây quấn sơ cấp và thứ cấp.

**c. Mạch điện thay thế đơn giản**

Trong thực tế thường  $Z_m \gg Z_1$  và  $Z_2$  (thường  $Z_{m*} = 10 \div 50$ ;  $Z_{1*} \approx Z_{2*} = 0,025 \div 0,01$ ) nên trong nhiều trường hợp có thể xem  $Z_m = \infty$ , nghĩa là coi  $I_0 = 0$ , do đó  $I_1 = -I_2'$ . Như vậy m.b.a có thể thay bằng một mạch điện rất đơn giản như ở hình 10-3 với một tổng trở đẳng trị của mạch sơ cấp và thứ cấp gọi là tổng trở ngắn mạch của m.b.a. Tổng trở này đúng bằng tổng trở m.b.a khi ngắn mạch dây quấn thứ cấp và có thể xác định được từ thí nghiệm ngắn mạch m.b.a.



Hình 10-3. Mạch điện thay thế đơn giản của m.b.a

$$Z_n = r_n + jx_n$$

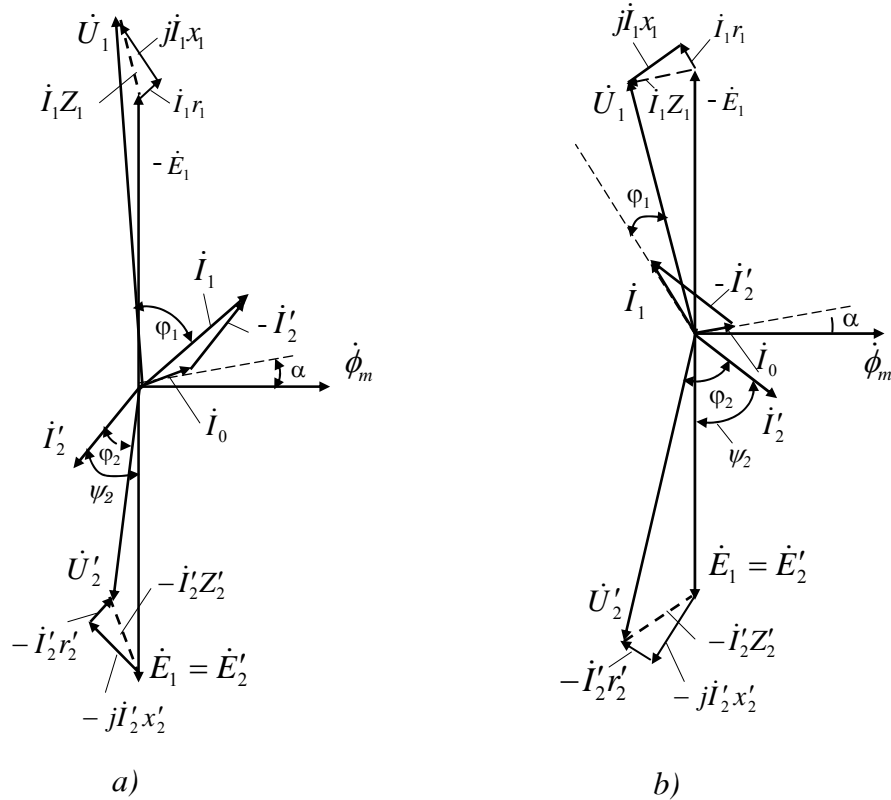
với  $r_n = r_1 + r_2$

và  $x_n = x_1 + x_2$

Sở dĩ có tên như vậy là vì tổng trở đẳng trị trên đúng bằng tổng trở khi ngắn mạch thứ cấp m.b.a ( $U_2 = 0$ ), nó có thể xác định được từ thí nghiệm ngắn mạch (xem § 10-3).

### 10.2.2. Đồ thị véc tơ của m.b.a

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



Hình 10-4. Đồ thị véc tơ của m.b.a lúc tải có tính chất cảm (a) và lúc tải có tính chất dung (b).

Đồ thị véc tơ được vẽ dựa vào các phương trình cân bằng s.đ.đ. và s.t.đ. (10-22) ÷ (10-24). Đặt vectơ từ thông  $\dot{\Phi}_m$  theo chiều dương của trục hoành, dòng điện không tải  $\dot{I}_0$  sinh ra  $\dot{\Phi}_m$  vượt trước một góc  $\alpha$ . Các vectơ s.đ.đ.  $\dot{E}_1$  và  $\dot{E}'_2 = \dot{E}_1$  do  $\dot{\Phi}_m$  sinh ra chậm sau nó một góc  $90^\circ$ . Khi tải có tính chất điện cảm, dòng điện  $\dot{I}'_2$  chậm pha sau  $\dot{E}'_2$  một góc  $\Psi_2$  quyết định bởi điện trở và điện kháng của tải và dây quấn m.b.a:

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

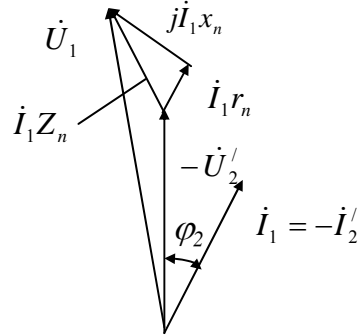
Theo phương trình (10-24) ta có vectơ dòng điện  $\dot{I}_1$  bằng tổng các vectơ dòng điện  $\dot{I}_0$  và  $(-\dot{I}'_2)$ . Theo phương trình (10-23), vectơ điện áp  $\dot{U}'_2$  bằng tổng các vectơ  $\dot{E}'_2$  với s.đ.đ. tải  $\dot{E}'_{\sigma 2} = -j\dot{I}'_2 x'_2$  và điện áp rơi  $-\dot{I}'_2 r'_2$ . Trong trường hợp này  $\dot{I}'_2$  chậm sau  $\dot{U}'_2$  một góc  $\varphi_2$  và trị số  $U_2 < E_2$  (hình 10-4a). Theo phương trình (10-22), véc tơ  $\dot{U}_1$  bằng tổng các véc tơ  $-\dot{E}_1$ ;  $j\dot{I}_1 x_1$  và  $\dot{I}_1 r_1$ . Góc lệch pha giữa  $\dot{U}_1$  và  $\dot{I}_1$  là  $\varphi_1$ .

Lúc tải có tính chất điện dung, cách vẽ đồ thị véc tơ cũng tương tự như trên nhưng cần chú ý rằng trong trường hợp này dòng điện  $\dot{I}'_2$  sớm pha hơn  $\dot{E}'_2$  một góc  $\psi_2$ . Kết

quả  $I'_2$  vượt trước  $U'_2$  một góc  $\varphi_2$  và  $U_2 > E_2$ . Đồ thị vectơ lúc tải có tính chất điện dung vẽ trên hình 10-4b.

Cần chú ý rằng, để dễ quan sát, các véc tơ điện áp rơi được vẽ với tỷ lệ xích lớn hơn rất nhiều so với thực tế.

Đồ thị vectơ tương ứng với mạch điện thay thế đơn giản của m.b.a được trình bày như ở hình 10-5, trong đó  $I_0 = 0$ . Để dễ thấy quan hệ giữa các điện áp sơ cấp, thứ cấp và điện áp rơi trong m.b.a, ta vẽ véc tơ  $-U'_2$  và  $-I'_2$ , tức là các véc tơ  $U'_2$  và  $I'_2$  đã quay đi  $180^\circ$ .



Hình 10-5. Đồ thị véc tơ của m.b.a ứng với giản đồ thay thế đơn giản lúc tải có tính chất điện cảm

Lúc này ta có:

$$U_1 = -U'_2 + I_1 Z_n$$

$$U_1 = -U'_2 + I_1 r_n + jI_1 x_n$$

### 10-3. XÁC ĐỊNH CÁC THAM SỐ CỦA M.B.A

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

#### 10.3.1. Phương pháp xác định các tham số bằng thí nghiệm

Hai thí nghiệm để xác định các tham số của m.b.a là thí nghiệm không tải và thí nghiệm ngắn mạch.

##### 1. Thí nghiệm không tải

Sơ đồ thí nghiệm được bố trí như hình 10-6a.

Đặt điện áp xoay chiều  $U_1 = U_{dm}$  vào dây quấn sơ cấp, dây quấn thứ cấp để hở mạch. Nhờ các đồng hồ Ampemet, Oátmet, Vônmet ta đo được dòng điện  $I_0$ , công suất  $P_0$ , điện áp sơ cấp  $U_1$  và thứ cấp  $U_{20}$  khi không tải. Từ các số liệu thí nghiệm ta tính được tổng trở, điện trở và điện kháng của máy biến áp khi không tải:

$$z_0 = \frac{U_1}{I_0} \quad ; \quad r_0 = \frac{P_0}{I_0^2} \quad ; \quad x_0 = \sqrt{z_0^2 - r_0^2} \quad (10-28)$$

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

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

$$k = \frac{W_1}{W_2} \approx \frac{U_1}{U_{20}} \quad (10-29)$$

và hệ số công suất lúc không tải:

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_1 I_0} \quad (10-30)$$

Khi không tải,  $I_2 = 0$ , mạch điện thay thế của m.b.a có dạng trên hình 10-6b, do đó các tham số không tải  $z_0$ ,  $r_0$  và  $x_0$  chính là:

$$z_0 = |z_1 + z_m| ; r_0 = r_1 + r_m \text{ và } x_0 = x_1 + x_m \quad (10-31)$$

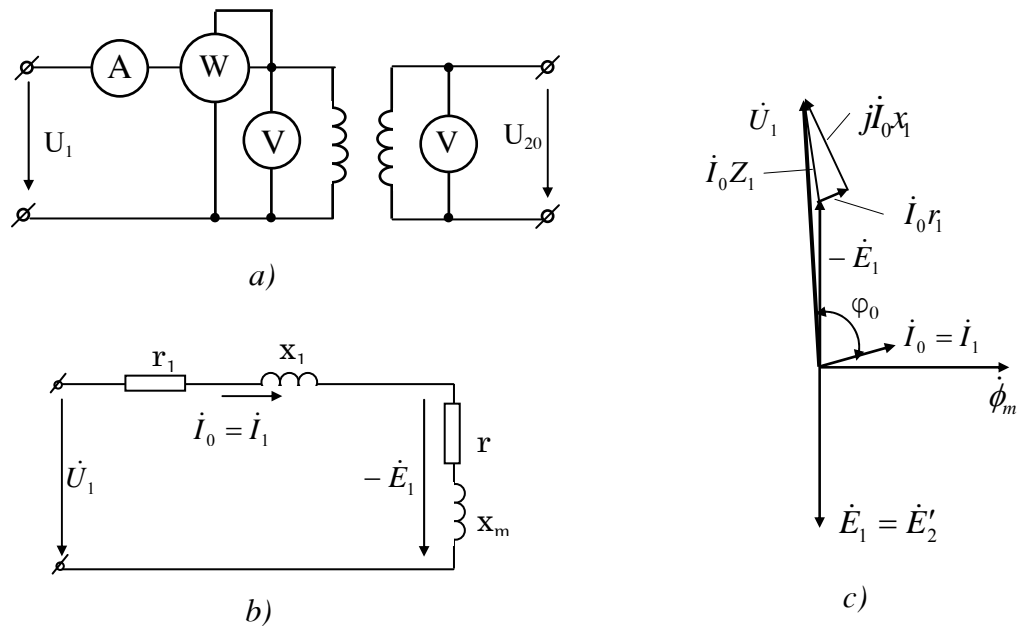
Trong các m.b.a điện lực, thường  $r_1 \ll r_m$  và  $x_1 \ll x_m$  nên có thể coi:

$$r_0 \approx r_m ; x_0 \approx x_m \text{ và } z_0 \approx z_m.$$

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

$$P_0 = p_{Fe} \quad (10-32)$$

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



Hình 10-6: a) Sơ đồ thí nghiệm không tải của m.b.a một pha; b) mạch điện thay thế; c) Đồ thị véc tơ của m.b.a lúc không tải

Khi không tải, ta có các phương trình:

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_0 z_1 = -\dot{E}_1 + (r_1 + jx_1) \cdot \dot{I}_1 \quad (10-33)$$

$$\dot{U}'_{20} = \dot{E}'_2 \quad (10-34)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 \quad (10-35)$$

Đồ thị véc tơ tương ứng ở hình 10-6c. Từ đồ thị véc tơ ta thấy lúc m.b.a không tải góc lệch pha giữa  $\dot{U}_1$  và  $\dot{I}_0$  là  $\varphi_0 \approx 90^\circ$ , nghĩa là  $\cos\varphi_0$  rất thấp, thường  $\cos\varphi_0 \leq 0,1$ . Điều này có ý nghĩa thực tế lớn là trong vận hành không nên để m.b.a làm việc không tải hoặc non tải, khi đó sẽ làm xấu hệ số công suất của lưới điện.

## 2. Thí nghiệm ngắn mạch

Sơ đồ thí nghiệm như hình 10-7, trong đó dây quấn thứ cấp bị nối ngắn mạch và điện áp đặt vào dây quấn sơ cấp phải được giảm thấp đến trị số  $U_n$  sao cho dòng điện trong đó bằng dòng điện định mức.

Từ các số liệu đo được  $P_n, U_n, I_n$  ta xác định được các tham số ngắn mạch của m.b.a:

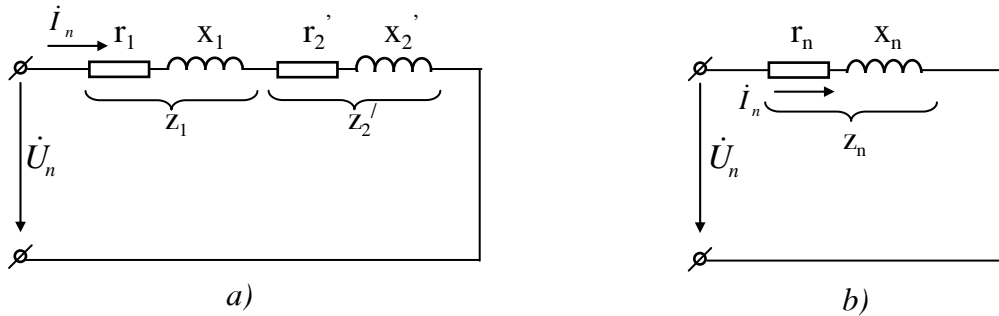
$$z_n = \frac{U_n}{I_n}; r_n = \frac{P_n}{I_n^2} \text{ và } x_n = \sqrt{z_n^2 - r_n^2} \quad (10-36)$$

Vì lúc thí nghiệm ngắn mạch, điện áp  $U_n$  đặt vào rất bé nên từ thông chính và do đó dòng điện từ hoá cũng rất bé.

Vì vậy mạch điện thay thế của m.b.a có thể xem như hở mạch nhánh từ hoá và chỉ còn lại một mạch điện gồm hai tổng trở sơ cấp và thứ cấp nối tiếp nhau (hình 10-8a), hay đơn giản hơn ta thay bằng một tổng trở đẳng trị (hình 10-8b) gọi là tổng trở ngắn mạch của m.b.a.

$$z_n = z_1 + z_2'; r_n = r_1 + r_2' \text{ và } x_n = x_1 + x_2' \quad (10-37)$$

Thường  $z_{1*} = z_{2*' } = 0,025 \div 0,10$ .



Hình 10-8  
Mạch điện thay thế m.b.a lúc ngắn mạch

Vì  $I_0$  rất bé nên có thể coi công suất lúc ngắn mạch chỉ để bù vào tổn hao đồng trong các dây quấn sơ cấp và thứ cấp của m.b.a:

$$P_n = p_{Cu1} + p_{Cu2} = I_{1n}^2 r_1 + I_{2n}'^2 r_2' = I_{1n}^2 (r_1 + r_2') = I_{1n}^2 r_n \quad (10-38)$$

Từ mạch điện thay thế lúc ngắn mạch (hình 10-8b) ta thấy rõ, điện áp đặt vào lúc ngắn mạch hoàn toàn cân bằng với điện áp rơi trong m.b.a, hay nói cách khác, điện áp ngắn mạch gồm hai thành phần:

Thành phần tác dụng là điện áp rơi trên điện trở của m.b.a:

$$U_n = I_n r_n \quad (10-39)$$

và thành phần phản kháng là điện áp rơi trên điện kháng của m.b.a:

$$U_{nx} = I_n x_n \quad (10-40)$$

Đồ thị véc tơ của m.b.a lúc ngắn mạch với  $I_n = I_{dm}$  vẽ ở hình 10-9a và b. Tam giác OAB gọi là tam giác điện áp ngắn mạch. Cạnh huyền biểu thị điện áp ngắn mạch toàn phần  $U_n$ , các cạnh góc vuông chính là các điện áp rơi trên điện trở và điện kháng:

$$U_{nr} = U_n \cos \varphi_n \text{ và } U_{nx} = U_n \sin \varphi_n$$

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

Như vậy điện áp ngắn mạch có thể xem như một đại lượng đặc trưng cho điện trở và điện kháng tản của m.b.a.

Trong các m.b.a lực, điện áp ngắn mạch được ghi trên nhãn hiệu của máy theo tỷ lệ phần trăm so với điện áp định mức.

$$u_n \% = \frac{U_n}{U_{dm}} 100 = \frac{I_{dm} z_n}{U_{dm}} 100$$

(10-41)

và các thành phần điện áp ngắn mạch là:

$$u_{nr} \% = \frac{U_{nr}}{U_{dm}} 100 = \frac{I_{dm} r_n}{U_{dm}} 100$$

(10-42)

$$u_{nx} \% = \frac{U_{nx}}{U_{dm}} 100 = \frac{I_{dm} x_n}{U_{dm}} 100$$

(10-43)

Thành phần điện áp ngắn mạch tác dụng còn được tính như sau:

$$u_{nr} \% = \frac{I_{dm} r_n I_{dm}}{U_{dm} I_{dm}} 100 = \frac{I_{dm}^2 r_n}{S_{dm}} 100 = \frac{P_n (W)}{10 S_{dm} (kVA)}$$

(10-44)

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

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

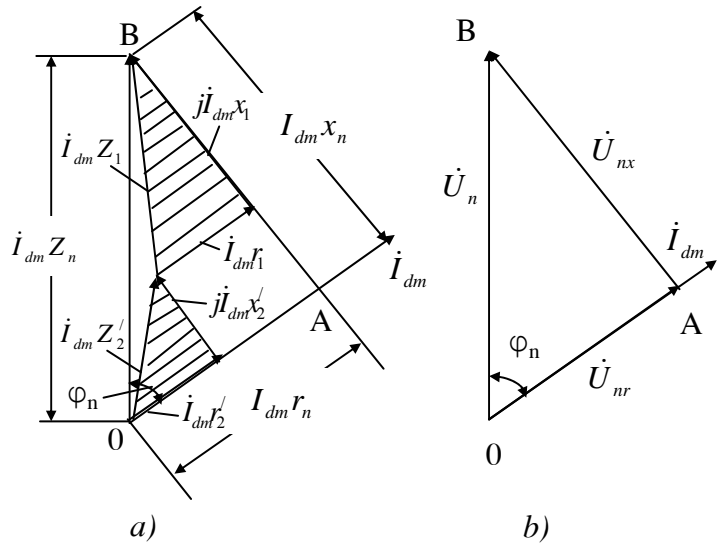
$$I_n = \frac{U_{dm}}{z_n}$$

(10-45)

hay 
$$I_n = \frac{U_{dm}}{z_n \frac{I_{dm}}{I_{dm}} 100} 100 = \frac{I_{dm}}{z_n \frac{I_{dm}}{U_{dm}} 100} 100 = \frac{I_{dm}}{u_n \%} 100$$

(10-46)

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



Hình 10-9. Đồ thị véc tơ của m.b.a ngắn mạch (a) và tam giác điện áp ngắn mạch (b)

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

Dòng điện ngắn mạch lớn sẽ gây nên sự cố hư hỏng m.b.a. Do đó trong thực tế vận hành, các m.b.a cần phải được bố trí những thiết bị bảo vệ rơ le để tự động cắt phân sự cố ra khỏi lưới điện.

### 10.3.2. Xác định tham số bằng tính toán

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

Điện trở từ hoá  $r_m$  có thể xác định theo biểu thức (10-26) trong đó  $p_{Fe}$  xác định theo biểu thức (9-3) và  $I_0$  xác định theo (9-13) (xem mục 9.2.3).

Điện kháng từ hoá  $x_m$  xác định đúng theo biểu thức:

$$x_m = \frac{E_1}{I_{0x}} \quad (10-47)$$

trong đó  $I_{0x}$  tính theo biểu thức (9-13) hoặc (9-16).

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

**a. Điện trở ngắn mạch.** Các điện trở của dây quấn sơ cấp và thứ cấp có thể tính được nếu biết các số liệu của dây quấn như tiết diện dây dẫn  $S_1$  và  $S_2$ , số vòng dây  $w_1$  và  $w_2$  và chiều dài trung bình của các vòng dây  $l_{tb1}$  và  $l_{tb2}$ .

$$r_1 = k_r \rho_{75} \cdot \frac{w_1 \cdot l_{tb1}}{S_1}, \Omega \quad (10-48)$$

$$r_2 = k_r \rho_{75} \cdot \frac{w_2 \cdot l_{tb2}}{S_2}, \Omega \quad (10-49)$$

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

$$\rho_{75} = \frac{1}{47} \text{ là điện trở suất của đồng ở } 75^\circ\text{C, đối với nhôm } \rho_{75} = \frac{1}{29}$$

Điện trở ngắn mạch bằng:

$$r_n = r_1 + \left( \frac{w_1}{w_2} \right)^2 r_2 \quad (10-50)$$

**b. Điện kháng ngắn mạch.** Việc xác định  $x_1$  và  $x_2$  liên quan đến việc xác định sự phân bố từ trường tản của các dây quấn. Nhưng việc xác định chính xác sự phân bố từ trường tản này rất phức tạp, do đó  $x_1$  và  $x_2$  chỉ có thể tính toán gần đúng với những giả thiết đơn giản.

Lấy trường hợp của dây quấn hình trụ vẽ trên hình 10-10 làm ví dụ. Trước hết ta giả thiết  $i_1 w_1 = -i_2 w_2$  nghĩa là bỏ qua s.t.đ.  $i_0 w_1$  và quan niệm một cách lý tưởng rằng các đường sức của từ trường tản chạy song song với trục dây quấn (hình 10-10b) với chiều dài tính toán  $l_\sigma$  lớn hơn chiều dài thực của dây quấn  $l$  một ít, nghĩa là:

$$l_\sigma = \frac{l}{k_R} \quad (10-51)$$

trong đó  $k_R = 0,93 \div 0,98$  là hệ số quy đổi từ trường tản lý tưởng về từ trường tản thực tế, còn gọi là hệ số Rôgôvski (xem tài liệu thiết kế m.b.a).

Theo định luật toàn dòng điện:

$$\oint H dl = \Sigma wi$$

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

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

$$H_{x1} l_\sigma = \Sigma wi = w_1 i_1 \frac{x}{a_1}$$

do đó:

$$H_{x1} = \frac{w_1 i_1}{l_\sigma} \cdot \frac{x}{a_1} \quad (10-52)$$

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

$$H_{x2} l_\sigma = \Sigma wi = w_1 i_1$$

do đó:

$$H_{x2} = \frac{w_1 i_1}{l_\sigma} \quad (10-53)$$

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

$$H_{x3} l_\sigma = \Sigma wi = w_1 i_1 + w_2 i_2 \frac{x - (a_1 + a_{12})}{a_2} = w_1 i_1 - w_1 i_1 \frac{x - a_1 - a_{12}}{a_2}$$

do đó:

$$H_{x3} = \frac{w_1 i_1}{l_\sigma} \frac{a_1 + a_{12} + a_2 - x}{a_2} \quad (10-54)$$

Đồ thị biểu diễn sự phân bố cường độ từ trường theo x được vẽ như hình 10-10c.

Việc xác định chính xác biên giới phân chia từ trường tản của hai dây quấn rất khó khăn, do đó việc tính toán riêng lẻ các tham số  $x_1$  và  $x_2$  không thể thực hiện được. Song ta có thể xác định được điện kháng tổng  $x_1 + x_2$  với qui ước biên giới phân chia từ trường tản của hai ống dây sơ cấp và thứ cấp là đường chấm gạch ở chính khe hở  $a_{12}$  (hình 10-10b).

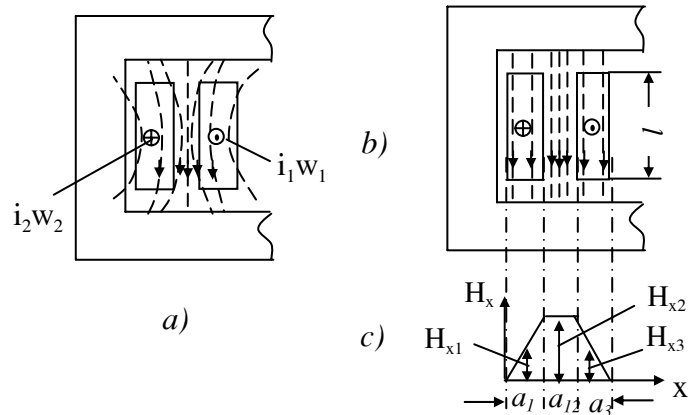
Coi đường kính trung bình của cả hai ống dây là  $D_{tb}$  và bỏ qua sự thay đổi của đường kính theo chiều x thì từ thông qua ống dây dày  $dx$  cách một khoảng x ở trong phạm vi  $a_1$  là:

$$d\Phi_1 = \mu_0 H_{x1} \pi D_{tb} dx$$

móc vòng với một số vòng dây là:

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

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



Hình 10-10. Từ trường tản của dây quấn hình trụ (a, b) và đường biểu diễn cường độ từ trường (c)



$$d\Phi_2 = \mu_0 H_{x_2} \pi D_{tb} dx$$

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

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

$$\begin{aligned} \Psi_1 &= \int_0^{a_1} \frac{x}{a_1} w_1 \mu_0 \frac{w_1 i_1}{l_\sigma} \frac{x_1}{a_1} \pi D_{tb} dx + \int_{a_1}^{a_1 + \frac{a_{12}}{2}} w_1 \mu_0 \frac{w_1 i_1}{l_\sigma} \pi D_{tb} dx \\ &= \frac{\mu_0 w_1^2 i_1 \pi D_{tb}}{l_\sigma} \left( \frac{a_1}{3} + \frac{a_{12}}{2} \right) \end{aligned} \quad (10-55)$$

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

$$\Psi_2 = \frac{\mu_0 w_1^2 i_1 \pi D_{tb}}{l_\sigma} \left( \frac{a_2}{3} + \frac{a_{12}}{2} \right) \quad (10-56)$$

Do đó điện kháng ngắn mạch bằng:

$$x_n = x_1 + x_2 = 2\pi f \frac{\Psi_1 + \Psi_2}{i_1} = 2\pi \mu_0 f w_1^2 \frac{\pi D_{tb} k_R}{l} \left( a_{12} + \frac{a_1 + a_2}{3} \right) \quad (10-57)$$

Biểu thức (10-57) cho thấy  $x_n$  phụ thuộc vào kích thước hình học  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_{12}$  và  $l_\sigma$ . Thông thường các kích thước này được chọn sao cho bảo đảm sự làm việc của m.b.a (về khoảng cách cách điện, làm lạnh, ...) và phí tổn về kim loại là ít nhất. Chiều cao của các dây quấn thường phải bằng nhau bởi vì nếu không sẽ làm tăng  $x_n$ , tăng tổn hao do từ trường tản và những lực cơ học tác dụng lên các dây quấn khi ngắn mạch.

### Thí dụ

Cho một m.b.a ba pha có các số liệu sau đây:  $S_{dm} = 5600$  kVA;  $U_1/U_2 = 35/6,6$  kV;  $I_1/I_2 = 92,5/490$  A;  $P_0 = 18,5$  kW;  $I_0\% = 4,5$ ;  $u_n\% = 7,5$ ;  $P_n = 57$  kW;  $f = 50$  Hz; tổ nối dây Y/ $\Delta$ -11.

Hãy xác định:

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

*Giải*

a) Điện áp pha sơ cấp:

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

Dòng điện pha không tải:

$$I_{0f} = 0,045I = 0,045 \times 92,5 = 4,16 \text{ A}$$

Các tham số không tải:

$$z_0 = \frac{U_{1f}}{I_{0f}} = \frac{20200}{4,16} \approx 4856 \text{ } \Omega$$

$$r_0 = \frac{P_0}{3I_{0f}^2} = \frac{18500}{3 \times 4,16^2} = 356 \quad \Omega$$

$$x_0 = \sqrt{z_0^2 - r_0^2} = \sqrt{4856^2 - 356^2} = 4700 \quad \Omega$$

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

$$U_{1n} = \frac{u_n \% \cdot U_{1f}}{100} = 0,075 \times 20200 = 1520 \text{ V}$$

Các tham số ngắn mạch:

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

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

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

Các thành phần của điện áp ngắn mạch:

$$u_{nr} \% = \frac{I_{1f} r_n}{U_{1f}} \cdot 100 = \frac{92,5 \times 1,8}{20200} \cdot 100 = 0,825$$

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

#### 10-4. GIẢN ĐỒ NĂNG LƯỢNG CỦA M.B.A

Trong lúc truyền năng lượng qua m.b.a, một phần công suất tác dụng và công suất phản kháng bị tiêu hao trong máy. Ta hãy xét sự cân bằng công suất tác dụng và công suất phản kháng trong m.b.a. Sự cân bằng này có thể suy ra từ mạch điện thay thế của m.b.a ở hình 10-2.

Gọi  $P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1$  là công suất tác dụng đưa vào một pha của m.b.a. Một phần của công suất này bị tiêu hao trên điện trở của dây quấn sơ cấp  $p_{cu1} = r_1 I_1^2$  và tiêu hao trong lõi thép  $p_{Fe} = r_m I_0^2$ . Phần còn lại là công suất điện từ  $P_{dt}$  truyền sang phía thứ cấp. Ta có:

$$P_{dt} = P_1 - p_{cu1} - p_{Fe} = E'_2 I_2 \cos \psi_2 \quad (10-58)$$

Một phần của công suất điện từ bù vào tổn hao trên điện trở của dây quấn thứ cấp  $p_{cu2} = r_2 I_2^2$ , phần còn lại là công suất đầu ra  $P_2$  của máy biến áp:

$$P_2 = P_{dt} - p_{cu2} = U'_2 I_2 \cos \varphi_2 \quad (10-59)$$

Tương tự như vậy, ta có công suất phản kháng đầu vào  $Q_1 = U_1 I_1 \sin \varphi_1$ . Công suất này trừ đi công suất để tạo ra từ trường tản của dây quấn sơ cấp  $q_1 = x_1 I_1^2$  và từ trường trong lõi thép  $q_m = x_m I_0^2$ , phần còn lại được đưa sang phía thứ cấp:

$$Q_{dt} = Q_1 - q_1 - q_m = E'_2 I'_2 \sin \psi_2 \quad (10-60)$$

Công suất phản kháng đầu ra bằng:

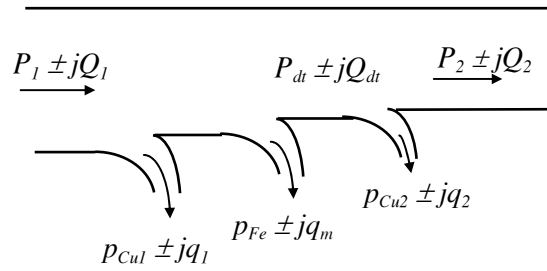
$$Q_2 = Q_{dt} - q_2 = U'_2 I'_2 \sin \varphi_2 \quad (10-61)$$

trong đó  $q_2 = x'_2 I'^2_2$  là công suất để tạo ra từ trường tản của dây quấn thứ cấp.

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

Khi tải có tính chất điện dung ( $\varphi_2 < 0$ ),  $Q_2 < 0$ . Trong trường hợp này công suất phản kháng được truyền từ phía thứ cấp sang phía sơ cấp nếu  $Q_1 < 0$ , hoặc toàn bộ công suất phản kháng từ hai phía sơ và thứ cấp đều dùng để từ hoá m.b.a nếu  $Q_1 > 0$ .

Sự cân bằng công suất tác dụng và công suất phản kháng được biểu thị trên hình 10-11.



Hình 10-11  
Giản đồ năng lượng của m.b.a

## 10-5. ĐỘ THAY ĐỔI ĐIỆN ÁP CỦA M.B.A VÀ CÁCH ĐIỀU CHỈNH ĐIỆN ÁP

### 10.5.1. Độ thay đổi điện áp của m.b.a

Khi m.b.a làm việc, do có điện áp rơi trên các dây quấn sơ cấp và thứ cấp nên điện áp đầu ra  $U_2$  thay đổi theo trị số và tính chất điện cảm hay điện dung của dòng điện tải  $I_2$ . Hiệu số số học giữa các trị số điện áp thứ cấp lúc không tải  $U_{20}$  và lúc có tải  $U_2$  trong điều kiện  $U_{1dm}$  không đổi gọi là *độ thay đổi điện áp*  $\Delta U$  của m.b.a. Độ thay đổi điện áp thường được tính theo % so với điện áp định mức. Trong hệ đơn vị tương đối ta có:

$$\Delta U_* = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} = \frac{U'_{20} - U'_2}{U'_{20}} = \frac{U_{1dm} - U'_2}{U_{1dm}} = 1 - U_{2*} \quad (10-62)$$

Ta có thể dùng đồ thị véc tơ đơn giản của m.b.a trên hình 10-5 để xác định độ thay đổi điện áp  $\Delta U$  bằng phương pháp hình học nhưng vì các cạnh của tam giác điện kháng rất nhỏ so với  $U_1$  và  $U'_2$  nên phương pháp này không được chính xác. Thông thường người ta dùng phương pháp giải tích sau đây:

Giả sử m.b.a làm việc với hệ số tải  $\beta = \frac{I_2}{I_{2dm}}$  và  $\cos \varphi_2$  đã biết và đồ thị vectơ tương ứng như ở hình 10-12. Khi ấy các cạnh của tam giác điện kháng ABC có trị số:

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

$$AB = \frac{I_2 x_n}{U_{1dm}} = \frac{I_{2dm} x_n}{U_{1dm}} \cdot \frac{I_2}{I_{2dm}} = \beta U_{nx*}$$

Hạ đường thẳng góc AP xuống  $U_2$  và Bb //  $U_2'$  (đoạn Bb cắt AP kéo dài tại b). Gọi AP = n, CP = m ta có:

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

Do đó:

$$\Delta U_* = 1 - U_{2*}' \approx m + \frac{n^2}{2} \quad (10-63)$$

Theo hình 10-12:

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

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

Thay vào (10-63) ta có:

$$\Delta U_* = \beta(U_{nr*} \cos \varphi_2 + U_{nx*} \sin \varphi_2) + \frac{\beta^2(U_{nx*} \cos \varphi_2 - U_{nr*} \sin \varphi_2)^2}{2} \quad (10-64)$$

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

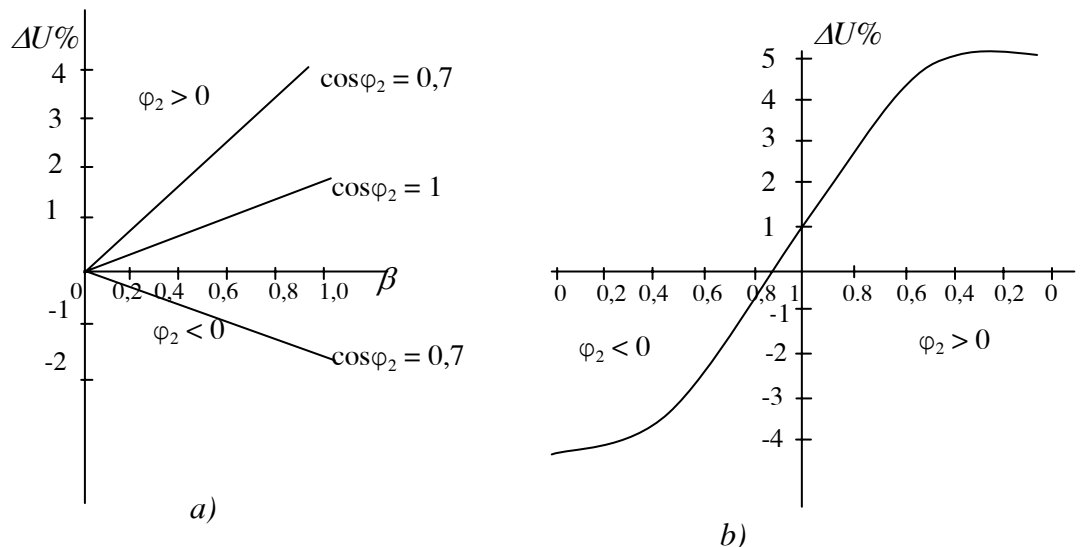
$$\Delta U_* = \beta(U_{nr*} \cos \varphi_2 + U_{nx*} \sin \varphi_2) \quad (10-65)$$

Muốn biểu thị  $\Delta U$  theo phần trăm của  $U_{1dm}$  ta chỉ việc nhân hai vế của biểu thức (10-65) với 100.

Vì  $\Delta U_* = \frac{\Delta U \%}{100}$ ;  $U_{nr*} = \frac{U_{nr} \%}{100}$ ;  $U_{nx*} = \frac{U_{nx} \%}{100}$  nên biểu thức (10-65) trở thành:

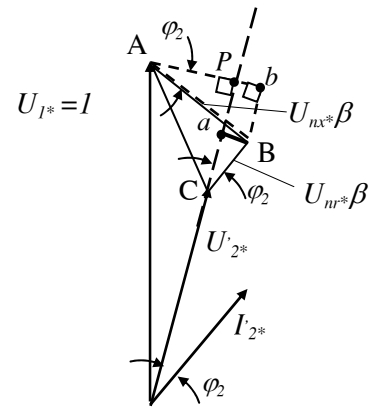
$$\Delta U \% = \beta(U_{nr} \% \cos \varphi_2 + U_{nx} \% \sin \varphi_2) \quad (10-66)$$

Trong biểu thức (10-65),  $U_{nr*}$  và  $U_{nx*}$  đã được xác định do cấu tạo của máy nên  $\Delta U_*$  phụ thuộc vào hệ số tải  $\beta$  và tính chất của tải. Hình 10-13 cho biết quan hệ  $\Delta U = f(\beta)$  khi  $\cos \varphi_2 = C^{te}$  và  $\Delta U = f(\cos \varphi_2)$  khi  $\beta = C^{te}$ .



Hình 10-13.

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



Hình 10-12  
Xác định  $\Delta U$  của m.b.a

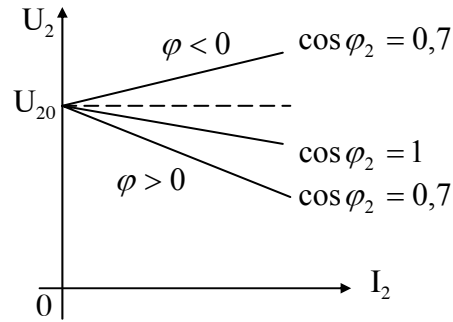
### 10.5.2. Đặc tính ngoài của m.b.a

Đặc tính ngoài của m.b.a là đường biểu diễn quan hệ  $U_2 = f(I_2)$  khi  $U_1 = U_{1dm}$ ;  $\cos\varphi = C^{te}$ .

Từ công thức (10-62) suy ra:

$$U_2 = U_{20}(1 - \Delta U_*) = U_{20} \left(1 - \frac{\Delta U\%}{100}\right)$$

Từ đó ta vẽ được đường đặc tính ngoài của m.b.a như ở hình 10-14. Nhìn đồ thị ta thấy, khi tải dung (C)  $I_2$  tăng thì  $U_2$  tăng, khi tải cảm (L) và tải trở (R)  $I_2$  tăng thì  $U_2$  giảm nhưng tải cảm  $U_2$  giảm nhiều hơn.

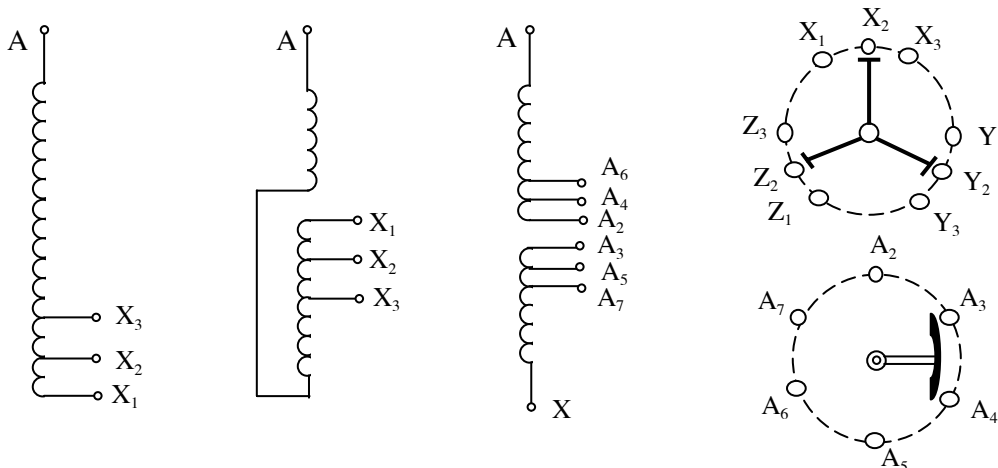


### 10.5.3. Cách điều chỉnh điện áp của m.b.a

Trong thực tế muốn giữ cho điện áp  $U_2$  không đổi khi m.b.a làm việc với tải khác nhau

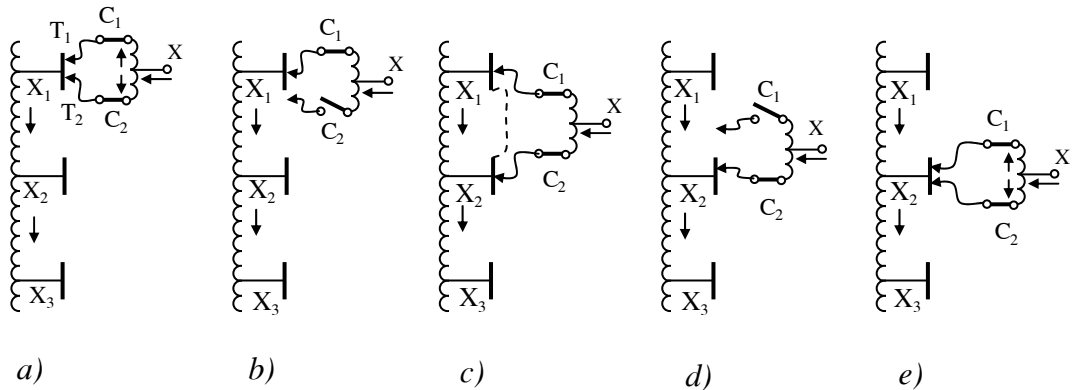
thì phải điều chỉnh điện áp bằng cách thay đổi lại số vòng dây, nghĩa là thay đổi tỉ số biến đổi  $k = w_1/w_2$ . Muốn vậy, ở giữa hoặc cuối dây quấn CA người ta đưa ra một số đầu dây ứng với các số vòng dây khác nhau (hình 10-15). Nếu các đầu phân nhánh ở cuối dây quấn thì việc cách điện được dễ dàng, còn nếu các đầu phân nhánh ở giữa dây quấn thì từ trường tản sẽ đều và lực điện từ tác dụng lên dây quấn cũng sẽ đối xứng hơn. Cũng cần nói thêm là các đầu phân nhánh được bố trí ở dây quấn CA vì ở dây quấn CA dòng điện nhỏ hơn so với dòng điện trong dây quấn HA do đó thiết bị nối cũng gọn nhẹ hơn.

Việc thay đổi số vòng dây có thể được thực hiện khi máy ngừng làm việc. Trường hợp này thường ứng dụng với các m.b.a hạ áp khi điện áp sơ cấp thay đổi hoặc khi cần điều chỉnh điện áp thứ cấp theo đồ thị phụ tải hàng năm. Nếu công suất của m.b.a nhỏ thì loại m.b.a này thường có ba đầu phân nhánh ở mỗi pha để có thể điều chỉnh điện áp trong phạm vi  $\pm 5\% U_{dm}$ , nếu m.b.a công suất lớn thì mỗi pha có 5 đầu phân nhánh để điều chỉnh điện áp trong phạm vi  $\pm 2,5\% U_{dm}$  và  $\pm 5\% U_{dm}$ . Vì việc nối được thực hiện khi ngừng máy nên thiết bị nối tương đối đơn giản và rẻ tiền. Thiết bị nối được đặt trong thùng dầu, còn tay quay được đặt trên nắp thùng.



116  
Hình 10-15. Các kiểu điều chỉnh điện áp

Trong hệ thống điện lực công suất lớn, nhiều khi cần phải điều chỉnh điện áp khi m.b.a đang làm việc để phân phối lại công suất tác dụng và phản kháng giữa các phân đoạn của hệ thống. Điện áp thường được điều chỉnh từng 1% trong phạm vi  $\pm 10\%U_{dm}$ . Ở trường hợp này thiết bị đổi nối phức tạp hơn và phải có cuộn kháng K (hình 10-16) để hạn chế dòng ngắn mạch của bộ phận dây quấn bị nối ngắn mạch khi thao tác đổi nối. Hình 10-16 cũng trình bày quá trình đổi nối từ đầu nhánh  $X_1$  đến đầu nhánh  $X_2$ , trong đó  $T_1, T_2$  là những cái tiếp xúc trượt,  $C_1, C_2$  là những công tắc tơ. Ở những vị trí làm việc  $a, e$ , dòng điện chạy trong hai nửa của K theo chiều ngược nhau nên hầu như từ thông trong lõi của K bằng không do đó điện kháng rất nhỏ. Ngược lại, ở vị trí trung gian  $c$  dòng điện ngắn mạch chạy cùng chiều trong K nên từ thông và điện kháng lớn, do đó có tác dụng làm giảm trị số của dòng điện ngắn mạch. Để tránh cho đầu m.b.a khỏi bị bắn do đóng cắt mạch điện, các công tắc tơ  $C_1, C_2$  được đặt riêng trong một thùng phụ gắn vào vách thùng dầu của m.b.a.



Hình 10-16. Quá trình điều chỉnh điện áp của m.b.a điều chỉnh dưới tải

## 10-6. HIỆU SUẤT CỦA M.B.A

Hiệu suất  $\eta$  của m.b.a là tỉ số công suất đầu ra  $P_2$  và công suất đầu vào  $P_1$ :

$$\eta = P_2 / P_1$$

Hiệu suất của m.b.a thường được tính theo phần trăm:

$$\eta\% = \frac{P_2}{P_1} 100 \quad (10-67)$$

Trị số của  $\eta$  nhỏ hơn 1 vì theo giản đồ năng lượng của m.b.a ở hình 10-11 ta thấy, trong quá trình truyền tải công suất qua m.b.a có tổn hao đồng  $p_{cu}$  trên điện trở của các dây quấn sơ cấp và thứ cấp, tổn hao sắt từ  $p_{Fe}$  trong lõi thép m.b.a do dòng điện xoáy và do từ trễ. Ngoài ra còn phải kể đến tổn hao do dòng điện xoáy trên vách thùng dầu và các bulông lắp ghép.

Như vậy, biểu thức (10-67) có thể viết:

$$\eta\% = \frac{P_1 - \sum P}{P_1} 100 = \left(1 - \frac{\sum P}{P_1}\right) 100 = \left(1 - \frac{P_{Cu} + P_{Fe}}{P_2 + p_{Cu} + p_{Fe}}\right) 100 \quad (10-68)$$

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

Khi m.b.a vận hành với tải  $I_2$  và  $\cos\varphi_2$  đã biết, có thể tính gián tiếp được hiệu suất  $\eta$  bằng cách xác định các tổn hao  $p_{Cu}$  và  $p_{Fe}$  ứng với tải đó căn cứ theo tổn hao không tải  $P_0$ , tổn hao ngắn mạch  $P_n$  ghi trong thuyết minh máy. Các tổn hao  $P_0$  và  $P_n$  được xác định trong các thí nghiệm không tải và thí nghiệm ngắn mạch như đã trình bày ở mục 10-3.

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

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

Đặt  $\frac{I_2}{I_{2dm}} = \beta$  - hệ số tải. Vì  $U_2 \approx U_{20}$  nên  $S_{dm} = U_{20} I_{2dm} \approx U_2 I_{2dm}$ , do đó:

$$P_2 = \beta S_{dm} \cos\varphi_2. \quad (10-69)$$

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

$$p_{cu} = r_n I_2^2 = r_n I_{2dm}^2 (I_2 / I_{2dm})^2 = \beta^2 P_n \quad (10-70)$$

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

Như vậy công thức (10-68) có thể viết như sau:

$$\eta\% = \left(1 - \frac{P_0 + \beta^2 P_n}{\beta S_{dm} \cos\varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_n}\right) 100 \quad (10-71)$$

Thường thì các tổn hao rất nhỏ so với công suất truyền tải nên hiệu suất của m.b.a rất cao (có thể đạt trên 99% đối với các m.b.a công suất lớn).

Theo biểu thức (10-71) ta thấy, khi  $\cos\varphi_2 = C^{tc}$  thì  $\eta$  chỉ phụ thuộc vào hệ số tải  $\beta$  và đạt được cực đại ở hệ số tải nào đó ứng với điều kiện  $\frac{d\eta}{d\beta} = 0$ .

Sau khi tính toán ta được  $\beta = \sqrt{\frac{P_0}{P_n}}$  hay  $\beta^2 P_n = P_0$ .

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

Trong thực tế m.b.a không làm việc thường xuyên ở tải định mức mà ở hệ số tải  $\beta = 0,5 \div 0,7$  nên người ta thiết kế để hiệu suất  $\eta_{max}$  ở trong giới hạn đó của  $\beta$ . Muốn vậy cấu tạo m.b.a phải đảm bảo sao cho  $P_0/P_n \approx 0,25 \div 0,5$ .

Cũng cần biết thêm rằng, để đánh giá hiệu suất của m.b.a khi tải thay đổi, người ta xét hiệu suất của máy biến áp trong một năm. Hiệu suất đó được tính bằng tỉ số điện

năng ở đầu ra của m.b.a tính theo kilôoat giờ với điện năng ở đầu vào m.b.a cũng trong thời gian đó.

### 10-7. MÁY BIẾN ÁP LÀM VIỆC SONG SONG

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

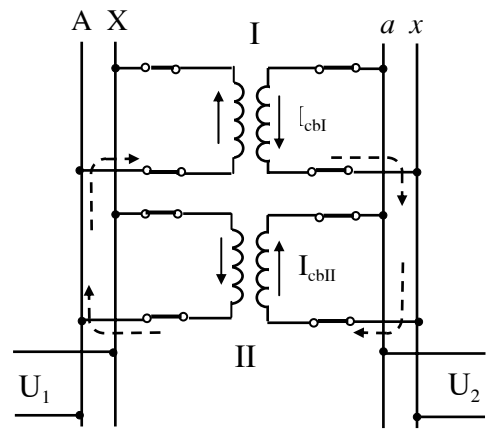
M.b.a làm việc song song tốt nhất nếu điện áp thứ cấp của chúng bằng nhau về trị số, trùng pha nhau về góc pha và nếu tải được phân phối theo tỉ lệ công suất máy giống nhau (hay hệ số tải bằng nhau). Muốn vậy phải có các điều kiện cùng tổ nối dây, tỉ số biến đổi điện áp  $k$  và điện áp ngắn mạch  $u_n$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

Sau đây ta sẽ xét ảnh hưởng riêng rẽ của từng điều kiện đối với sự làm việc song song của các m.b.a.

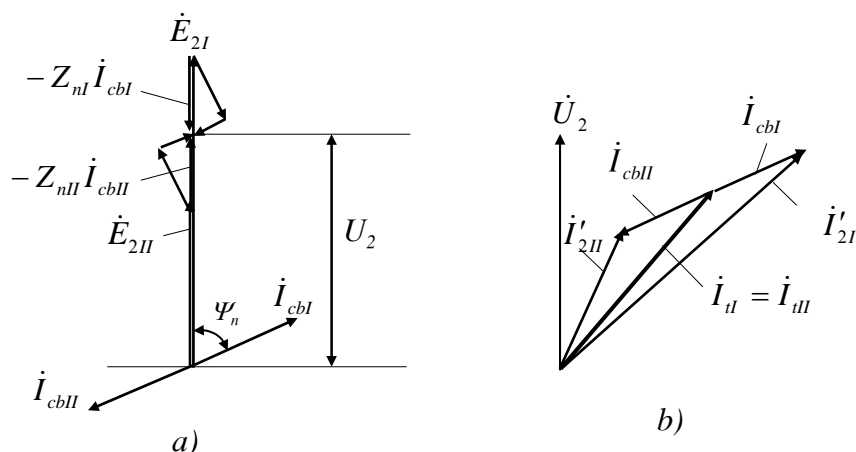
#### 10.7.1. Điều kiện tỉ số biến đổi bằng nhau

Để đơn giản, xét trường hợp ghép song song hai m.b.a một pha có cùng công suất (hình 10-17). Nếu tỉ số biến đổi bằng nhau thì khi làm việc song song điện áp thứ cấp lúc không tải của các m.b.a sẽ bằng nhau ( $E_{2I} = E_{2II}$ ), trong mạch nối liền các dây quấn thứ cấp của các m.b.a sẽ không có dòng điện.

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



Hình 10-17. Sơ đồ ghép song song hai m.b.a một pha



Hình 10-18. a) Đồ thị véc tơ khi không tải; b) Sự phân phối tải của các m.b.a làm việc song song

Dòng điện cân bằng đó sẽ chạy trong dây quấn của các m.b.a theo chiều ngược nhau, thí dụ ở m.b.a I từ  $a$  đến  $x$ , còn ở m.b.a II từ  $x$  đến  $a$ , và chậm sau  $\Delta E$  một góc  $90^\circ$  vì trong dây quấn  $x \gg r$ . Điện áp rơi trên các dây quấn m.b.a do dòng điện cân



bằng sinh ra sẽ bù trừ với các s.đ.đ.  $E_{2I}$ ,  $E_{2II}$  và kết quả là trên mạch thứ cấp sẽ có một điện áp thống nhất  $U_2$  như trên hình 10-18a. Khi có tải, dòng cân bằng  $I_{cb}$  sẽ cộng với dòng điện tải  $I_1$  làm cho hệ số tải lẽ ra bằng nhau trở thành khác nhau ảnh hưởng xấu tới việc lợi dụng công suất các máy (hình 10-18b).

Vì vậy, quy định rằng  $\Delta k$  của các m.b.a làm việc song song không được lớn quá 0,5% trị số trung bình của chúng.

### 10.7.2. Điều kiện cùng tổ nối dây

Nếu các m.b.a làm việc song song có cùng tổ nối dây thì điện áp thứ cấp của chúng sẽ trùng pha nhau. Trái lại khi tổ nối dây của chúng khác nhau thì giữa các điện áp thứ cấp sẽ có góc lệch pha và góc lệch pha này do các tổ nối dây quyết định. Thí dụ, nếu m.b.a I có tổ nối dây Y/ $\Delta$ -11, còn m.b.a II có tổ nối dây Y/Y-12 thì điện áp thứ cấp của hai m.b.a sẽ lệch nhau  $30^\circ$  như hình 10-19.

Trong mạch nối liền các dây quấn thứ cấp của hai m.b.a sẽ xuất hiện một s.đ.đ:

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

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

$$I_{cb} = \frac{\Delta E}{Z_{nI} + Z_{nII}} \quad (10-72)$$

Giả sử  $Z_{nI}^* = Z_{nII}^* = 0,05$  thì:

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

hay  $I_{cb} = 5,18I_{dm}$ .

Dòng điện cân bằng này có trị số khá lớn có thể làm hỏng m.b.a. Vì vậy quy định rằng các m.b.a làm việc song song bắt buộc phải cùng tổ nối dây.

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

### 10.7.3. Điều kiện trị số điện áp ngắn mạch bằng nhau

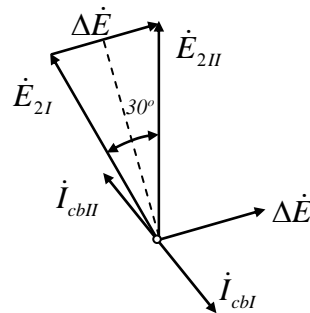
Trị số điện áp ngắn mạch  $u_n$  liên quan trực tiếp đến sự phân phối tải giữa các m.b.a làm việc song song. Ta hãy xét sự làm việc song song của các m.b.a có các điện áp ngắn mạch  $u_{nI}$ ,  $u_{nII}$ ,  $u_{nIII}$ . Nếu bỏ qua dòng điện từ hoá thì mạch điện thay thế của chúng có dạng như ở hình 10-20 và đồ thị vectơ tương ứng trên hình 10-21.

Tổng trở tương đương của mạch điện:

$$Z = \frac{1}{\frac{1}{Z_{nI}} + \frac{1}{Z_{nII}} + \frac{1}{Z_{nIII}}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^III \frac{1}{Z_{ni}}} \quad (10-73)$$

Điện áp rơi trên mạch điện bằng:

$$\Delta \dot{U} = \dot{U}_1 - \dot{U}_2 = Z \dot{I} \quad (10-74)$$



Hình 10-19. Điện áp và dòng điện của các m.b.a có tổ nối dây khác nhau làm việc song song

trong đó  $\dot{I} = \dot{I}_1 = -\dot{I}_2$  là dòng điện tổng của các m.b.a.

Dòng điện tải của mỗi m.b.a bằng:

$$\dot{I}_{2I} = \frac{Z\dot{I}}{Z_{nI}} = \frac{\dot{I}}{Z_{nI} \cdot \Sigma \frac{1}{Z_{ni}}} \quad (10-75a)$$

$$\dot{I}_{2II} = \frac{Z\dot{I}}{Z_{nII}} = \frac{\dot{I}}{Z_{nII} \cdot \Sigma \frac{1}{Z_{ni}}} \quad (10-75b)$$

$$\dot{I}_{2III} = \frac{Z\dot{I}}{Z_{nIII}} = \frac{\dot{I}}{Z_{nIII} \cdot \Sigma \frac{1}{Z_{ni}}} \quad (10-75c)$$

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

$$z_n = \frac{u_n \% U_{dm}}{100 I_{dm}}$$

và biểu thức (10-75a) có thể viết:

$$I_{2I} = \frac{I}{\frac{u_{nI} \%}{I_{dml}} \Sigma \frac{I_{dmi}}{u_{ni} \%}} \quad (10-76)$$

Nhân hai vế đẳng thức trên với  $\frac{U_{1dm}}{S_{dml}} = \frac{U_{1dm}}{U_{1dm} I_{dml}}$ , ta được:

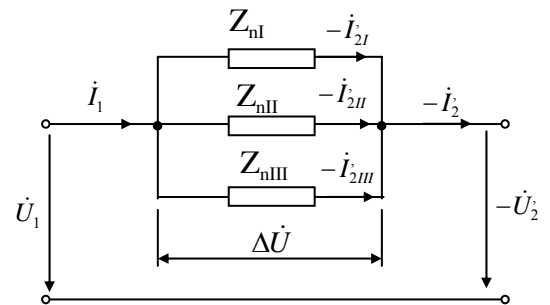
$$\beta_I = \frac{S_I}{S_{dml}} = \frac{S}{u_{nI} \% \Sigma \frac{S_{dmi}}{u_{ni} \%}} \quad (10-77a)$$

trong đó:  $S = U_{1dm} \cdot I$  là tổng công suất truyền tải của các m.b.a.

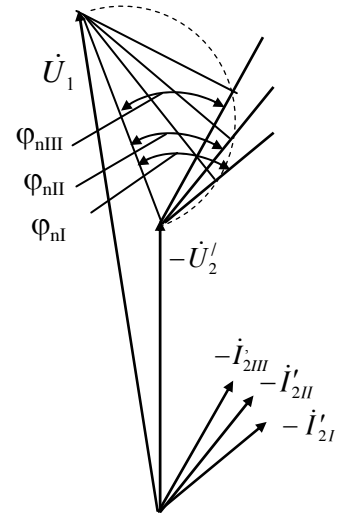
Cũng như vậy đối với các m.b.a II và III, ta có:

$$\beta_{II} = \frac{S_{II}}{S_{dml}} = \frac{S}{u_{nII} \% \Sigma \frac{S_{dmi}}{u_{ni} \%}} \quad (10-77b)$$

$$\beta_{III} = \frac{S_{III}}{S_{dml}} = \frac{S}{u_{nIII} \% \Sigma \frac{S_{dmi}}{u_{ni} \%}} \quad (10-77c)$$



Hình 10-20. Mạch điện thay thế của các m.b.a làm việc song



Hình 10-21. Đồ thị vectơ của các m.b.a làm việc song

Từ các biểu thức (10-77a, b và c) ta có kết luận là: hệ số tải của các m.b.a làm việc song song tỉ lệ nghịch với điện áp ngắn mạch của chúng:

$$\beta_I : \beta_{II} : \beta_{III} = \frac{1}{u_{nI} \%} : \frac{1}{u_{nII} \%} : \frac{1}{u_{nIII} \%} \quad (10-78)$$

nghĩa là nếu  $u_n$  của các máy bằng nhau thì  $\beta$  bằng nhau, tải sẽ phân phối theo tỉ lệ công suất. Ngược lại nếu  $u_n$  khác nhau thì m.b.a nào có  $u_n$  nhỏ sẽ có  $\beta$  lớn (tải nặng), còn m.b.a nào có  $u_n$  lớn sẽ có  $\beta$  nhỏ (tải nhẹ hơn).

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

### Thí dụ

Cho 3 m.b.a có cùng tổ nối dây và tỉ số biến đổi với các số liệu:  $S_{dmi} = 180 \text{ kVA}$ ,  $S_{dmII} = 240 \text{ kVA}$ ,  $S_{dmIII} = 320 \text{ kVA}$ ,  $u_{nI} \% = 5,4$ ,  $u_{nII} \% = 6$ ,  $u_{nIII} \% = 6,6$ . Hãy xác định tải của mỗi m.b.a khi tải chung của m.b.a bằng tổng công suất định mức của chúng:  $S = 180 + 240 + 320 = 740 \text{ kVA}$  và tính tải tổng tối đa để không m.b.a nào bị quá tải.

### Giải

Ta có:

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

Theo biểu thức (10-77) ta có:

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

$$\beta_{II} = \frac{740}{6,0 \cdot 121,8} = 1,01; S_{II} = 1,01 \cdot 240 = 243,0 \text{ kVA}$$

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

Ta thấy: máy I có  $u_n$  nhỏ nhất bị quá tải nhiều nhất trong khi đó m.b.a III có  $u_n$  lớn lại hụt tải.

Tải tổng tối đa để không máy nào bị quá tải ứng với khi  $\beta_I = 1$ .

Theo (10-77a) ta có:

$$\frac{S}{5,4 \cdot 121,8} = 1 \quad \text{hay} \quad S = 657,72 \text{ kVA.}$$

Rõ ràng là phân công suất đặt của các m.b.a không được lợi dụng là:

$$740 - 658 = 82 \text{ kVA.}$$

### Câu hỏi

1. Tại sao khi dòng điện thứ cấp tăng thì dòng điện sơ cấp cũng tăng? Khi đó từ thông trong m.b.a có thay đổi không?

2. Làm thế nào để xác định được tham số của mạch từ hoá của m.b.a? Thực chất của dòng điện không tải là gì, tổn hao không tải là gì?

3. Làm thế nào để xác định được tổng trở của mạch sơ cấp và thứ cấp của m.b.a? Tổn hao ngắn mạch là tổn hao gì? Khi thí nghiệm ngắn mạch tại sao phải hạ thấp điện áp xuống, thường bằng bao nhiêu? Nếu đặt toàn bộ điện áp định mức vào lúc ngắn mạch thì sao? Trị số điện áp ngắn mạch có ý nghĩa gì?

4. Tổng trở  $z_n$  có liên quan gì đến dòng điện ngắn mạch  $I_n$  của m.b.a? Muốn giảm bớt dòng điện ngắn mạch  $I_n$  của m.b.a thì phải thiết kế kích thước của dây quấn như thế nào?

5. Độ thay đổi điện áp của m.b.a là gì? Độ thay đổi điện áp của m.b.a phụ thuộc vào những yếu tố nào? Khi tải của m.b.a thay đổi, muốn giữ cho điện áp thứ cấp  $U_2$  không đổi ta làm thế nào?

6. Xét về mặt kết cấu của dây quấn, muốn giảm  $\Delta U$  của m.b.a phải làm thế nào?

7. Thí nghiệm không tải và thí nghiệm ngắn mạch của m.b.a có liên quan đến việc xác định  $\Delta U$  và  $\eta$  như thế nào?

8. Hiệu suất của m.b.a được xác định như thế nào? Khi nào thì hiệu suất của m.b.a đạt giá trị cực đại?

9. Cho hai m.b.a nối Y/Y-12 và Y/Y-6 có cùng tỉ số biến đổi  $k$  và điện áp ngắn mạch  $u_n$ . Muốn cho chúng có thể vận hành song song với nhau phải làm thế nào? Cũng với các điều kiện trên nếu hai m.b.a có tổ nối dây Y/ $\Delta$ -11 và Y/ $\Delta$ -3?

### Bài tập

1. Một m.b.a một pha có dung lượng 5 kVA có hai dây quấn sơ cấp và hai dây quấn thứ cấp giống nhau. Điện áp định mức của mỗi dây quấn sơ cấp là 11 kV và của mỗi dây quấn thứ cấp là 110 V. Thay đổi cách nối dây quấn với nhau sẽ có các tỉ số biến đổi điện áp khác nhau. Với mỗi cách nối, hãy tính các dòng điện định mức sơ và thứ cấp.

Đáp số:

a) Dây quấn sơ cấp và thứ cấp đều nối nối tiếp:  $I_1 = 0,23$  A;  $I_2 = 23$  A

b) Dây quấn sơ cấp nối tiếp, thứ cấp nối song song:  $I_1 = 0,23$  A;  $I_2 = 46$  A.

c) Dây quấn sơ cấp nối song song, thứ cấp nối nối tiếp:  $I_1 = 0,46$  A;  $I_2 = 23$  A.

d) Dây quấn sơ cấp và thứ cấp đều đấu song song:  $I_1 = 0,46$  A;  $I_2 = 46$  A.

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

Đáp số:  $w_1 = 117694$  vòng;  $w_2 = 10210$  vòng.

3. Một m.b.a ba pha đấu Y/Y – 12 có các số liệu sau đây:  $S_{dm} = 180$  kVA;  $U_1/U_2 = 6000/400$  V; dòng điện không tải  $I_0\% = 6,4$ ; tổn hao không tải  $P_0 = 1000$  W; điện áp ngắn mạch  $u_n\% = 5,5$ ; tổn hao ngắn mạch  $P_n = 4000$  W. Giả sử  $r_1 = r_2$ ,  $x_1 = x_2$ . Hãy vẽ mạch điện thay thế của m.b.a và tính các thành phần của điện áp ngắn mạch.

Đáp số:  $u_{nr}\% = 2,23$ ;  $u_{nx}\% = 5,0$ .

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

a) Tính  $z_n, r_n$

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

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

b)  $r_2 = 0,061 \Omega$

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

Máy	$S_{\text{đm2}}$ kVA	$U_{1\text{đm2}}$ kV	$U_{2\text{đm2}}$ kV	$U_n\%$	Tổ nối dây
1	1000	35	6,3	6,25	Y/ $\Delta$ -11
2	1800	35	6,3	6,6	Y/ $\Delta$ -11
3	2400	35	6,3	7	Y/ $\Delta$ -11

Tính:

a) Tải của mỗi m.b.a khi tải chung là 4.500 kVA;

b) Tải lớn nhất có thể cung cấp cho hệ dùng điện với điều kiện không một m.b.a nào bị quá tải.

c) Giả sử máy I được phép quá tải 20% thì tải chung của máy là bao nhiêu?

Đáp số : a.  $S_I = 928 \text{ kVA}$ ;  $S_{II} = 1582 \text{ kVA}$ ;  $S_{III} = 1990 \text{ kVA}$ .

b. 4548 kVA;

c. 5817 kVA.

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

a)  $U_n$  (V),  $U_{nr}$  (V),  $U_{nx}$  (V).

b)  $z_n, r_n, x_n$  và  $\cos\varphi_n$ .

c)  $\Delta U\%$  lúc hệ số tải 0,25; 0,5; 0,75; 1 và hệ số công suất  $\cos\varphi_2 = 0,8$  (điện cảm).

d) Biết  $P_0 = 0,18 \text{ kW}$ , tính hiệu suất của máy ở các tải nói trên.

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

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

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

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

## CHƯƠNG 11

## M.B.A LÀM VIỆC VỚI TẢI KHÔNG ĐỐI XỨNG VÀ QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ TRONG M.B.A

### 11-1. ĐẠI CƯƠNG

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

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

$$\begin{vmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & I_{a0} \\ 1 & a^2 & a & I_{a1} \\ 1 & a & a^2 & I_{a2} \end{vmatrix} \quad (11-1)$$

và

$$\begin{vmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{vmatrix} = \frac{1}{3} \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & I_a \\ 1 & a & a^2 & I_b \\ 1 & a^2 & a & I_c \end{vmatrix} \quad (11-2)$$

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

Khi tải của m.b.a không đối xứng, bao giờ ta cũng có thể phân tích thành các phân lượng thứ tự thuận, thứ tự ngược và thứ tự không. Riêng phân lượng thứ tự không trong ba pha do có trị số bằng nhau và trùng pha về thời gian nên chỉ tồn tại khi dây quấn nối  $Y_0$  hoặc  $\Delta$ .

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

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

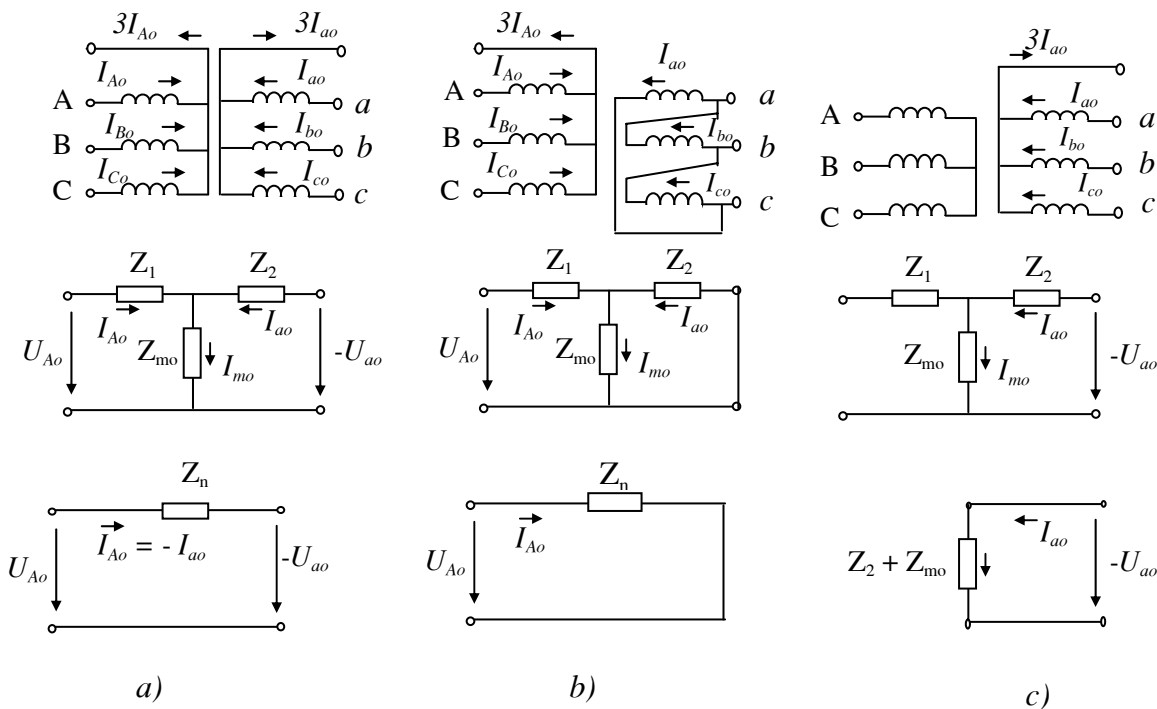
## 11-2. MẠCH ĐIỆN THAY THẾ VÀ TỔNG TRỞ CỦA M.B.A ĐỐI VỚI CÁC THÀNH PHẦN ĐỐI XỨNG

Hệ thống dòng điện thứ tự thuận chính là hệ thống dòng điện đối xứng mà mạch điện thay thế và các tham số của m.b.a đối với hệ thống dòng điện này ta đã xét ở chương 10.

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

Hệ thống dòng điện thứ tự không ở ba pha sinh ra trong m.b.a các từ thông thứ tự không  $\Phi_{10}$  trùng pha nhau về thời gian. Trong tổ m.b.a ba pha, từ thông  $\Phi_{10}$  khép mạch trong lõi thép. Do từ trở của lõi thép nhỏ nên ngay khi  $I_{a0} = I_{b0} = I_{c0}$  nhỏ cũng có thể sinh ra được  $\Phi_{10}$  lớn. Trong m.b.a ba pha ba trụ, từ thông  $\Phi_{10}$  phải khép mạch qua vách thùng và dầu m.b.a, ở đó có từ trở lớn nên từ thông  $\Phi_{10}$  nhỏ hơn (hình 9-29b).

Từ thông  $\Phi_{10}$  và  $I_{a0}$  cũng sinh ra trong các dây quấn sơ cấp và thứ cấp các s.đ.đ. tự cảm và hổ cảm, và ta cũng có thể thành lập được mạch điện thay thế hình T tương tự như đối với trường hợp dòng điện thứ tự thuận. Ta hãy xét những trường hợp có dòng điện thứ tự không: khi m.b.a có tổ nối dây quấn  $Y_0/Y_0$ ,  $Y_0/\Delta$  và  $Y/Y_0$  như ở hình 11-1.



Hình 11-1. Các mạch điện thay thế của m.b.a đối với thành phần thứ tự không

Khi m.b.a nối  $Y_0/Y_0$  hoặc  $Y_0/\Delta$ , dòng điện thứ tự không tồn tại trong cả dây quấn sơ cấp và dây quấn thứ cấp, nên dạng mạch điện thay thế của m.b.a đối với phân lượng thứ tự không không có gì khác với dạng mạch điện thay thế của phân lượng thứ tự

thuận (hình 11-1a và b). Cần chú ý rằng, khi m.b.a đấu  $Y_o/\Delta$  thì dòng điện thứ tự không phía thứ cấp không chạy ra ngoài nên mạch điện thay thế bị nối tắt ở phía thứ cấp.

Nếu m.b.a đấu  $Y/Y_o$ , do phía nối Y không có dây trung tính, dòng điện thứ tự không không tồn tại, nên phía đó được xem như hở mạch (hình 11-1c).

Trong các mạch điện thay thế của m.b.a đối với phân lượng thứ tự không trình bày trên hình 11-1, các tổng trở  $Z_1 = r_1 + jx_1$  và  $Z_2 = r_2 + jx_2$  không có gì khác với các tổng trở tương ứng của phân lượng thứ tự thuận và ngược. Tổng trở từ hoá của phân lượng thứ tự không  $z_{m0}$  có trị số phụ thuộc vào cấu tạo của mạch từ. Nếu là tổ m.b.a ba pha thì  $Z_{m0} = z_m$ . Nếu là m.b.a ba pha ba trụ thì do  $\Phi_{10}$  khép mạch qua đầu và vách thùng đầu nên  $z_{m0}$  nhỏ hơn, thường  $z_{m0} = (7 \div 15)z_n$ .

Tương tự như các phân lượng thứ tự thuận và ngược, s.đ.đ. thứ tự không  $E_{10}$  do từ thông  $\Phi_{10}$  sinh ra có thể được biểu thị như sau:

$$\dot{E}_{10} = -Z_{m0} \dot{I}_{m0} \quad (11-3)$$

Trên hình 11-1 cũng trình bày các mạch điện thay thế đơn giản hoá. Ở các trường hợp đấu  $Y_o/Y_o$  và  $Y_o/\Delta$ , dòng điện thứ tự không tồn tại ở cả hai phía sơ cấp và thứ cấp và gần bằng nhau ( $\dot{I}_{A0} = -\dot{I}_{a0}$ ), nên dòng từ hoá thứ tự không  $I_{m0}$  cần thiết để sinh ra từ thông  $\Phi_{10}$  rất nhỏ, vì vậy có thể bỏ qua nhánh từ hoá và ta có  $Z_n = Z_1 + Z_2$ .

Từ những mạch điện thay thế ở hình 11-1 ta thấy: tổng trở thứ tự không của m.b.a  $Z_{10}$  (có được khi đo ở một phía với điều kiện dây quấn phía kia nối ngắn mạch) có trị số giới hạn giữa tổng trở ngắn mạch  $Z_n$  và tổng trở không tải  $Z_0$ .

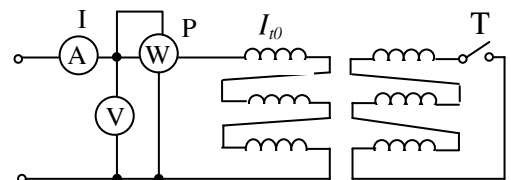
Trị số  $Z_{10}$  có thể xác định được bằng thí nghiệm theo sơ đồ như ở hình 11-2. Với sơ đồ đó ta có  $I_a = I_b = I_c = I_{10}$ . Nếu phía thứ cấp không có dòng điện thứ tự không thì cầu dao T mở, ngược lại nếu có dòng điện thứ tự không thì cầu dao đóng mạch.

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

$$z_{10} = \frac{U}{3I} \quad (11-4)$$

$$r_{10} = \frac{P}{3I^2} \quad (11-5)$$

$$x_{10} = \sqrt{z_{10}^2 - r_{10}^2} \quad (11-6)$$



Hình 11-2. Sơ đồ nối dây xác định tổng trở thứ tự không của m.b.a

### 11.3. TẢI KHÔNG ĐỐI XỨNG CỦA M.B.A

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

##### a. Trường hợp dây quấn nối $Y/Y_o$

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

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0 \quad (11-7)$$

$$\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = \dot{I}_d \quad (11-8)$$



Phân tích các dòng điện pha sơ cấp và thứ cấp thành các phân lượng đối xứng ta thấy rằng, các dòng điện thứ tự thuận và ngược của sơ cấp và thứ cấp cân bằng nhau. Các dòng điện từ hoá thứ tự thuận và ngược  $I_{m1}$  và  $I_{m2}$  của các pha sẽ sinh ra các s.đ.đ.  $E_A, E_B, E_C$ . Riêng dòng thứ tự không ( $I_{a0} = I_{b0} = I_{c0} = \frac{I_d}{3}$ ) tồn tại ở phía thứ cấp không được cân bằng (vì  $I_{A0} = I_{B0} = I_{C0} = 0$ ) nên sẽ sinh ra  $\Phi_{t0}$  và s.đ.đ. thứ tự không  $E_{m0}$  tương đối lớn.

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

$$\begin{aligned} \dot{U}_A &= \dot{I}_A Z_1 - \dot{E}_A - \dot{E}_{m0} \\ \dot{U}_B &= \dot{I}_B Z_1 - \dot{E}_B - \dot{E}_{m0} \\ \dot{U}_C &= \dot{I}_C Z_1 - \dot{E}_C - \dot{E}_{m0} \end{aligned} \quad (11-9)$$

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

$$\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C = -3\dot{E}_{m0} = 3\dot{I}_{m0} Z_{m0} \quad (11-10)$$

Mặt khác khi dây quấn sơ cấp đấu Y, ta có:

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

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

$$\begin{aligned} \dot{U}_A &= \frac{1}{3}(\dot{U}_{AB} - \dot{U}_{CA}) + \dot{I}_{a0} Z_{m0} = \dot{U}'_A + \dot{I}_{a0} Z_{m0} \\ \dot{U}_B &= \frac{1}{3}(\dot{U}_{BC} - \dot{U}_{AB}) + \dot{I}_{b0} Z_{m0} = \dot{U}'_B + \dot{I}_{b0} Z_{m0} \\ \dot{U}_C &= \frac{1}{3}(\dot{U}_{CA} - \dot{U}_{BC}) + \dot{I}_{c0} Z_{m0} = \dot{U}'_C + \dot{I}_{c0} Z_{m0} \end{aligned} \quad (11-12)$$

Đồ thị véctơ tương ứng với hệ phương trình (11-12) được biểu thị như ở hình 11-3. Ta thấy rằng, ảnh hưởng của dòng điện thứ tự không làm cho điểm trung tính của điện áp sơ cấp bị lệch đi một khoảng bằng  $I_{a0} Z_{m0}$ .

Các phương trình điện áp thứ cấp sẽ có dạng:

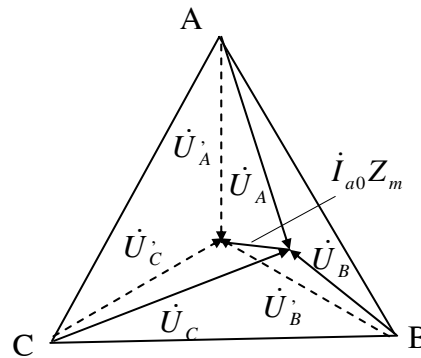
$$\begin{aligned} -\dot{U}_a &= \dot{U}_A - \dot{I}_A Z_1 + \dot{I}_a Z_2 \\ &= \dot{U}'_A + \dot{I}_{a0} Z_{m0} - (\dot{I}_{A1} + \dot{I}_{A2}) Z_1 + (\dot{I}_{a1} + \dot{I}_{a2} + \dot{I}_{a0}) Z_2 \end{aligned} \quad (11-13)$$

Vì  $\dot{I}_{A1} = -\dot{I}_{a1}; \dot{I}_{A2} = -\dot{I}_{a2}$  và  $Z_{m0} + Z_2 = Z_{t0}$ , nên:

$$-\dot{U}_a = \dot{U}'_A - \dot{I}_A Z_n + \dot{I}_{a0} Z_{t0}$$

Cũng tương tự như vậy:

$$\begin{aligned} -\dot{U}_b &= \dot{U}'_B - \dot{I}_B Z_n + \dot{I}_{b0} Z_{t0} \\ -\dot{U}_c &= \dot{U}'_C - \dot{I}_C Z_n + \dot{I}_{c0} Z_{t0} \end{aligned} \quad (11-14)$$



Hình 11-3. Điện áp không đối xứng do điểm trung tính bị xô dịch

Các phương trình (11-14) chứng tỏ rằng, do có dòng điện thứ tự không, điểm trung tính của điện áp thứ cấp bị lệch đi một khoảng  $I_{a0}Z_{l0}$  lớn hơn so với khoảng lệch của điện áp sơ cấp  $I_{a0}Z_{m0}$ . Thực ra sự khác nhau đó không đáng kể vì  $Z_{m0} \approx Z_{l0}$ .

Sự xô dịch điểm trung tính làm cho điện áp pha không đối xứng, gây bất lợi cho các tải làm việc với điện áp pha như đèn điện. Để hạn chế sự xô dịch điểm trung tính người ta qui định dòng điện trong dây trung tính  $I_d < 25\% I_{dm}$ . Ngoài ra tổ m.b.a ba pha không được dùng tổ nối dây Y/Y<sub>0</sub> vì Z<sub>m0</sub> quá lớn. Đối với m.b.a ba pha ba trụ, vì Z<sub>m0</sub> nhỏ hơn nên cho phép dùng tổ nối dây Y/Y<sub>0</sub> với điều kiện S < 5600 kVA.

### b. Trường hợp dây quấn nối Y<sub>0</sub>/Y<sub>0</sub> và Y<sub>0</sub>/Δ

Ở trường hợp này, dòng điện thứ tự không tồn tại cả ở phía sơ cấp và thứ cấp và cân bằng nhau:  $\dot{I}_{A0} = -\dot{I}_{a0}$ ; ... nên không sinh ra từ thông  $\Phi_{t0}$  và s.đ.đ. E<sub>t0</sub>. Như vậy các phương trình cân bằng điện áp thứ cấp như sau:

$$\begin{aligned} -\dot{U}_a &= \dot{U}_A - \dot{I}_A Z_n \\ -\dot{U}_b &= \dot{U}_B - \dot{I}_B Z_n \\ -\dot{U}_c &= \dot{U}_C - \dot{I}_C Z_n \end{aligned} \quad (11-15)$$

Vì  $\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = \dot{I}_d$  nên từ (11-15) suy ra được:

$$\dot{U}_a + \dot{U}_b + \dot{U}_c = Z_n \dot{I}_d \quad (11-16)$$

Điểm trung tính sẽ lệch đi một khoảng  $I_{a0} \cdot Z_n = \frac{1}{3} I_d z_n$ . Sự xô dịch này không đáng kể vì z<sub>n</sub> rất nhỏ.

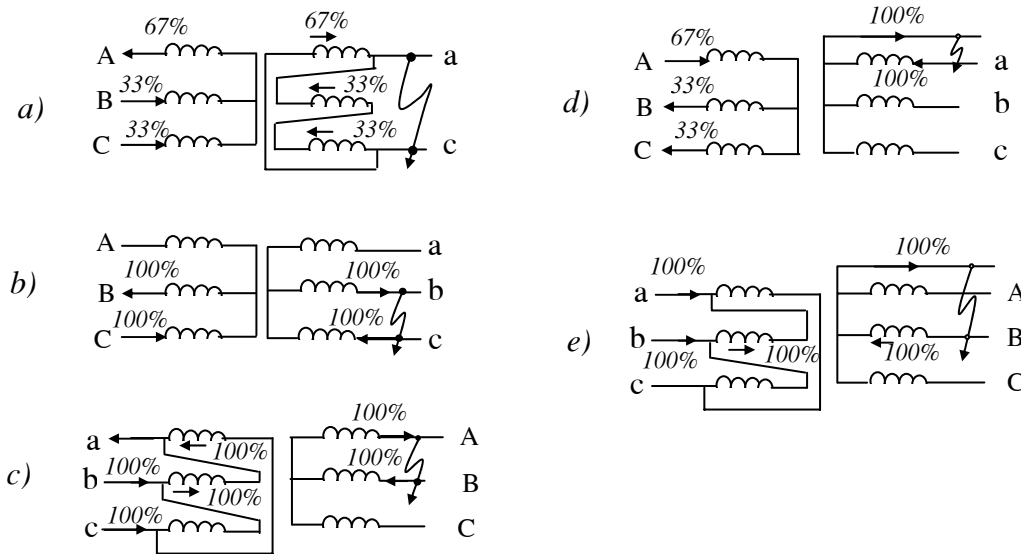
### 11.3.2. Khi không có dòng điện thứ tự không

Trường hợp này ứng với các tổ nối dây Y/Y, Δ/Y, Y/Δ và Δ/Δ. Do không có dòng điện thứ tự không, hơn nữa các dòng điện thứ tự thuận và thứ tự ngược phía sơ cấp và thứ cấp hoàn toàn cân bằng nhau nên không cần thiết phải phân tích thành các phân lượng đối xứng và có thể dùng phương pháp thông thường để nghiên cứu điện áp từng pha. Sự liên quan giữa các pha chỉ cần thiết khi xét đến điện áp dây và dòng điện dây. Cần chú ý rằng, khi tải không cân bằng, ΔU ở các pha không bằng nhau, nhưng vì z<sub>n</sub> nhỏ nên sự không cân bằng về điện áp pha và điện áp dây không nghiêm trọng. Trên thực tế, nếu tải không đối xứng với mức phân lượng thứ tự ngược I<sub>2</sub> khác phân lượng thứ tự thuận I<sub>1</sub> không quá 5% thì điện áp được xem là đối xứng.

## 11-4. NGẮN MẠCH KHÔNG ĐỐI XỨNG CỦA M.B.A

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

Kết quả phân tích về sự phân phối dòng điện giữa các pha của một số trường hợp ngắn mạch khi không có dòng điện thứ tự không như ở hình 11-4a, b và c và khi có dòng điện thứ tự không như ở hình 11-4d và e.



Hình 11-4. Sự phân bố dòng điện giữa các pha khi ngắn mạch

### 11-5. QUÁ DÒNG ĐIỆN TRONG M.B.A

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

#### 11.5.1. Đóng m.b.a vào lưới điện khi không tải

Như đã biết, khi m.b.a làm việc không tải, dòng điện không tải  $I_0$  rất nhỏ (không vượt quá  $10\%I_{dm}$ ). Nhưng trong quá trình quá độ khi đóng m.b.a không tải vào lưới thì dòng điện  $I_0$  tăng gấp nhiều lần dòng điện định mức. Ta hãy xét hiện tượng đó đối với m.b.a một pha như ở hình 11-5.

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

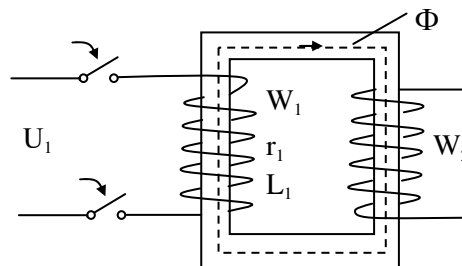
$$U_{1m} \sin(\omega t + \Psi) = i_0 r_1 + W_1 \frac{d\Phi}{dt} \tag{11-17}$$

trong đó  $\Psi$  - góc pha của điện áp lúc đóng mạch.

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

$$i_0 = \frac{W_1 \Phi}{L_1}$$

trong đó  $L_1$  - điện cảm của dây quấn sơ cấp và là



Hình 11-5. Sơ đồ đóng m.b.a vào lưới lúc không tải

hằng số.

Phương trình (11-17) có dạng:

$$\frac{U_{1m}}{W_1} \sin(\omega t + \Psi) = \frac{r_1}{L_1} \Phi + \frac{d\Phi}{dt} \quad (11-18)$$

Nghiệm của phương trình (11-18) gồm hai thành phần:

$$\Phi = \Phi' + \Phi'' \quad (11-19)$$

trong đó:  $\Phi'$  - là thành phần xác lập của từ thông:

$$\Phi' = \Phi_m \sin(\omega t + \Psi - \frac{\pi}{2}) = -\Phi_m \cos(\omega t + \Psi) \quad (11-20)$$

với: 
$$\Phi_m = \frac{L_1 U_{1m}}{W_1 \sqrt{r_1^2 + (\omega L_1)^2}}$$

$\Phi''$  - thành phần từ thông tự do:

$$\Phi'' = C.e^{-\frac{r_1 t}{L_1}} \quad (11-21)$$

với C là hằng số tích phân được xác định theo điều kiện ban đầu. Khi  $t = 0$  trong lõi thép có một từ thông dư nào đó  $\pm \Phi_{dur}$  :

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

hay 
$$C = \Phi_m \cdot \cos\Psi \pm \Phi_{dur}$$

Như vậy: 
$$\Phi'' = (\Phi_m \cos\Psi \pm \Phi_{dur}) \cdot e^{-\frac{r_1 t}{L_1}} \quad (11-22)$$

Thay (11-22), (11-20) vào biểu thức (11-19) ta được:

$$\Phi = -\Phi_m \cdot \cos(\omega t + \Psi) + (\Phi_m \cos\Psi \pm \Phi_{dur}) \cdot e^{-\frac{r_1 t}{L_1}} \quad (11-23)$$

Từ biểu thức (11-23) ta thấy, điều kiện thuận lợi nhất khi đóng m.b.a không tải vào lưới điện xảy ra lúc  $\Psi = \pi/2$  (điện áp có trị số cực đại) và  $\Phi_{dur} = 0$ , lúc đó:

$$\Phi = -\Phi_m \cdot \cos(\omega t + \frac{\pi}{2}) = \Phi_m \cdot \sin\omega t \quad (11-24)$$

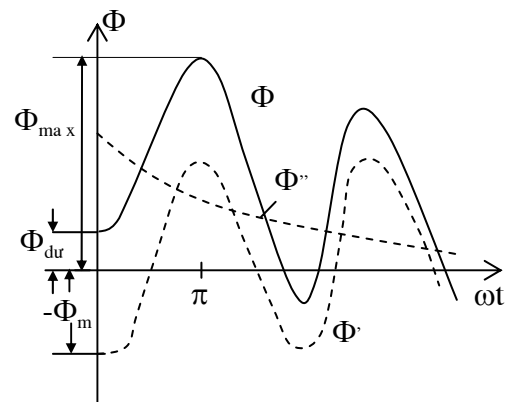
nghĩa là trạng thái xác lập được thành lập ngay và không xảy ra quá trình quá độ.

Ngược lại, điều kiện bất lợi nhất xảy ra khi đóng máy vào lưới lúc  $\Psi = 0$  (điện áp lúc đó bằng không) và  $\Phi_{dur}$  có dấu dương, lúc đó:

$$\Phi = -\Phi_m \cdot \cos\omega t + (\Phi_m + \Phi_{dur}) \cdot e^{-\frac{r_1 t}{L_1}} \quad (11-25)$$

Đường biểu diễn tương ứng trình bày trên hình 11-6.

Từ hình 11-6 ta thấy rằng, từ thông  $\Phi$  sẽ đạt tới trị số cực đại ở thời gian nửa chu kỳ sau



Hình 11-6. Sự biến thiên của từ thông  $\Phi = f(t)$  lúc đóng mạch với điều kiện không thuận lợi nhất

khi đóng mạch, nghĩa là khi  $\omega t \approx \pi$ .

Vì  $r_1 \ll \omega L_1$ , nên  $e^{-\frac{r_1 t}{L_1}} = e^{-\frac{r_1 \pi}{\omega L_1}} \approx 1$ , do đó theo biểu thức (11-25), ở thời điểm ứng với  $\omega t \approx \pi$  ta được :

$$\Phi_{\max} \approx 2\Phi_m + \Phi_{\text{đr}} \quad (11-26)$$

Như vậy  $\Phi_{\max}$  lớn gấp hai lần từ thông lúc làm việc bình thường cho nên lõi thép bão hoà rất mạnh và dòng điện từ hoá  $i_0$  trong quá trình quá độ sẽ lớn gấp hàng trăm lần trị số dòng từ hoá xác lập  $I_0$ . Giả sử lúc làm việc bình thường  $I_0 = 5\% I_{\text{đm}}$  thì trong trường hợp đóng mạch nói trên, dòng điện quá độ bằng  $100 I_0 = 5 I_{\text{đm}}$ . Vì thời gian quá độ rất ngắn (6 ÷ 8 s) nên dòng quá độ không nguy hiểm đối với m.b.a, nhưng nó có thể làm cho bảo vệ rơle tác động cắt m.b.a ra khỏi lưới điện. Vì vậy cần phải chú ý để tính toán và chỉnh định rơle cho đúng.

### 11.5.2. Ngắn mạch đột nhiên

Chế độ ngắn mạch xác lập đã được nghiên cứu ở trên (bài 11-1 đến 11-4). Sau đây ta xét quá trình quá độ từ khi bắt đầu xảy ra ngắn mạch cho tới khi thành lập chế độ ngắn mạch xác lập. Trong quá trình quá độ nói trên, dòng điện sẽ rất lớn, có thể làm hỏng m.b.a, vì vậy cần phải được chú ý đặc biệt.

Giả sử mạch thứ cấp của m.b.a vì lý do nào đó bị nối ngắn mạch như ở hình 11-7a. Cũng như trường hợp ngắn mạch xác lập, lõi thép m.b.a không bão hoà và mạch điện thay thế như ở hình 11-7b trong đó  $r_n = r_1 + r_2$  và  $x_n = x_1 + x_2 = \omega L_n$  là những hằng số.

Phương trình biểu thị quá trình quá độ khi ngắn mạch đột nhiên mạch điện hình 11-7b có dạng:

$$U_{1m} \sin(\omega t + \Psi_n) = r_n i_n + L_n \frac{di_n}{dt} \quad (11-27)$$

trong đó  $\Psi_n$  - góc pha lúc xảy ra ngắn mạch.

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

$$i_n = i'_n + i''_n \quad (11-28)$$

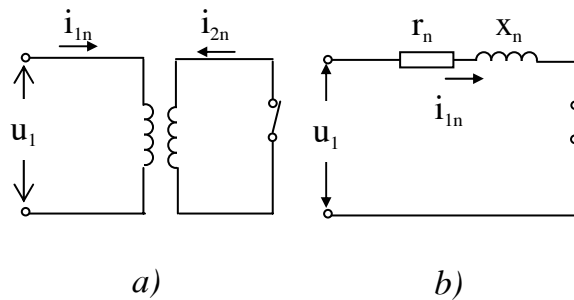
trong đó:  $i'_n$  là thành phần dòng điện ngắn mạch xác lập và  $i''_n$  là thành phần dòng điện ngắn mạch tự do.

$$i'_n = -\frac{U_{1m}}{\sqrt{r_n^2 + (\omega L_n)^2}} \cos(\omega t + \Psi_n) = -\sqrt{2} I_n \cos(\omega t + \Psi_n) \quad (11-29)$$

$$i''_n = \frac{U_{1m}}{\sqrt{r_n^2 + (\omega L_n)^2}} \cos \Psi_n \cdot e^{-\frac{r_n t}{L_n}} = \sqrt{2} I_n \cos \Psi_n e^{-\frac{r_n t}{L_n}} \quad (11-30)$$

Thay (11-29) và (11-30) vào (11-28) ta được:

$$i_n = -\sqrt{2} I_n \cos(\omega t + \Psi_n) + \sqrt{2} I_n \cos \Psi_n e^{-\frac{r_n t}{L_n}} \quad (11-31)$$



Hình 11-7. Sơ đồ m.b.a bị ngắn mạch

Từ biểu thức (11-31) ta thấy rằng, ngắn mạch xảy ra bất lợi nhất khi  $\Psi_n = 0$ . Khi đó ta có:

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

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

$$i_{xg} = \sqrt{2}I_n (1 + e^{-\frac{\pi r_n}{\omega L_n}}) = \sqrt{2}I_n \cdot k_{xg} \quad (11-32)$$

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

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

$$k_{xg} = 1 + e^{-\frac{\pi r_n}{\omega L_n}} = 1 + e^{-\frac{\pi u_{nr}}{u_n \%}} = 1,475$$

và dòng điện xung bằng:

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

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

Khi ngắn mạch giữa các vòng dây bên trong m.b.a, dòng điện xung còn lớn hơn cả trị số trên. Với trị số lớn như vậy, dòng ngắn mạch làm cho dây quấn m.b.a nóng mãnh liệt và bị cháy, đồng thời gây ra những lực cơ học lớn phá hoại kết cấu của dây quấn.

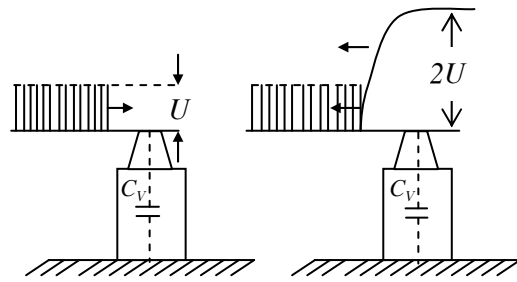
Để bảo vệ ngắn mạch bên ngoài m.b.a, người ta thường dùng những role tác động nhanh để tách chỗ sự cố ngắn mạch ra và dây quấn m.b.a không bị nóng đến mức hỏng. Để bảo vệ ngắn mạch bên trong m.b.a, người ta thường dùng role hơi để cắt m.b.a ra khỏi lưới điện.

## 11-6. QUÁ ĐIỆN ÁP TRONG M.B.A

Khi làm việc trong lưới điện, m.b.a thường chịu những điện áp xung kích, gọi là quá điện áp, có trị số lớn gấp nhiều lần trị số điện áp định mức. Nguyên nhân dẫn đến quá điện áp có thể là do thao tác đóng cắt các đường dây, các máy điện hoặc do ngắn mạch nối đất kèm theo hồ quang hoặc do sét đánh trên đường dây, còn gọi là quá điện áp khí quyển. Quá điện áp khí quyển là nguy hiểm hơn cả vì có trị số rất lớn, có thể đến hàng triệu vôn.

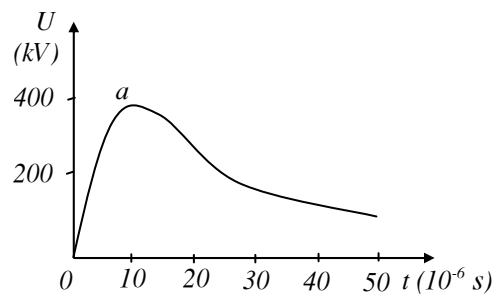
Quá điện áp xảy ra trên một bộ phận nào đó của trạm biến áp với tốc độ gần bằng tốc độ ánh sáng. Để bảo vệ các thiết bị trong trạm biến áp khi có sóng xung kích truyền nhanh đến các thiết bị của trạm, người ta đặt những bộ chống sét có những khe hở thích đáng để sau khi dẫn điện tích của sóng xung kích xuống đất không xảy ra hồ quang ở khe hở dưới tác dụng của điện áp làm việc của lưới điện. Sau tác động của bộ chống sét, điện áp của sóng xung kích giảm đi rất nhiều và các thiết bị đặt trong trạm như m.b.a chỉ còn chịu tác dụng của điện áp có trị số bằng  $4 \div 5$  lần điện áp của lưới điện. Cũng cần chú ý rằng, khi sóng xung kích điện áp truyền từ đường dây đến m.b.a,

do có sự thay đổi của tổng trở (tổng trở của đường dây nhỏ so với tổng trở của m.b.a) nên sóng phản xạ điện áp có biên độ tăng gấp đôi như hình 11-8.



Hình 11-8. Sóng điện áp xung kích tới và phản xạ ở đầu m.b.a

Sóng điện áp xung kích do khí quyển thường có dạng không chu kỳ với đầu sóng 0a rất dốc và đuôi sóng bằng phẳng hơn (hình 11-9). Thời gian tác dụng của sóng xung kích chỉ vào khoảng vài phần triệu giây, nên đầu sóng có thể coi như một phần tư chu kỳ của một sóng điện áp chu kỳ có tần số rất cao ( $f = 10.000 \div 50.000 \text{ Hz}$ ).



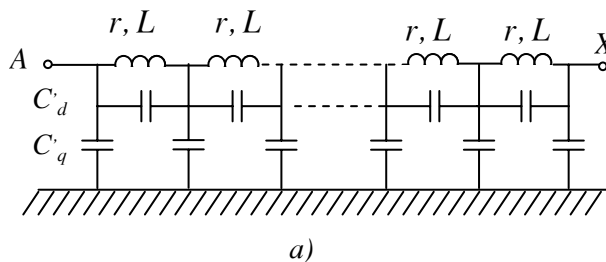
Hình 11-9. Sóng điện áp xung kích do khí quyển

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

### 11.6.1. Mạch điện thay thế của m.b.a khi có quá điện áp

Ta biết rằng, ngoài điện trở  $r$  và điện kháng  $x_L = \omega.L$ , dây quấn m.b.a còn có dung kháng  $x_C = \frac{1}{2\pi f C}$  do có điện dung giữa các vòng dây

và giữa các dây quấn đối với đất (như trình bày ở hình 11-10a). Trong hình 11-10,  $C_d$  là điện dung giữa các vòng dây hoặc giữa các cuộn dây,  $C_q$  là điện dung giữa các vòng dây hoặc giữa các cuộn dây đối với đất. Ở chế độ làm việc bình thường với tần số  $f = 50 \text{ Hz}$  của lưới điện, các dung kháng  $x_C$  kể trên rất lớn so với  $r$  và  $x_L$  nên không có ảnh hưởng đáng kể đến sự làm việc của m.b.a và ta có mạch điện thay thế như đã trình bày ở chương 10. Ngược lại, khi xảy ra quá điện áp với tần số rất cao như đã nói ở trên, dung kháng  $x_C$  rất nhỏ so với  $r$  và  $x_L$  và có tác dụng quyết định. Lúc đó mạch điện thay thế của m.b.a có dạng như trình bày ở hình 11 - 10b và dây quấn của m.b.a được xem như mạch điện đồng nhất có tổng điện

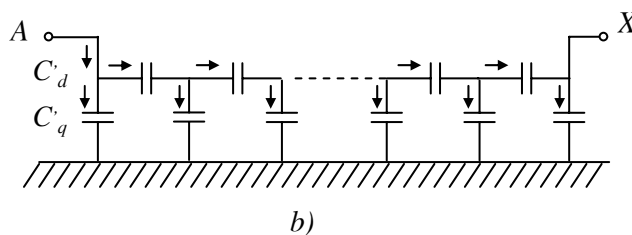


dung dọc  $C_d = \frac{1}{\sum \frac{1}{C_d}}$  và tổng điện

dung ngang  $C_q = \sum C_q$ .

### 11.6.2. Sự phân bố điện áp dọc dây quấn

Theo hình 11-10b, do có các điện dung  $C_q$  nên lúc sóng xung kích truyền vào dây quấn, trong quá trình nạp điện ban đầu, các điện tích phân bố không đều trên các điện dung  $C_d$  dọc dây quấn. Kết quả là điện áp rơi trên các phần tử  $C_d$  không đều nhau và giảm dần từ đầu A đến đầu X của



Hình 11-10. Sơ đồ biểu thị dây quấn của m.b.a khi có tác dụng của sóng điện áp xung kích

dây quấn theo quy luật sau đây:

Nếu dây quấn nối đất:

$$u_x = U_A \frac{sh\alpha x}{sh\alpha} \quad (11-33)$$

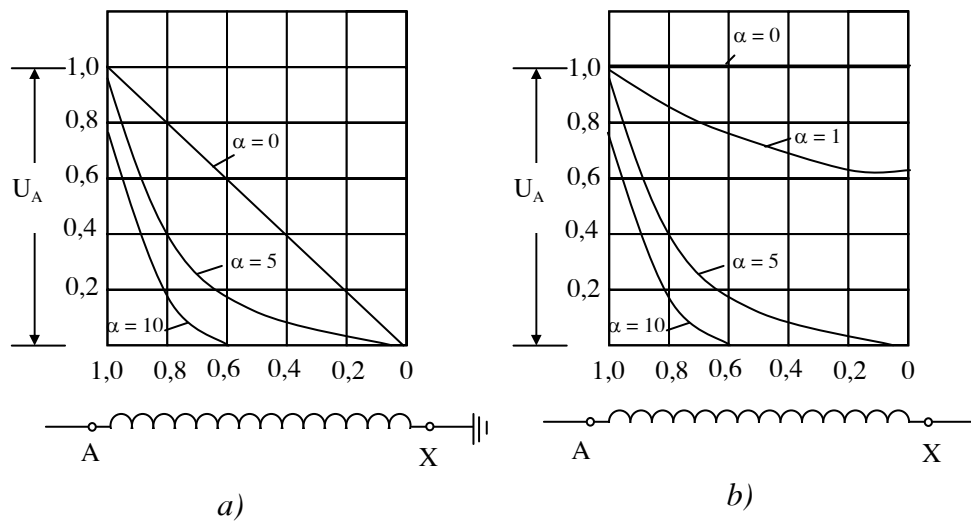
Nếu dây quấn không nối đất:

$$u_x = U_A \frac{ch\alpha x}{ch\alpha} \quad (11-34)$$

Trong đó:  $U_A$  - biên độ của sóng điện áp xung kích;  $\alpha = \sqrt{\frac{C_q}{C_d}}$  với qui ước chiều dài

dây quấn bằng một.

Đường biểu diễn sự phân bố ban đầu của điện áp dọc dây quấn như ở hình 11-11. Ta thấy rằng khi  $\alpha = 0$ , với dây quấn nối đất thì điện áp sẽ phân bố đều dọc theo chiều dài của dây quấn ( $u_x = xU_A$ ), còn với dây quấn không nối đất thì sự phân bố điện áp ban đầu dọc theo chiều dài của dây quấn là giống nhau ( $u_x = U_A$ ). Nếu  $\alpha$  càng lớn, sự phân bố điện áp ban đầu dọc theo chiều dài của dây quấn càng không đều, điện áp rơi tập trung chủ yếu vào đầu của dây quấn. Khi  $\alpha > 5$ , sự phân bố điện áp ban đầu không phụ thuộc vào vấn đề nối đất hay không nối đất của dây quấn.



Hình 11-11. Sự phân bố điện áp ban đầu dọc dây quấn khi nối đất (a) và khi không nối đất (b)

Để thấy rõ mức độ phân bố điện áp không đều, ta hãy xét gradient điện áp đối với các trường hợp dây quấn nối đất và trường hợp dây quấn không nối đất:

Với dây quấn nối đất: 
$$\frac{du_x}{dx} = \alpha U_A \frac{ch\alpha x}{sh\alpha} \quad (11-35)$$

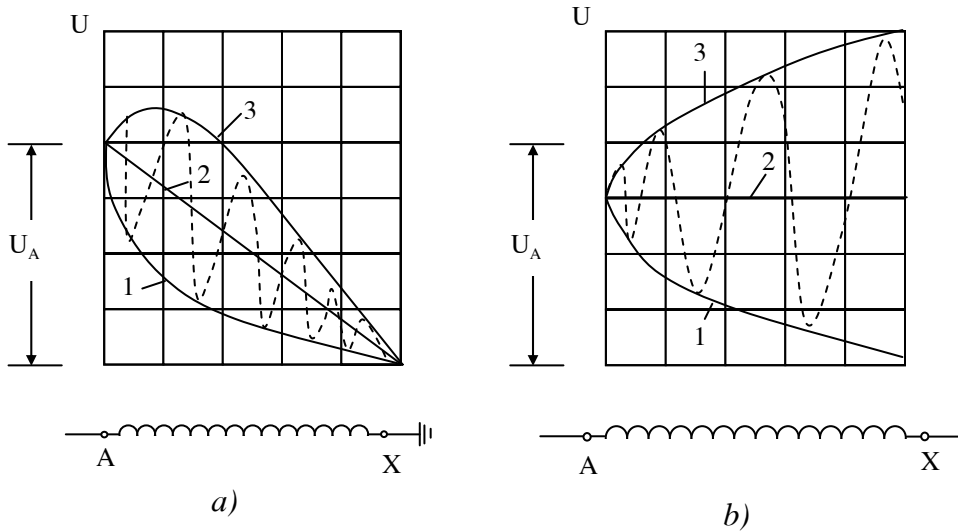
Với dây quấn không nối đất: 
$$\frac{du_x}{dx} = \alpha U_A \frac{sh\alpha x}{ch\alpha} \quad (11-36)$$

Giả sử  $\alpha \geq 3$ , thì ở đầu dây quấn ( $x = 1$ ),  $th\alpha = cth\alpha = 1$  nên trong cả hai trường hợp đều có:



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

Như vậy, trong trường hợp điện áp phân bố không đều, điện áp ban đầu ở cuộn dây đầu tiên lớn gấp  $\alpha$  lần điện áp ban đầu trong trường hợp điện áp phân bố đều. Vì vậy phải tăng cường cách điện của các vòng dây và các cuộn dây dẫn đầu tiên của dây quấn.



Hình 11-12. Quá trình quá độ trong dây quấn m.b.a do sóng điện áp xung kích: a). dây quấn nối đất; b). dây quấn không nối đất.

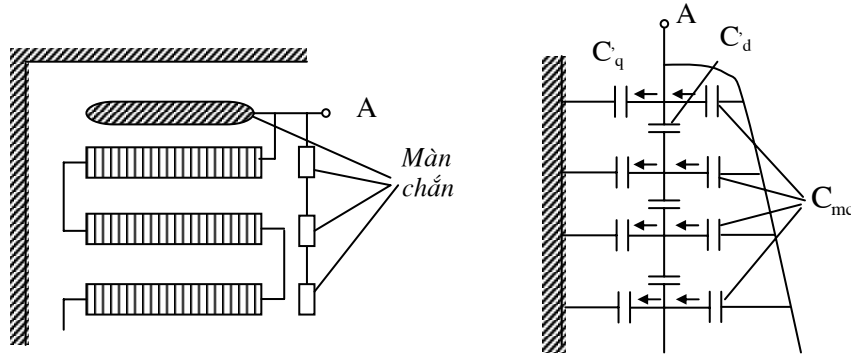
Vì ngoài điện dung C dây quấn còn có điện trở r và điện cảm L, toàn bộ dây quấn là một mạch dao động nên sau sự phân bố điện áp ban đầu là một quá trình dao động điện từ tần số cao. Do có tổn hao trên dây dẫn, tổn hao trong chất cách điện và trong lõi thép nên dao động đó tắt dần và sự phân bố điện áp cuối cùng sẽ như trên đường 2 trên hình 11-12. Biên độ của dao động ở một điểm tùy ý trên dây quấn bằng hiệu số trị số điện áp ban đầu và trị số điện áp lúc cuối cùng ở điểm đó. Đường biểu diễn điện áp cực đại của các điểm dọc dây quấn đối với đất là đường 3 trên hình 11-12, còn đường nét đứt trên hình 11-12 là sự phân bố điện áp dọc dây quấn ở một thời điểm của quá trình quá độ.

Từ hình 11-12 ta thấy rằng, trong quá trình quá độ dọc dây quấn có chỗ điện áp đối với đất lớn hơn  $U_A$  và ở dây quấn không nối đất điện áp gấp hai lần  $U_A$ . Gradient điện áp cũng rất lớn cả ở giữa và ở cuối dây quấn, vì vậy cần phải tăng cường cách điện ở đó.

### 11.6.3. Bảo vệ m.b.a khỏi quá điện áp

Do tác dụng của quá điện áp, cách điện của dây quấn m.b.a có thể bị xuyên thủng, vì vậy cần phải có các biện pháp phòng ngừa. Thông thường, các cuộn dây ở đầu và ở cuối dây quấn được tăng cường cách điện bằng cách quấn thêm nhiều lớp giấy cách điện. Điểm trung tính (điểm cuối) của dây quấn của những m.b.a có điện áp bằng hoặc lớn hơn 35 kV cũng thường được nối đất.

Ngoài ra người ta còn dùng một số biện pháp khác có hiệu lực để bảo vệ m.b.a khỏi quá điện áp bằng cách làm giảm hoặc triệt tiêu quá trình dao động điện từ nói trên. Muốn vậy phải làm cho đường phân bố điện áp ban đầu gần giống đường phân bố điện



Hình 11-13. Vành màn chắn và các vòng màn chắn ở đầu dây quấn

áp cuối cùng. Trên thực tế người ta chế tạo những điện dung màn chắn  $C_{mc}$  như trình bày ở hình 11-13 sao cho các dòng điện qua chúng lúc nạp điện bằng hoặc gần bằng các dòng điện đi qua các điện dung  $C_q$ . Như vậy dòng điện đi qua các điện dung dọc dây quấn  $C_d$  sẽ không đổi, do đó ngay lúc ban đầu điện áp đã phân bố đều hoặc gần đều dọc dây quấn. Kết quả là biên độ của điện áp dao động sẽ rất nhỏ hoặc dao động sẽ không xảy ra. Các điện dung màn chắn thường được chế tạo thành những vành hoặc vòng kim loại, khuyết một đoạn để tránh trở thành những vòng ngắn mạch và nối với dây quấn, đồng thời bọc cách điện. Vành điện dung được đặt giữa cuộn dây đầu tiên và gông từ, còn các vòng điện dung thì ôm lấy các cuộn dây đầu tiên.

### Câu hỏi

1. M.b.a làm việc với tải không đối xứng sẽ có những ảnh hưởng xấu như thế nào đến tình trạng làm việc của máy?
2. Tổng trở từ hoá của thành phần thứ tự không  $z_{m0}$  của tổ m.b.a ba pha và m.b.a ba pha ba trụ trong hệ đơn vị tương đối vào khoảng bao nhiêu? So sánh với trị số tổng trở ngắn mạch  $z_n$ .
3. Từ thông  $\Phi_{t0}$  và từ thông  $\Phi_3$  (xem chương 9) của ba pha đều trùng pha với nhau về thời gian và có thể khép mạch trong lõi thép của tổ m.b.a ba pha nhưng ảnh hưởng của chúng đối với m.b.a khác nhau như thế nào?
4. Phân tích trường hợp ngắn mạch một pha của m.b.a nối Y/Y<sub>0</sub> vẽ ở hình 11-1c. Vẽ đồ thị vectơ điện áp ứng với trường hợp đó.
5. Quá dòng điện là gì? Tại sao có hiện tượng dòng điện  $i_0$  tăng lên khi đóng m.b.a không tải vào lưới điện?
6. Quá điện áp là gì? Tại sao lúc quá điện áp các vòng dây đầu và cuối của dây quấn CA lại chịu tác dụng của điện áp lớn? Các phương pháp bảo vệ quá điện áp?
7. Tại sao khi ngắn mạch bên trong m.b.a dòng điện xung có trị số lớn hơn khi ngắn mạch bên ngoài m.b.a?

## CHƯƠNG 12 CÁC LOẠI M.B.A KHÁC VÀ MÁY BIẾN ÁP ĐẶC BIỆT

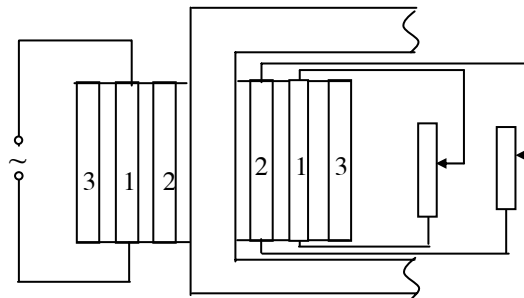
### 12-1. MÁY BIẾN ÁP BA DÂY QUẤN

Trong hệ thống điện lực, những m.b.a có một dây quấn sơ cấp và hai dây quấn thứ cấp gọi là m.b.a ba dây quấn dùng để cung cấp điện cho các lưới điện có những điện áp khác nhau, ứng với các tỉ số biến đổi điện áp là:

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

M.b.a ba dây quấn có ưu điểm là nâng cao được tiêu chuẩn kinh tế và kỹ thuật của trạm biến áp vì số m.b.a cần thiết của trạm sẽ ít hơn và tổn hao vận hành cũng nhỏ hơn.

M.b.a ba dây quấn cũng được chế tạo theo kiểu tổ m.b.a ba pha hoặc m.b.a ba pha ba trụ, ở mỗi pha có đặt ba dây quấn như hình 12-1. Các tổ nối dây tiêu chuẩn như sau:  $Y_0/Y_0/\Delta$ -12-11 và  $Y_0/\Delta/\Delta$  -11-11.



Hình 12-1. M.b.a ba dây quấn

Theo quy định, công suất của các dây

quấn được chế tạo theo tỉ lệ sau:

- 1) 100% , 100% , 100%.
- 2) 100% , 100% , 67%.
- 3) 100% , 67% , 67%.
- 4) 100% , 67% , 100%.

Công suất định mức của m.b.a ba dây quấn lấy theo công suất của dây quấn sơ cấp (có công suất lớn nhất).

#### 12.1.1. Phương trình cơ bản, mạch điện thay thế và đồ thị véc tơ của m.b.a ba dây quấn

Cũng như m.b.a hai dây quấn, dòng điện từ hoá của m.b.a ba dây quấn rất nhỏ nên có thể bỏ qua. Sau khi quy đổi các dây quấn 2 và 3 về dây quấn 1 ta có các phương trình cơ bản sau:

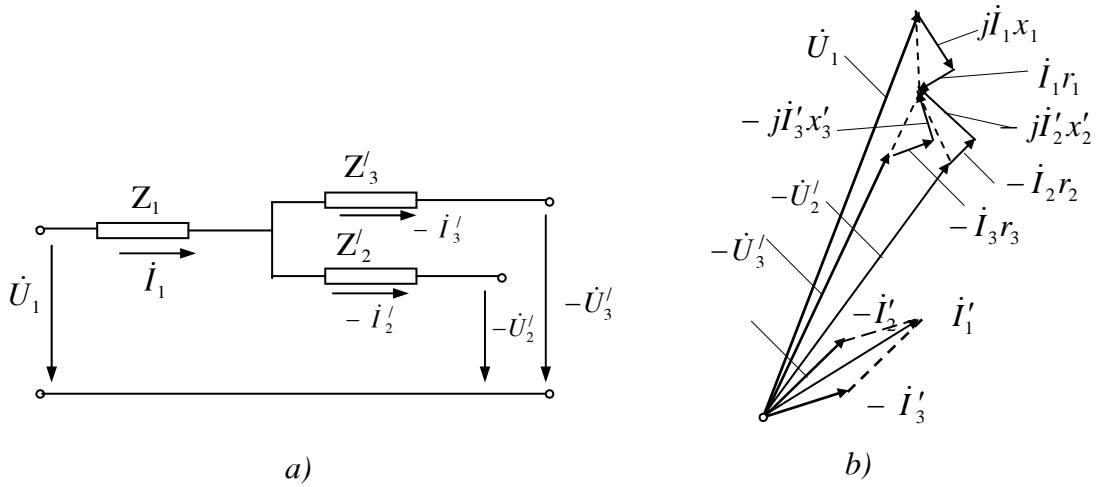
$$\dot{I}_1 + \dot{I}'_2 + \dot{I}'_3 = \dot{I}_0 \approx 0 \quad (12-2)$$

$$\dot{U}_1 - \dot{I}_1 Z_1 = -(\dot{U}'_2 + \dot{I}'_2 Z'_2) = -(\dot{U}'_3 + \dot{I}'_3 Z'_3) \quad (12-3)$$

trong đó:  $Z_1 = r_1 + jx_1$ ;  $Z'_2 = r'_2 + jx'_2$ ;  $Z'_3 = r'_3 + jx'_3$  là tổng trở của dây quấn sơ cấp và các dây quấn thứ cấp sau khi quy đổi.

Cần chú ý rằng các điện kháng tản ở đây không phải chỉ quyết định bởi từ thông tản riêng biệt của từng dây quấn như trong m.b.a hai dây quấn mà quyết định do sự ngẫu hợp từ thông tản của ba dây quấn.

Mạch điện thay thế và đồ thị véc tơ ứng với các phương trình (12-2) và (12-3) được trình bày như trên các hình 12-2a và hình 12-2b.



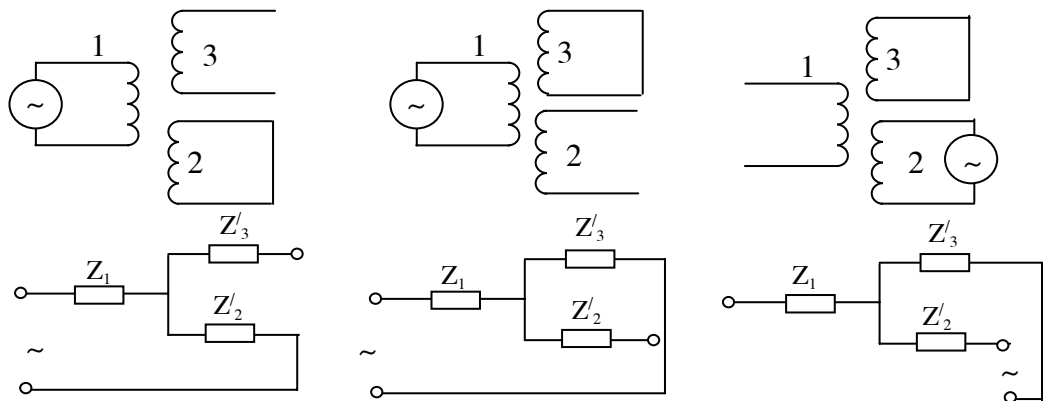
Hình 12-2. Mạch điện thay thế (a) và đồ thị véc tơ (b) của m.b.a ba dây quấn

Các tham số của mạch điện thay thế m.b.a ba dây quấn được xác định từ ba thí nghiệm ngắn mạch theo hình 12-3. Theo các số liệu của những thí nghiệm đó ta được:

$$\begin{aligned} Z_{n12} &= r_{n12} + jx_{n12} = (r_1 + r_2) + j(x_1 + x_2) \\ Z_{n13} &= r_{n13} + jx_{n13} = (r_1 + r_3) + j(x_1 + x_3) \\ Z_{n23} &= r_{n23} + jx_{n23} = (r_2 + r_3) + j(x_2 + x_3) \end{aligned} \quad (12-4)$$

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

$$\begin{aligned} r_1 &= \frac{r_{n12} + r_{n13} + r_{n23}}{2} \\ r_2 &= \frac{r_{n12} + r_{n23} + r_{n13}}{2} \\ r_3 &= \frac{r_{n13} + r_{n23} + r_{n12}}{2} \end{aligned} \quad (12-5)$$



Hình 12-3. Sơ đồ và mạch điện thay thế ứng với thí nghiệm ngắn mạch của m.b.a ba dây quấn

Các biểu thức của  $x_1, x_2$  và  $x_3$  cũng có dạng tương tự. Các thí nghiệm ngắn mạch cũng cho phép xác định được các điện áp ngắn mạch  $u_{n12}, u_{n13}, u_{n23}$  tương ứng với các tổng trở ngắn mạch  $z_{n12}, z_{n13}$  và  $z_{n23}$ .

### 12.1.2 Độ thay đổi điện áp của m.b.a ba dây quấn

Cũng như ở m.b.a hai dây quấn, các điện áp đầu ra  $U_2, U_3$  của m.b.a ba dây quấn thay đổi theo trị số và tính chất của các dòng điện tải  $I_2$  và  $I_3$ . Cần chú ý rằng, khi tải của một dây quấn thứ cấp thay đổi thì sẽ ảnh hưởng đến điện áp của dây quấn thứ cấp kia do có điện áp rơi trong dây quấn sơ cấp  $z_1 I_1, \dots$

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

$$\Delta U_{12^*} = \frac{U_{1dm} - U_2}{U_{1dm}} = u_{nr12^*} \cos\varphi_2 + u_{nx12^*} \sin\varphi_2 + u_{nr(3)^*} \cos\varphi_3 + u_{nx(3)^*} \sin\varphi_3 \quad (12-6)$$

trong đó:

$$u_{nr12^*} = \frac{r_{n12} I_2}{U_{1dm}}; u_{nx12^*} = \frac{x_{n12} I_2}{U_{1dm}}; u_{nr(3)^*} = \frac{r_1 I_3}{U_{1dm}}; u_{nx(3)^*} = \frac{x_1 I_3}{U_{1dm}}$$

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

$$\Delta U_{13^*} = \frac{U_{1dm} - U_3}{U_{1dm}} = u_{nr13^*} \cos\varphi_3 + u_{nx13^*} \sin\varphi_3 + u_{nr(2)^*} \cos\varphi_2 + u_{nx(2)^*} \sin\varphi_2 \quad (12-7)$$

trong đó:

$$u_{nr13^*} = \frac{r_{n13} I_3}{U_{1dm}}; u_{nx13^*} = \frac{x_{n13} I_3}{U_{1dm}}; u_{nr(2)^*} = \frac{r_1 I_2}{U_{1dm}}; u_{nx(2)^*} = \frac{x_1 I_2}{U_{1dm}}$$

## 12-2. MÁY BIẾN ÁP TỰ NGẪU

Khi điện áp của lưới điện sơ cấp và thứ cấp khác nhau không nhiều, tức là tỉ số biến đổi điện áp nhỏ, để kinh tế hơn về chế tạo và vận hành người ta dùng m.b.a tự ngẫu thay cho m.b.a hai dây quấn.

M.b.a tự ngẫu là m.b.a trong đó một bộ phận của dây quấn đồng thời thuộc cả hai dây quấn sơ cấp và thứ cấp. Vì vậy, giữa các dây quấn sơ cấp và thứ cấp của m.b.a tự ngẫu ngoài sự liên hệ với nhau về từ còn có sự liên hệ trực tiếp với nhau về điện.

Cũng như các m.b.a thông thường khác, m.b.a tự ngẫu cũng có loại tăng áp, giảm áp, có loại một pha, ba pha.

Hình 12-4 trình bày hai kiểu nối dây của m.b.a tự ngẫu trong đó: a) ứng với các s.đ.đ.  $E_1$  và  $E_2$  thuận nhau; b) ứng với chiều các s.đ.đ. ngược nhau.

Với cách nối dây như vậy, công suất truyền tải qua m.b.a tự ngẫu gồm hai phần, một phần qua từ trường của lõi thép và một phần truyền dẫn trực tiếp. Ta hãy so sánh dung lượng thiết kế  $S_{tk}$  với dung lượng truyền tải  $S_{tt}$  của m.b.a tự ngẫu. Giống như đối với m.b.a hai dây quấn, dung lượng thiết kế của m.b.a tự ngẫu là dung lượng truyền qua từ trường và bằng:

$$S_{tk} = E_1 I_1 = E_2 I_2 \quad (12-8)$$

Tỉ số biến đổi của m.b.a tự ngẫu:

$$k = \frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Trên thực tế, lúc vận hành dung lượng truyền tải của m.b.a tự ngẫu bằng:

$$S_{tt} = U_{CA} I_{CA} = U_{HA} I_{HA} \quad (12-9)$$

và tỉ số biến đổi điện áp của lưới điện:

$$k' = \frac{U_{CA}}{U_{HA}} = \frac{I_{HA}}{I_{CA}}$$

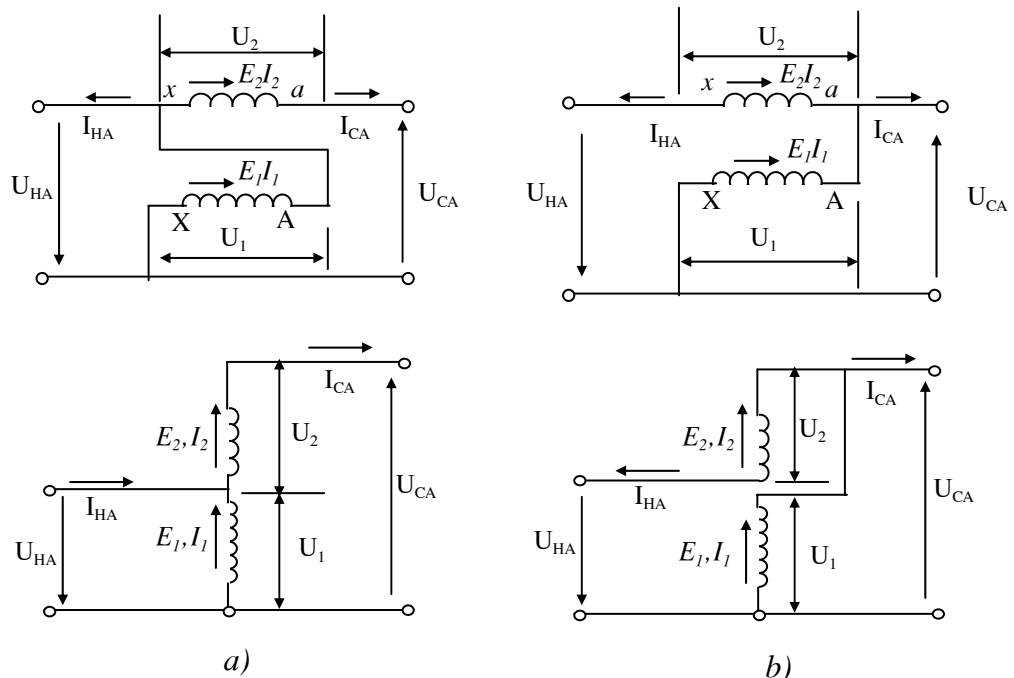
Như vậy, theo hình 12-4a ta có:

$$\frac{S_{tk}}{S_{tt}} = \frac{E_2 I_2}{U_{CA} I_{CA}} = \frac{(U_{CA} - U_{HA}) I_{CA}}{U_{CA} I_{CA}} = 1 - \frac{1}{k'} \quad (12-10)$$

Với hình 12-4b ta có:

$$\frac{S_{tk}}{S_{tt}} = \frac{E_2 I_2}{U_{CA} I_{CA}} = \frac{(U_{CA} - U_{HA}) I_{HA}}{U_{CA} I_{CA}} = k' - 1 \quad (12-11)$$

Ta thấy rằng kiểu nối dây theo hình 12-4a ưu việt hơn vì với cùng trị số  $k'$  thì tỉ số  $S_{tk}/S_{tt}$  nhỏ hơn, do đó trên thực tế được dùng nhiều. Nếu  $k'$  càng gần 1 thì càng có lợi. Thông thường thì m.b.a tự ngẫu có  $k' \leq 2,5$  và dùng để nối liên lạc các lưới điện có điện áp khác nhau: 110, 154, 220, 330, 500 kV.



Hình 12-4. Sơ đồ của m.b.a tự ngẫu một pha: a) nối thuận; b) nối ngược

Như vậy là m.b.a tự ngẫu kinh tế hơn so với m.b.a hai dây quấn thông thường về mặt chế tạo. Tổn hao trong m.b.a tự ngẫu cũng nhỏ hơn, vì nếu lấy tỉ số giữa tổn hao  $\Sigma p$  với dung lượng truyền tải  $S_{tt}$ , ta có:

$$\frac{\Sigma p}{S_{tt}} = \frac{\Sigma p}{S_{tk}} \left(1 - \frac{1}{k'}\right)$$

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

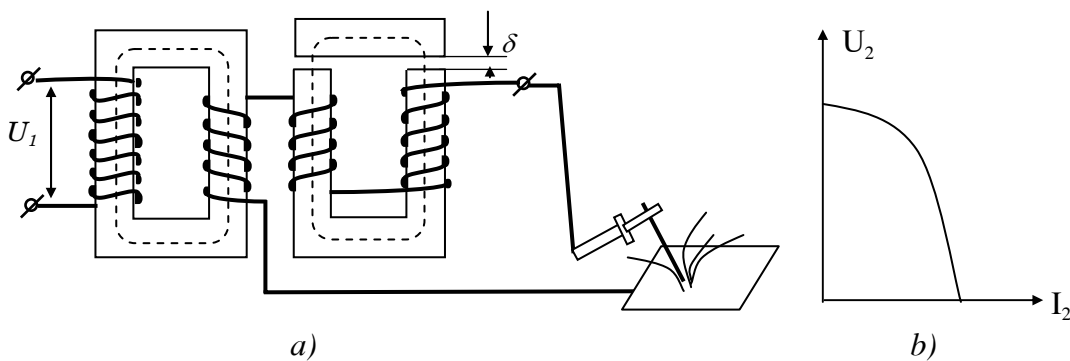
Cũng tương tự như vậy, điện áp ngắn mạch của m.b.a tự ngẫu giảm còn  $\left(1 - \frac{1}{k'}\right)$  so với điện áp ngắn mạch của m.b.a hai dây quấn, do đó độ thay đổi điện áp  $\Delta U$  hay điện áp rơi trong m.b.a tự ngẫu cũng nhỏ hơn. Cần chú ý rằng do điện áp ngắn mạch của m.b.a tự ngẫu nhỏ nên dòng điện ngắn mạch của nó sẽ tăng lên tương ứng.

Ngoài ứng dụng trong hệ thống điện lực để truyền tải điện năng, m.b.a tự ngẫu còn được dùng để mở máy động cơ điện không đồng bộ. M.b.a tự ngẫu còn được dùng rộng rãi trong các phòng thí nghiệm để thay đổi liên tục điện áp. Trong trường hợp này điện áp được thay đổi bằng cách dùng chổi than tiếp xúc trượt với dây quấn.

### 12-3. CÁC MÁY BIẾN ÁP ĐẶC BIỆT

#### 12.3.1. Máy biến áp hàn

M.b.a hàn được chia thành nhiều loại có cấu tạo và đặc tính khác nhau tùy theo phương pháp hàn (hàn hồ quang, hàn điện...). Ở đây ta chỉ xét đến loại m.b.a hàn hồ quang (hình 12-5a). Các m.b.a hàn hồ quang được chế tạo sao cho đặc tính ngoài  $U_2 = f(I_2)$  rất dốc (hình 12-5b) để hạn chế dòng điện ngắn mạch và bảo đảm cho hồ quang được ổn định. Muốn điều chỉnh dòng điện hàn cần phải có thêm một cuộn cảm phụ có điện kháng thay đổi được bằng cách thay đổi khe hở  $\delta$  của lõi thép cuộn cảm. M.b.a hàn hồ quang thường có điện áp không tải bằng  $60 \div 75$  V và điện áp ở tải định mức bằng 30 V. Công suất của m.b.a hàn thông thường vào khoảng 20 kVA và nếu dùng cho hàn tự động thì có thể tới hàng 100 kVA.



Hình 12-5. Sơ đồ nguyên lý m.b.a hàn có cuộn kháng (a) và đặc tính ngoài (b)

Chế độ làm việc của m.b.a hàn là chế độ làm việc ngắn mạch ngắn hạn thứ cấp. Cuộn dây sơ cấp nối với nguồn điện, cuộn dây thứ cấp một đầu nối với cuộn điện kháng và que hàn còn đầu kia nối với kim loại hàn. Khi đưa que hàn vào tấm kim loại,

sẽ có dòng điện lớn chạy qua và làm nóng chỗ tiếp xúc. Khi nhắc que hàn cách tấm kim loại hàn một khoảng nhỏ, vì cường độ điện trường lớn làm ion hoá chất khí sẽ sinh ra hồ quang có nhiệt lượng lớn làm nóng chảy chỗ hàn.

### 12.3.2. Máy biến áp đo lường

M.b.a đo lường gồm hai loại: máy biến điện áp và máy biến dòng điện, chúng dùng để biến đổi điện áp cao hoặc dòng điện lớn thành những lượng nhỏ đo được bằng những dụng cụ đo tiêu chuẩn (1 ÷ 100 V hoặc 1 ÷ 5 A) hoặc dùng trong mạch bảo vệ. Máy biến điện áp được chế tạo với công suất 25 ÷ 1000 VA và máy biến dòng điện với công suất 5 ÷ 100 VA.

Máy biến điện áp có dây quấn sơ cấp nối song song với lưới điện, còn dây quấn thứ cấp nối với vônmet, hoặc cuộn điện áp của oátmet, hoặc với cuộn dây của role bảo vệ (hình 12-6). Tổng trở z của những dụng cụ này rất lớn nên máy biến điện áp làm việc ở trạng thái gần như không tải, điện áp rơi trong máy nhỏ, do đó sai số về trị số và sai số về góc pha giữa  $U_1$  và  $U_2$  đều nhỏ.

Sai số về trị số giữa  $U_1$  và  $U_2$  được tính:

$$\Delta U\% = \frac{\frac{w_1}{w_2} U_2 - U_1}{U_1} \quad (12-12)$$

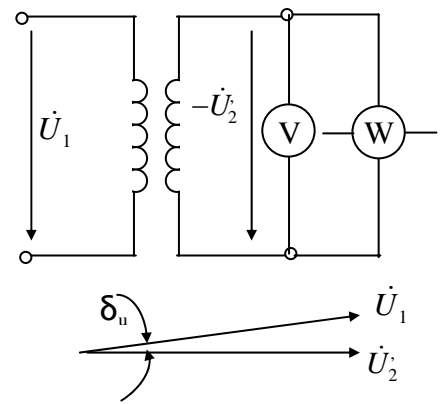
và sai số về góc  $\delta_u$  như ở hình 12-6.

Tuỳ theo mức độ sai số, máy biến điện áp có các cấp chính xác 0,5; 1; 3, nghĩa là  $\Delta U\%$  tương ứng bằng  $\pm 0,5\%$ ;  $\pm 1\%$ ;  $\pm 3\%$  và  $\delta_u$  tương ứng bằng  $\pm 20'$ ;  $\pm 40'$  (đối với cấp 3 không có qui định tiêu chuẩn về  $\delta_u$ ). Khi sử dụng máy biến điện áp cần chú ý không được nối tắt mạch thứ cấp vì như vậy sẽ tương đương với nối tắt mạch sơ cấp, nghĩa là gây sự cố ngắn mạch ở lưới điện.

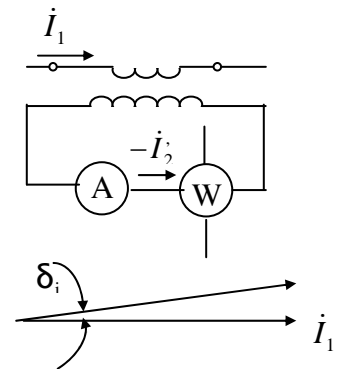
Máy biến dòng điện có dây quấn sơ cấp gồm ít vòng dây và nối nối tiếp với mạch cần đo dòng điện, dây quấn thứ cấp gồm nhiều vòng dây được nối với ampermet hoặc nối với cuộn dòng điện của oátmet hay role bảo vệ (hình 12-7). Tổng trở z của những dụng cụ này rất nhỏ nên trạng thái làm việc của máy biến dòng điện là trạng thái ngắn mạch, lõi thép không bão hoà ( $\Phi = 0,8 \div 1$  Wb) và  $I_0 \approx 0$ , do đó các sai số đo lường về trị số:

$$\Delta i\% = \frac{\frac{w_2}{w_1} I_2 - I_1}{I_1} 100 \quad (12-13)$$

và sai số về góc  $\delta_i$  cũng sẽ nhỏ. Tuỳ theo mức độ sai số, máy biến dòng điện có các cấp chính xác 0,2; 0,5; 1; 3; 10, nghĩa là  $\Delta i\%$  tương ứng bằng  $\pm 0,2\%$ ;  $\pm 0,5\%$ ; ...  $\pm 10\%$  và  $\delta_i$  tương ứng bằng  $\pm 10'$ ;  $\pm 40'$ ;  $\pm 80'$  (đối với hai cấp 3 và 10 không có



Hình 12-6. Sơ đồ nối dây và đồ thị vectơ của máy biến điện áp



Hình 12-7. Sơ đồ nối dây và đồ thị vectơ của máy biến dòng



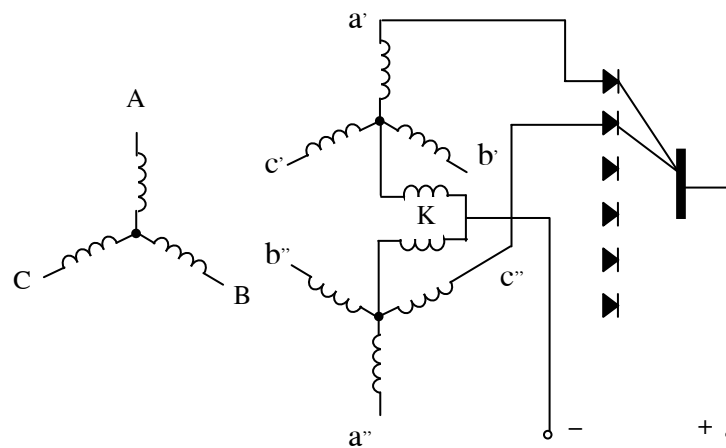
qui định tiêu chuẩn về  $\delta_i$ ). Khi dụng cần chú ý không được để dây quấn thứ cấp hở mạch vì như vậy dòng điện từ hoá rất lớn ( $I_0 = I_1$ ), lõi thép bão hoà nghiêm trọng ( $\Phi = 1,4 \div 1,8 \text{ Wb}$ ) sẽ nóng lên và làm cháy dây quấn. Hơn nữa, khi mạch từ bão hoà, từ thông bằng đầu sẽ sinh ra s.đ.đ. nhọn đầu, do đó ở dây quấn thứ cấp có thể xuất hiện điện áp cao hàng ngàn vôn, không an toàn cho người sử dụng.

### 12.3.3. Máy biến áp chỉnh lưu

M.b.a chỉnh lưu có đặc điểm là tải của các pha không đồng thời mà luân phiên nhau theo sự làm việc của các dương cực của các bộ chỉnh lưu thyristơ hoặc bán dẫn đặt ở mạch thứ cấp của m.b.a như trên hình 12-8. Như vậy, m.b.a luôn luôn làm việc trong tình trạng không đối xứng, do đó phải chọn sơ đồ nối dây sao cho đảm bảo được điều kiện từ hoá bình thường của các trụ thép và giảm nhỏ được sự đập mạch của điện áp và dòng điện chỉnh lưu. Muốn vậy phải tăng số pha của dây quấn thứ cấp (thường chọn số pha bằng 6) và ở phía thứ cấp có đặt thêm cuộn cảm cân bằng K giữa các điểm trung tính của ba pha thuận

(a'b'c') và ba pha ngược (a''b''c''). Tác dụng của cuộn cảm cân bằng K là làm cân bằng điện áp trong mạch của hai pha có góc lệch  $60^\circ$  làm việc song song, ví dụ như của pha a' và c'' trên hình 12-8.

Khi hai dây quấn thứ cấp làm việc song song với nhau, bộ chỉnh lưu sáu pha làm việc tương tự như bộ chỉnh lưu ba pha và mỗi mỗi dương cực làm việc không phải trong thời gian một phần sáu chu kỳ mà trong một phần ba chu kỳ.



Hình 12-8. Sơ đồ máy biến áp chỉnh

#### Câu hỏi

1. Cấu tạo, nguyên lý làm việc và đặc điểm của m.b.a ba dây quấn?
2. Nguyên lý làm việc và đặc điểm của m.b.a tự ngẫu. So sánh m.b.a tự ngẫu với m.b.a hai dây quấn?
3. Cấu tạo, nguyên lý làm việc và ứng dụng của m.b.a đo lường. Những điểm cần chú ý khi sử dụng?

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. VŨ GIA HANH - TRẦN KHÁNH HÀ - PHAN TỬ THỤ - NGUYỄN VĂN SÁU  
Máy điện 1, 2 - Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật - 2001.
2. TRẦN KHÁNH HÀ  
Máy điện 1, 2 - Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật - 1997.
3. CHÂU NGỌC THẠCH  
Hướng dẫn sử dụng và sửa chữa máy biến áp, động cơ điện và máy phát điện công suất nhỏ - Nhà xuất bản Giáo dục - 1994.
4. NGUYỄN ĐỨC SỸ  
Sửa chữa máy điện và máy biến áp - Nhà xuất bản giáo dục - 2001.
5. NGUYỄN VĂN SÁU  
Máy điện 1, 2 - Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật - 2003.
6. NGUYỄN HỒNG THANH-NGUYỄN PHÚC HẢI  
Máy điện trong thiết bị tự động- Nhà xuất bản Giáo dục - 1999

## MỤC LỤC

<b>Lời nói đầu</b>	<b>3</b>
<b>PHẦN THỨ NHẤT</b>	
<b>MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU</b>	
<i>Chương 1</i> ĐẠI CƯƠNG VỀ MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU	
1-1. Nguyên lý làm việc của máy điện một chiều	5
1-2. Kết cấu của máy điện một chiều	7
1-3. Các đại lượng định mức	10
<i>Chương 2</i> DÂY QUẤN PHẦN ỨNG MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU	
2-1. Đại cương	12
2-2. Dây quấn xếp đơn	14
2-3. Dây quấn sóng đơn	19
2-4. Sức điện động cảm ứng trong dây quấn máy điện một chiều	21
<i>Chương 3</i> TỪ TRƯỜNG TRONG MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU	
3-1. Từ trường cực từ	23
3-2. Từ trường phản ứng	25
3-3. Từ trường cực từ phụ	29
3-4. Từ trường dây quấn bù	30
<i>Chương 4</i> ĐỔI CHIỀU DÒNG ĐIỆN	
4-1. Đại cương	32
4-2. Quá trình đổi chiều	34
4-3. Nguyên nhân phát sinh ra tia lửa và các biện pháp cải thiện đổi chiều	38
<i>Chương 5</i> QUÁ TRÌNH ĐIỆN TỪ TRONG MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU	
5-1. Mômen điện từ và công suất điện từ	42
5-2. Quá trình năng lượng và các phương trình cân bằng	43
5-3. Tính chất thuận nghịch trong máy điện một chiều	46
<i>Chương 6</i> MÁY PHÁT ĐIỆN MỘT CHIỀU	
6-1. Đại cương	49
6-2. Các đặc tính của máy phát điện một chiều kích thích độc lập	50
6-3. Đặc tính của máy phát điện một chiều kích thích song song	54
6-4. Đặc tính của máy phát điện một chiều kích thích nối tiếp	58
6-5. Máy phát điện một chiều kích thích hỗn hợp	58

6-6.	Máy phát điện một chiều làm việc song song	60
<i>Chương 7</i>	<b>ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU</b>	
7-1.	Đại cương	65
7-2.	Mở máy động cơ điện một chiều	65
7-3.	Điều chỉnh tốc độ động cơ điện một chiều	67
7-4.	Đặc tính làm việc của động cơ điện một chiều	73
<b>PHẦN THỨ HAI</b>		
<b>MÁY BIẾN ÁP</b>		
<i>Chương 8</i>	<b>KHÁI NIỆM CHUNG VỀ MÁY BIẾN ÁP</b>	
8-1.	Đại cương	77
8-2.	Nguyên lý làm việc cơ bản của máy biến áp	78
8-3.	Phân loại và kết cấu của máy biến áp	79
8-4.	Các đại lượng định mức của máy biến áp	84
<i>Chương 9</i>	<b>TỔ NỐI DÂY VÀ MẠCH TỪ CỦA MÁY BIẾN ÁP</b>	
9-1.	Tổ nối dây của máy biến áp	86
9-2..	Mạch từ của máy biến áp	89
<i>Chương 10</i>	<b>CÁC ĐẶC TÍNH LÀM VIỆC Ở TẢI ĐỐI XỨNG CỦA M.B.A</b>	
10-1.	Các phương trình cơ bản của máy biến áp	98
10-2.	Mạch điện thay thế và đồ thị véc tơ của máy biến áp	101
10-3.	Xác định các tham số của máy biến áp	106
10-4.	Giản đồ năng lượng của máy biến áp	113
10-5.	Độ thay đổi điện áp của máy biến áp và cách điều chỉnh điện áp	114
10-6.	Hiệu suất của máy biến áp	117
10-7.	Máy biến áp làm việc song song	119
<i>Chương 11</i>	<b>M.B.A LÀM VIỆC VỚI TẢI KHÔNG ĐỐI XỨNG VÀ QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ TRONG M.B.A</b>	
11-1.	Đại cương	125
11-2.	Mạch điện thay thế và tổng trở của m.b.a đối với các thành phần đối xứng	126
11-3.	Tải không đối xứng của máy biến áp	127
11-4.	Ngắn mạch không đối xứng của máy biến áp	129
11-5.	Quá dòng điện trong máy biến áp	130
11-6.	Quá điện áp trong máy biến áp	133
<i>Chương 12</i>	<b>CÁC LOẠI M.B.A KHÁC VÀ M.B.A ĐẶC BIỆT</b>	

12-1. Máy biến áp ba dây quấn	138
12-2. Máy biến áp tự ngẫu	140
12-3. Các máy biến áp đặc biệt	142
Tài liệu tham khảo	145