

Giáo trình:

MÁY ĐIỆN

CHƯƠNG 1: KHÁI NIỆM CHUNG VỀ MÁY ĐIỆN

§1. ĐỊNH NGHĨA VÀ PHÂN LOẠI MÁY ĐIỆN

1. Định nghĩa

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

2. Phân loại

Máy điện có nhiều cách phân loại khác nhau.

a) Phân loại theo công suất

- Công suất cực nhỏ: $P_{dm} \approx$ vài trăm W
- Công suất nhỏ: $P_{dm} \approx$ vài chục kW
- Công suất trung bình: $P_{dm} \approx$ vài trăm kW
- Công suất lớn: $P_{dm} \approx$ vài MW

b) Phân loại theo chức năng

• Máy phát điện

Biến đổi các dạng năng lượng khác (thường là cơ năng) thành điện năng.

- Thủy năng $\rightarrow$ điện năng: Thủy điện (Trị An, Đa Nhim...).
- Nhiệt năng $\rightarrow$ điện năng: Nhiệt điện (Thủ Đức, Phú Mỹ...).
- Trạm phát điện: Sử dụng dầu Diezen, công suất khoảng vài ngàn kW.
- Máy phát điện cho các hộ gia đình.
- Ngoài ra còn có các máy phát điện sử dụng các nguồn năng lượng khác như gió, thủy triều, địa nhiệt...

• Động cơ điện: Biến đổi điện năng thành cơ năng.

• Máy biến đổi: Biến đổi điện năng thành các chức năng khác.

- Máy biến áp
- Máy biến dòng
- Máy biến đổi tần số
- Máy phát tốc

c) Phân loại theo dòng điện

- Máy điện một chiều
- Máy điện xoay chiều

d) Phân loại theo cấu tạo

Kiểu cấu tạo phụ thuộc vào phương pháp bảo vệ của máy với môi trường ngoài, Ký hiệu: IPXX, X thứ nhất = 0-6, X thứ hai = 0-9

- Kiểu hở (IP00): Không có vỏ bọc máy, thường để ở nơi kín và bảo vệ cẩn thận.
- Kiểu kín (IP44 $\uparrow$): Có vỏ bọc bao toàn máy, có hai loại kín nước và kín khí.

Kín nước: Có thể làm việc khi ngâm chìm trong nước.

Kín khí: Cách ly với môi trường ngoài, không cho khí ẩm vào làm giảm cách cách điện, dễ cháy nổ.

- Kiểu bảo vệ từng phần (IP11÷IP33): Có vỏ bọc, có chừa lỗ thông gió.

e) Phân loại theo nguyên lý biến đổi năng lượng bao gồm:

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

Máy điện tĩnh thường dùng để biến đổi thông số điện năng. Do tính thuận nghịch của các qui luật cảm ứng điện từ, quá trình biến đổi có tính thuận nghịch. Ví dụ máy biến áp biến đổi hệ thống có $U_1, I_1, f \rightarrow U_2, I_2, f$ hoặc ngược lại.



Máy biến áp một pha 22kV-10kVA

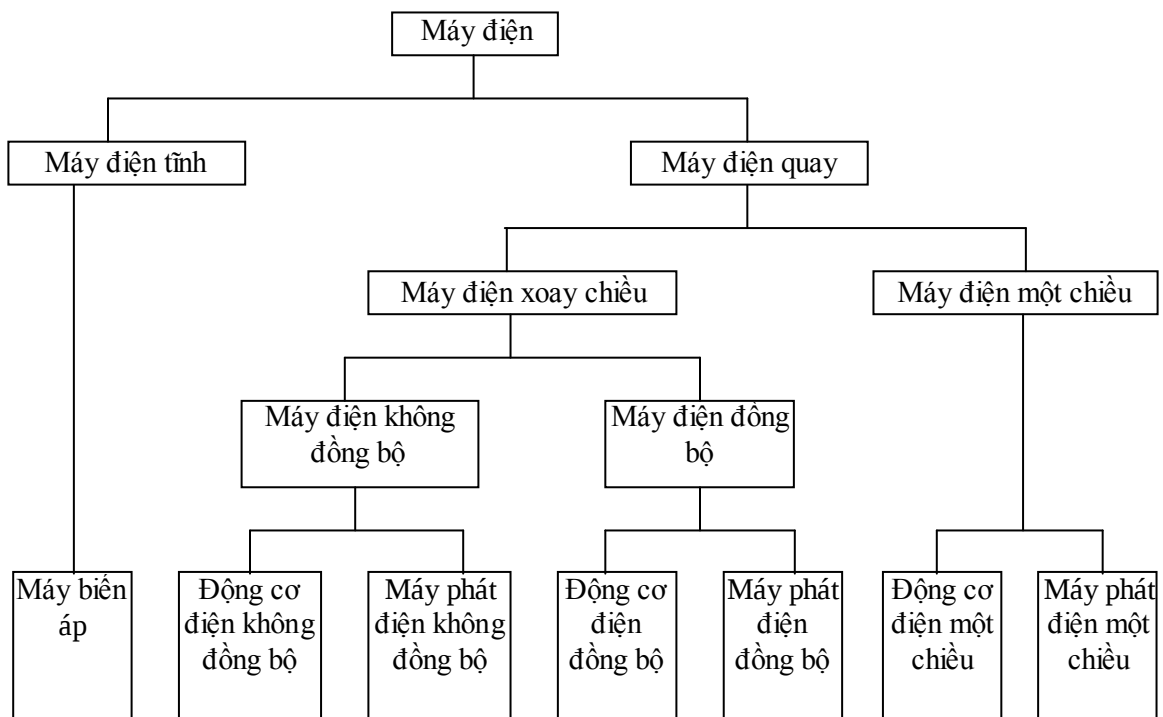


Máy biến áp ba pha 110kV-25MVA

Hình 1.1 Máy biến áp 1 pha và 3 pha

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

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





Máy điện đồng bộ 2MW



Máy điện không đồng bộ 15kW



Máy điện một chiều 3kW

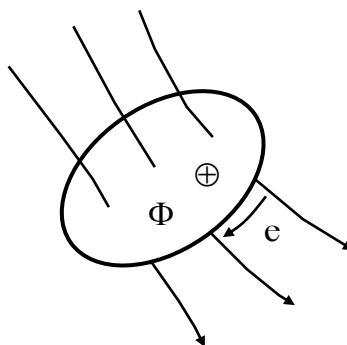
Hình 1.2 Các loại máy điện quay

§2. CÁC ĐỊNH LUẬT CƠ BẢN DÙNG TRONG MÁY ĐIỆN

Nguyên lý làm việc của tất cả các máy điện đều dựa trên cơ sở hai định luật **cảm ứng điện từ và lực điện từ**. Trong tính toán mạch từ người ta sử dụng định luật dòng điện toàn phần. Ở đây ta chỉ nêu lại những điều cơ bản dùng cho nghiên cứu máy điện.

1. Định luật cảm ứng điện từ

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



Hình 1.2 Từ thông biến thiên xuyên qua vòng dây

Khi từ thông Φ biến thiên xuyên qua vòng dây dẫn, trong vòng dây sẽ cảm ứng sức điện động. Nếu chọn chiều của từ thông như hình vẽ thì chiều của sức điện động cảm ứng sẽ được xác định theo quy tắc vắn nút chai và sức điện động cảm ứng trong một vòng dây được xác định theo công thức Mácxoen là:

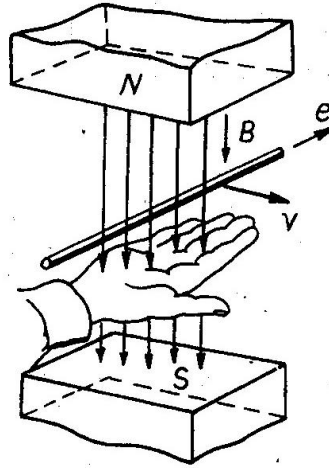
$$e = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (1.1)$$

Nếu cuộn dây có w vòng thì sức điện động cảm ứng của cuộn dây là:

$$e = - \frac{wd\Phi}{dt} = - \frac{d\psi}{dt} \quad (1.2)$$

trong đó: $\psi = w \cdot \Phi$ là từ thông móc vòng cả cuộn dây
đơn vị sức điện động là Vôn (V), từ thông đo bằng Webe (Wb).

b) Trường hợp thanh dẫn chuyển động trong từ trường



Hình 1.3 Thanh dẫn chuyển động trong từ trường

Khi thanh dẫn chiều dài l chuyển động với vận tốc v thẳng góc với từ trường B , trong thanh dẫn sẽ cảm ứng nên sức điện động:

$$\vec{e} = l \cdot \vec{v} \cdot \vec{B} \quad (1.3)$$

Có độ lớn: $e = B \cdot l \cdot v$

Có chiều sao cho (v, B, e) tạo thành tam diện thuận
trong đó:

$B(T)$ là từ cảm của từ trường

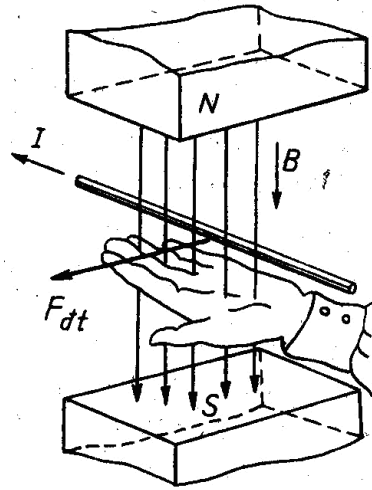
$l(m)$ là chiều dài thanh dẫn trong từ trường

$v(m/s)$ là tốc độ thanh dẫn

Chiều của sức điện động được xác định theo qui tắc bàn tay phải như hình vẽ và được phát biểu như sau: Cho đường sức từ trường đi vào lòng bàn tay phải, chiều chuyển động của thanh dẫn là chiều ngón tay cái xòe ra, thì chiều bốn ngón tay còn lại là chiều của sức điện động cảm ứng.

Khi thanh dẫn chuyển động song song với phương của từ trường, trong thanh dẫn sẽ không có sức điện động cảm ứng.

2. Định luật lực điện từ



Hình 1.4 Định luật lực điện từ

Khi thanh dẫn chiều dài l mang dòng điện i vuông góc với từ trường B , nó sẽ chịu tác dụng của lực điện từ:

$$\vec{F} = l \cdot \vec{i} \cdot \vec{B} \quad (1.4)$$

Có độ lớn: $F = B \cdot i \cdot l$

Có chiều sao cho (I, B, F) tạo thành tam diện thuận trong đó:

$B(T)$ là từ cảm của từ trường

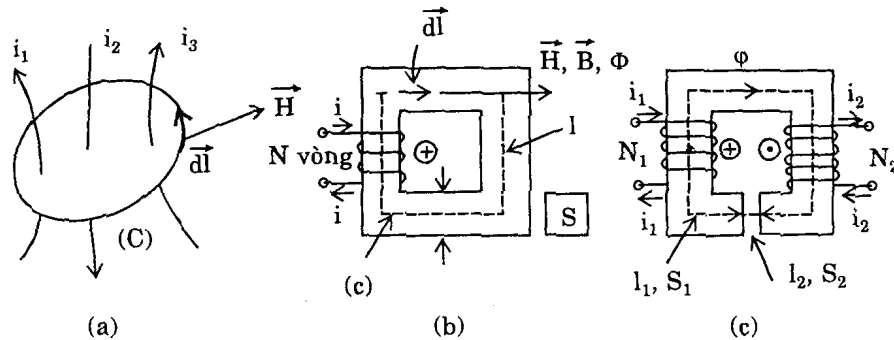
$i(A)$ là dòng điện chạy trong thanh dẫn

$l(m)$ là chiều dài thanh dẫn trong từ trường

$F_{dt}(N)$ là lực điện từ

Chiều của lực điện từ xác định theo qui tắc bàn tay trái như hình vẽ và được phát biểu như sau: Cho chiều đường sức từ trường xuyên vào lòng bàn tay trái, chiều dòng điện trùng với chiều 4 ngón tay, thì chiều ngón tay cái xòe ra là chiều lực điện từ.

3. Định luật Ôm từ



Hình 1.5 Định luật ôm từ

Định luật Ampe: Nếu H là từ trường do một tập hợp dòng điện $i_1, i_2, \dots, i_n$ tạo ra và nếu C là một đường kín trong không gian thì:

$$\int_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum_{k=1}^n i_k \quad (1.5)$$

với dl là độ dời vi phân trên (C) . Dấu i_k xác định theo qui tắc vặn nút chai: Nếu khi vặn nút chai theo chiều dl mà nút chai tiến theo chiều i_k thì i_k mang dấu dương và ngược lại. Nếu i_k không xuyên qua C thì không tính vào.

Nếu quấn N vòng dây lên mạch từ và cho dòng điện i chạy qua, ta được từ trường H , tiếp xúc với đường sức trung bình (C) chiều dài l thì:

$$Hl = Ni$$

$$\text{hay} \quad \frac{B}{\mu} l = Ni$$

$$\text{hay} \quad \left(\frac{1}{\mu} \frac{l}{S} \right) \Phi = Ni$$

$$\text{hay} \quad H.l = \mathfrak{R}.\Phi = N.i = F \quad (1.6)$$

trong đó: B là từ cảm trong mạch từ (T)

μ là độ từ thẩm tuyệt đối của mạch từ (H/m)

S là tiết diện thẳng của mạch từ (m^2)

F là sức từ động tạo ra từ thông ($A.vòng$)

$\mathfrak{R}$ là từ trở của mạch từ ($A.vòng/Wb$)

i là dòng điện từ hoá tạo ra từ thông (A)

từ (2.6) suy ra: $\Phi = \frac{F}{\mathfrak{R}}$ là định luật Ôm từ (1.7)

Tổng quát, nếu mạch từ gồm m phần tử ghép nối tiếp, phần tử j có chiều dài l_j , tiết diện S_j , độ từ thẩm μ_j , từ trở R_j và quấn trên đó n cuộn dây. Cuộn k mang dòng i_k và có N_k vòng thì:

$$\sum_{j=1}^m H_j l_j = \sum_{j=1}^m \mathfrak{R}_j \Phi = \sum_{k=1}^n N_k i_k = \sum_{k=1}^n F_k = F \quad (1.8)$$

Ví dụ trên ta được:

$$H_1 l_1 + H_2 l_2 = (\mathfrak{R}_1 + \mathfrak{R}_2) \Phi = N_1 i_1 - N_2 i_2 = F_1 - F_2$$

4. Bài toán mạch từ

a) Bài toán thuận: biết Φ tìm F .

Cho mạch từ gồm m phần tử ghép nối tiếp, phần tử j có chiều dài l_j , tiết diện S_j . Muốn tạo một từ thông Φ chạy qua mạch. Tính sức từ động F cần có để tạo ra từ thông Φ đó.

Cách giải: Trong mạch từ nối tiếp, từ thông Φ xuyên qua mọi tiết diện bằng nhau.

Bước 1: Tính từ cảm $B_j = \Phi/S_j$ trong phần tử j . Suy ra H_j như sau:

- Nếu phần tử là vật liệu sắt từ, thì tra đường cong từ hoá $B = f(H)$ hoặc bảng số liệu của vật liệu sắt từ đó.
- Nếu phần tử là khe hở không khí thì $H_0 = B_0/\mu_0$

Bước 2: Suy ra s.t.đ tổng F từ (1.8) là $F = \sum_{j=1}^m H_j l_j$

Bước 3: Nếu bài toán cho số vòng dây thì tìm dòng điện cuộn kích từ và ngược lại.

b) Bài toán ngược: biết F tìm Φ .

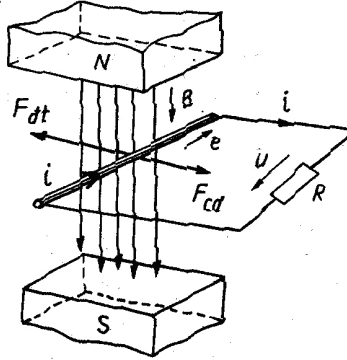
Phương trình (1.8) trở thành: $\sum_{j=1}^m R_j(\Phi) \Phi = F(\Phi)$

Đây là phương trình phi tuyến giải bằng phương pháp dò.

§3. NGUYÊN LÝ MÁY PHÁT ĐIỆN VÀ ĐỘNG CƠ ĐIỆN

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

1. Chế độ máy phát điện



Hình 1.6 Nguyên lý máy phát điện

Thanh dẫn có chiều dài l chuyển động với vận tốc v trong từ trường N-S do bị tác dụng lực $F_{cơ}$ của động cơ sơ cấp, trong thanh dẫn sẽ cảm ứng sức điện động $e = B.v.l$. Nếu nối kín mạch qua điện trở tải R sẽ có dòng điện chạy trong mạch.

Dòng điện i trong từ trường sẽ chịu tác dụng của lực điện từ $F_{đt} = B.i.l$ được xác định theo qui tắc bàn tay trái.

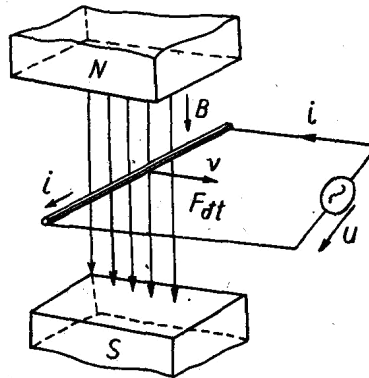
Khi máy quay với tốc độ không đổi ta có:

$$F_{cơ} = F_{đt} \Leftrightarrow F_{cơ}.v = F_{đt}.v = B.i.l.v = e.i$$

$$\text{hay } P_{cơ} = P_d$$

Vậy công suất cơ của động cơ sơ cấp đã chuyển thành công suất điện $P_d = e.i$ nghĩa là cơ năng biến thành điện năng.

2. Chế độ động cơ điện



Hình 1.6 Nguyên lý động cơ điện

Cung cấp điện áp U cho máy điện sẽ có dòng điện chạy trong thanh dẫn. Dưới tác dụng của từ trường sẽ có lực điện từ $F_{đt} = i.B.l$ tác dụng lên thanh dẫn làm thanh dẫn chuyển động với vận tốc v như hình vẽ.

Công suất điện đưa vào động cơ là:

$$P_d = u.i = e.i = B.l.v.i = F_{đt}.v = P_{cơ}$$

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

Kết luận: Với một máy điện tùy theo năng lượng đưa vào mà máy điện có thể làm việc ở chế độ động cơ hay máy phát, vậy máy điện có tính thuận nghịch.

§4. VẬT LIỆU CHẾ TẠO MÁY ĐIỆN

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

1. Vật liệu dẫn điện

Vật liệu dẫn điện được dùng để chế tạo các bộ phận dẫn điện. Vật liệu dẫn điện thường bằng đồng hoặc nhôm, tiết diện tròn hoặc chữ nhật, có bọc các loại cách điện khác nhau như sợi vải, sợi thủy tinh, giấy, nhựa hóa học, sơn cách điện. Đối với các bộ phận dẫn điện khác như vành trượt, lồng sóc người ta còn dùng hợp kim của đồng, nhôm, hoặc thép để tăng độ bền cơ học và giảm kim loại màu.

2. Vật liệu dẫn từ

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

Ở những đoạn mạch từ có từ thông biến đổi với tần số 50Hz hoặc 60Hz người ta thường dùng thép lá kỹ thuật điện dày 0,35mm-0,5mm có pha thêm 2-5%Si để giảm tổn hao do từ trễ và dòng điện xoáy. Ở tần số cao hơn, dùng thép lá kỹ thuật điện dày 0,1mm-0,2mm. Tổn hao công suất trong thép lá do hiện tượng từ trễ và dòng điện xoáy đặt trung bằng suất tổn hao. Thép lá được chế tạo bằng cán nóng hoặc cán nguội. Hiện nay máy biến áp và máy điện quay công suất lớn thường dùng thép cán nguội vì có độ từ thẩm cao hơn và tổn hao công suất nhỏ hơn loại cán nóng.

Ở những đoạn mạch từ có từ thông không đổi (không bị tổn hao do từ trễ và dòng điện xoáy) thì thường dùng thép đúc, thép rèn.

Để chế tạo vỏ máy điện thường dùng gang vì dễ đúc.

3. Vật liệu cách điện

Vật liệu cách điện dùng để cách ly các phần dẫn điện và không dẫn điện, hoặc các phần dẫn điện với nhau. Yêu cầu của chúng là khả năng cách điện cao, chịu nhiệt tốt, không bị ẩm và có độ bền cơ. Cách điện bọc dây dẫn càng chịu nhiệt độ cao thì nhiệt độ cho phép của dây càng lớn và dây càng mang được dòng điện lớn.

Phần lớn cách điện trong máy điện ở thể rắn, gồm có:

1. Chất hữu cơ thiên nhiên: giấy, vải.
2. Chất vô cơ: aminant, mica, sợi thủy tinh.
3. Chất tổng hợp
4. Các loại men, sơn cách điện

Mica cách điện tốt nhưng đắt. Giấy, vải rẻ nhưng dẫn nhiệt kém, dễ bị ẩm, cách điện kém. Vì vậy chúng phải được tẩm sấy để cách điện tốt hơn.

Căn cứ vào nhiệt độ cho phép θ , người ta chia vật liệu cách điện ra các cấp như sau:

Cấp A; $\theta=105^{\circ}$, gồm vải, tơ, giấy, và các chất hữu cơ tương tự, được tẩm hoặc bọc sơn emay hoặc nhúng vào dầu.

Cấp B; $\theta=130^{\circ}$, gồm mica, sợi thủy tinh.

Cấp H; $\theta=180^\circ$, gồm silicon, sợi thủy tinh, amiant phối hợp với chất kết dính thích hợp.

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

4. Vật liệu kết cấu

Vật liệu kết cấu dùng để chế tạo các chi tiết chịu lực cơ học như trục, ổ trục, vỏ máy, nắp máy thường là gang, thép lá, thép rèn, kim loại màu, chất dẻo.

§5. PHÁT NÓNG VÀ LÀM LẠNH MÁY ĐIỆN

1. Tổn hao

Các tổn hao trong quá trình biến đổi năng lượng của máy điện đều thể hiện dưới dạng nhiệt năng làm nóng các bộ phận cấu tạo của máy. Khi tải càng tăng thì tổn hao càng nhiều và máy càng nóng. Ngoài ra nhiệt độ của máy điện càng phụ thuộc vào chế độ làm việc của máy là làm việc liên tục, ngắn hạn hay ngắn hạn lặp lại. Với một máy điện nhất định thì tải của máy không được vượt quá giá trị qui định phụ thuộc vào nhiệt độ cho phép của máy. Vậy nếu máy điện được giải nhiệt tốt thì nhiệt độ của máy sẽ hạ thấp, cho phép tăng thêm tải nghĩa là tăng thêm công suất mới.

Trong phần này ta sẽ nghiên cứu về sự phát nóng và nguội lạnh của máy điện, sau đó xét đến các phương pháp làm lạnh máy điện. Trước khi đi vào các vấn đề đó ta xem xét các dạng truyền nhiệt trong máy điện và các chế độ làm việc của nó.

2. Sự truyền nhiệt trong máy điện

Có 3 con đường truyền nhiệt từ trong máy điện ra ngoài: Truyền dẫn, bức xạ và đối lưu.

a) Truyền nhiệt do dẫn nhiệt

Nhiệt lượng truyền dẫn qua hai diện tích S song song có nhiệt độ khác nhau θ_1 và θ_2 là:

$$Q = \frac{\lambda_{dn} S}{\delta} (\theta_1 - \theta_2) \quad (4.1)$$

trong đó: δ là khoảng cách giữa hai mặt song song

λ_{dn} là hệ số dẫn nhiệt

- Đối với đồng $\lambda_{dn} = 385 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

- Đối với thép $\lambda_{dn} = 20 \div 45 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

- Đối với cách điện cấp A $\lambda_{dn} = 0,10 \div 0,13 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

b) Truyền nhiệt do bức xạ

Nhiệt lượng của một vật thể truyền ra ngoài do bức xạ bằng:

$$Q = \alpha_{bx} S (\theta_{T_1}^4 - \theta_{T_2}^4) \quad (4.2)$$

trong đó: $S(\text{m}^2)$ là diện tích xung quanh vật thể

θ_{T_1} , θ_{T_2} lần lượt là nhiệt độ tuyệt đối mặt ngoài vật thể và môi trường xung quanh

$\alpha_{bx} = 5.65 \cdot 10^{-8} (\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}^4)$ là hệ số bức xạ

Viết lại (4.2) ta được:

$$Q \approx \alpha_{bx} S (\theta_{T_1} - \theta_{T_2}) = \alpha_{bx} S [(273 + \theta_1) - (273 + \theta_2)] = \alpha_{bx} S \Delta \theta \quad (4.3)$$

c) Truyền nhiệt do đối lưu

Tương tự ta có nhiệt lượng truyền dẫn của vật thể do đối lưu là:

$$Q = \lambda_{dl} S \Delta \theta \quad (4.4)$$

trong đó: λ_{dl} là hệ số đối lưu là lượng nhiệt truyền đi từ một đơn vị diện tích trong đơn vị thời gian khi nhiệt độ tăng 1°C .

Ví dụ: $\lambda_{dlkk} = 8 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$

$$\lambda_{dlđầu} = 120 \div 160 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$$

Để tăng thêm nhiệt lượng truyền ra ngoài, thường dùng quạt gió mặt trong hoặc mặt ngoài của máy điện lúc đó:

$$\lambda'_{dl} = \lambda_{dl}(1 + C_g \sqrt{v}) \quad (4.5)$$

với: $v(\text{m/s})$ là tốc độ của gió so với bề mặt làm lạnh

C_g là hệ số kinh nghiệm phụ thuộc vào mức độ phẳng của bề mặt được thổi lạnh

Vậy nhiệt lượng truyền ra ngoài do bức xạ và đối lưu là:

$$Q = \lambda S \Delta \theta \quad (4.6)$$

$$\text{với: } \lambda = \lambda_{bx} + \lambda_{dl}$$

3. Các chế độ làm việc và nhiệt độ tăng cho phép của máy điện

Các máy điện thường có thể làm việc theo nhiều chế độ khác nhau. Có máy điện làm việc với toàn bộ công suất trong khoảng thời gian dài như máy phát điện, hoặc làm việc ngắn hạn như động cơ điện cần trục, hoặc làm việc theo chu kỳ và có thể làm việc với tải thay đổi.

Với các chế độ khác nhau tình trạng phát nóng của máy điện khác nhau. Để kinh tế ta phải thiết kế theo từng chế độ cụ thể để khi làm việc nhiệt độ của máy gần đúng với qui định. Trong thực tế ta đặt ra các chế độ làm việc sau đây:

a) *Chế độ làm việc định mức liên tục*: Khi làm việc với nhiệt độ môi trường không đổi thì nhiệt độ các bộ phận của máy đạt đến giá trị xác lập.

b) *Chế độ làm việc định mức ngắn hạn*: Ở chế độ này thời gian làm việc của máy không đủ dài để nhiệt độ các bộ phận của máy đạt đến trị số xác lập và sau đó thời gian máy nghỉ đủ dài để nhiệt độ máy hạ xuống bằng nhiệt độ môi trường xung quanh.

c) *Chế độ làm việc gián đoạn lặp lại*: Ở chế độ này thời gian làm việc và nghỉ trong một chu kỳ không đủ dài để nhiệt độ các bộ phận của máy đạt đến trị số xác lập. Chế độ làm việc này được đặt trung bằng tỉ số giữa thời gian làm việc và nghỉ. Các máy điện ở chế độ gián đoạn lặp lại thường chế tạo với tỉ số 15, 25, 40 và 60%.

4. Sự phát nóng và nguội lạnh của máy điện

a) Phương trình phát nóng của máy điện

Giả sử nhiệt độ ban đầu của máy bằng với nhiệt độ môi trường xung quanh là θ_0 . Nếu máy làm việc với tải không đổi và nhiệt lượng phát ra trong một đơn vị thời gian là Q thì nhiệt lượng phát ra trong thời gian dt là Qdt . Một phần nhiệt lượng đó sẽ làm tăng nhiệt độ của máy và một phần tản ra môi trường xung quanh. Ta được phương trình cân bằng nhiệt của máy là:

$$Qdt = G.C.d\theta + S.\lambda(\theta - \theta_0)dt \quad (4.7)$$

trong đó: Q là nhiệt lượng sinh ra trong một đơn vị thời gian

$G(\text{kg})$ là trọng lượng máy

C là tỉ nhiệt

$d\theta$ là nhiệt độ tăng trong thời gian dt

S là diện tích mặt ngoài của máy

λ là hệ số tản nhiệt do đối lưu và bức xạ

Biến đổi (4.7) ta được:
$$\frac{dt}{\frac{GC}{S\lambda}} = \frac{d\theta}{\frac{Q}{S\lambda} + \theta_0 - \theta} \quad (4.8)$$

Lấy tích phân hai vế (4.8) ta được:

$$\frac{t}{\frac{GC}{S\lambda}} = -\ln\left(\frac{Q}{S\lambda} + \theta_0 - \theta\right) + C \quad (4.9)$$

Điều kiện đầu: $t=0, \theta = \theta_0 \Rightarrow$ hằng số tích phân $C = \ln \frac{Q}{S\lambda}$

$$(4.9) \Rightarrow \theta = \frac{Q}{S\lambda} (1 - e^{-\frac{t}{GC/S\lambda}}) + \theta_0 \quad (4.10)$$

Khi $t=\infty$, nhiệt độ xác lập là $\theta_\infty = \theta_0 + \frac{Q}{S\lambda} \Leftrightarrow \Delta\theta_\infty = \theta_\infty - \theta_0 = \frac{Q}{S\lambda} \quad (4.11)$

$\Delta\theta_\infty$ càng lớn khi Q lớn và λ nhỏ

đặt $T = \frac{GC}{S\lambda}$ là hằng số phát nóng

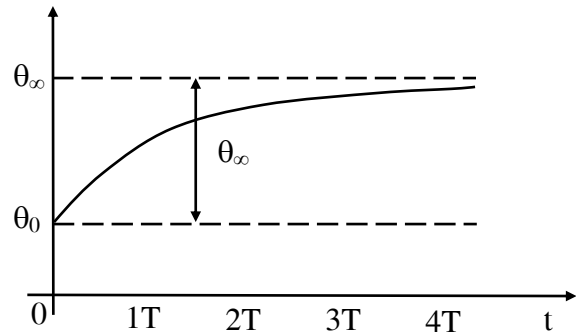
$$\text{hay } T = \frac{GC}{Q S\lambda} = \frac{GC(\theta_\infty - \theta_0)}{Q}$$

Vậy phương trình phát nóng của máy là:

$$\theta = \theta_\infty (1 - e^{-t/T}) + \theta_0 e^{-t/T} \quad (4.12)$$

Nhiệt độ tăng của máy ở thời điểm t là:

$$\begin{aligned} \Delta\theta &= \theta - \theta_0 = \theta_\infty (1 - e^{-t/T}) - \theta_0 (1 - e^{-t/T}) \\ &= \Delta\theta_\infty (1 - e^{-t/T}) \end{aligned} \quad (4.13)$$



Hình 1.7 Quá trình phát nóng trong máy điện

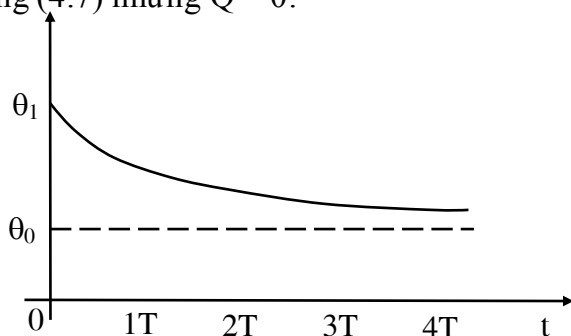
b) Phương trình nguội lạnh của máy điện

Giả sử máy đang làm việc ổn định ở nhiệt độ θ_1 , nhiệt độ môi trường xung quanh là θ_0 . Sau khi ngừng làm việc nhiệt độ của máy sẽ giảm đến nhiệt độ môi trường xung quanh. Phương trình cân bằng nhiệt giống (4.7) nhưng $Q = 0$:

$$GCd\theta + S\lambda(\theta - \theta_0)dt = 0 \quad (4.14)$$

$$\Rightarrow \theta = \theta_0 (1 - e^{-t/T}) + \theta_1 e^{-t/T}$$

Là phương trình nguội lạnh của máy



Hình 1.8 Quá trình nguội lạnh trong máy điện

5. Vấn đề làm lạnh các máy điện

Theo phương pháp làm lạnh, máy điện chia thành:

a) *Máy điện làm lạnh tự nhiên*: Không có bộ phận thổi gió làm lạnh, có cánh tản nhiệt bên ngoài, công suất nhỏ khoảng vài chục W hoặc vài trăm W.

b) *Máy điện làm lạnh trong*: Sự tuần hoàn gió bên trong máy được thực hiện nhờ quạt gió đặt đầu trục.

c) *Máy điện tự làm lạnh mặt ngoài*: Đầu trục bên ngoài có đặt quạt gió và nắp quạt gió để hướng gió thổi dọc mặt ngoài thân máy.

d) *Máy điện làm lạnh độc lập*: Với các máy điện lớn, quạt gió để riêng ở ngoài thổi khí hoặc khí đã làm lạnh vào trong và hút gió từ trong ra ngoài.

e) *Máy điện làm lạnh trực tiếp*: Với các máy điện công suất lớn, dây quấn được làm bằng các thanh dẫn rỗng trong có nước hoặc dầu chảy qua để làm lạnh trực tiếp → tăng khả năng dẫn dòng lên 3 – 4 lần và giảm kích thước máy, tiết kiệm vật liệu chế tạo.

§6. CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC ĐỊNH MỨC

1. Các nguyên nhân hỏng hóc

- Do máy bị quá tải ($P_2 > P_{dm}$) → nhiệt độ máy tăng hơn giá trị cho phép → phá hỏng cách điện của máy → tuổi thọ giảm.
- Điện áp không định mức
- Do quá điện áp tức thời → phóng điện chọc thủng cách điện.
- Sự lồng tốc nên tốc độ quay quá nhanh → hư hỏng kết cấu của máy.
- Bảo vệ không tốt để các vật bên ngoài rơi vào, hoặc bị ẩm ướt → suy giảm cách điện → phóng điện, chập mạch, tuổi thọ giảm.
- Hệ thống tự động khống chế không hoạt động tốt.

2. Chế độ làm việc định mức

Chế độ làm việc định mức của máy điện là chế độ làm việc trong những điều kiện mà nhà chế tạo qui định. Chế độ đó được đặt trung bằng những đại lượng ghi trên nhãn máy và gọi là những đại lượng định mức.

Trên nhãn máy thường ghi những đại lượng sau:

- Công suất định mức
- Điện áp định mức
- Dòng điện định mức
- Tốc độ định mức

Ngoài ra còn ghi kiểu máy, phương pháp kích từ, điện áp và dòng điện kích từ và điều kiện sử dụng...

Khi vận hành máy điện làm việc ở chế độ định mức thì ta sẽ đạt được các chỉ tiêu về kinh tế và kỹ thuật là cao nhất. Ngược lại thì sẽ không tối ưu và sẽ mau dẫn đến hư hỏng và tuổi thọ của máy giảm.

- Các thông số định mức của động cơ điện xoay chiều (Induction Motor):

Loại	SF-E
Công suất định mức	2,2 (kW)
Điện áp định mức	220/380 (V)
Dòng điện định mức	8.4 (A)
Số pha	3
Số cực	4
Tốc độ định mức	1450 (vòng/phút)
Tần số định mức	50-60 (Hz)
Cấp cách điện	E



Nhiệt độ làm việc	40 ⁰ C
Chế độ làm việc	liên tục
Trọng lượng	35 (kg)
Ngày sản xuất	1996

- Các thông số định mức của máy phát điện xoay chiều (AC Generator):

Loại	ART5L
Công suất định mức	6,3 (kVA)
Điện áp định mức	220/380 (V)
Dòng điện định mức	9,5 (A)
Số pha	3
Hệ số công suất	0,8
Tốc độ định mức	1500 (vòng/phút)
Tần số định mức	50 (Hz)
Cấp cách điện	B
Nhiệt độ làm việc	40 ⁰ C
Trọng lượng	95 (kg)
Ngày sản xuất	2002



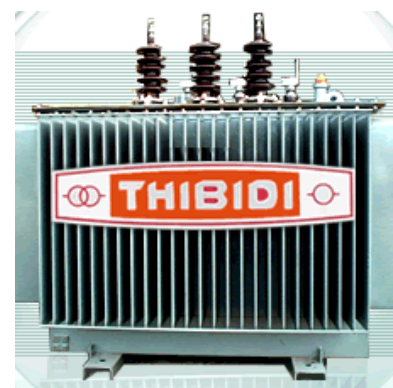
- Các thông số định mức của máy điện một chiều (DC Motor):

Loại	GSCTLF
Công suất định mức	10 (HP)
Điện áp định mức	220 (V)
Dòng điện định mức	40 (A)
Điện áp kích từ (độc lập)	100 (V)
Dòng điện kích từ	3,5 (A)
Tốc độ định mức	1750 (vòng/phút)
Cấp cách điện	F
Chế độ làm việc	Liên tục
Trọng lượng	125 (kg)
Ngày sản xuất	1994



- Các thông số định mức của máy biến áp

Loại	THIBIDI
Công suất định mức	250 (kVA)
Điện áp sơ cấp định mức	22 (kV)
Điện áp thứ cấp định mức	400 (V)
Tổn hao không tải	0,75 (kW)
Dòng điện không tải	1,5%
Tổn hao ngắn mạch	4 (kW)
Điện áp ngắn mạch phân trăm	5%
Trọng lượng	1405 (kg)
Kích thước (dài-rộng-cao)	950-1440-1585 (mm)
Giá tiền	35 (triệu đồng)



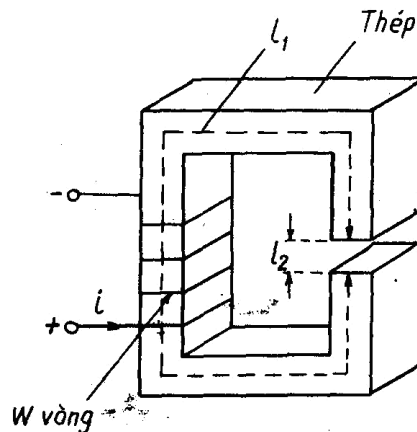
§7. CÁC BƯỚC NGHIÊN CỨU MÁY ĐIỆN

Gồm 4 bước:

1. Khảo sát hiện tượng vật lý xảy ra trong máy điện.
2. Từ các định luật vật lý, viết hệ phương trình toán học mô tả sự làm việc của máy điện (mô hình toán học).
3. Từ mô hình toán học, vẽ sơ đồ mạch điện tương đương của máy điện.
4. Từ sơ đồ mạch điện tương đương, khảo sát đặc tính làm việc của máy điện.

BÀI TẬP CHƯƠNG 1

1. Các bộ phận cơ bản của máy điện là gì? Chức năng của từng bộ phận đó?
2. Giải thích ứng dụng của định luật cảm ứng điện từ và lực điện từ trong máy điện?
3. Giải thích nguyên lý thuận nghịch của máy điện?
4. Định luật mạch từ và tính toán mạch từ?
5. Các vật liệu dùng trong máy điện?
6. Mạch từ (hình 1) của nam châm điện gồm 2 đoạn: đoạn 1 bằng thép dài l_1 , đoạn 2 là khe hở không khí dài l_2 , cuộn dây có W vòng và dòng điện I . giả thiết hệ số từ thẩm μ của thép vô cùng lớn. Tính từ cảm B_2 trong khe hở không khí?

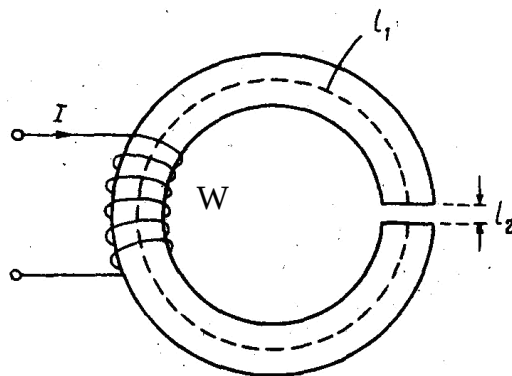


ĐS: $B_2 = \mu_0 \cdot W \cdot I / l_2$; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$

7. Một mạch từ (hình 2) có chiều dài $l_1 = 500 \text{ mm}$, khe hở không khí $l_2 = 0,5 \text{ mm}$. Đường cong từ hóa $B=f(H)$ của vật liệu sắt từ cho trong bảng sau:

B(T)	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
H(A/m)	52	58	65	76	90	110	132	165	220	300	600	1200	3000	6000	14000

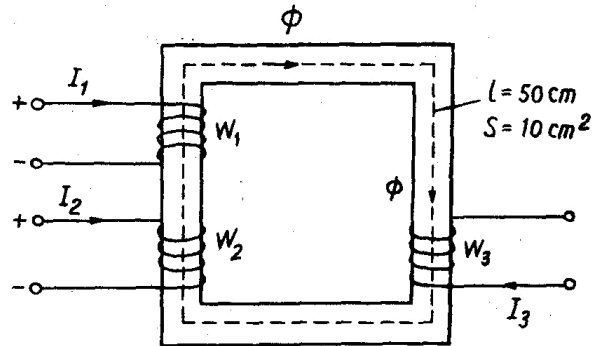
Biết từ cảm trong khe hở $B_2 = 1,4 \text{ T}$ và cuộn dây có 500 vòng. Tính dòng điện trong cuộn dây?



ĐS: $I = 2,31 \text{ A}$

9. Mạch từ hình 3 gồm ba cuộn dây:
 $W_1 = 2000$ vòng, $I_1 = 0,5 \text{ A}$
 $W_2 = 2000$ vòng, $I_2 = 0,5 \text{ A}$
 $W_3 = 2000$ vòng,

Đường cong từ hóa của vật liệu sắt từ $B=f(H)$ cho ở bài 7. Xác định dòng điện I_3 ?

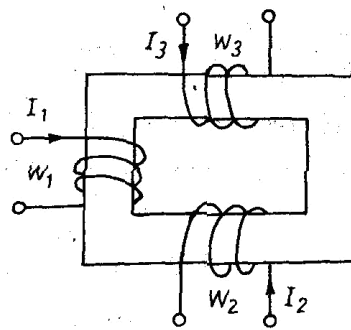


ĐS: $I_3 = 0,9A$

10. Mạch từ có tiết diện đồng nhất, chiều dài trung bình phần thép $l_1=100mm$, chiều dài khe hở không khí $l_2=0,1mm$. từ cảm $B=1,1T$. Đường cong từ hóa $B=f(H)$ cho ở bài 7, số vòng dây bằng $W=10$ vòng. Tính dòng điện I chạy trong cuộn dây?

ĐS: $I=11A$

11. Mạch từ như hình vẽ



$W_1=1000$ vòng, $W_2=100$ vòng, $W_3=500$ vòng

Mạch từ làm bằng hệ số từ thẩm của thép vô cùng lớn. Xác định quan hệ giữa các dòng điện?

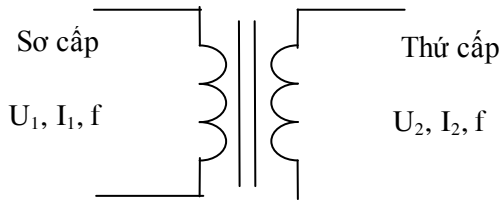
ĐS: $10I_1 - I_2 + 5I_3 = 0$

CHƯƠNG 2: MÁY BIẾN ÁP

§1. KHÁI NIỆM CHUNG

1. Định nghĩa

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



Hình 2.1 Sơ đồ nguyên lý và hình dạng máy biến áp

Đầu vào máy biến áp nối với nguồn điện gọi là sơ cấp. Đầu ra nối với tải gọi là thứ cấp. Các thông số bên sơ cấp được ký hiệu số 1: U_1, I_1, W_1 ; các thông số bên thứ cấp ký hiệu số 2: U_2, I_2, W_2 .

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

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

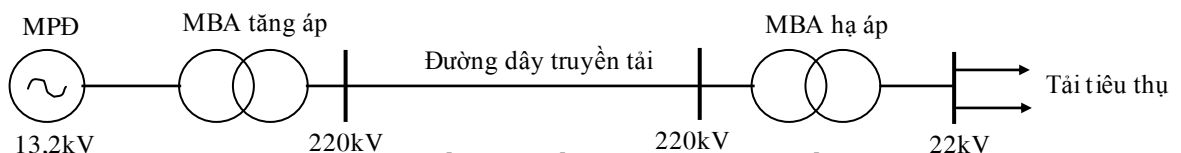
2. Phân loại

Theo công dụng máy biến áp có thể gồm các loại sau đây:

- *Máy biến áp điện lực*: Dùng để truyền tải và phân phối điện.
- *Máy biến áp chuyên dùng*: Dùng cho các lò luyện kim, máy biến áp hàn, các thiết bị chỉnh lưu,...
- *Máy biến áp tự ngẫu*: Có thể thay đổi điện áp nên dùng để mở máy các động cơ điện xoay chiều.
- *Máy biến áp đo lường*: Dùng để giảm các điện áp và dòng điện lớn để đưa vào các đồng hồ đo.
- *Máy biến áp thí nghiệm*: Dùng trong các phòng thí nghiệm điện - điện tử.

Có rất nhiều dạng máy biến áp nhưng tất cả nguyên lý đều giống nhau. Trong bài giảng chúng ta chỉ tập trung xem xét máy biến áp một hoặc ba pha. Còn các máy biến áp khác ta chỉ nghiên cứu sơ qua trong phần cuối chương, các bạn tự tham khảo thêm.

3. Công dụng



Hình 2.2 Hệ thống truyền tải và phân phối điện

Trong hệ thống điện, máy biến áp dùng để truyền tải và phân phối điện năng. Các nhà máy điện lớn thường ở xa các trung tâm tiêu thụ điện vì vậy phải xây dựng các đường dây truyền tải điện năng. Thông thường điện áp đầu cực máy phát tối đa khoảng vài chục kV, để truyền tải được công suất lớn và giảm tổn hao công suất trên đường dây bằng cách nâng cao điện áp. Vì vậy ở đầu đường dây đặt máy biến áp tăng

áp và vì phụ tải chỉ có điện áp từ 0,4-6kV nên cuối đường dây đặt máy biến áp giảm áp.

4. Các đại lượng định mức

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



Hình 2.3 Các bộ phận bên ngoài của máy biến áp

☛ Bảng thông số kỹ thuật của MBA

1. Công suất định mức: $S_{dmB} = 3 \times (200/200/65) \text{ MVA}$
2. Điện áp định mức : $U_{dmB} = \frac{500}{\sqrt{3}} / \frac{225}{\sqrt{3}} / 35 \text{ kV}$
3. Dòng điện định mức : $I_{dm} = 692.8 / 1539.6 / 1904.8 \text{ A}$
4. Tần số : $f = 50 \text{ Hz}$
5. Sơ đồ đấu dây : $Y_0 / Y_0 / \Delta - 11 (YN - a0 - d11)$
6. Bộ điều áp dưới tải (OLTC) 17 nấc ($\frac{500}{\sqrt{3}} \pm 8 \times 1,25\%$)
7. Kiểu làm mát : ONAN / ONAF / OFAF
8. Trọng lượng tổng cộng : 131 tấn
Trọng lượng dầu : 24,5 tấn
9. Tổn thất khi có tải lớn nhất : 256 kW
Tổn thất khi không tải : 64kW
10. Tổn thất điện áp: $HV/LV = 12,98\%$
 $HV/TV = 35,88\%$
 $LV/TV = 19,19\%$
11. Giá mỗi máy khoảng 2,5 triệu USD

• Công suất định mức S_{dm} (VA, kVA): Là công suất biểu kiến đưa ra ở dây quấn thứ cấp của máy biến áp.

• Điện áp sơ cấp định mức U_{1dm} (V, kV): Là điện áp qui định cho dây quấn sơ cấp.

Điện áp thứ cấp định mức U_{2dm} (V, kV): Là điện áp của dây quấn thứ cấp khi máy biến áp không tải và điện áp đặt vào dây quấn sơ cấp bằng định mức.

Chú ý với máy biến áp một pha điện áp định mức là điện áp pha, còn máy biến áp ba pha điện áp là điện áp dây.

• **Dòng điện định mức (I):** Là dòng điện qui định cho mỗi cuộn dây máy biến áp ứng với công suất định mức và điện áp định mức.

Với máy biến áp một pha:
$$I_{1dm} = \frac{S_{dm}}{U_{1dm}}, \quad I_{2dm} = \frac{S_{dm}}{U_{2dm}}$$

Với máy biến áp ba pha:
$$I_{1dm} = \frac{S_{dm}}{\sqrt{3}U_{1dm}}, \quad I_{2dm} = \frac{S_{dm}}{\sqrt{3}U_{2dm}}$$

Ngoài ra trên máy biến áp còn ghi các thông số khác như: Tần số định mức f_{dm} , số pha m , sơ đồ và tổ nối dây quấn, điện áp ngắn mạch $u_n\%$, chế độ làm việc, phương pháp làm mát,...

§2. CẤU TẠO CỦA MÁY BIẾN ÁP

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

1. Lõi thép

Lõi thép máy biến áp dùng để dẫn từ thông chính của máy, được làm bằng vật liệu dẫn từ tốt thường là thép kỹ thuật điện. Lõi thép gồm có hai bộ phận là *trụ* và *gông*.

- Trụ là nơi để đặt dây quấn
- Gông là phần khép kín mạch từ giữa các trụ.

Trụ và gông tạo thành mạch từ khép kín.

Để giảm tổn hao do dòng điện xoáy, lõi thép được làm từ nhiều lá thép kỹ thuật điện (dày 0.35 - 0.5mm, hai mặt được tẩm cách điện) ghép lại với nhau.

2. Dây quấn

Dây quấn máy biến áp được làm bằng dây đồng hoặc nhôm, có tiết diện hình tròn hoặc chữ nhật bên ngoài có bọc cách điện.

Dây quấn gồm nhiều vòng dây lồng vào trụ lõi thép. Giữa các vòng dây cách điện với nhau và các dây quấn cách điện với lõi thép. Máy biến áp có hai hoặc nhiều cuộn dây. Khi các cuộn dây quấn trên cùng một trụ thì cuộn hạ áp đặt sát trụ thép, dây quấn cao áp đặt lồng bên ngoài để giảm bớt vật liệu cách điện.

3. Vỏ máy

Vỏ máy gồm hai bộ phận là *thùng* và *nắp thùng*.

- **Thùng máy biến áp:** Thùng làm bằng thép,



Hình 2.4 Cấu tạo máy biến áp



Hình 2.5 Vỏ máy biến áp

hình bầu dục bên ngoài có cánh tản nhiệt. Trong thùng chứa dầu máy biến áp để làm mát và tăng cường cách điện cho lõi thép và dây quấn.

• **Nắp thùng:** Nắp thùng dùng để đậy thùng và trên đó có đặt các thiết bị khác như:

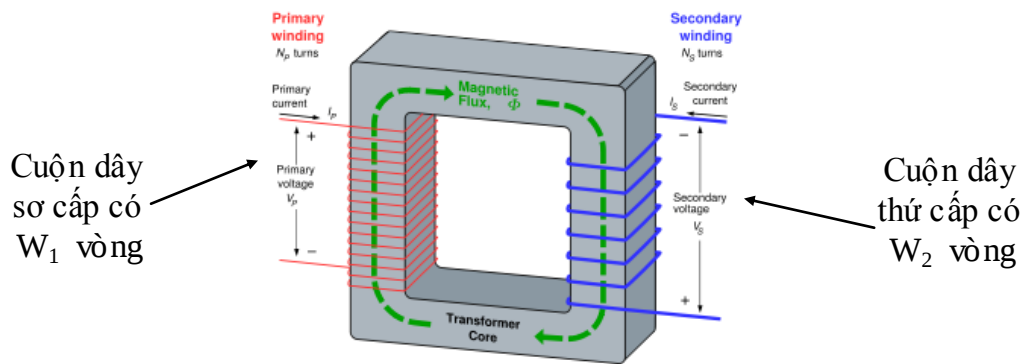
- **Các sứ ra của dây quấn CA và HA:** làm nhiệm vụ cách điện giữa dây dẫn ra với vỏ máy. Điện áp càng cao thì kích thước và trọng lượng của sứ càng lớn.

- **Bình giãn dầu:** là một thùng hình trụ bằng thép đặt trên nắp và nối với thùng bằng một ống dẫn dầu để đảm bảo dầu trong thùng luôn đầy và dầu trong thùng máy biến áp giãn nở tự do.

- **Ống bảo hiểm:** làm bằng thép, hình trụ nghiêng, một đầu nối với thùng, một đầu bịt bằng đĩa thủy tinh để bảo vệ thùng máy biến áp khi áp suất trong máy tăng đột ngột.

Ngoài ra còn có các bộ phận khác như: cơ cấu truyền động bộ điều áp dưới tải, role hơi, thiết bị chống âm...

§3. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA MÁY BIẾN ÁP



Hình 2.6 Nguyên lý làm việc của máy biến áp

Khi ta nối dây quấn sơ cấp W_1 vào nguồn điện xoay chiều u_1 sẽ có dòng điện i_1 chạy trong dây quấn W_1 . Dòng điện i_1 sinh ra từ thông biến thiên chạy trong lõi thép, từ thông này xuyên qua cả hai cuộn dây sơ cấp và thứ cấp gọi là từ thông chính.

Nếu điện áp u_1 có dạng hình sin thì từ thông cũng sẽ biến thiên hình sin:

$$\Phi = \Phi_m \sin \omega t \quad (2.1)$$

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

$$e_1 = -W_1 \frac{d\Phi}{dt} = -W_1 \frac{d(\Phi_m \sin \omega t)}{dt} = -W_1 \omega \Phi_m \cos \omega t = \sqrt{2} E_1 \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \quad (2.2)$$

$$e_2 = -W_2 \frac{d\Phi}{dt} = -W_2 \frac{d(\Phi_m \sin \omega t)}{dt} = -W_2 \omega \Phi_m \cos \omega t = \sqrt{2} E_2 \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \quad (2.3)$$

trong đó: $E_1 = \frac{\omega W_1 \Phi_m}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi f W_1 \Phi_m}{\sqrt{2}} = 4,44 f W_1 \Phi_m$: giá trị hiệu dụng sđđ sơ cấp

$E_2 = \frac{\omega W_2 \Phi_m}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi f W_2 \Phi_m}{\sqrt{2}} = 4,44 f W_2 \Phi_m$: giá trị hiệu dụng sđđ thứ cấp

lập tỉ số E_1 và E_2 ta được: $k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2}$ là hệ số biến áp (2.4)

Nếu bỏ qua qua điện trở dây quấn và từ thông tản ra ngoài không khí, có thể xem gần đúng $U_1 \approx E_1$ và $U_2 \approx E_2$ ta được: $\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2} = k$ (2.5) $\rightarrow$ tỉ số điện áp sơ cấp và thứ cấp bằng tỉ số vòng dây.

Nếu $W_2 > W_1 \rightarrow U_2 > U_1$: máy biến áp tăng áp.

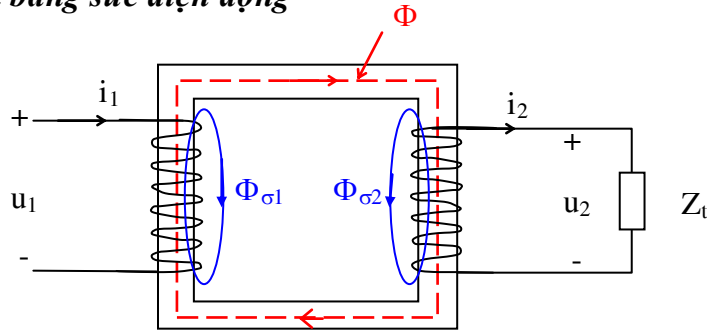
Nếu $W_2 < W_1 \rightarrow U_2 < U_1$: máy biến áp giảm áp.

Nếu bỏ qua tổn hao trong máy biến áp coi như công suất truyền qua máy biến áp là không đổi:

$$U_2 I_2 \approx U_1 I_1 \quad \Leftrightarrow \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = k \quad (2.6)$$

§4. MÔ HÌNH TOÁN CỦA MÁY BIẾN ÁP

1. Phương trình cân bằng sức điện động



Hình 2.7 Từ thông trong máy biến áp

Điện cảm tản dây quấn sơ cấp và thứ cấp là: $L_1 = \frac{\phi_{\sigma_1}}{i_1}$, $L_2 = \frac{\phi_{\sigma_2}}{i_2}$ (2.7)

Phương trình điện áp sơ cấp là: $u_1 = R_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} - e_1$ (2.8)

Viết dưới dạng số phức: $\dot{U}_1 = R_1 \dot{I}_1 + j\omega L_1 \dot{I}_1 - \dot{E}_1 = (R_1 + jX_1) \dot{I}_1 - \dot{E}_1$
 $\dot{U}_1 = Z_1 \dot{I}_1 - \dot{E}_1$ (2.9)

với $Z_1 = R_1 + jX_1$: tổng trở dây quấn sơ cấp

Phương trình sức điện động thứ cấp là: $u_2 = -e_2 - R_2 i_2 - L_2 \frac{di_2}{dt}$ (2.10)

viết dưới dạng số phức: $\dot{U}_2 = -\dot{E}_2 - R_2 \dot{I}_2 - j\omega L_2 \dot{I}_2 = -\dot{E}_2 - (R_2 + jX_2) \dot{I}_2$
 hay $\dot{U}_2 = -\dot{E}_2 - Z_2 \dot{I}_2$ (2.11)

với $Z_2 = R_2 + jX_2$: tổng trở dây quấn thứ cấp

Điện áp trên tải là: $\dot{U}_2 = Z_t \dot{I}_2$ (2.12)

2. Phương trình cân bằng sức từ động

Từ phương trình (2.9) vì điện áp rơi trên tổng trở cuộn dây sơ cấp rất nhỏ nên xem gần đúng $U_1 \approx E_1$. Mà điện áp đặt vào máy biến áp U_1 không đổi nên sức điện động E_1 không đổi và từ thông chính $\Phi_{\max}$ sẽ không đổi.

Ở chế độ không tải từ thông chính do sức từ động của dây quấn sơ cấp $i_0 W_1$ sinh ra, còn ở chế độ có tải từ thông chính do sức từ động cả hai dây quấn sơ cấp và thứ cấp là $(i_1 W_1 - i_2 W_2)$ sinh ra.

Vì từ thông chính không đổi nên sức từ động lúc không tải bằng sức từ động lúc có tải, nên ta có phương trình cân bằng sức từ động như sau:

$$i_0 W_1 = i_1 W_1 - i_2 W_2 \quad (2.13)$$

Chia hai vế cho W_1 ta được: $i_0 = i_1 - i_2 \frac{W_2}{W_1} = i_1 - \frac{i_2}{\frac{W_1}{W_2}} = i_1 - \frac{i_2}{k} = i_1 - i'_2$

hay $i_1 = i_0 + i'_2$ (2.14)

trong đó: $k = \frac{W_1}{W_2}$ là hệ số biến áp

$i'_2 = \frac{i_2}{k}$ là dòng thứ cấp đã qui đổi về phía sơ cấp

Phương trình (2.14) viết dưới dạng số phức là: $\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}_2$ (2.15)
 Hệ ba phương trình (2.9), (2.11) và (2.14) là mô hình toán của máy biến áp.

§5. SƠ ĐỒ THAY THẾ MÁY BIẾN ÁP

Ta có mô hình toán:

$$\dot{U}_1 = Z_1 \dot{I}_1 - \dot{E}_1 \quad (2.16)$$

$$\dot{U}_2 = -\dot{E}_2 - Z_2 \dot{I}_2 \quad (2.17)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}_2 \quad (2.18)$$

Từ mô hình toán ta xây dựng sơ đồ mạch điện gọi là sơ đồ thay thế sao cho phản ánh đầy đủ quá trình năng lượng trong máy biến áp cho việc phân tích, nghiên cứu máy biến áp.

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

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

Nhân (2.17) với k ta được: $k\dot{U}_2 = -k\dot{E}_2 - kZ_2\dot{I}_2 = -k\dot{E}_2 - k^2Z_2\frac{\dot{I}_2}{k}$ (2.19)

$$\text{hay } \dot{U}_2' = -\dot{E}_1 - Z_2'\dot{I}_2' \quad (2.20)$$

trong đó: $\dot{U}_2' = k\dot{U}_2$ là điện áp thứ cấp qui đổi về sơ cấp
 $\dot{E}_2' = k\dot{E}_2 = \dot{E}_1$ là sức điện động thứ cấp qui đổi về sơ cấp
 $Z_2' = k^2Z_2$ là tổng trở thứ cấp qui đổi về sơ cấp
 $\dot{I}_2' = \frac{\dot{I}_2}{k}$ là dòng điện thứ cấp qui đổi về sơ cấp

Nhân (2.12) với k ta được: $\dot{U}_2' = k\dot{U}_2 = kZ_t\dot{I}_2 = k^2Z_t\frac{\dot{I}_2}{k} = Z_t'\dot{I}_2'$ (2.21)

trong đó: $Z_t' = k^2Z_t$ là tổng trở tải qui đổi về sơ cấp
 $R_t' = k^2R_t$ là điện trở tải qui đổi về sơ cấp
 $X_t' = k^2X_t$ là điện kháng tải qui đổi về sơ cấp

2. Sơ đồ thay thế máy biến áp

Trong phương trình (2.16) điện áp vào U_1 gồm điện áp rơi trên tổng trở dây quấn Z_1 và điện áp rơi trên tổng trở Z_m đặt trung cho từ thông chính và tổn hao sắt từ. Vì từ thông chính do dòng điện không tải I_0 sinh ra nên ta có:

$$-\dot{E}_1 = Z_m \dot{I}_0 \quad (2.22)$$

với $Z_m = R_m + jX_m$ là tổng trở từ hóa đặt trung cho mạch từ

$$R_m = \frac{\Delta P_m}{I_0^2} \text{ là điện trở từ hóa đặt trung cho tổn hao sắt từ}$$

X_m là điện kháng từ hóa đặt trung cho từ thông chính

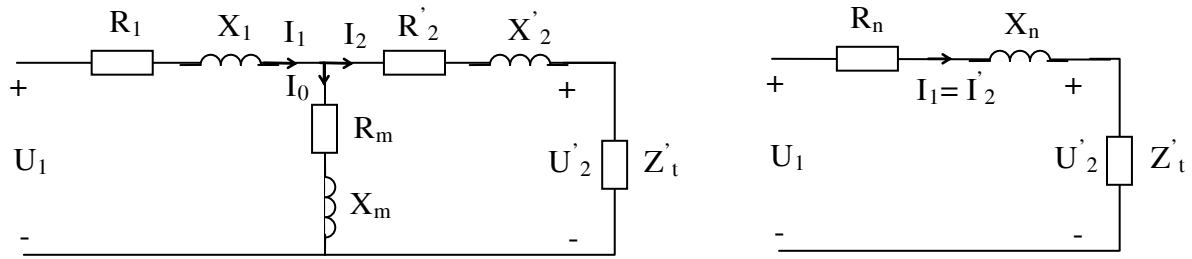
Thay $-\dot{E}_1$ vào phương trình (2.16), (2.20) ta được:

$$\dot{U}_1 = Z_1 \dot{I}_1 + Z_m \dot{I}_0 \quad (2.23)$$

$$\dot{U}_2' = Z_m \dot{I}_0 - Z_2' \dot{I}_2' \quad (2.24)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}_2' \quad (2.25)$$

Hệ 3 phương trình trên chính là hai phương trình Kiếcschôp 2 và một phương trình Kiếcschôp 1 cho mạch điện, nên ta có sơ đồ mạch điện thay thế cho máy biến áp như sau:



Hình 2.8 Sơ đồ thay thế máy biến áp

Vì tổng trở nhánh từ hóa rất lớn nên dòng điện I_0 nhỏ, do đó có thể bỏ qua nhánh từ hóa, ta được sơ đồ thay thế đơn giản như hình vẽ.

trong đó: $R_n = R_1 + R'_2$ là điện trở ngắn mạch

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

§6. CHẾ ĐỘ KHÔNG TẢI CỦA MÁY BIẾN ÁP

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

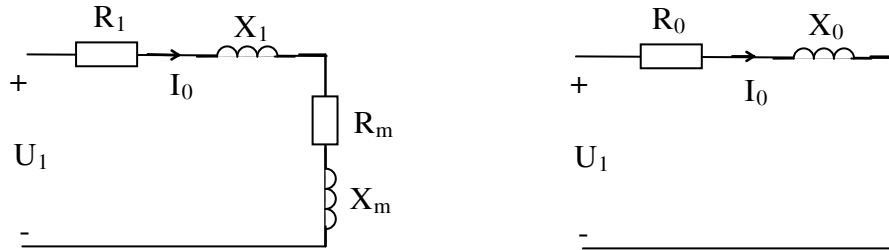
1. Phương trình và sơ đồ thay thế

Khi không tải: $I_2 = 0$

$$\rightarrow I_1 = I_0$$

$$\Leftrightarrow \dot{U}_1 = \dot{I}_0(Z_1 + Z_m) = \dot{I}_0 Z_0 \quad (2.26)$$

với $Z_0 = Z_1 + Z_m$ là tổng trở máy biến áp khi không tải



Hình 2.9 Sơ đồ thay thế khi không tải

• Đặc điểm

- Dòng điện không tải là:
$$I_0 = \frac{U_1}{Z_0} = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R_m)^2 + (X_1 + X_m)^2}} \quad (2.27)$$

Vì Z_0 rất lớn nên dòng điện không tải $I_0 = (2\% \div 10\%) I_{dm}$

- Công suất không tải là:
$$P_0 = \Delta P_{R_1} + \Delta P_m \approx \Delta P_m = P_{1,0/50} B^2 \left(\frac{f}{50}\right)^{1,3} G \quad (2.28)$$

trong đó: $P_{1,0/50}$ (W/kg) là suất tổn hao trong các lá thép ứng với tần số 50hz và từ cảm 1 T

B (T) là từ cảm trong thép

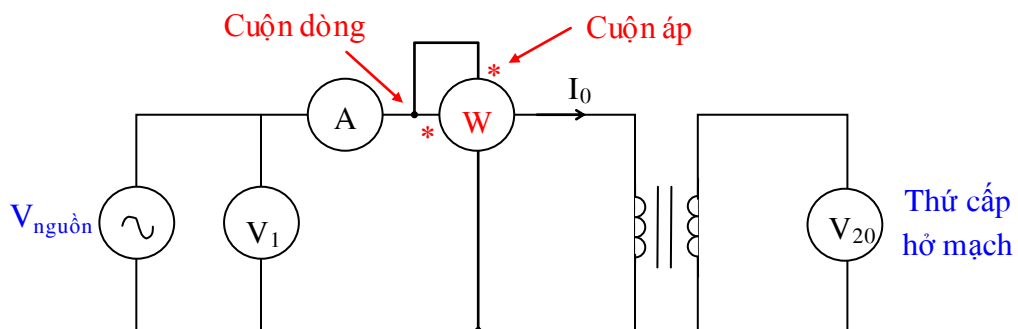
G (kg) là khối lượng thép

- Hệ số công suất không tải là:
$$\cos \varphi_0 = \frac{R_0}{\sqrt{R_0^2 + X_0^2}} = \frac{P_0}{\sqrt{P_0^2 + Q_0^2}} = 0,1 \div 0,3 \rightarrow \text{thấp}$$

Vì vậy khi vận hành không nên để máy làm việc không tải hoặc non tải.

2. Thí nghiệm không tải

Mục đích của thí nghiệm không tải là để xác định tỉ số biến áp k , tổn hao sắt từ và các thông số của máy biến áp ở chế độ không tải.



Hình 2.10 Sơ đồ thí nghiệm không tải

Đưa điện áp định mức vào cuộn dây sơ cấp, thứ cấp hở mạch ta đo được các thông số sau: P_0 , U_1 , U_{20} , I_0 .

Từ đó ta xác định được:

- Hệ số biến áp: $k = \frac{W_1}{W_2} = \frac{E_1}{E_2} \approx \frac{U_1}{U_{20}}$

- Dòng điện không tải phần trăm: $I_0 \% = \frac{I_0}{I_{1dm}} 100\% = 3 \div 10\%$

- Điện trở không tải: $P_0 = R_0 \cdot I_0^2 \rightarrow R_0 = \frac{P_0}{I_0^2} = R_1 + R_m \approx R_m$ vì $R_m \gg R_1$

- Tổng trở không tải: $Z_0 = \frac{U_{1dm}}{I_0} \approx Z_m$

- Điện kháng không tải: $X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2} \approx X_m$

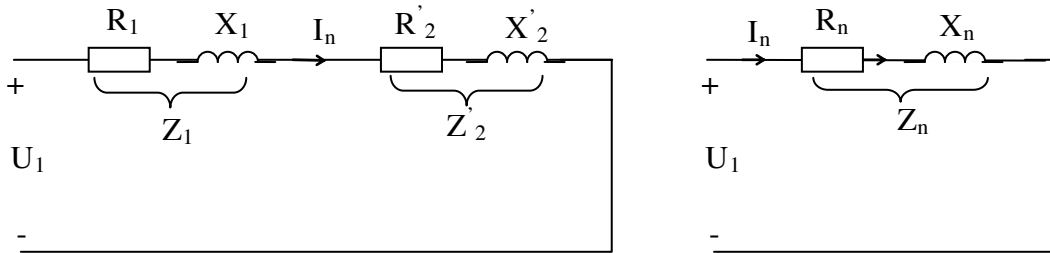
Hệ số công suất không tải: $\cos \varphi = \frac{P_0}{U_{1dm} I_0} = 0,1 \div 0,3$

§7. CHẾ ĐỘ NGẮN MẠCH CỦA MÁY BIẾN ÁP

Chế độ ngắn mạch là chế độ mà phía thứ cấp bị nối tắt lại, sơ cấp vẫn có điện áp vào. Khi làm việc có nhiều nguyên nhân làm cho máy biến áp bị ngắn mạch như dây dẫn điện ở phía thứ cấp chập vào nhau, chạm xuống đất hoặc bị nối với nhau bằng một sợi dây có tổng trở rất nhỏ đây là các dạng ngắn mạch sự cố.

1. Phương trình và sơ đồ thay thế máy biến áp

Vì tổng trở $Z_m \gg Z'_2$ nên có thể bỏ qua nhánh từ hoá $\rightarrow$ sơ đồ thay thế máy biến áp như hình vẽ.



Hình 2.11 Sơ đồ thay thế khi ngắn mạch thứ cấp

$$\text{Ta có:} \quad \dot{U}_1 = \dot{I}_n (Z_1 + Z'_2) = \dot{I}_n Z_n \quad (2.29)$$

với $Z_n = R_n + jX_n$ là tổng trở ngắn mạch máy biến áp

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

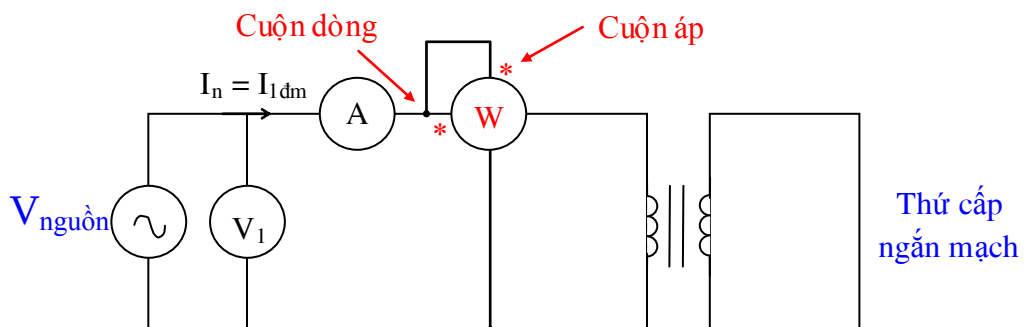
$X_n = X_1 + X'_2$ là điện kháng ngắn mạch máy biến áp

Dòng điện ngắn mạch sự cố là dòng điện ngắn mạch khi điện áp đặt vào sơ cấp bằng điện áp định mức:
$$I_n = \frac{U_{1dm}}{Z_n} \quad (2.30)$$

Vì Z_n rất nhỏ $\rightarrow I_n = (10 \div 25) I_{dm} \rightarrow$ nguy hiểm máy biến áp

2. Thí nghiệm ngắn mạch

Mục đích để xác định các thông số của các cuộn dây và tổn hao trên các điện trở dây quấn.



Hình 2.12 Sơ đồ thí nghiệm ngắn mạch

Dây quấn thứ cấp được nối ngắn mạch, dây quấn sơ cấp nối với nguồn điện áp điều chỉnh được sao cho dòng điện trong các cuộn dây bằng định mức. Điện áp lúc này đặt vào sơ cấp gọi là điện áp ngắn mạch U_n .

$$\text{Điện áp ngắn mạch phần trăm:} \quad U_n \% = \frac{U_n}{U_{1dm}} 100\% = 3 \div 10\% \quad (2.31)$$

Vì điện áp ngắn mạch rất nhỏ, từ thông Φ sẽ nhỏ, có thể bỏ qua tổn hao sắt từ. Điện áp ngắn mạch là điện áp rơi trên tổng trở dây quấn, công suất ngắn mạch đo được chính là tổn hao trong điện trở hai dây quấn $\rightarrow$ các thông số của dây quấn trong sơ đồ thay thế.

- Tổng trở ngắn mạch: $Z_n = \frac{U_n}{I_{1dm}}$

- Điện trở ngắn mạch: $P_n = R_n \cdot I_{1dm}^2 \rightarrow R_n = \frac{P_n}{I_{1dm}^2}$

- Điện kháng ngắn mạch: $X_n = \sqrt{Z_n^2 - R_n^2}$

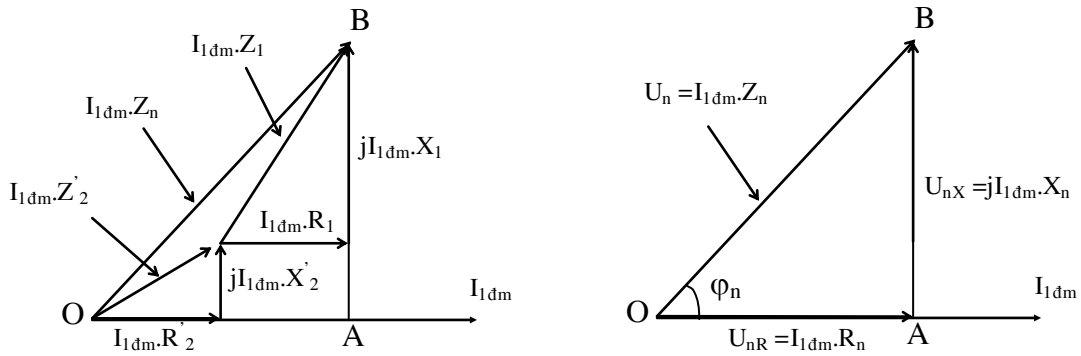
thường thì $Z_1 \approx Z_2', R_1 \approx R_2' = \frac{R_n}{2}, X_1 \approx X_2' = \frac{X_n}{2}$

$\rightarrow$ các thông số thứ cấp chưa qui đổi là: $R_2 = \frac{R_2'}{k^2}, X_2 = \frac{X_2'}{k^2}$

• Điện áp ngắn mạch gồm 2 thành phần:

- Thành phần tác dụng: $U_{nR} = I_{1n} R_n$
- Thành phần phản kháng: $U_{nX} = I_{1n} X_n$

Đồ thị véc tơ khi $I_n = I_{1dm}$ là:



Hình 2.13 Giản đồ véc tơ khi ngắn mạch

Gọi OAB là tam giác điện áp ngắn mạch thì:

$$OA = U_{nR} = U_n \cdot \cos \varphi_n$$

$$AB = U_{nX} = U_n \cdot \sin \varphi_n$$

$$OB = U_n = \sqrt{U_{nR}^2 + U_{nX}^2}$$

Biểu diễn dưới dạng tỉ lệ phần trăm so với điện áp định mức:

$$U_n \% = \frac{U_n}{U_{1dm}} 100\% = \frac{I_{1dm} Z_n}{U_{1dm}} 100\%$$

$$U_{nR} \% = \frac{U_{nR}}{U_{1dm}} 100\% = \frac{I_{1dm} R_n}{U_{1dm}} 100\%$$

$$U_{nX} \% = \frac{U_{nX}}{U_{1dm}} 100\% = \frac{I_{1dm} X_n}{U_{1dm}} 100\%$$

§8. CHẾ ĐỘ CÓ TẢI MÁY BIẾN ÁP

Chế độ có tải là chế độ mà dây quấn sơ cấp được cấp bằng điện áp định mức còn phía dây quấn thứ cấp nối với tải. Để đánh giá mức độ tải người ta định nghĩa hệ số tải β là:

$$\beta = \frac{I_2}{I_{2dm}} \quad (2.32)$$

$\beta = 1$ mba mang tải định mức

$\beta < 1$ mba non tải

$\beta > 1$ mba quá tải

1. Giảm đồ năng lượng của máy biến áp

Trong quá trình truyền tải năng lượng qua máy biến áp, sẽ bị tiêu hao một phần công suất tác dụng và công suất phản kháng. Sau đây ta sẽ xét sự cân bằng công suất tác dụng và công suất phản kháng trong máy biến áp. Sự cân bằng này suy ra từ sơ đồ thay thế mba.

Gọi $P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1$ là công suất tác dụng đầu vào máy biến áp. Một phần công suất này bị tiêu hao trên điện trở dây quấn sơ cấp $P_{Cu1} = r_1 I_1^2$ và trong lõi thép $P_{Fe} = r_m I_0^2$. Phần công suất còn lại truyền qua phía thứ cấp, nên ta có:

$$P_{dt} = P_1 - P_{Cu1} - P_{Fe} = E'_2 I'_2 \cos \psi_2 \quad (2.33)$$

Một phần công suất điện từ bị tổn hao trên dây quấn thứ cấp $P_{Cu2} = r_2 I_2^2$ còn lại là công suất đưa ra của máy biến áp:

$$P_2 = P_{dt} - P_{Cu2} = U_2 I_2 \cos \varphi_2 \quad (2.34)$$

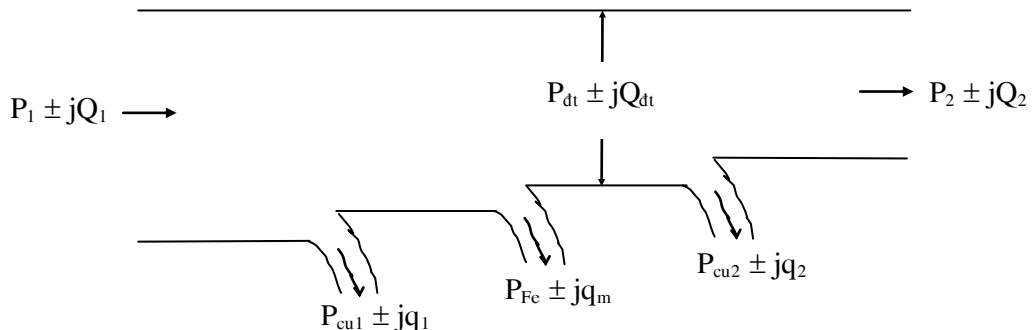
Tương tự gọi $Q_1 = U_1 I_1 \sin \varphi_1$ là công suất phản kháng đầu vào mba. Công suất này một phần dùng để tạo ra từ trường tản của dây quấn sơ cấp $q_1 = x_1 I_1^2$ và từ trường trong lõi thép $q_m = x_m I_0^2$ phần còn lại truyền sang phía thứ cấp.

$$Q_{dt} = Q_1 - q_1 - q_m = E'_2 I'_2 \sin \psi_2 \quad (2.35)$$

Công suất phản kháng một phần dùng để tạo từ trường tản của dây quấn thứ cấp $q_2 = x_2 I_2^2$ còn lại đầu ra mba là:

$$Q_2 = Q_{dt} - q_2 = U_2 I_2 \sin \varphi_2 \quad (2.36)$$

Sự cân bằng công suất tác dụng và công suất phản kháng trong máy biến áp được biểu thị như hình vẽ.



Hình 2.14 Quá trình truyền năng lượng qua máy biến áp

Khi $\varphi_2 > 0 \rightarrow Q_2 > 0 \rightarrow Q_1 > 0$: cspk truyền từ sơ cấp sang thứ cấp (tải cảm)

Khi $\varphi_2 < 0 \rightarrow Q_2 < 0 \rightarrow Q_1 < 0$: cspk truyền ngược từ thứ cấp sang sơ cấp (tải dung)

2. Độ thay đổi điện áp thứ cấp máy biến áp

Khi máy biến áp làm việc, sự thay đổi của tải sẽ làm thay đổi điện áp thứ cấp U_2 . Hiệu số giữa trị số điện áp thứ cấp lúc không tải U_{20} và lúc có tải U_2 khi điện áp vào sơ cấp bằng U_{1dm} không đổi gọi là độ thay đổi điện áp thứ cấp ΔU_2 của máy biến áp.

$$\Delta U_2 = U_{2dm} - U_2 \quad (2.37)$$

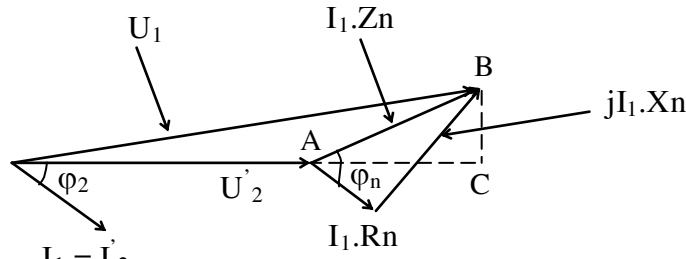
Biểu diễn dưới dạng phần trăm là:

$$\Delta U_2 \% = \frac{U_{2dm} - U_2}{U_{2dm}} 100\% \quad (2.38)$$

Nhân tử và mẫu với tỉ số biến áp k ta được:

$$\Delta U_2 \% = \frac{kU_{2dm} - kU_2}{kU_{2dm}} 100\% = \frac{U_{1dm} - U_2'}{U_{1dm}} 100\% \quad (2.39)$$

Đồ thị vectơ tương ứng với sơ đồ thay thế gần đúng là:



Hình 2.15 Giải đồ vectơ khi có tải

Để tính ΔU_2 , ta chiếu U_1 lên phương của U_2' ta được:

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

$$\begin{aligned} \Delta U_2 = U_{1dm} - U_2' &\approx AC = AB \cos(\varphi_n - \varphi_2) = I_1 Z_n \cos(\varphi_n - \varphi_2) \\ &= I_1 Z_n \cos \varphi_n \cos \varphi_2 + I_1 Z_n \sin \varphi_n \sin \varphi_2 \end{aligned} \quad (2.40)$$

trong đó: φ_n là góc của tổng trở ngắn mạch
 φ_2 là góc lệch pha giữa áp và dòng tải

$$\begin{aligned} \text{Vậy } \Delta U_2 \% &= \frac{I_1 Z_n \cos \varphi_n \cos \varphi_2 + I_1 Z_n \sin \varphi_n \sin \varphi_2}{U_{1dm}} 100\% \\ &= \beta \left(\frac{I_{1dm} Z_n \cos \varphi_n \cos \varphi_2 + I_{1dm} Z_n \sin \varphi_n \sin \varphi_2}{U_{1dm}} \right) 100\% \\ &= \beta (U_{nR} \% \cos \varphi_2 + U_{nX} \% \sin \varphi_2) \end{aligned} \quad (2.41)$$

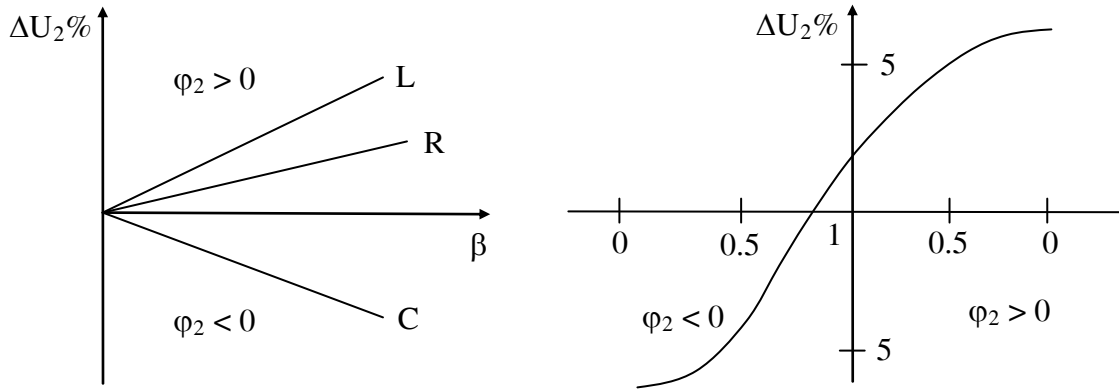
trong đó: $\beta = \frac{I_1}{I_{1dm}}$

$$U_{nR} \% = \frac{I_{1dm} Z_n \cos \varphi_n}{U_{1dm}} 100\% = U_n \% \cos \varphi_n \quad (2.42)$$

$$U_{nX} \% = \frac{I_{1dm} Z_n \sin \varphi_n}{U_{1dm}} 100\% = U_n \% \sin \varphi_n$$

Vì $U_{nR} \%$, $U_{nX} \%$ đã được xác định phụ thuộc vào các thông số của máy nên $\Delta U_2 \%$ phụ thuộc vào hệ số tải β và tính chất của tải $\cos \varphi_2$.

Quan hệ $\Delta U_2 = f(\beta)$ khi tính chất của tải không đổi ($\cos \varphi_2 = \text{const}$) và $\Delta U_2 = f(\cos \varphi_2)$ khi công suất tải không đổi ($\beta = \text{const}$) được trình bày như hình vẽ.



Hình 2.16 Độ thay đổi điện áp thứ cấp khi có tải

3. Hiệu suất của máy biến áp

Hiệu suất η của máy biến áp là tỉ số giữa công suất đầu ra P_2 và công suất đầu vào P_1 .

$$\eta\% = \frac{P_2}{P_1} 100\% = (1 - \frac{\sum P}{P_1}) 100\% = (1 - \frac{P_{Cu} + P_{Fe}}{P_2 + P_{Cu} + P_{Fe}}) \cdot 100\% \quad (2.43)$$

trong đó: $P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2 \approx U_{2dm} I_{2dm} \frac{I_2}{I_{2dm}} \cos \varphi_2 = \beta S_{dm} \cos \varphi_2$

P_{Cu} là tổn hao trên điện trở dây quấn sơ cấp và thứ cấp, được xác định như sau:

$$P_{Cu} = I_1^2 r_1 + I_2^2 r_2 = I_1^2 r_1 + I_2^2 r_2' = I_1^2 (r_1 + r_2') = I_1^2 R_n = \frac{I_1^2}{I_{1dm}^2} I_{1dm}^2 R_n = \beta^2 P_n$$

P_{Fe} là tổn hao sắt từ trong lõi thép do dòng điện xoáy và từ trễ gây ra. Tổn hao sắt từ không phụ thuộc tải mà phụ thuộc vào từ thông chính (hay điện áp) và bằng tổn hao

không tải: $P_{Fe} = P_{Fe0} = P_{1,0/50} \cdot B^2 \left(\frac{1}{50}\right)^{1,3} \cdot G$

$$\text{Vậy hiệu suất mba là: } \eta\% = (1 - \frac{\beta^2 P_n + P_0}{\beta S_{dm} \cos \varphi_2 + \beta^2 P_n + P_0}) \cdot 100\% \quad (2.44)$$

Thường thì các công suất tổn hao rất nhỏ so với công suất truyền tải nên hiệu suất của mba rất cao. Đối với máy biến áp công suất lớn hiệu suất có thể đạt tới 99%.

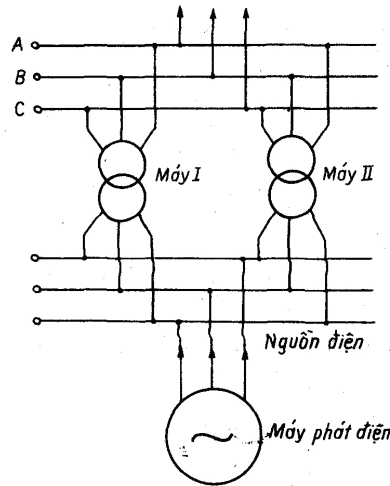
Từ biểu thức (8.13) ta thấy, nếu $\cos \varphi_2 = \text{const}$ thì hiệu suất η chỉ phụ thuộc vào β và đạt giá trị cực đại khi:

$$\frac{d\eta}{d\beta} = 0 \rightarrow \beta = \sqrt{\frac{P_0}{P_n}} \quad \text{hay} \quad P_0 = \beta^2 P_n \quad (2.45)$$

Ở một tải nhất định hiệu suất máy biến áp đạt cực đại khi tổn hao sắt bằng tổn hao đồng.

4. Máy biến áp làm việc song song

Trong các trạm biến áp, để đảm bảo các điều kiện về kinh tế và kỹ thuật như truyền tải lượng công suất lớn, tổn hao công suất là nhỏ nhất, đảm bảo liên tục cung cấp điện khi xảy ra sự cố hoặc sửa chữa máy biến áp người ta thường cho hai hoặc nhiều máy biến áp làm việc song song.

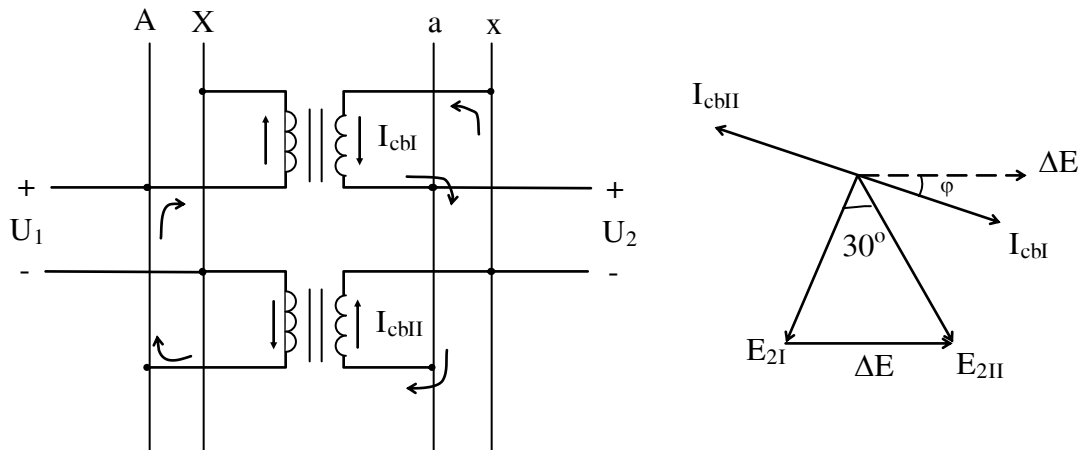


Hình 2.17 Hai máy biến áp làm việc song song

Máy biến áp làm việc song song thì điện áp thứ cấp của chúng phải bằng nhau về biên độ và góc pha, công suất tải phân phối theo tỉ lệ công suất máy. Muốn vậy máy biến áp phải thỏa các điều kiện sau đây:

- + Cùng tổ nối dây
- + Tỉ số biến đổi điện áp k bằng nhau
- + Điện áp ngắn mạch U_n bằng nhau

a) Điều kiện cùng tổ nối dây



Hình 2.18 Điều kiện cùng tổ nối dây

Giả sử máy I nối dây $Y/\Delta-11$ còn máy II nối $Y/Y-12$ thì điện áp thứ cấp của hai máy lệch nhau 30° . Trong mạch nối liền các dây quấn thứ cấp của hai máy biến áp sẽ có sức điện động:

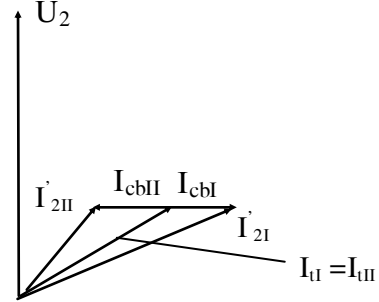
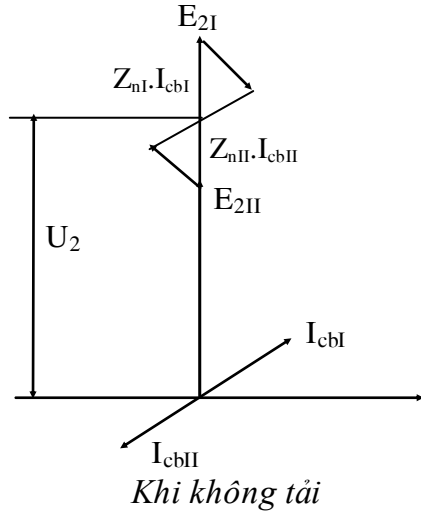
$$\Delta E = 2E \sin 15^\circ = 0,518E_2$$

Khi không tải trong cuộn thứ cấp máy biến áp có dòng điện: $I_{cb} = \frac{\Delta E}{Z_{nI} + Z_{nII}}$

giả sử $Z_{nI} = Z_{nII} = 0,05 \rightarrow I_{cb} = \frac{0,518}{0,05 + 0,05} = 5,18 \rightarrow$ gấp hơn 5 lần định mức $\rightarrow$ hư hỏng máy.

b) Điều kiện tỉ số biến áp bằng nhau

Giả sử tỉ số biến đổi $K_I \neq K_{II}$ thì $E_I \neq E_{II}$ và khi không tải $\rightarrow \Delta E = E_{2I} - E_{2II}$
 $\rightarrow I_{cb} = \frac{\Delta E}{Z_{nI} + Z_{nII}}$ và chậm pha sau ΔE góc 90° vì $x \gg r$, điện áp rơi trên các dây quấn sẽ bù trừ $E_I, E_{II} \rightarrow U_2$ bằng nhau.



Khi có tải

Hình 2.19 Điều kiện tỉ số biến áp bằng nhau

Khi có tải dòng I_{cb} cộng vào dòng điện tải I_t làm cho hệ số tải β khác nhau $\rightarrow$ ảnh hưởng đến việc lợi dụng công suất máy.

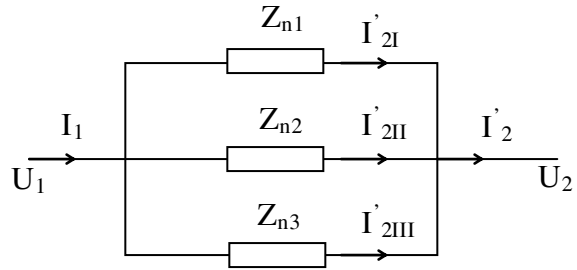
c) Điều kiện điện áp ngắn mạch bằng nhau

Giả sử 3 máy làm việc song song có $U_{nI}, U_{nII}, U_{nIII}$ thì ta có:

$$\beta_I = \frac{S_I}{S_{dmI}} = \frac{S}{u_{nI} \cdot \sum \frac{S_{dmi}}{u_{ni}}}$$

$$\beta_{II} = \frac{S_{II}}{S_{dmII}} = \frac{S}{u_{nII} \cdot \sum \frac{S_{dmi}}{u_{ni}}}$$

$$\beta_{III} = \frac{S_{III}}{S_{dmIII}} = \frac{S}{u_{nIII} \cdot \sum \frac{S_{dmi}}{u_{ni}}}$$



Hình 2.20 Ba máy biến áp làm việc song song

$\rightarrow \beta_I : \beta_{II} : \beta_{III} = \frac{1}{u_{nI}} : \frac{1}{u_{nII}} : \frac{1}{u_{nIII}} \rightarrow$ hệ số tải tỉ lệ nghịch với điện áp ngắn mạch.

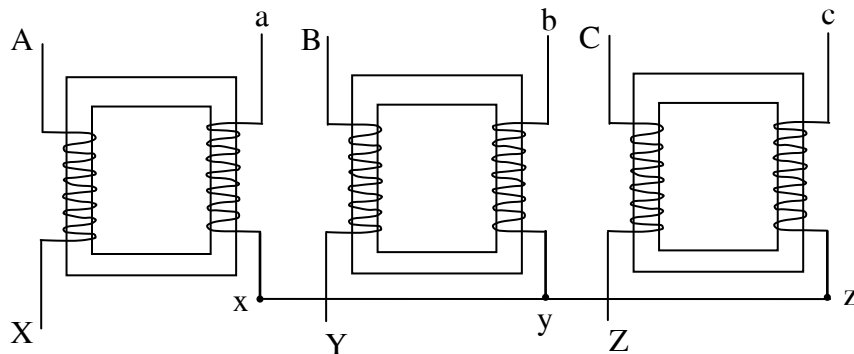
Nếu U_n bằng nhau $\rightarrow \beta$ bằng nhau, tải sẽ phân phối theo tỉ lệ công suất. Nếu U_n khác nhau thì máy có U_n nhỏ thì β lớn (quá tải), còn máy có U_n lớn thì β nhỏ (non tải). Khi máy có U_n nhỏ làm việc với tải bằng định mức ($\beta = 1$) thì máy có U_n lớn sẽ non tải ($\beta < 1$).

§9. MÁY BIẾN ÁP 3 PHA VÀ TỔ NỐI DÂY

Để biến đổi điện áp của hệ thống điện ba pha, ta có thể dùng 3 máy biến áp một pha hoặc máy biến áp một pha.

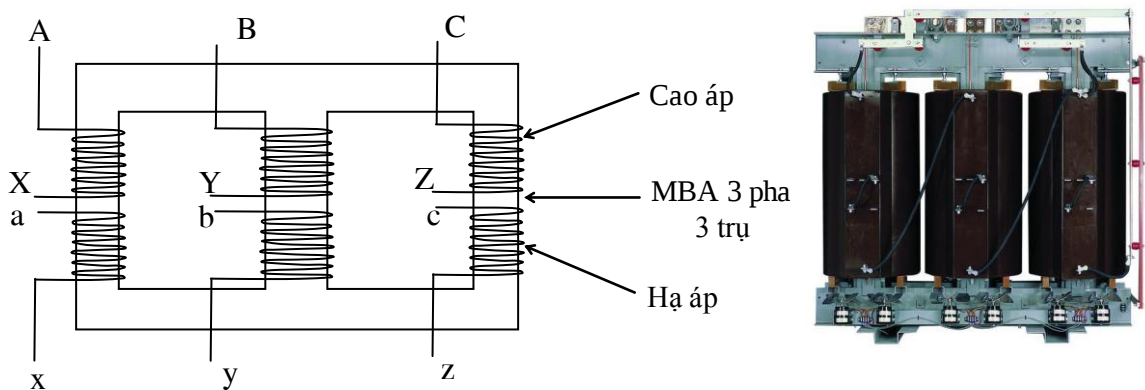
1. Máy biến áp 3 pha

a) Tổ máy biến áp ba pha: Được ghép từ 3 máy biến áp một pha có hệ thống mạch từ riêng.



Hình 2.21 Máy biến áp 3 pha loại mono

b) Máy biến áp 3 pha kiểu trụ



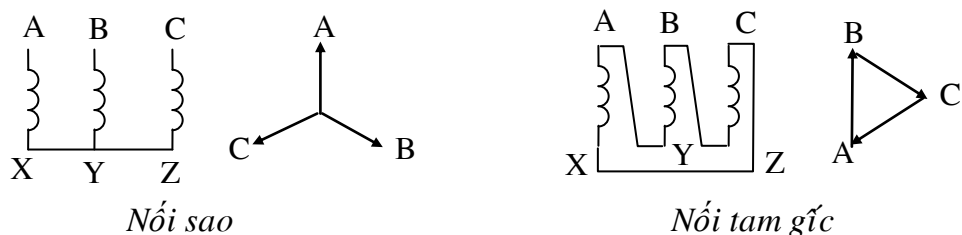
Hình 2.22 Máy biến áp ba pha ba trụ

2. Tổ nối dây của máy biến áp

a) Kí hiệu đầu dây

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

b) Các kiểu đấu dây quấn



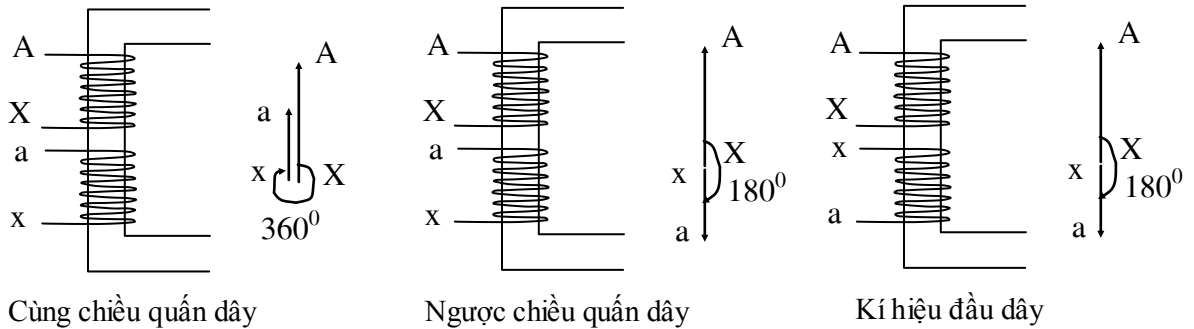
c) Tổ nối dây máy biến áp

Tổ nối dây máy biến áp hình thành do sự phối hợp kiểu đầu dây quấn sơ cấp và thứ cấp, nó biểu thị góc lệch pha giữa các sức điện động dây quấn sơ cấp và dây quấn thứ cấp.

Góc lệch này phụ thuộc vào các yếu tố:

- + Chiều quấn dây
- + Ký hiệu các đầu dây
- + Kiểu đầu dây quấn sơ cấp và thứ cấp

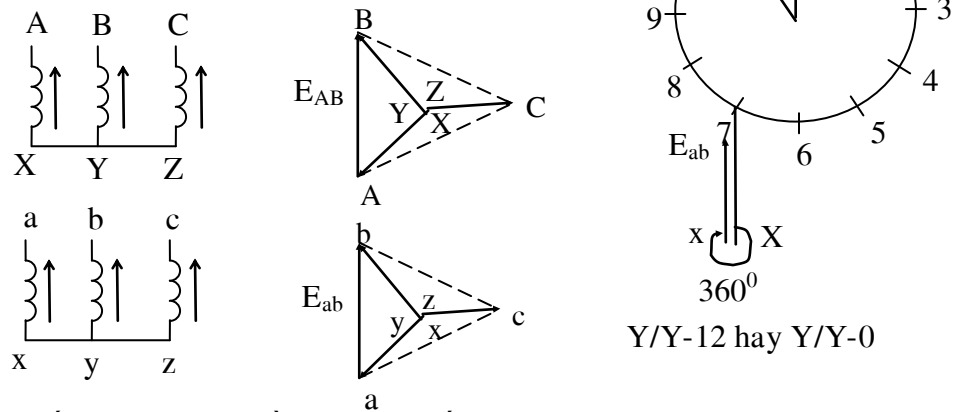
Xét máy biến áp một pha có hai cuộn dây sơ cấp AX và thứ cấp ax được quấn như sau:



Hình 2.23 Chiều sức điện động của biến áp một pha

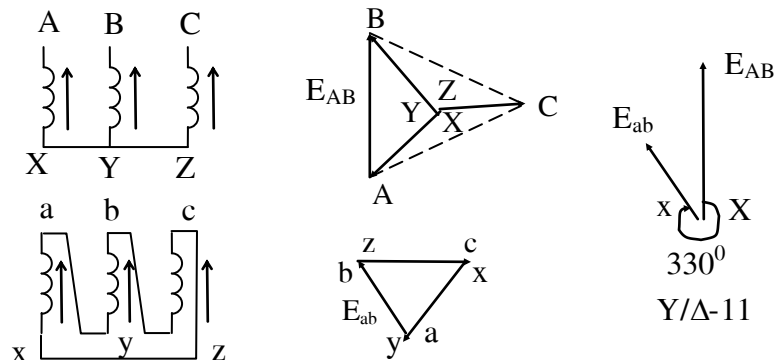
Với máy biến áp 3 pha tùy thuộc cách đầu hình Y hay Δ mà góc lệch sức điện động có thể là $30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, \dots, 360^\circ \rightarrow$ dùng phương pháp kim đồng hồ.

Ví dụ:



+ Đổi chiều dây quấn hay ký hiệu đầu dây thứ cấp $\rightarrow Y/Y-6$

+ Hoán vị thứ tự các pha thứ cấp $\rightarrow 2, 4, 6, 8, 10$

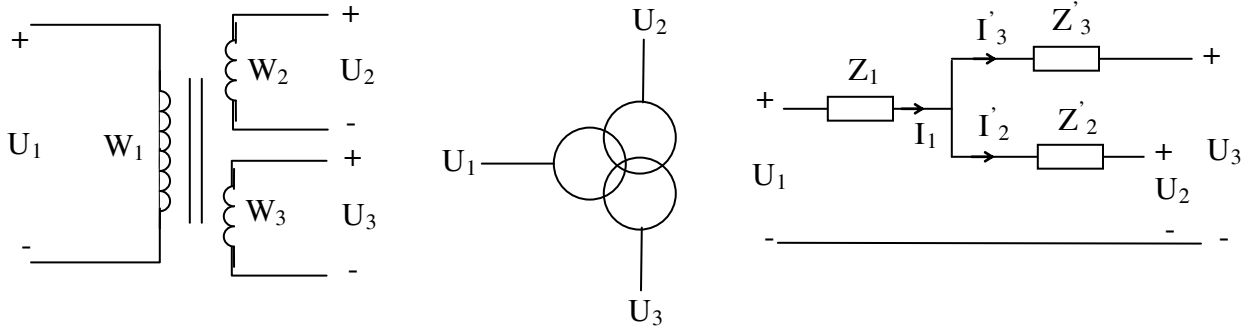


- + Đổi chiều dây quấn hay kí hiệu đầu dây thứ cấp $\rightarrow Y/\Delta - 5$
- + Hoán vị thứ tự các pha thứ cấp $\rightarrow 1, 3, 5, 7, 9$

§10. MÁY BIẾN ÁP ĐẶC BIỆT

1. Máy biến áp 3 cuộn dây (Three Phases Power Transformers)

Là máy biến áp có một cuộn dây sơ cấp và hai cuộn dây thứ cấp dùng để cung cấp điện cho các lưới điện có điện áp khác nhau.



Hình 2.24 Máy biến áp ba cuộn dây

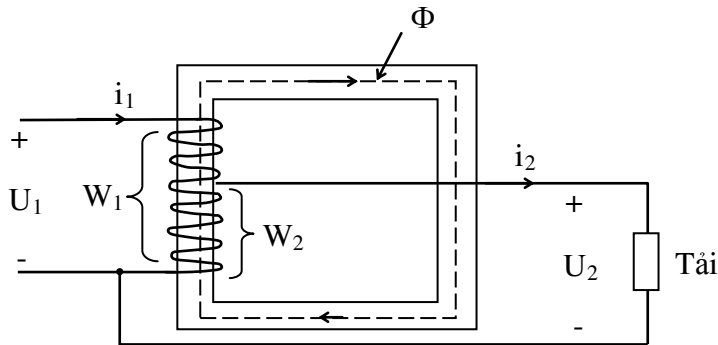
Tỉ số biến áp là: $k_{12} = \frac{W_1}{W_2} \approx \frac{U_1}{U_2}$, $k_{13} = \frac{W_1}{W_3} \approx \frac{U_1}{U_3}$

Các tổ nối dây tiêu chuẩn: $Y_0/Y_0/\Delta-12-11$, $Y_0/\Delta/\Delta-11-11$

Qui định công suất 3 cuộn dây theo tỉ lệ: 100%-100%-100%, 100%-100%-67%, 100%-67%-100%, 100%-67%-67%.

Công suất của máy biến áp 3 cuộn dây lấy theo công suất của cuộn dây sơ cấp (có công suất lớn nhất).

2. Máy biến áp tự ngẫu (Auto Power Transformers)



Hình 2.25 Máy biến áp tự ngẫu

Máy biến áp tự ngẫu có cuộn sơ cấp W_1 mắc song song với lưới điện, cuộn thứ cấp W_2 là một bộ phận của cuộn sơ cấp và thứ cấp ngoài sự liên hệ về từ còn có liên hệ về điện.

Tỉ số biến đổi điện áp là: $\frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2} \rightarrow U_2 = U_1 \frac{W_1}{W_2}$

Thay đổi $W_2 \rightarrow U_2$ thay đổi liên tục.

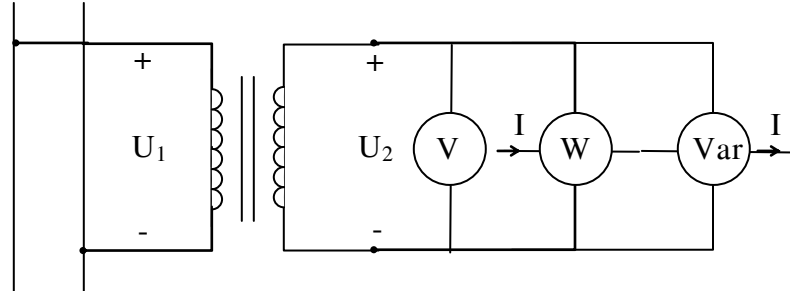
Ưu điểm: Lõi thép nhỏ hơn máy biến áp thường, chỉ có một cuộn dây nên tiết kiệm được dây dẫn và giảm tổn hao.

Nhược điểm: Mức độ an toàn không cao, dòng ngắn mạch lớn.

Ứng dụng: Dùng ở các phòng thí nghiệm, các thiết bị có điện áp cần điều chỉnh theo yêu cầu, mở máy động cơ điện xoay chiều, truyền tải điện năng.

3. Máy biến điện áp (VT- Voltage Transformers)

Máy biến điện áp thực chất là máy biến áp hạ áp, dùng để biến đổi điện áp cao xuống điện áp thấp để đưa vào các đồng hồ đo lường và các rơle bảo vệ. Cuộn sơ cấp của VT có điện áp định mức bằng điện áp của lưới điện. Cuộn thứ cấp của VT có điện áp $U_2 = 100V$ nhằm đảm bảo an toàn cho người và thiết bị sử dụng, và phù hợp với điện áp định mức của các đồng hồ đo lường và rơle bảo vệ.



Hình 2.25 Nguyên lý đấu nối máy biến điện áp

Về cấu tạo biến áp đo lường thường có hai cuộn dây. Cuộn sơ cấp (cao áp) đấu song song với lưới điện, cuộn thứ cấp (hạ áp) cung cấp cho các phụ tải.

Cũng có loại VT ba cuộn dây: một cuộn sơ, một cuộn thứ và cuộn phụ thứ ba đấu hình tam giác hở dùng để kiểm tra cách điện đối với đất của các pha điện áp cao, cũng như xác định các dạng sự cố ngắn mạch, đứt dây,...

Sai số của VT là sai lệch điện áp bên sơ cấp tính theo lý thuyết U_1' (dựa vào áp bên thứ cấp) và điện áp thực tế bên sơ cấp U_1 . Sai số điện áp được biểu thị bằng % của điện áp thực tế U_1 bên sơ cấp:

$$\Delta U\% = \frac{U_1' - U_1}{U_1} = \frac{(W_1/W_2)U_2 - U_1}{U_1} \cdot 100\%$$

Sai số cho phép lớn nhất của VT được biểu thị bằng cấp chính xác tiêu chuẩn. VT có các cấp chính xác 0,2; 0,5; 1, 3 với sai số tương ứng là $\pm 0,2\%$; $\pm 0,5\%$; $\pm 1\%$; $\pm 3\%$,

- Cấp chính xác 0,2: dùng để đo lường trong phòng thí nghiệm.
- Cấp chính xác 0,5: dùng để đo điện năng.
- Cấp chính xác 0,5-1: dùng để đo lường trong các nhà máy điện và trạm biến áp.
- Cấp chính xác 3: dùng cho cuộn dây của cơ cấu truyền động cắt bằng tay hay tự động của máy cắt điện.

Cùng một VT có thể làm việc ở mấy cấp chính xác khác nhau tùy theo độ lớn của phụ tải, bởi vì sai số của VT phụ thuộc vào phụ tải của nó.

Lưu ý: Không được nối tắt mạch thứ cấp vì dẫn đến nối tắt cuộn sơ cấp, tương đương với ngắn mạch lưới điện.

Ví dụ VT trung thế của hãng ABB chế tạo có các thông số sau:

Kiểu	Mã	$U_{dmBU}(KV)$	$U_{1BU}(KV)$	$U_{2BU}(KV)$	$U_{CN}(KV)$	$S_{2dmBU}(VA)$	TL(Kg)
Hình trụ	TDC 7	36	36/1.73	100/ 1.73	70	250	72



VT- 12kV



VT- 24kV



VT- 36kV

Ví dụ VT cao thế 110kV của hãng ABB chế tạo có các thông số sau:

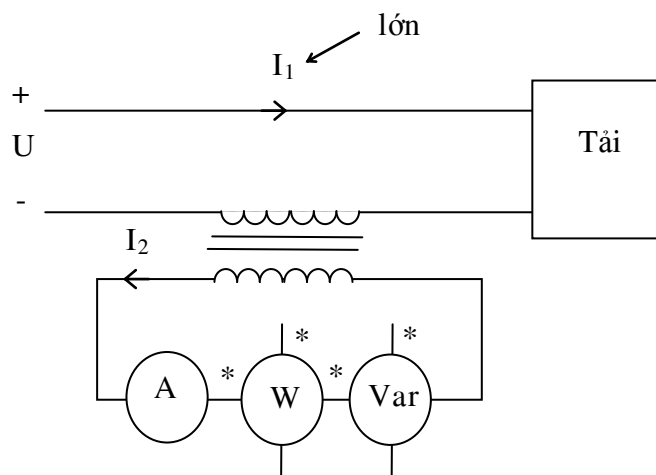


Kiểu		CPA - 123
Cấp chính xác		0,5
Công suất định mức	VA	200
Điện áp danh định cuộn sơ	KV	$123/\sqrt{3}$
Điện áp định mức hệ thống	KV	$110/\sqrt{3}$
Điện áp danh định cuộn thứ cấp	V	$110/\sqrt{3}; 100/\sqrt{3}$
Điện áp chịu đựng xung	KV	$550/\sqrt{3}$
Điện áp chịu đựng tần số công nghiệp	KV	$230/\sqrt{3}$
Tổ nối dây		$Y_0-Y_0-\Delta$ hờ
Tần số định mức	Hz	50
Khối lượng	kg	350

4. Máy biến dòng điện (CT- Current Transformers)

Máy biến dòng điện thực chất là máy biến áp tăng áp, giảm dòng dùng để biến đổi dòng điện lớn xuống dòng điện nhỏ để đưa vào các đồng hồ đo lường hoặc các role bảo vệ.

Về cấu tạo CT gồm có 3 bộ phận chính: lõi thép khép kín, cuộn dây sơ cấp nối tiếp với lưới điện (có dòng điện lớn chạy qua), cuộn dây thứ cấp nối với tải (có dòng điện định mức là 1 A hoặc 5 A).



Hình 2.26 Nguyên lý làm việc của biến dòng

Về nguyên lý của CT cũng giống VT và máy biến áp thông thường là làm việc theo nguyên lý cảm ứng điện từ. Khi cuộn sơ cấp có dòng điện xoay chiều I_1 chạy qua, trong lõi thép xuất hiện từ thông xoay chiều Φ , từ thông này cảm ứng bên thứ cấp sức điện động E_2 và dòng điện I_2 . Dòng điện I_2 trong cuộn thứ tỉ lệ với dòng điện I_1 trong cuộn sơ. Tỉ số này gọi là tỉ số biến dòng K_I :

$$K_I = \frac{I_1}{I_2} = \frac{W_2}{W_1}$$

W_1 là số vòng dây cuộn sơ cấp (có rất ít vòng)

W_2 là số vòng dây cuộn thứ cấp (có rất nhiều vòng)

Sai số của CT khi đo lường dòng điện là sai lệch giữa dòng điện I_1' bên sơ cấp suy ra từ dòng điện I_2 đo được bên cuộn thứ và dòng điện thực tế I_1 bên cuộn sơ cấp. Sai số này biểu thị bằng % của dòng điện thực tế I_1 :

$$\Delta I\% = \frac{I_1' - I_1}{I_1} = \frac{(W_2 / W_1) I_2 - I_1}{I_1} 100\%$$

Để đặc trưng cho sai số của CT người ta dùng khái niệm cấp chính xác. Cấp chính xác của CT biểu thị bằng sai số lớn nhất của dòng điện. CT thường có cấp chính xác 0,2; 0,5 ; 1 ; 3 ; 10 (sai số tương ứng $\pm 0,2\%$, $\pm 0,5\%$, $\pm 1\%$, $\pm 3\%$; $\pm 10\%$).

- Cấp chính xác 0,2: dùng trong phòng thí nghiệm đo lường yêu cầu chính xác cao.

- Cấp chính xác 0,5: dùng để đo đếm điện năng của máy phát điện, máy biến áp, các phát tuyến,....

- Cấp chính xác 1: dùng để đo lường công suất, điện năng trong các nhà máy điện và trạm biến áp.

- Cấp chính xác 3: dùng cho các role bảo vệ quá tải. cuộn dây của cơ cấu truyền động cắt bằng tay hay tự động của máy cắt điện.

- Cấp chính xác 10: dùng để cung cấp dòng điện lớn trong các cuộn của cơ cấu truyền động cắt bằng tay hay tự động của máy cắt điện cao áp.

Lưu ý: Không để thứ cấp hở mạch vì $I_0 = I_1$ rất lớn, lõi thép bị bão hòa sẽ nóng lên và cháy dây quấn.

Ví dụ CT trung thế 35kV (IMB-72) của hãng ABB có các thông số như sau:



CT: 10,5kV-3200A



CT: 15kV-3200A



CT: 24kV-3200A



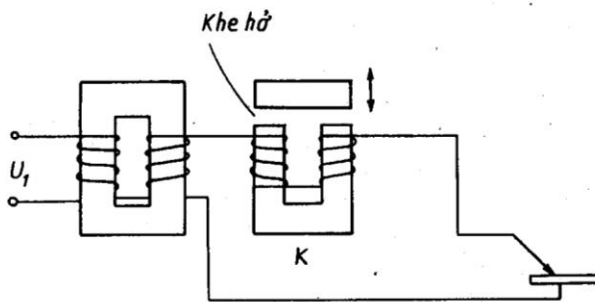
CT: 36kV-2500A

Ví dụ CT cao thế 110kV của hãng ABB chế tạo có các thông số như sau :



Kiểu		IMB-123	IMB-72
Cấp chính xác		0,5	0,5
Công suất danh định	VA	30	30
Điện áp danh định	KV	123	38,5
Dòng sơ cấp danh định	A	800	300
Dòng thứ cấp danh định	A	1	1
Đoã oản nịnh nhiệt	KA/s	40/1	31,5/3
Độ ổn định lực điện động	KA	100	80
Tần số định mức	Hz	50	50
Điện áp chịu đựng tần số công nghiệp trong 1 phút	KV	230	85
Điện áp chịu đựng xung	KV	550	195
Trọng lượng	Kg	455	385

5. Máy biến áp hàn (AC Arc Furnace Transformers)



Cuộn sơ cấp nối với nguồn điện, cuộn thứ cấp một đầu nối với cuộn kháng và que hàn, đầu kia nối với kim loại hàn.

Hàn bằng phương pháp hồ quang điện, máy biến áp hàn có điện kháng tản lớn, và có thêm cuộn điện kháng để dòng điện hàn khoảng $2 \div 3 I_{dm} \rightarrow$ đặc tính ngoài $U_2 = f(I_2)$ rất dốc để hạn chế dòng ngắn mạch và hồ quang được ổn định.

Để điều chỉnh dòng điện hàn $\rightarrow$ thay đổi số vòng dây thứ cấp máy biến áp hoặc thay đổi điện kháng cuộn K bằng cách thay đổi khe hở không khí lõi thép.

BÀI TẬP CHƯƠNG 2

(máy biến áp)

2.1 Cuộn sơ cấp của máy biến áp có các thông số: $U_{1dm}=6600V$, $U_{2dm}=400V$, $f_{dm}=50Hz$, $W_1=1320$ vòng, hãy xác định:

- Từ thông cực đại ϕ_m trong lõi thép.
- Tiết diện lõi thép nếu từ cảm cực đại bằng 1.4 T.
- Số vòng cuộn thứ cấp.

ĐS: a. $\phi_m=0.0225Wb$
b. $s=161cm^2$
c. $W_2=80$ vòng

2.2 Cho một máy biến áp có dung lượng $S_{dm}=20000kVA$, $U_{1dm}=126,8kV$, $U_{2dm}=11kV$, $f=50Hz$, diện tích tiết diện lõi thép $S=3595cm^2$, mật độ từ thông $B=1.35T$. Tính số vòng dây của dây quấn sơ cấp và thứ cấp.

ĐS: $W_1=1177$ vòng, $W_2=102$ vòng

2.3 Cho một máy biến áp một pha $S_{dm}=6637kVA$, $U_{1dm}=35kV$, $U_{2dm}=10kV$, $P_n=53500W$, $U_n\%=8\%$.

- Tính z_n , r_n , x_n .
- Giả sử $r_1=r_2$, tính điện trở không qui đổi của dây quấn thứ cấp.

ĐS: a. $z_n=14.76\Omega$, $r_n=1.48\Omega$, $x_n=14.69\Omega$
b. $r_2=0.061\Omega$

2.4 Máy biến áp một pha $S_{dm}=75kVA$, $U_{1dm}=4.6kV$, $U_{2dm}=0.23kV$, $f_{dm}=50Hz$ có số liệu thí nghiệm như sau:

Thí nghiệm không tải: $U_0=230$, $I_0=13.04A$, $P_0=521W$

Thí nghiệm ngắn mạch: $U_n=160.8V$, $I_n=16.3A$, $P_n=1200W$

Xác định:

- Điện trở và điện kháng mạch từ hóa.
- Điện trở ngắn mạch, điện kháng ngắn mạch và tổng trở ngắn mạch.
- Biểu diễn các giá trị trên theo đơn vị tương đối.
- Độ sụt áp phần trăm khi máy hoạt động ở tải định mức với $\cos\varphi=0.75$ (trễ).

ĐS: a. $r_m\approx 3.063\Omega$, $x_m\approx 17.37\Omega$, $z_m\approx 17.64\Omega$
b. $r_n=4.52\Omega$, $x_n=8.77\Omega$, $z_n=9.86\Omega$
c. $r_{m*}=0.0108\Omega$, $x_{m*}=0.0615\Omega$, $z_{m*}=0.0625\Omega$, $r_{n*}=0.016\Omega$, $x_{n*}=0.031\Omega$, $z_{n*}=0.0349\Omega$
d. $\Delta U\%=3.25\%$

2.5 Một máy biến áp một pha $S_{dm}=150kVA$, $U_{1dm}=2400V$, $U_{2dm}=240V$, $r_1=0.2\Omega$, $x_1=0.45\Omega$, $r_2=2m\Omega$, $x_2=4.5m\Omega$.

- Tính r_n , x_n , I_{1dm} , I_{2dm} .
- Tính P_n , P_0 biết rằng khi $\cos\varphi=0.8$, hệ số tải $\beta=1$, hiệu suất $\eta=0.982$.

ĐS: a. $r_n=0.4\Omega$, $x_n=0.9\Omega$, $I_{1dm}=62.5A$, $I_{2dm}=625A$
b. $P_n=1562.5W$, $P_0=637W$

2.6 Một máy biến áp một pha có $R_1=200\Omega$, $R_2=2\Omega$, điện cảm tản $L_1=50\text{mH}$, $L_2=0.5\text{mH}$, tỉ số vòng dây $W_1/W_2=10$. Sơ cấp máy biến áp được nối với máy phát sin có $f=5000\text{Hz}$, điện trở trong $R_{tr}=1600\Omega$, sức điện động $E_u=100\text{V}$. Thứ cấp nối với tải $R_{t\grave{a}i}=16\Omega$.

- Xác định công suất tải tiêu thụ.
- Xác định điện áp trên tải.

ĐS: a. $P_{t\grave{a}i}=0.7\text{W}$

b. $U_2=3.348\text{V}$

2.7 Một máy biến áp ba pha 11000/415V. Biết điện áp mỗi vòng dây là 4V. Tính số vòng sơ cấp và thứ cấp trong các trường hợp

a. nối Y/Y

b. nối Δ /Y

ĐS: a. $W_1=1588$, $W_2=60$

b. $W_1=2750$, $W_2=60$

2.8 Máy biến áp ba pha $S_{dm}=160\text{kVA}$, $U_{1dm}=15\text{kV}$, $U_{2dm}=400\text{V}$, $P_0=460\text{W}$, $P_n=2350\text{W}$, $U_n\%=4\%$, tổ nối dây Y/Y-12. Cho biết $R_1\approx R_2'$, $X_1\approx X_2'$ tính

a. I_{1dm} , I_{2dm} , R_n , X_n , R_1 , X_1 , R_2 , X_2 .

b. η khi hệ số tải $\beta=0.75$ và $\cos\varphi_t=0.8$

c. $\Delta U\%$, U_2 khi hệ số tải $\beta=1$ và $\cos\varphi_t=0.8$

ĐS: a. $I_{1dm}=6.16\text{A}$, $I_{2dm}=230.95\text{A}$, $R_n=20.64\Omega$, $X_n=52.31\Omega$, $R_1=10.32\Omega$, $X_1=26.15\Omega$, $R_2=7.34\text{m}\Omega$, $X_2=18.6\text{m}\Omega$

b. $\eta=0.981$

c. $\Delta U\%=3.4\%$, $U_2=386.4\text{V}$

2.9 Một máy biến áp ba pha 3 trụ, đấu Y/Y-12 có thông số định mức $S_{dm}=180\text{kVA}$, $U_{1dm}=10\text{kV}$, $U_{2dm}=0.23\text{kV}$, $f_{dm}=50\text{Hz}$, $P_0=1.5\text{kW}$, $i_0\%=5\%$, $P_n=4\text{kW}$, $U_n\%=5.5\%$ tiết diện ngang mỗi trụ thép $S=80\text{cm}^2$. Hãy xác định:

a. Số vòng dây mỗi pha dây quấn cao áp và hạ áp để biên độ từ cảm trong lõi thép không vượt quá $B_m=1.6\text{T}$.

b. Tiết diện dây quấn cao áp và hạ áp để mật độ dòng không vượt quá 3A/mm^2 .

c. Điện trở và điện kháng mỗi pha dây quấn.

d. Điện áp và công suất cung cấp cho tải thuần trở đấu Y đối xứng có điện trở mỗi pha $R=0.4\Omega$.

ĐS: a. $W_1=2032$ vòng, $W_2=47$ vòng

b. $S_1\geq 3.46\text{mm}^2$, $S_2\geq 150.62\text{mm}^2$

c. $r_1=6.18\Omega$, $r_2=3.27\text{m}\Omega$, $x_1=13.94\Omega$, $x_2=7.37\text{m}\Omega$

d. $U_2=0.226\text{kV}$, $P_2=128.14\text{kW}$

2.10 Một máy biến áp ba pha 3 trụ, đấu Y/ Δ -11 có thông số định mức $S_{dm}=180\text{kVA}$, $U_{1dm}=10\text{kV}$, $U_{2dm}=0.23\text{kV}$, $f_{dm}=50\text{Hz}$, $P_0=1.5\text{kW}$, $i_0\%=5\%$, $P_n=4\text{kW}$, $U_n\%=5.5\%$ tiết diện ngang mỗi trụ thép $S=80\text{cm}^2$. Hãy xác định:

a. Dòng ngắn mạch thí nghiệm và dòng ngắn mạch sự cố.

b. Dòng không tải.

c. Hiệu suất máy biến áp cực đại trong trường hợp nào và bằng bao nhiêu ở $\cos\varphi_{t\grave{a}i}=0.8$.

d. Điện áp thứ cấp máy phát ra trong chế độ ở câu (c) .

ĐS: a. $I_{ntn}=10.39A$, $I_{nsc}=189.30A$

b. $I_0=0.519A$

c. $\beta=0.612$, $\eta=96.6\%$

d. $U_2=0.223kV$

2.11 Một máy biến áp ba pha đấu Y/ Δ -11, $S_{dm}=320kVA$, $P_0=1.5kW$ có thông số: Dây quấn cao áp có $W_1=1299$ vòng, $R_1=1\Omega$, $X_1=2.7\Omega$. Dây quấn hạ áp có $W_2=150$ vòng, $R_2=0.015\Omega$, $X_2=0.035\Omega$. Máy được dùng để hạ áp nguồn có điện áp $U_{1dm}=6000V$. Hãy xác định:

a. Điện áp hạ áp định mức U_{2dm} .

b. Dòng điện ngắn mạch sự cố I_{1n} , I_{2n} .

c. Điện áp ngắn mạch phần trăm $U_n\%$? Ý nghĩa.

d. Điện áp máy cung cấp cho tải khi tiêu thụ dòng $I=462A$ với hệ số công suất $\cos\varphi=0.8$ (tải cảm).

e. Tìm công suất nguồn cung cấp cho máy biến áp trong chế độ nêu ra ở câu (d) và hiệu suất máy lúc này.

ĐS: a. $U_{2dm}=400V$

b. $I_{1n}=600.39A$, $I_{2n}=5200A$

c. $\Delta U\%=5.12\%$

d. $U_2=382.28V$

e. $P_1=263.82kW$, $\eta=97\%$

2.12 Một máy biến áp ba pha đấu Y/Y-12 có $S_{dm}=20kVA$, $U_{1dm}=6kV$, $U_{2dm}=0.4kV$, $f_{dm}=50Hz$, $P_n=0.6kW$, $U_n\%=5.5\%$ tính:

a. U_n , U_{nr} , U_{nx} .

b. z_n , r_n , x_n , $\cos\varphi_n$.

c. $\Delta u\%$ khi $\beta=0.25, 0.5, 0.75, 1$ và $\cos\varphi_2=0.8$ (tải cảm).

d. Biết $P_0=0.18kW$, tính hiệu suất máy ở các tải nói trên.

ĐS: a. $U_n=\sqrt{3}.190V$, $U_{nr}=\sqrt{3}.104V$, $U_{nx}=\sqrt{3}.159V$

b. $z_n=99\Omega$, $r_n=54.3\Omega$, $x_n=83\Omega$, $\cos\varphi_n=0.55$

c. $\Delta u\%=1.29\%, 2.58\%, 3.87\%, 5.16\%$

d. $\eta=94.84\%, 96.04\%, 95.86\%, 95.35\%$

2.13 Cho 3 máy biến áp ba pha làm việc song song với các số liệu:

Máy	$S_{dm}(kVA)$	$U_{1dm}(kV)$	$U_{2dm}(kV)$	$U_n\%$	Tổ nối dây
I	1000	35	6.3	6.25	Y/ Δ -11
II	1800	35	6.3	6.6	Y/ Δ -11
III	2400	35	6.3	7.0	Y/ Δ -11

Tính:

a. Tải của mỗi máy biến áp khi tải chung của 3 máy là $4500kVA$.

b. Tải lớn nhất có thể cấp cho hộ dùng điện với điều kiện không một máy biến áp nào quá tải.

c. Giả sử máy I được phép quá tải 20%, thì tải chung của các máy là bao nhiêu, và tải của mỗi máy lúc này.

ĐS: a. $S_1=928\text{kVA}$, $S_2=1582\text{kVA}$, $S_3=1990\text{kVA}$

b. $S=4847\text{kVA}$

c. $S=5817\text{kVA}$, $S_1=1200\text{kVA}$, $S_2=2045\text{kVA}$, $S_3=2572\text{kVA}$

2.14 Một máy biến áp ba pha nối Y/ Δ -11 có $S_{\text{dm}}=60\text{kVA}$, $U_{1\text{dm}}=35\text{kV}$, $U_{2\text{dm}}=400\text{V}$, $f_{\text{dm}}=50\text{Hz}$, $P_0=502\text{W}$, $i_0\%=11\%$, $P_n=1.2\text{kW}$, $U_n\%=4.55\%$, tính:

a. Dòng điện định mức, dòng điện không tải, hệ số công suất không tải.

b. Điện áp ngắn mạch, hệ số công suất ngắn mạch.

c. Các thông số sơ đồ thay thế và vẽ sơ đồ thay thế.

d. Tính hệ số tải khi hiệu suất cực đại. Với tải cảm có hệ số tải $\beta=0.5$, $\cos\varphi_t=0.9$ tính công suất tác dụng phía sơ cấp và hiệu suất của máy.

ĐS: a. $I_{1\text{dm}}=1.0\text{A}$, $I_{2\text{dm}}=8.66\text{A}$, $I_0=0.11\text{A}$, $\cos\varphi_0=0.075$

b. $U_n=1592\text{V}$, $\cos\varphi_n=0.435$

c. $r_m=13829\Omega$, $x_m=183185\Omega$, $z_m=183707\Omega$, $r_n=400\Omega$, $x_n=828\Omega$, $z_n=919.5\Omega$

d. $\beta=0.647$, $P_1=27.802\text{kW}$, $\eta=97\%$

2.15 Tính dòng điện cân bằng khi hai máy biến áp làm việc song song có số liệu như sau:

Các số liệu	Máy 1	Máy 2
$S_{\text{dm}}(\text{kVA})$	320	420
$U_1(\text{kV})$	$6\pm 5\%$	$6\pm 5\%$
$U_2(\text{V})$	230	220
$u_n(\%)$	4	4
$u_{nr}(\%)$	1.8	1.7
Tổ nối dây	Y/ Δ -11	Y/ Δ -11

ĐS: $I_{\text{cb}}=298\text{A}$

2.16 Cho một máy biến áp ba pha ba dây quấn $Y_0/Y_0/\Delta$ -12-11 có các thông số: $10000/6667/10000\text{kVA}$, $121/38.5/11\text{kV}$, $u_{n12}\%=15\%$, $u_{n13}\%=10.5\%$, $u_{n23}\%=6\%$, $u_{nr12}\%=1\%$, $u_{nr13}\%=0.65\%$, $u_{nr23}\%=0.8\%$.

a. Tính r_1 , r'_2 , r'_3 ; x_1 , x'_2 , x'_3 và vẽ sơ đồ thay thế máy biến áp.

b. Phía cao áp nối với nguồn; phía trung áp có tải 3000kVA , $\cos\varphi=0.8$; và phía hạ áp có tải 6000kVA , $\cos\varphi=0.8$; tính $\Delta u_{12}\%$ và $\Delta u_{13}\%$.

ĐS: a. $r_1=3.29\Omega$, $r'_2=11.35\Omega$, $r'_3=6.23\Omega$; $x_1=87.2\Omega$, $x'_2=161.29\Omega$, $x'_3=66.25\Omega$

b. $\Delta u_{12}\%=5.7$, $\Delta u_{13}\%=5.22$

2.17 Cho một máy biến áp ba pha ba dây quấn $S_{\text{dm}}=3200\text{kVA}$, $35/6.0\text{ kV}$, $52.5/307.5\text{A}$, Y/Y-12, $u\%=6.94$, $u_r\%=1.04$, $P_{\text{Fe}}=9.53\text{kW}$, $P_{\text{Cu}}=32.5\text{kW}$ được nối lại thành máy biến áp tự ngẫu $41/35\text{kV}$.

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 cuộn 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.

ĐS: a. SGK

b. $S_{tt}=21867\text{kVA}$, $S_{Ax(TN)}=S_{Az(TN)}=3200\text{kVA}$

c. $\eta=99.76\%$

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

2.18 Một máy biến áp ba pha $Y_0/\Delta-11$, 10kVA , $2400/240\text{V}$, $P_0=168\text{W}$, $P_n=340\text{W}$ cấp điện cho tải có hệ số công suất $\cos\varphi_{\text{tải}}=0.8$. Vẽ đặc tính hiệu suất của máy từ lúc không tải cho đến lúc quá tải 130% và tính hiệu suất cực đại.

ĐS: $\eta_{\text{max}}=94.36\%$

CHƯƠNG 3: MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

§1. KHÁI NIỆM CHUNG

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

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

Máy điện không đồng bộ cũng có tính thuận nghịch là có thể làm việc trong chế độ máy phát điện hay trong chế độ động cơ điện.

Máy phát điện không đồng bộ có đặc tính làm việc không tốt so với máy phát điện đồng bộ nên ít được sử dụng, chỉ dùng trong trường hợp cần nguồn điện phụ hay tạm thời thì mới có ý nghĩa quan trọng.

Động cơ điện không đồng bộ so với các loại động cơ khác có cấu tạo và vận hành đơn giản hơn, giá thành rẻ, làm việc tin cậy nên được sử dụng nhiều trong nhiều lĩnh vực với công suất từ vài chục W đến vài MW. Trong công nghiệp thường dùng làm nguồn động lực cho máy cán thép loại vừa và nhỏ, cho các máy công cụ ở các nhà máy, xí nghiệp... Trong hầm mỏ dùng làm máy tời hay quạt gió. Trong nông nghiệp dùng làm máy bơm hay máy gia công nông sản phẩm. Trong đời sống hằng ngày dùng làm quạt gió, máy quay đĩa, động cơ trong tủ lạnh...

Phân loại: Gồm các kiểu phân loại sau đây.

Phân loại theo kết cấu vỏ: Kiểu hở, kiểu bảo vệ, kiểu kín, kiểu phòng cháy nổ.

Phân loại theo kết cấu rôto: Rôto lồng sóc và rôto dây quấn.

Phân loại theo số pha: Một pha, hai ba và ba pha.

Các thông số định mức: Máy điện không đồng bộ chủ yếu là động cơ điện nên trên nhãn máy thường ghi các thông số định mức của động cơ.

- Công suất cơ định mức đưa ra đầu trục $P_{dm}(kW)$
- Điện áp dây định $U_{1dm}(V)$
- Dòng điện dây định mức $I_{1dm}(A)$
- Tốc độ định mức $n_{dm}(vg/ph)$
- Tần số định mức $f_{dm}(Hz)$
- Hệ số công suất định mức $\cos\varphi_{dm}$
- Hiệu suất định mức η_{dm}
- Cách đấu dây (Y hay Δ)...



Từ các thông số định mức trên ta có thể xác định được các thông số khác như:

Công suất định mức mà động cơ điện tiêu thụ là:

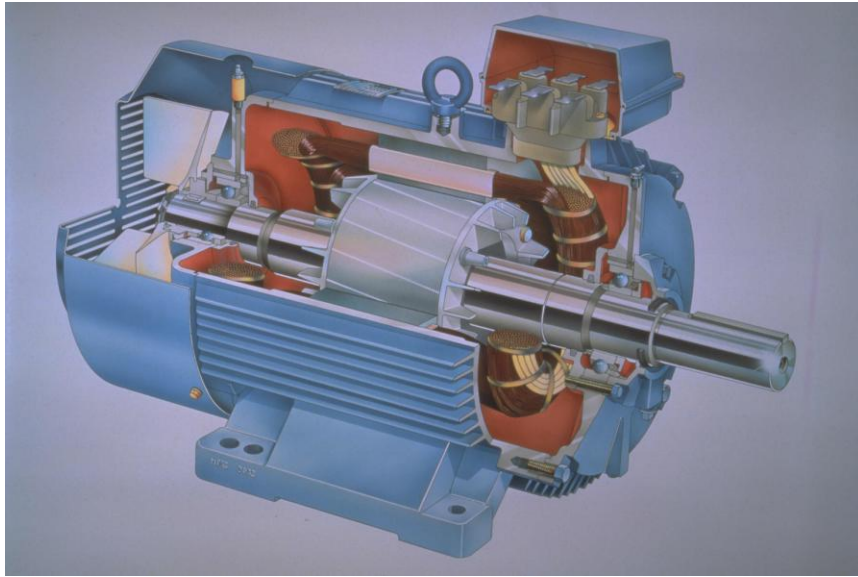
$$P_{1dm} = \frac{P_{dm}}{\eta_{dm}} = \sqrt{3}U_{dm}I_{dm}\cos\varphi_{dm}$$

Mô men cơ định mức đưa ra đầu trục là:

$$M_{dm} = \frac{P_{dm}}{\omega} (N.m) = \frac{P_{dm}}{\omega} \frac{1}{9,81} (kg.m) \quad \text{với tốc độ góc} \quad \omega = \frac{2\pi n_{dm}}{60} (rad/s)$$

§2. CẤU TẠO CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Cấu tạo của máy điện không đồng bộ gồm 2 bộ phận chính là **stato (phần tĩnh)** và **rôto (phần quay)**, và khe hở không khí.



1. Stato

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

a. Lõi thép

Lõi thép là phần dẫn từ, dạng hình trụ gồm nhiều lá thép kỹ thuật điện dày 0,5mm, có sơn cách điện được dập rãnh bên trong ghép lại với nhau tạo thành các rãnh theo hướng trục và được ép vào trong vỏ máy. Nếu lõi thép ngắn thì làm thành một khối, nếu lõi thép quá dài thì ghép nhiều khối lại đặt cách nhau 1cm để thông gió.

b. Dây quấn

Dây quấn làm bằng dây đồng có bọc cách điện, được đặt bên trong các rãnh lõi thép và cách điện với lõi thép. Khi có dòng điện xoay chiều 3 pha đi vào trong dây quấn sẽ tạo ra từ trường quay.

c. Vỏ máy

Vỏ máy thường làm bằng gang dùng để giữ chặt lõi thép và cố định máy trên bệ. Đối với máy công suất lớn thường dùng thép tấm hàn lại thành vỏ. Tùy theo cách làm nguội máy mà có các dạng vỏ khác nhau. Hai đầu vỏ có nắp máy, ổ đỡ trục. Vỏ và nắp dùng để bảo vệ máy tránh các vật bên ngoài rơi vào.

2. Rôto

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

a. Lõi thép

Lõi thép gồm các lá thép kỹ thuật điện được dập rãnh mặt ngoài ghép lại, tạo thành các rãnh theo hướng dọc trục, ở giữa có lỗ để lắp đặt trục.

b. Dây quấn

Gồm 2 loại là rôto dây quấn và rôto lồng sóc.

Rôto dây quấn:

Giống như dây quấn stato gồm có 3 cuộn dây thường đấu hình sao, 3 đầu còn lại được nối vào 3 vành trượt bằng đồng đặt cố định ở một đầu trục và thông qua chổi than để nối với mạch điện bên ngoài.

Ưu điểm: Có thể đưa điện trở phụ vào mạch điện rôto cải thiện quá trình mở máy và điều chỉnh tốc độ.

Nhược điểm: Giá thành cao và vận hành kém tin cậy.

Rôto lồng sóc:

Trong mỗi rãnh của lõi thép đặt vào thanh dẫn bằng đồng và được nối tắt lại ở hai đầu bằng 2 vòng ngắn mạch bằng đồng tạo thành cái lồng sóc.

Ưu điểm: Giá thành rẻ và làm việc tin cậy → dùng rất phổ biến.

Nhược điểm: Ít dùng trong truyền động điện.

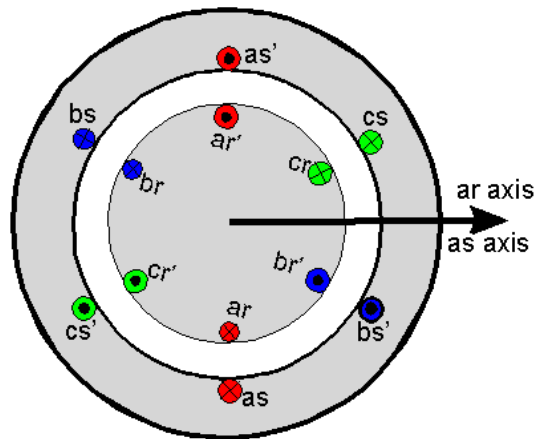
§3. TỪ TRƯỜNG QUAY CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

1. Sự tạo thành từ trường quay

Giả thiết trong 3 cuộn dây có dòng điện xoay chiều 3 pha đối xứng chạy qua.

$$\begin{aligned} i_A &= I_{\max} \sin \omega t \\ i_B &= I_{\max} \sin(\omega t - 120^\circ) \\ i_C &= I_{\max} \sin(\omega t - 240^\circ) \end{aligned} \quad (3.1)$$

Để xem xét sự thay đổi của từ trường, ta qui ước chiều dòng điện như sau: Dòng điện pha nào dương có chiều từ đầu đến cuối pha, đầu kí hiệu bằng $\oplus$ còn cuối kí hiệu bằng $\odot$, dòng điện pha nào âm thì kí hiệu ngược lại là đầu kí hiệu bằng $\odot$ và cuối kí hiệu bằng $\oplus$.



Thời điểm pha $\omega t = 90^\circ$: Dòng điện i_A cực đại và dương, dòng điện i_B, i_C âm. Theo qui ước chiều dòng điện thì đầu A ký hiệu là $\oplus$ còn đầu X ký hiệu là $\odot$. Đầu B và C ký hiệu là $\odot$ còn đầu cuối Y và Z ký hiệu là $\oplus$.

Áp dụng qui tắc vặn nút chai ta xác định được chiều đường sức từ trường do các dòng điện sinh ra, từ trường tổng có một cực S và một cực N gọi là từ trường một đôi cực ($p=1$). Trục của từ trường tổng trùng với trục dây quấn pha A có dòng điện cực đại.

Thời điểm pha $\omega t = 90^\circ + 120^\circ$: Dòng điện i_B cực đại và dương, dòng điện i_A, i_C âm. Áp dụng qui tắc vặn nút chai ta xác định được chiều đường sức từ trường. Từ trường tổng lệch đi 120° so với thời điểm trước và trùng với trục dây quấn pha B có dòng điện cực đại.

Thời điểm pha $\omega t = 90^\circ + 240^\circ$: Dòng điện i_C cực đại và dương, dòng điện i_A, i_B âm. Áp dụng qui tắc vặn nút chai ta xác định được chiều đường sức từ trường. Từ trường tổng lệch đi 240° so với thời điểm ban đầu và trùng với trục dây quấn pha C có dòng điện cực đại.

Vậy từ trường tổng của dòng điện 3 pha là từ trường quay. Từ trường quay móc vòng với cả hai dây quấn stato và rôto là từ trường chính của máy điện, tham gia vào quá trình biến đổi năng lượng.

Ví dụ trên mô tả từ trường quay một đôi cực. Nếu thay đổi cách nối dây ta sẽ có từ trường 2, 3, hay 4 ... đôi cực.

2. Đặc điểm của từ trường quay

* Tốc độ từ trường quay

Tốc độ từ trường quay (tốc độ đồng bộ) phụ thuộc vào tần số dòng điện stato f và số đôi cực p . Khi dòng điện biến thiên một chu kỳ từ trường quay được một vòng $\rightarrow$ trong một giây dòng điện biến thiên f chu kỳ thì từ trường quay được f vòng. Vậy với từ trường 1 đôi cực, tốc độ của từ trường quay là $n_1 = f$ vòng/giây. Khi từ trường 2 đôi cực, tốc độ của từ trường quay là $n_1 = \frac{f}{2}$ (vòng/giây). Khi từ trường p đôi cực, tốc độ

$$\text{của từ trường quay là } n_1 = \frac{60f}{p} \text{ (vòng/phút)}. \quad (3.2)$$

* Chiều quay của từ trường

Chiều quay của từ trường phụ thuộc vào thứ tự các pha của dòng điện $\rightarrow$ muốn đổi chiều quay từ trường ta thay đổi thứ tự hai pha với nhau.

* Biên độ của từ trường

Vì 3 cuộn dây đặt lệch 120° trong không gian, nên từ trường trong 3 cuộn dây sẽ lệch 120° về thời gian. Từ thông xuyên qua cuộn dây AX do 3 cuộn dây là:

$$\begin{aligned} \Phi &= \Phi_A + \Phi_B \cos(-120^\circ) + \Phi_C \cos(-240^\circ) \\ &= \Phi_A - \frac{1}{2}(\Phi_B + \Phi_C) \end{aligned} \quad (3.3)$$

với dòng điện 3 pha đối xứng thì: $\Phi_A + \Phi_B + \Phi_C = 0 \rightarrow \Phi_B + \Phi_C = -\Phi_A$ thế vào (3.3) ta được:

$$\Phi = \Phi_A + \frac{\Phi_A}{2} = \frac{3}{2}\Phi_A \quad (3.4)$$

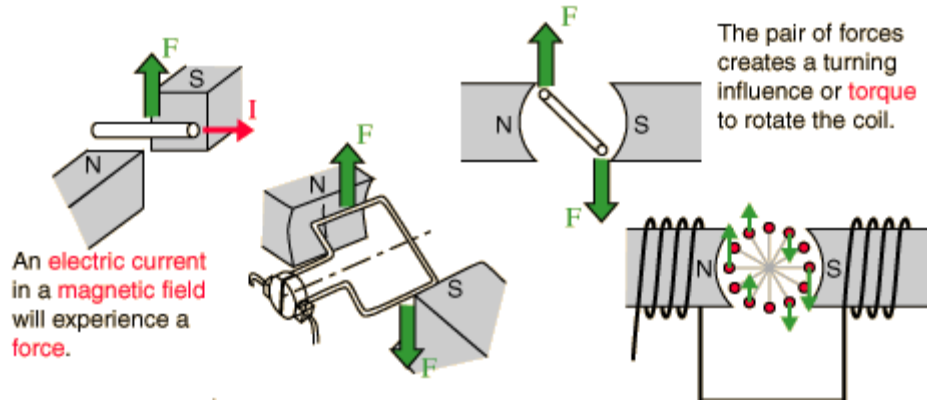
với $i_A = I_m \sin \omega t \rightarrow$ từ thông của dòng điện pha A là: $\Phi_A = \Phi_m \sin \omega t$ và từ thông tổng là: $\Phi = \frac{3}{2}\Phi_m \sin \omega t$ (3.5)

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

§4. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Máy điện không đồng bộ có tính thuận nghịch là có thể làm việc ở chế độ động cơ điện hay máy phát điện.

1. Động cơ điện



Khi ta cho dòng điện 3 pha tần số f vào 3 dây quấn stato $\rightarrow$ tạo ra từ trường quay p đôi cực quay với tốc độ $n_1 = 60f/p$. từ trường quay cắt các thanh dẫn của dây quấn rôto cảm ứng các sức điện động. Vì dây quấn rôto nối ngắn mạch nên sức điện động cảm ứng sẽ sinh ra dòng điện trong các thanh dẫn rôto. Lực tác động do từ trường quay lên các thanh dẫn rôto mang dòng điện kéo rôto quay cùng chiều quay từ trường với tốc độ n .

Chiều của sức điện động xác định theo qui tắc bàn tay phải, còn chiều của lực điện từ xác định theo qui tắc bàn tay trái.

Độ chênh lệch giữa tốc độ từ trường quay và tốc độ rôto gọi là tốc độ trượt:

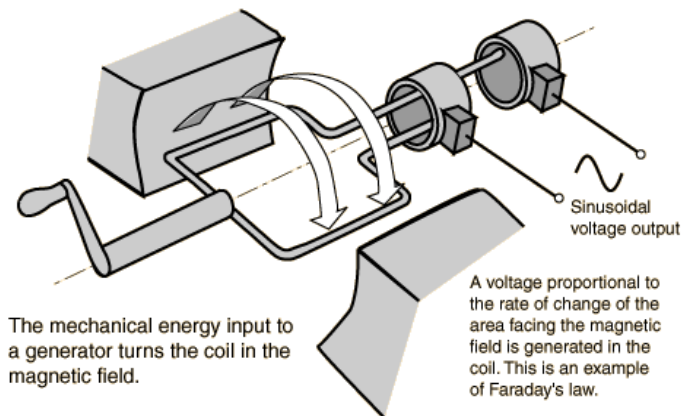
$$n_2 = n_1 - n \quad (4.1)$$

Hệ số trượt của tốc độ là:
$$s = \frac{n_2}{n_1} = \frac{n_1 - n}{n_1} \quad (4.2)$$

Khi rôto đứng yên $n = 0 \rightarrow s = 1$, khi rôto quay định mức $s = 0,22 \div 0,06 \rightarrow$ tốc độ động cơ là:

$$n = n_1(1 - s) = \frac{60f}{p}(1 - s) \quad (4.3)$$

2. Máy phát điện



Stato vẫn được nối với lưới điện, còn trục rôto không nối với tải mà nối với động cơ sơ cấp. Động cơ sơ cấp kéo rôto quay cùng chiều với n_1 và $n > n_1$. Lúc này chiều dòng điện ngược chiều với chế độ động cơ và lực điện từ đổi chiều $\rightarrow$ sinh ra mômen hãm cân bằng với mômen quay của động cơ sơ cấp $\rightarrow$ máy phát điện.

Hệ số trượt là:
$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} < 0 \quad (4.4)$$

Máy phát điện nhận công suất phản kháng Q từ lưới điện $\rightarrow$ tạo ra từ trường quay. Nhờ từ trường quay cơ năng đưa vào rôto máy phát được biến thành điện năng ở stato. Máy phát nhận $Q \rightarrow \cos\varphi$ của lưới thấp và khi làm việc riêng lẻ thì phải dùng tụ điện nối ở đầu cực để kích thích cho máy $\rightarrow$ ít được sử dụng.

§5. MÔ HÌNH TOÁN CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

1. Phương trình sức điện động dây quấn stato

Nối dây quấn stato với nguồn điện 3 pha thì trong dây quấn có dòng điện $\dot{I}_1$. Phương trình cân bằng sức điện động của dây quấn stato giống như dây quấn sơ cấp của máy biến áp là:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 Z_1 - \dot{E}_1 \quad (5.1)$$

trong đó:

$Z_1 = R_1 + jX_1$ là tổng trở dây quấn stato

R_1 là điện trở dây quấn stato

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

$\dot{E}_1$ là sức điện động pha stato do từ trường quay sinh ra

$$E_1 = 4,44 f w_1 k_{dq1} \Phi_m \quad (5.2)$$

w_1 là số vòng dây của một pha stato

k_{dq1} là hệ số dây quấn của một pha stato. Thường $k_{dq1} < 1$ nghĩa là sự giảm sức điện động do dây quấn rải trên các rãnh và bước ngắn so với dây quấn tập trung của máy biến áp.

Φ_m là biên độ của từ trường một pha

2. Phương trình sức điện động dây quấn rôto

Từ trường chính quay với tốc độ đồng bộ n_1 , nếu rôto quay với tốc độ n thì tốc độ tương đối giữa từ trường chính so với dây quấn rôto là $n_2 = n_1 - n \rightarrow$ tần số của sức điện động và dòng điện trong dây quấn rôto là:

$$f_2 = \frac{pn_2}{60} = \frac{spn_1}{60} = sf \quad (5.3)$$

nghĩa là tần số dòng điện rôto lúc quay bằng hệ số trượt nhân với tần số dòng điện stato.

Sức điện động pha dây quấn rôto lúc quay là:

$$E_{2s} = 4,44 f_2 w_2 k_{dq2} \Phi_m = 4,44 s f w_2 k_{dq2} \Phi_m \quad (5.4)$$

với w_2 và k_{dq2} lần lượt là số vòng dây và hệ số dây quấn rôto. $k_{dq2} < 1$ nghĩa là sự giảm sức điện động do dây quấn rải trên các rãnh và bước ngắn.

Khi rôto đứng yên $s=1 \rightarrow f_2 = f$ thì Sức điện động pha dây quấn rôto lúc đứng yên là: $E_2 = 4,44 f w_2 k_{dq2} \Phi_m$ (5.5)

So sánh (5.4) và (5.5) $\rightarrow E_{2s} = sE_2$ (5.6)

nghĩa là sức điện động pha rôto lúc quay E_{2s} bằng sức điện động pha rôto lúc đứng yên nhân với hệ số trượt s .

Điện kháng tản của dây quấn rôto lúc quay là: $X_{2s} = 2\pi f_2 L_2 = s 2\pi f L_2 = sX_2$ (5.6)

nghĩa là điện kháng tản rôto lúc quay bằng điện kháng tản rôto lúc không quay nhân với hệ số trượt s .

Từ (5.2) và (5.5) suy ra tỉ số sức điện động pha stato và rôto là:

$$k_c = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1 k_{dq1}}{w_2 k_{dq2}} : \text{hệ số qui đổi sđđ rôto (5.7)}$$

Khi làm việc dây quấn rôto nối ngắn mạch, nếu chọn chiều sức điện động và dòng điện như hình vẽ thì phương trình sức điện động dây quấn rôto là:

$$\begin{aligned} -\dot{E}_{2s} &= \dot{I}_2(R_2 + jX_{2s}) \\ \text{hay } 0 &= s\dot{E}_2 + \dot{I}_2(R_2 + jsX_2) \end{aligned} \quad (5.8)$$

$$\text{Dòng điện rôto có tần số } f_2 = sf \text{ và có trị hiệu dụng là: } I_2 = \frac{sE_2}{\sqrt{R_2^2 + (sX_2)^2}} \quad (5.8)$$

3. Phương trình cân bằng sức từ động

Khi làm việc từ trường quay trong động cơ do dòng điện cả hai dây quấn sinh ra. Dòng điện trong dây quấn stato sinh ra từ trường quay với tốc độ đồng bộ n_1 so với stato. Dòng điện trong dây quấn rôto sinh ra từ trường quay với tốc độ n_2 so với rôto.

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

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

→ từ trường quay stato và từ trường quay rôto không chuyển động tương đối với nhau. vậy từ trường tổng của máy sẽ quay với tốc độ đồng bộ n_1 .

Vì điện áp đưa vào động cơ U_1 không đổi → sức điện động E_1 không đổi → từ thông Φ_m gần như không đổi trong chế không tải và có tải → phương trình cân bằng sức từ động của động cơ là:

$$m_1 w_1 k_{dq1} \dot{I}_1 - m_2 w_2 k_{dq2} \dot{I}_2 = m_1 w_1 k_{dq1} \dot{I}_0 \quad (5.9)$$

với: m_1, m_2 là số pha dây quấn stato và rôto

$\dot{I}_0$ là dòng điện stato lúc không tải

$\dot{I}_1, \dot{I}_2$ là dòng điện stato và rôto lúc có tải

Chia hai vế (5.9) cho $m_1 w_1 k_{dq1}$ ta được:

$$\dot{I}_1 - \frac{\dot{I}_2}{\frac{m_1 w_1 k_{dq1}}{m_2 w_2 k_{dq2}}} = \dot{I}_0$$

$$\text{hay } \dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}'_2 \quad (5.10)$$

với $\dot{I}'_2 = \frac{\dot{I}_2}{k_i}$: dòng điện rôto qui đổi về stato

$$k_i = \frac{m_1 w_1 k_{dq1}}{m_2 w_2 k_{dq2}} : \text{hệ số qui đổi dòng điện rôto về stato}$$

§6. SƠ ĐỒ THAY THẾ ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Để nghiên cứu và tính toán, dựa vào các phương trình cân bằng sức điện động và sức từ động ta thành lập sơ đồ mạch điện gọi là sơ đồ thay thế động cơ điện.

Ta có hệ phương trình của động cơ điện lúc quay là:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1(R_1 + jX_1) - \dot{E}_1 \quad (6.1)$$

$$0 = s\dot{E}_2 + \dot{I}_2(R_2 + jsX_2) \quad (6.2)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}'_2 \quad (6.3)$$

Chia (6.2) cho s ta được: $0 = \dot{E}_2 + \dot{I}_2 \left(\frac{R_2}{s} + jX_2 \right)$ (6.4)

(6.4) là phương trình điện áp rôto quay qui đổi về stato đứng yên. Với E_2 , X_2 là sđđ, điện kháng rôto lúc đứng yên ứng với tần số dòng điện rôto bằng f .

Nhân (6.4) với k_e , nhân và chia với k_i ta được:

$$0 = k_e \dot{E}_2 + \frac{\dot{I}_2}{k_i} \left(\frac{R_2}{s} k_e k_i + jX_2 k_e k_i \right) \quad (6.5)$$

với k_e , k_i lần lượt là hệ số qui đổi sđđ và dòng điện rôto về stato.

đặt $E'_2 = k_e E_2 = E_1$ là sđđ pha rôto qui đổi về stato

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

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

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

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

viết lại (6.5) là: $0 = -\dot{E}'_2 - \dot{I}'_2 \left(\frac{R'_2}{s} + jX'_2 \right)$ (6.6)

giống như mba $-E_1$ và E'_2 là điện áp rơi trên tổng trở từ hóa:

$$-\dot{E}_1 = -\dot{E}'_2 = \dot{I}_0 (R_m + jX_m) \quad (6.7)$$

Vậy hệ phương trình của động cơ điện lúc quay là:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 (R_1 + jX_1) + \dot{I}_0 (R_m + jX_m) \quad (6.8)$$

$$0 = \dot{I}_0 (R_m + jX_m) - \dot{I}'_2 \left(\frac{R'_2}{s} + jX'_2 \right) \quad (6.9)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}'_2 \quad (6.10)$$

Hệ phương trình (6.8), (6.9) và (6.10) là hệ phương trình Kirchhoff 1 và 2 của mạch điện như hình vẽ chính là sơ đồ thay thế động cơ điện không đồng bộ.

Để đơn giản trong việc tính toán ta dùng sơ đồ gần đúng như hình vẽ.

với $R_0 = R_1 + R_m$

$$X_0 = X_1 + X_m$$

biến đổi $\frac{R'_2}{s} = R'_2 + \frac{R'_2(1-s)}{s} \rightarrow$ sơ đồ thay thế như hình vẽ.

trong đó $R_n = R_1 + R'_2$ là điện trở ngắn mạch

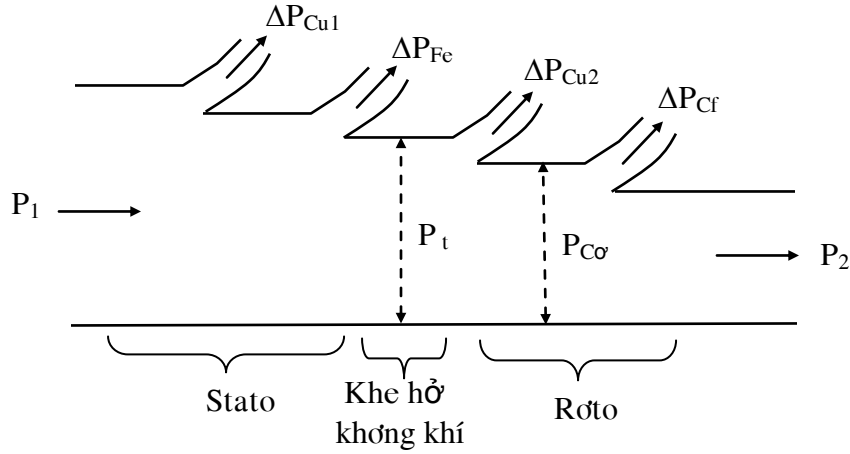
$X_n = X_1 + X'_2$ là điện kháng ngắn mạch

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

§7. GIẢN ĐỒ NĂNG LƯỢNG VÀ HIỆU SUẤT CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Động cơ điện không đồng bộ nhận điện năng từ lưới điện, nhờ từ trường quay, điện năng được biến thành cơ năng.

Giản đồ năng lượng được trình bày trên hình vẽ, với số pha của stato $m_1 = 3$.



Công suất động cơ điện tiêu thụ từ lưới điện là: $P_1 = \sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi$ (7.1)

Công suất điện từ của động cơ là: $P_{dt} = P_1 - \Delta P_{Cu1} - \Delta P_{Fe}$ (7.2)

trong đó: $P_{dt} = 3 \cdot I_2'^2 \cdot \frac{R_2'}{s} = 3 \cdot I_2'^2 \cdot \frac{R_2}{s}$

$\Delta P_{Cu1} = 3 \cdot R_1 \cdot I_1^2 =$ tổn hao đồng dây quấn stato

$\Delta P_{Fe} =$ tổn hao lõi thép stato do dòng điện xoáy và từ trễ.

Công suất cơ trên trục là: $P_{C\sigma} = P_{dt} - \Delta P_{Cu2} = m_2 I_2'^2 R_2' \frac{1-s}{s} = 3 I_2'^2 R_2 \frac{1-s}{s}$ (7.3)

với $\Delta P_{Cu2} = 3 \cdot R_2' \cdot I_2'^2 = 3 \cdot R_2 \cdot I_2'^2 =$ tổn hao đồng dây quấn rôto

Công suất cơ hữu ích trên trục động cơ là:

$P_2 = P_{C\sigma} - \Delta P_{C\sigma} - \Delta P_f$ (7.4)

trong đó: $\Delta P_{C\sigma} =$ tổn hao cơ do ma sát ổ trục, quạt gió

$\Delta P_f =$ tổn hao phụ

Hiệu suất của động cơ điện là:

$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{P_2}{P_2 + \sum \Delta P} \cdot 100\%$ (7.5)

với $\sum \Delta P = \Delta P_{Cu1} + \Delta P_{Fe} + \Delta P_{Cu2} + \Delta P_{C\sigma} + \Delta P_f = P_0 + k_t^2 P_n$

Vậy $\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_0 + k_t^2 P_n} \cdot 100\%$ (7.6)

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

$P_0 = \Delta P_{Fe} + \Delta P_{C\sigma} + \Delta P_f =$ tổn hao không tải

$P_n = \Delta P_{Cu1} + \Delta P_{Cu2} =$ tổn hao đồng

Thường thì $\eta_{dm} = 75 \div 95\%$

§8. MÔMEN QUAY CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ 3 PHA

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

$$M = M_{dt} = \frac{P_{dt}}{\omega_1} \quad (8.1)$$

P_{dt} là công suất điện từ được tính là:

$$P_{dt} = 3.I_2'^2 \cdot \frac{R_2'}{s} \quad (8.2)$$

Theo hình vẽ sơ đồ gần đúng ta được:

$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_1 + X_2')^2}} \quad (8.3)$$

Thay P_{dt} , I_2' , vào (8.1) ta được:

$$M = \frac{3.p.U_1^2.R_2' / s}{\omega[(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_1 + X_2')^2]} \quad (8.4)$$

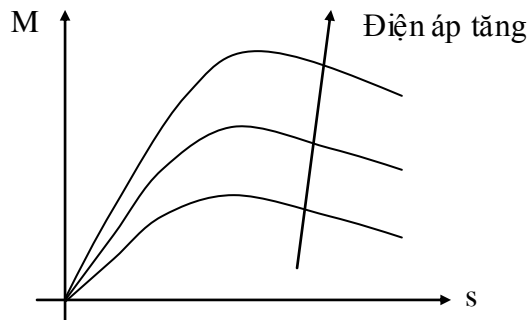
Với $\omega_1 = \frac{\omega}{p}$, là tần số góc của từ trường quay

ω là tần số góc của dòng điện stato

Ta vẽ được quan hệ mômen theo hệ số trượt $M=f(s)$. Nếu thay $s = \frac{n_1 - n}{n}$ ta được quan hệ $n = f(M)$ là đặc tính cơ. Động cơ sẽ làm việc ở điểm mômen quay bằng mômen cân M_C .

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

a) Mômen tỉ lệ với bình phương điện áp



b) Mômen có giá trị cực đại M_{max} ứng với giá trị tới hạn $s_{th} \Leftrightarrow \frac{\partial M}{\partial s} = 0$

$$s_{th} = \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}} \approx \frac{R_2'}{X_1 + X_2'} \quad (8.5)$$

$$M_{max} = \frac{3.p.U_1^2}{2\omega[R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}]} \quad (8.6)$$

Nhận xét:

- R_2' càng lớn thì s_{th} càng lớn
- M_{max} không phụ thuộc vào điện trở của rôto và tỉ lệ nghịch với $X_1 + X_2'$.

- Khi thêm điện trở phụ R_f vào thì đường đặc tính $M=f(s)$ như sau $\rightarrow$ dùng để điều chỉnh tốc độ và mở máy động cơ rôto dây quấn.
- Quan hệ giữa M , $M_{\max}$ và s_{th} như sau:

$$\frac{M}{M_{\max}} = \frac{2}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s}} \quad : \text{ biểu thức Klox} \quad (8.7)$$

Thay $s=1$ vào (8.4) ta được mômen mở máy: $M_{mm} = \frac{3 \cdot p \cdot U_1^2 \cdot R_2'}{\omega [(R_1 + R_2')^2 + (X_1 + X_2')^2]} \quad (8.8)$

Nhận xét:

- Với f và tham số cho trước, $M_{mm} \equiv U_1^2$
- $M \equiv$ nghịch $(X_1 + X_2)$
- Với động cơ lồng sóc thường:

$$\frac{M_{mm}}{M_{dm}} = 1.1 \div 1.7 ; \quad \frac{M_{\max}}{M_{dm}} = 1.6 \div 2.5$$

§9. MỞ MÁY ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

* Các yêu cầu khi mở máy

- Mômen mở máy đủ lớn để thích ứng với đặc tính cơ của tải.
- I_{mm} càng nhỏ càng tốt
- Phương pháp mở máy và thiết bị cần dùng đơn giản, rẻ tiền, chắc chắn.
- Tổn hao công suất trong quá trình mở máy càng thấp càng tốt.

1. Mở máy động cơ lồng sóc

a) Mở máy trực tiếp: là đóng trực tiếp động cơ vào lưới điện.

Ưu điểm: Mở máy nhanh và đơn giản

Khuyết điểm: Dòng điện mở máy lớn, làm sụt điện áp lưới rất nhiều, nếu quán tính máy lớn thời gian mở máy lâu $\rightarrow$ cháy cầu chì bảo vệ.

b) Hạ điện áp mở máy

Khi mở máy giảm điện áp đặt vào động cơ, để giảm dòng điện mở máy. Khuyết điểm là mômen mở máy giảm đi rất nhiều nên dùng cho các trường hợp không yêu cầu mômen mở máy lớn, có các biện pháp sau:

° Dùng điện kháng nối tiếp vào mạch stato

- Lúc mở máy thì D_2 mở, D_1 đóng. Khi động cơ quay ổn định thì đóng D_2 ngắt mạch cuộn kháng.
- Nhờ có cuộn kháng, điện áp đặt vào động cơ giảm đi k lần. Dòng điện giảm đi k lần, và M giảm đi k^2 lần.

° Dùng máy biến áp tự ngẫu

Gọi k là tỉ số biến áp của tự ngẫu

U_1 là điện áp pha lưới

Z_n là tổng trở động cơ lúc mở máy ta có điện áp đặt vào động cơ khi mở máy là:

$$U_{dc} = \frac{U_1}{k} \quad (9.1)$$

Dòng điện chạy vào động cơ là: $I_{dc} = \frac{U_{dc}}{Z_n} = \frac{U_1}{k \cdot Z_n} \quad (9.2)$

Dòng điện I_1 từ lưới cấp cho và động cơ khi có máy biến áp tự ngẫu là:

$$I_1 = \frac{I_{dc}}{k} = \frac{U_1}{k^2 \cdot Z_n} \quad (9.3)$$

Khi mở máy trực tiếp thì: $I_1 = \frac{U_1}{Z_n}$ (9.4)

So sánh (9.3) và (9.4) khi có máy biến áp tự ngẫu, dòng điện của lưới giảm đi k^2 lần nhưng U vào động cơ giảm k lần, M giảm k^2 lần.

° Phương pháp đổi nối Y-Δ

Dùng cho những động cơ bình thường dây quấn stato nối Δ

Khi mở máy nối hình sao: $I_{dY} = \frac{U_1}{\sqrt{3} \cdot Z_n}$ (9.5)

Khi ổn định chuyển sang Δ: $I_{d\Delta} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_1}{Z_n}$ (9.6)

So sánh (9.5) và (9.6) $\rightarrow I_{dY} = \frac{1}{3} I_{d\Delta}$ ta thấy

khi mở máy Y-Δ dòng điện dây của mạng điện giảm đi 3 lần và M giảm 3 lần.

2. Mở máy động cơ rôto dây quấn

Khi mở máy dây quấn rôto nối với biến trở mở máy. Lúc đầu biến trở lớn nhất, sau đó giảm dần về không.

$$I_{Pmm} = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R_2' + R_f')^2 + (X_1 + X_2')^2}} \quad (9.7)$$

- Mômen mở máy cực đại khi $s_{th} = 1 \Leftrightarrow \frac{R_2' + R_f'}{X_1 + X_2'} = 1$ (9.8)

Ưu điểm: Dòng điện mở máy giảm, nhưng M_{mm} tăng.

§10. ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Tốc độ của động cơ điện không đồng bộ là:

$$n = n_1(1-s) = \frac{60 \cdot f}{p}(1-s) \quad (10.1)$$

Vậy có thể điều chỉnh tốc độ bằng cách:

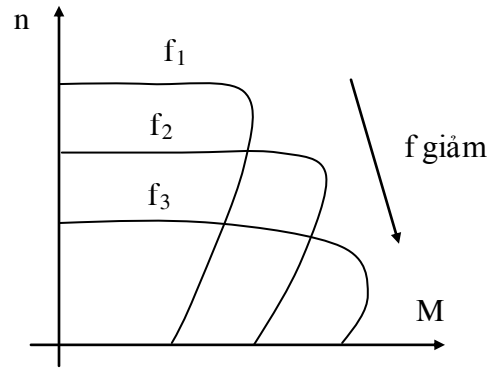
- + Thay đổi tần số dòng điện stato
- + Thay đổi số đôi cực p của từ trường bằng cách đổi nối dây quấn stato
- + Thay đổi điện áp đặt vào stato để thay đổi hệ số trượt s
- + Thay đổi điện trở rôto

1. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi tần số

- Thay đổi f bằng cách dùng bộ biến tần.

Ta có: $E_1 = 4,44 \cdot f \cdot W_1 \cdot k_{dq1} \cdot \Phi_{max} \rightarrow \Phi_{max} \equiv \frac{U_1}{f_1}$, khi f thay đổi mà yêu cầu $M = \text{const} \rightarrow \Phi$

$= \text{const} \rightarrow$ phải thay đổi cả f lẫn u để cho $\frac{U_1}{f_1} = \text{const}$.

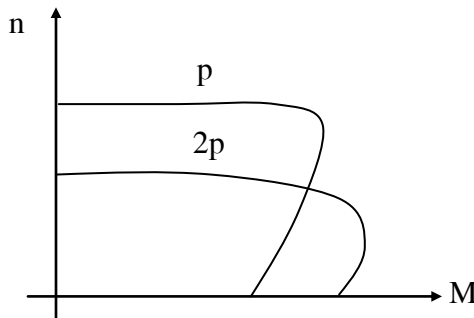


Ưu điểm: Điều chỉnh tốc độ trong phạm vi rộng bằng phẳng.

Khuyết điểm: Cần có nguồn điện đặt biệt, chỉ thích hợp khi điều chỉnh nhóm động cơ cùng thay đổi tốc độ theo qui luật chung vì lúc này có thể dùng một nguồn biến tần chung.

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

- Thay đổi số đôi cực p bằng cách thay đổi cấu tạo dây quấn stato.
- Có bao nhiêu số đôi cực thì có bấy nhiêu cấp tốc độ, tốc độ chỉ có thể thay đổi từng cấp, không bằng phẳng (thường dùng 2 cấp tốc độ).



Ưu điểm: Giữ nguyên độ cứng của đặc tính cơ, động cơ có nhiều cấp tốc độ được dùng rộng rãi trong các máy luyện kim, máy tàu thủy.

Khuyết điểm: Điều chỉnh tốc độ nhảy cấp, không bằng phẳng, chỉ áp dụng cho động cơ rôto lồng sóc.

3. Điều chỉnh bằng cách thay đổi điện áp cung cấp cho stato

- Chỉ có thể giảm U_{dm} , khi U giảm $\rightarrow M=f(s)$ giảm $\rightarrow S$ tăng $\rightarrow n$ giảm.
- **Nhược điểm:** Giảm khả năng quá tải của động cơ, miền điều chỉnh tốc độ hẹp, tăng tổn hao đồng rôto vì $\Delta P_{Cu2} = s \cdot P_{dt} \rightarrow$ động cơ công suất nhỏ.

4. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thêm điện trở phụ vào mạch rôto

Khi điện trở phụ R_f tăng thì hệ số trượt s tăng, nên tốc độ quay của động cơ giảm xuống.

Nếu $M_C = const \rightarrow I_2 = const$ và $P_{dt} = 3 \cdot I_2^2 \cdot \frac{R_2}{s} = const$

$$\rightarrow \frac{R_2}{s} = \frac{R_2 + R_f}{s'} \quad (10.2)$$

Ưu điểm: Phương pháp đơn giản, điều chỉnh liên tục và tương đối rộng $\rightarrow$ động cơ công suất trung bình.

Nhược điểm: Tồn hao tăng → hiệu suất giảm.

§11. CÁC ĐẶC TÍNH CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Ở chế độ định mức động cơ không đồng bộ có các đại lượng định mức: P_{dm} , U_{dm} , I_{dm} , n_{dm} , $\cos \varphi_{dm}$. Nhưng ta chưa biết các đặc tính khi tải khác định mức → cần có những đặc tính làm việc của động cơ KĐB, đó là quan hệ giữa tốc độ n , $\cos \varphi$, n , M quay và dòng điện Stato I_1 với công suất cơ trên trục P_2 khi điện áp U và tần số f ở Stato không đổi.

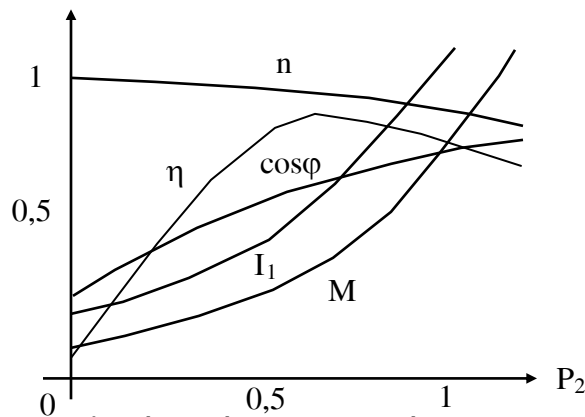
1. Đặc tính tốc độ $n = f(P_2)$

$$\text{Ta có } n = n_1(1-s) \text{ với } s = \frac{\Delta P_{Cu_2}}{P_{dt}} \quad (11.1)$$

Khi không tải $\Delta P_{Cu_2} \ll P_{dt} \rightarrow s \approx 0 \rightarrow n \approx n_1$. Khi tải tăng → ΔP_{Cu_2} tăng → s tăng → n giảm ít. $S_{dm} = 1.5 \div 5\%$.

Khi tải tăng, công suất P_2 trên trục động cơ tăng, mômen cản tăng lên, từ đường đặc tính mômen thì s tăng lên, và tốc độ động cơ giảm.

2. Đặc tính mômen $M = f(P_2)$



Đường $M = f(s)$ thay đổi rất nhiều theo hệ số trượt s , nhưng trong phạm vi $0 \leq s \leq s_{th}$ thì $M = f(s)$ gần giống đường thẳng mà s_{th} tương đối nhỏ nên $M = f(P_2)$ gần giống đường thẳng.

3. Tổn hao và hiệu suất $\eta = f(P_2)$

Hiệu suất của động cơ được tính như sau:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \sum \Delta P} \cdot 100\% \quad (11.2)$$

trong đó: $\sum \Delta P = \Delta P_{Cu_1} + \Delta P_{Fe} + \Delta P_{Cu_2} + \Delta P_{C\sigma} + \Delta P_f$ là tổng tổn hao trong máy bao gồm tổn hao đồng stato và rôto, tổn hao thép trong stato, tổn hao cơ và tổn hao phụ.

Hiệu suất của động cơ vào khoảng $75 \div 95\%$ và đạt giá trị cực đại khi tải $P_2 = 0.5 \div 0.75 P_{2dm}$.

4. Đặc tính hệ số công suất $\cos \varphi = f(P_2)$

Hệ số công suất của động cơ điện không đồng bộ là tỉ số giữa công suất tác dụng P_1 và công suất biểu kiến S .

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{S_1} = \frac{P_1}{\sqrt{P_1^2 + Q_1^2}} \quad (11.3)$$

trong đó: P_1 là công suất tác dụng động cơ tiêu thụ sinh ra P_2

Q_1 là công suất phản kháng động cơ tiêu thụ để tạo ra từ trường quay cho máy.

Khi không tải, P_1 nhỏ, $\cos\varphi = 0.2 \div 0.3$ thấp

Khi tải tăng thì P_1 tăng, $\cos\varphi$ tăng đạt giá trị định mức $\cos\varphi_{dm} = 0.8 \div 0.9$ khi quá tải, từ thông tản tăng, Q_1 tăng $\rightarrow \cos\varphi$ giảm xuống.

Ngoài ra khi công suất P_2 tăng, mômen M và dòng điện I_1 đều tăng như hình vẽ.

§12. ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ 2 PHA

Động cơ điện không đồng bộ 2 pha, rôto lồng sóc, stato có dây quấn 2 pha, lệch nhau về không gian góc 90° điện. Khi dòng điện trong hai dây quấn có biên độ bằng nhau và lệch nhau 90° , sẽ tạo ra từ trường quay tròn với tốc độ $n = \frac{60 \cdot f}{p}$.

trong đó: f là tần số dòng điện stato

p là số đôi cực máy

Nguyên lý làm việc giống như động cơ điện 3 pha.

1. Động cơ tụ điện

Để tạo ra sự lệch về thời gian giữa dòng điện trong hai dây quấn, người ta nối tiếp với một dây quấn một tụ điện dung C và hai dây quấn được nối song song với nhau và nối vào lưới điện 1 pha. Kết quả sẽ tạo ra từ trường quay tròn hoặc gần tròn.

Ứng dụng: quạt điện...

2. Động cơ điều khiển hai pha

Stato có dây quấn hai pha, dây quấn nối với tụ điện C gọi là dây quấn kích thích, dây quấn nối với bộ điều chỉnh pha hoặc biên độ gọi là dây quấn điều khiển.

Điều chỉnh dòng điện trong dây quấn điều khiển (biên độ hoặc pha) ta sẽ có đường đặc tính cơ theo yêu cầu.

Hai cuộn dây stato đặt lệch nhau trong không gian góc θ và dòng điện trong 2 dây quấn lệch pha về thời gian góc β thì momen quay là:

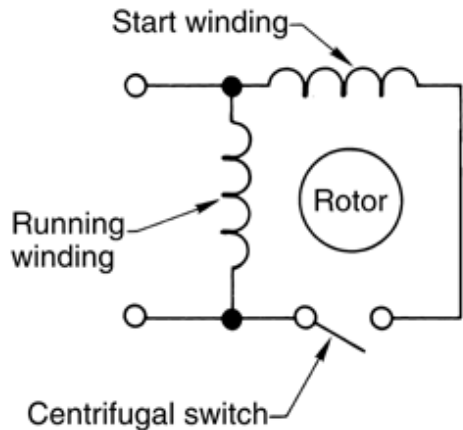
$$M = K \cdot I_A \cdot I_B \cdot \sin\theta \cdot \sin\beta$$

với k là hệ số tỉ lệ

§13. ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ 1 PHA

Động cơ điện 1 pha có một cuộn dây ở stato, từ trường tạo ra là từ trường đập mạch có phương không đổi, có chiều và trị số thay đổi. Vì không là từ trường quay nên động cơ không tự quay được.

Muốn động cơ tự mở máy cần phải thêm một số dây quấn mở máy. Từ trường dây quấn này cùng với từ trường dây quấn chính tạo thành từ trường quay. Muốn vậy cuộn dây phụ cần lệch với dây quấn chính góc 90° điện trong không gian và dòng điện trong hai dây quấn lệch nhau góc 90° về thời gian. Để tạo sự lệch pha bằng cách nối tiếp với dây quấn phụ một điện cảm hay điện dung.



* *Dùng vòng ngắn mạch ở cực từ:*

Người ta chẻ cực từ ra, cho vào đó vòng ngắn mạch. Vòng ngắn mạch đóng vai trò như dây quấn phụ. Tổng từ trường dây quấn chính và phụ sẽ sinh ra từ trường quay để tạo ra mômen mở máy.

Ưu điểm: Cấu tạo gọn, dùng lưới điện một pha nên được sử dụng rộng rãi (quạt điện, máy giặt, máy bơm nước, ...).

Khuyết điểm: η thấp, $\cos \varphi$ thấp, M nhỏ nên làm việc kém ổn định, khả năng quá tải kém.

Khi không có nguồn điện ba pha, động cơ điện 3 pha có thể đấu vào nguồn điện một pha như hình vẽ dưới đây.

Chọn C thích hợp thì $P = 70 \div 80\% P_{dm}$.

BÀI TẬP CHƯƠNG 3

3.1 Cho máy điện không đồng bộ rôto dây quấn có $m=3$, $f=50$ Hz. Khi cung cấp $U=U_{dm}$ và dây quấn rôto để hở thì sức điện động pha bên dây quấn rôto là $E_2 = 110V$. Cho $n_{dm}=980$ vg/ph và $M.n>0$, hãy xác định:

- Chế độ làm việc của máy là động cơ hay máy phát
- Sức điện động E_{2s} trên dây quấn rôto ở độ trượt s_{dm}
- Xác định dòng I_2 bên rôto. Cho biết $R_2=0.1\Omega$, $X_2=0.5\Omega$
ĐS: a. $s=2\%$, $E_{2s}=2.2V$
c. $I_2=21.9A$

3.2 Cho động cơ không đồng bộ có $m=3$, nối Y, $U_{dm}=380V$, $f=50$ Hz, $n_{dm}=1440$ vg/ph, $R_1 = 0.2\Omega$, $R_2 = 0.25\Omega$, $X_1 = 1\Omega$, $X_2 = 0.95\Omega$, $X_m = 40\Omega$, $R_m = 0\Omega$, xác định:

- Tốc độ đồng bộ, số đôi cực p , độ trượt định mức s_{dm} , tần số f_2 bên rôto.
- Dòng điện tiêu thụ I_1 , dòng điện từ hóa I_0 , dòng điện rôto qui đổi I_2 .
ĐS: a. $n_{db}=1500$ vg/ph, $p=2$, $s_{dm}=4\%$, $f_2=2$ Hz
b. $I_1 = 33.50A$, $I_0 = 5.35A$, $I_2 = 32.56A$

3.3 Cho động cơ không đồng bộ có $m=3$, $2p=6$, $U_{dm}=380V$, $f=50$ Hz, $n_{dm}=980$ vg/ph, $P_{dm}=28kW$, $\cos\varphi = 0.88$, tổng tổn hao sắt và tổn hao đồng trên dây quấn stato là $\Delta P_{Fe} + \Delta P_{Cu1} = 2.2kW$, tổn hao cơ $\Delta P_{C\sigma} = 1.1kW$. Bỏ qua tổn hao phụ, xác định:

- Tổng tổn hao đồng bên rôto
- Hiệu suất của máy
- Dòng điện tiêu thụ I_1
ĐS: a. $\Delta P_{Cu2} = 0.582kW$
b. $\eta = 89.45\%$
c. $I_1 = 54.04A$

3.4 Cho động cơ không đồng bộ có $m=3$, $2p=6$, $f=50$ Hz, công suất điện tiêu thụ là $P_1=60kW$, tổng tổn hao thép và đồng bên stato là $\Delta P_{Fe} + \Delta P_{Cu1} = 1kW$, độ trượt $s = 3\%$.
Xác định:

- Tổn hao đồng ΔP_{Cu2} bên rôto
- Công suất cơ khi bỏ qua tổn hao cơ và tổn hao phụ
- Mô men cơ đưa ra đầu trục
ĐS: a. $\Delta P_{Cu2} = 1.77kW$
b. $P_{C\sigma} = P_2 = 57.29kW$
c. $M_{C\sigma} = 564.28N.m$

3.5 Cho động cơ không đồng bộ có $m=3$, nối Y, $U_{dm}=380V$, $f=50$ Hz, $p=2$, $P_{dm}=155kW$, tổn hao đồng bên rôto $\Delta P_{Cu2} = 2210W$, tổn hao cơ $\Delta P_{C\sigma} = 2640W$, tổn hao phụ $\Delta P_{phụ} = 310W$, $R_2 = 0.012\Omega$.

a. Ở chế độ định mức hãy xác định công suất điện từ định mức, độ trượt, tốc độ định mức và mô men cơ định mức.

Chương 3: Máy điện không đồng bộ

b. Bây giờ thêm điện trở phụ vào bên dây quấn rôto với giá trị đã qui đổi về bên stato là $R'_f = 0.1\Omega$. Giả sử momen cản không thay đổi, hãy tính: Độ trượt s , tốc độ quay của rôto và tổn hao đồng bên rôto ΔP_{Cu2} trong trường hợp này.

c. Ở chế độ định mức cho biết thêm hệ số $C_1 = 1$, $R_1 = R'_2$, $X_1 = X'_2 = 0.06\Omega$. Tính M_{max} và s_{max} .

d. Xác định giá trị điện trở phụ cần thêm vào bên dây quấn rôto để cho mô men mở máy $M_{mm} = M_{max}$.

ĐS: a. $P_{dt} = 160.16\text{kW}$, $s = 1.38\%$, $n_{dm} = 1479.3\text{vg/ph}$, $M_{dm} = 1001.07\text{N.m}$

b. $s = 12.87\%$, $n = 1306.94\text{vg/ph}$, $\Delta P_{Cu2} = 19.95\text{kW}$

c. $M_{max} = 3466.6\text{N.m}$ và $s_{max} = 9.9\%$

d. $R'_f = 0.108\Omega$

3.6 Cho động cơ không đồng bộ có $m = 3$, $P_{dm} = 20\text{kW}$, $U_{dm} = 380\text{V}$, nối Y, $f = 50\text{Hz}$, $n_{dm} = 970\text{vg/ph}$, $\cos\varphi = 0.84$, $\eta = 88\%$. Cho biết các tỉ số $I_{mm}/I_{dm} = 4.5$, $M_{mm}/M_{dm} = 1.2$, $M_{max}/M_{dm} = 1.8$, xác định:

a. Dòng điện định mức I_{dm} , dòng điện mở máy I_{mm} và tốc độ trượt định mức s_{dm} .

c. Mômen định mức, mômen mở máy và mômen cực đại.

d. Tổng tổn hao trong máy.

ĐS: a. $I_{dm} = 41.10\text{A}$, $I_{mm} = 184.99\text{A}$, $s_{dm} = 3\%$

b. $M_{dm} = 196.99\text{N.m}$, $M_{mm} = 236.39\text{N.m}$, $M_{max} = 354.58\text{N.m}$

c. $\Sigma\Delta P = 2.73\text{kW}$

3.7 Cho động cơ không đồng bộ có $m = 3$, $p = 2$, $f = 50\text{Hz}$, điện trở dây quấn rôto $R_2 = 0.02\Omega$, $n_{dm} = 1485\text{vg/ph}$.

a. Xác định điện trở phụ R_f cần thêm vào dây quấn rôto để cho $n = 1050\text{vg/ph}$.

b. Không thêm R_f , xác định điện áp cung cấp cho động cơ cần phải giảm đi bao nhiêu phần trăm của điện áp định mức để cho $n = 1050\text{vg/ph}$. Cho biết mômen cản không đổi.

ĐS: a. $R_f = 0.58\Omega$

b. $\Delta U = 18.26\%$

3.8 Cho động cơ không đồng bộ có $m = 3$, công suất tiêu thụ $P_1 = 93.25\text{kW}$, $U = 440\text{V}$, $f = 60\text{Hz}$, nối Y, $2p = 8$, $R_1 = 0.068\Omega$, $R'_2 = 0.052\Omega$, $X_1 = X'_2 = 0.224\Omega$, $X_m = 7.68\Omega$, $R_m = 0\Omega$. Tổng của tổn hao phụ, tổn hao do ma sát và tổn hao do quạt gió là $\Sigma\Delta P = 2400\text{W}$, độ trượt $s = 3\%$, xác định:

a. Dòng điện tiêu thụ và hệ số công suất của máy

b. Công suất và mômen cơ đưa ra đầu trục

c. Hiệu suất của máy

d. Độ trượt cực đại s_{max} và tốc độ tương ứng

ĐS: a. $I_1 = 148.28\text{A}$, $\cos\varphi_1 = 0.825$

b. $P_{C\sigma} = 88.38\text{kW}$, $M_{C\sigma} = 967.28\text{N.m}$

c. $\eta = 94.78\%$

d. $s_{max} = 11.6\%$, $n = 795.53\text{vg/ph}$

Chương 3: Máy điện không đồng bộ

3.9 Cho động cơ không đồng bộ ba pha $P_{dm}=25kW$, $U_{dm}=440V$, nối Y, mômen mở máy $M_{mm}=112N.m$, mômen định mức $M_{dm}=83N.m$, dòng điện mở máy ứng với điện áp định mức là $I_{mm}=128A$, xác định:

- Mômen mở máy khi $U=300V$
- Điện áp U cần cung cấp để mômen mở máy lúc này bằng mômen định mức.
- Dòng điện mở máy khi cung cấp $U=300V$
- Điện áp U cần cung cấp để dòng điện mở máy lúc này nhỏ hơn $32A$

ĐS: a. $M_{mm}=52.06N.m$
b. $U=378.78V$
c. $I_{mm}=87.27A$
d. $U \leq 110V$

3.10 Cho động cơ không đồng bộ ba pha $f=60Hz$, tần số dòng điện rôto $f_2=3Hz$, số cực từ bằng 4, công suất điện từ $P_{dt} = 120kW$, tổn hao đồng ở stato $\Delta P_{Cu1} = 3kW$, tổn hao cơ và phụ là $2kW$, tổn hao sắt từ là $\Delta P_{Fe} = 1.7kW$.

- Tính hệ số trượt và tốc độ động cơ
- Tính công suất động cơ điện tiêu thụ
- Tính hiệu suất động cơ

ĐS: a. $s=0.05$, $n=1710vg/ph$
b. $P_1 = 124.7kW$
c. $\eta = 89.81\%$

3.11 Cho động cơ không đồng bộ ba pha $P_{dm}=25kW$, $f=50Hz$, Y/ Δ -380/220V, $I_{mm}/I_{dm}=6$, $M_{mm}/M_{dm}=2.7$, $\cos\phi_{dm}=0.86$, $\eta_{dm}=0.91$, $n_{dm}=1460vg/ph$. Động cơ làm việc với lưới điện $U_{dm}=380V$.

- Tính I_{dm} , M_{dm} , I_{mm} , M_{mm}
- Để mở máy với tải có mômen cản ban đầu $M_C=0.45M_{dm}$, người ta dùng máy biến áp tự ngẫu để $I_{mmba}=100A$. Xác định hệ số biến áp k và động cơ có thể mở máy được không.
- Cũng với tải ở trên, dùng điện kháng mở máy với $I_{mmdk}=200A$. Xác định điện áp đặt lên động cơ lúc mở máy và động cơ có thể mở máy được không.

ĐS: a. $I_{dm}=87.36A$, $M_{dm}=294.47N.m$, $I_{mm}=87.36A$, $M_{mm}=795.08N.m$
b. $k=2.289$, $M_{mmba}=151.65N.m = 0.515M_{dm}$
 $M_{mmba} > M_C$, động cơ mở máy được
c. $U_{mm}=0.381U_{dm}=145V$, $M_{mmdk}=115.75N.m = 0.392M_{dm}$
 $M_{mmdk} < M_C$ động cơ không mở máy được

3.12 Cho động cơ không đồng bộ ba pha đấu hình Y nối vào lưới điện $U_{dm}=380V$, $f=50Hz$, $R_n = 0.122\Omega$, $X_n = 0.4\Omega$.

- Tính dòng điện mở máy.
- Dùng điện kháng mở máy $I_{mmdk}=300A$. Tính điện cảm L của cuộn điện kháng mở máy.

ĐS: a. $I_{mm}=524.64A$
b. $L=0.99mH$

3.13 Cho động cơ không đồng bộ ba pha rôto dây quấn có $E_2 = 157V$, $f=50Hz$, $n_{dm}=728vg/ph$, $R_2 = 0.105\Omega$, $X_2=0.525\Omega$. Tính mômen điện từ của động cơ.

ĐS: $M_{dt} = 257.34N.m$

3.14 Cho động cơ không đồng bộ ba pha rôto dây quấn đang làm việc định mức: $P_{dm}=250kW$, $U_{dm}=380V$, nối Δ , $f_{dm}=50Hz$, $n_{dm}=970vg/ph$, $\cos\varphi_{dm}=0.89$, $\eta_{dm}=0.935$ và các thông số dây quấn:

$$W_1=40\text{vòng}, k_{dq1}=0.926, R_1=0.0253\Omega, X_1=0.14\Omega$$

$$W_2=30\text{vòng}, k_{dq2}=0.957, R_2=0.01979\Omega, X_2=0.0955\Omega$$

Khi không tải động cơ tiêu thụ công suất $P_0=4.3kW$, dòng điện không tải $i_0=2.7\%$, xác định:

- Dòng điện định mức và công suất định mức tiêu thụ từ lưới điện
- Mômen định mức động cơ
- Dòng điện động cơ tiêu thụ và hệ số công suất ở chế độ không tải
- Trị số điện trở phụ mắc vào mạch rôto qua vành trượt để mômen mở máy đạt trị số cực đại M_{max}

e. Tính M_{max}

ĐS: a. $I_{ldm}=456.46A$, $P_1=267.37kW$

b. $M_{dm}=2462.4N.m$

c. $i_0=12.32A$, $\cos\varphi_0=0.53$

d. $R_1=0.175\Omega$

e. $M_{max}=6436.78N.m$

3.15 Cho động cơ không đồng bộ ba pha, $230V$, $60Hz$, $100HP$ ($1HP=746W$), 6 cực, làm việc ở chế độ định mức có $\eta_{dm}=0.91$, dòng điện tiêu thụ $I_{ldm}=248A$. Cho biết tổn hao sắt là $1697W$, tổn hao đồng stato là $2803A$, tổn hao đồng rôto là $1549W$, xác định:

- Công suất điện tiêu thụ
- Tổng các tổn hao, công suất điện từ truyền qua khe hở không khí
- Tốc độ rôto, hệ số công suất và tổn hao cơ

ĐS: a. $P_1=81.97kW$

b. $\Sigma\Delta P=7.38kW$, $P_{dt}=77.47kW$

c. $n=1176vg/ph$, $\cos\varphi=0.829$, $\Delta P_{C\sigma}=1.321kW$

3.16 Cho động cơ không đồng bộ ba pha có thông số định mức: $P_{dm}=10kW$, $U_{dm}=380V$, $n_{dm}=2920vg/ph$, $I_{dm}=18.6A$, $\cos\varphi_{dm}=0.913$. Khi không tải động cơ tiêu thụ từ lưới dòng $I_{l0}=5.04A$ và công suất $P_0=325W$. Biết điện trở mỗi pha dây quấn stato đầu Y là $R_1=0.404\Omega$ và tổn hao cơ $P_{C\sigma}=130W$, xác định:

- Tổn hao đồng trong dây quấn stato, tổn hao sắt từ và rôto khi định mức
- Tổn hao phụ khi định mức
- Hiệu suất động cơ khi định mức

ĐS: a. $\Delta P_{Cu1}=419.3W$, $\Delta P_{Fe}=294.21W$, $\Delta P_{Cu2}=279W$

b. $\Delta P_f=54.23W$

c. $\eta=89.47\%$

CHƯƠNG 4: MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

§1. KHÁI NIỆM CHUNG

1. Định nghĩa: là máy điện xoay chiều có tốc độ quay rôto n bằng tốc độ quay của từ trường n_1 . Máy điện đồng bộ có hai cuộn dây quấn: dây quấn stato nối với lưới điện có tần số f , dây quấn rôto được kích thích bằng dòng điện một chiều.

2. Phân loại:

- Theo kết cấu có thể chia máy điện đồng bộ thành hai loại: máy điện đồng bộ cực ẩn và máy điện đồng bộ cực lồi.
- Theo chức năng:

a) Máy phát điện đồng bộ:

Cơ năng $\rightarrow$ điện năng là nguồn điện chính cho lưới điện quốc gia phục vụ cho công nghiệp và đời sống thường được kéo bởi các tua bin khí, và tua bin hơi và tua bin nước nên được gọi là:

- + Máy phát điện tua bin khí
- + Máy phát điện tua bin hơi
- + Máy phát điện tua bin nước: n thấp $\rightarrow$ cực lồi $\rightarrow$ thẳng đứng
- + Máy phát điện Diezen $\rightarrow$ cực lồi

b) Động cơ đồng bộ: Có thể phát ra $Q \rightarrow \cos\varphi=1$

Được sử dụng khi truyền động cơ công suất lớn (khoảng 10 MW), thường được chế tạo theo kiểu cực lồi và được sử dụng để kéo tải không đòi hỏi thay đổi tốc độ và trong công nghiệp luyện kim, khai thác mỏ, thiết bị lạnh động cơ đồng bộ dùng để truyền động các máy bơm, nén khí, quạt gió với $n=\text{const}$. Động cơ công suất nhỏ dùng trong các thiết bị như đồng hồ điện, dụng cụ tự ghi, thiết bị lập trình, thiết bị sinh hoạt...

c) Máy bù đồng bộ:

Là máy điện đồng bộ chỉ phát ra công suất phản kháng để bù hệ số công suất $\cos\varphi$ của lưới điện và ổn định điện áp.

Ngoài ra còn có các máy điện đồng bộ đặc biệt như máy biến đổi một phần ứng ($AC \leftrightarrow DC$), máy đồng bộ tần số cao ($f = 400 \div 3000\text{Hz}$), và các máy điện đồng bộ công suất nhỏ dùng trong tự động như:

- + Động cơ đồng bộ nam châm vĩnh cửu
- + Động cơ đồng bộ phản kháng: $\cos\varphi$ thấp
- + Động cơ đồng bộ từ trễ
- + Động cơ bước: quay gián đoạn từng bước dưới tác dụng các xung điện áp.

§2. CẤU TẠO MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Cấu tạo máy điện đồng bộ gồm 2 bộ phận chính là stato và rôto.

1. Stato

Stato của máy điện đồng bộ giống như stato của máy điện không đồng bộ gồm 2 bộ phận chính là lõi thép stato và dây quấn ba pha stato. Dây quấn stato gọi là dây quấn phần ứng.

2. Rôto

Rôto gồm có:

- + Các cực từ
- + Dây quấn kích từ để tạo ra từ trường cho máy
- Đối với máy công suất nhỏ rôto là nam châm vĩnh cửu.
- Có hai loại: *Rôto cực ẩn và rôto cực lồi*.

* *Rôto cực ẩn*: Làm bằng thép hợp kim chất lượng cao, được rèn thành khối hình trụ, sau đó gia công và phay rãnh để đặt dây quấn kích từ. Phần không quay rãnh của rôto hình thành mặt cực từ.

Rôto cực ẩn có ít đôi cực và quay với tốc độ cao và để hạn chế lực ly tâm thì đường kính rôto $D = 1,1 \div 1,15m$, để tăng công suất máy chỉ có thể tăng chiều dài rôto $l \leq 6.5m$.

Dây quấn kích từ đặt trong rãnh rôto được chế tạo từ dây đồng trần tiết diện hình chữ nhật. Hai đầu dây quấn kích từ đi luồn trong trục và nối với hai vành trượt đặt ở đầu trục thông qua hai chổi than để nối với nguồn một chiều.

* *Rôto cực lồi*: Dùng cho máy có tốc độ thấp và có nhiều đôi cực, nên đường kính D lớn ($< 15m$) trong khi chiều dài rôto l lại ngắn.

Để có sức điện động hình sin, từ trường của cực từ rôto phải phân bố hình sin dọc theo khe hở không khí giữa stato và rôto, ở đỉnh các cực từ có từ cảm cực đại và giảm dần về hai mép cực từ.

Đối với rôto cực ẩn, dây quấn kích từ được đặt trong các rãnh. Đối với rôto cực lồi dây quấn kích từ quấn xung quanh cực từ.

Hai đầu dây quấn kích từ đi luồn trong trục và nối với hai vành trượt đặt ở đầu trục, thông qua hai chổi than để nối với nguồn kích từ.

Máy kích từ thường được nối với trục với máy đồng bộ hoặc có chung trục với máy đồng bộ.

§3. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Cho dòng điện kích từ vào dây quấn kích từ sẽ tạo nên từ trường rôto. Khi quay rôto bằng động cơ sơ cấp, từ trường của rôto sẽ cắt dây quấn phần ứng stato và cảm ứng ở stato sức điện động xoay chiều hình sin có trị số hiệu dụng là:

$$E_0 = 4,44fW_1k_{dq1}\Phi_0 \quad (3.1)$$

trong đó: E_0 = sức điện động pha
 W_1 = số vòng dây quấn một pha
 k_{dq} = hệ số dây quấn
 Φ_0 = từ thông cực từ rôto

Nếu rôto có p đôi cực, khi rôto quay một vòng, sức điện động phần ứng sẽ biến thiên p chu kỳ. Do đó tần số của sức điện động sẽ là:

$$f = \frac{p \cdot n}{60} \quad (3.2)$$

Do dây quấn 3 pha stato có trục lệch góc 120° điện trong không gian nên sức điện động các pha lệch nhau góc 120° về thời gian. Khi dây quấn stato nối với tải, trong các dây quấn sẽ có dòng điện ba pha. Dòng điện ba pha sẽ tạo nên từ trường quay, với tốc độ $n_1 = \frac{60f}{p} = n \rightarrow$ gọi là máy điện đồng bộ.

§4. PHẢN ỨNG PHẦN ỨNG CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Khi máy phát điện làm việc, từ thông của cực từ rôto Φ_0 cắt dây quấn stato cảm ứng ra sức điện động E_0 chậm pha so với từ thông góc 90° . Nếu dây quấn stato nối với tải sẽ tạo nên dòng điện I cung cấp cho tải. Dòng điện I trong dây quấn stato tạo nên từ trường quay phản ứng, từ thông phản ứng quay đồng bộ với từ thông của cực từ rôto. Góc lệch pha giữa E_0 và I do tính chất tải quyết định. Tác dụng của từ trường phản ứng lên từ trường cực từ gọi là *phản ứng phản ứng*.

Trường hợp tải thuần trở: E_0 và I cùng pha, $\Psi = 0$. Dòng điện I sinh ra từ thông phản ứng cùng pha với dòng điện. Từ thông phản ứng theo hướng ngang trục, làm méo từ trường cực từ gọi là *phản ứng phản ứng ngang trục*.

Trường hợp tải thuần cảm: $\Psi = 90^\circ$ dòng điện I sinh ra từ thông phản ứng Φ ngược chiều với $\Phi_0 \rightarrow$ có tác dụng làm giảm từ trường tổng $\rightarrow$ *phản ứng phản ứng dọc trục khử từ*.

Tải thuần dung: $\Psi = -90^\circ$ dòng điện sinh ra từ thông phản ứng Φ cùng chiều với $\Phi_0 \rightarrow$ có tác dụng làm tăng từ trường tổng $\rightarrow$ là *phản ứng phản ứng dọc trục trợ từ*.

Tải bất kỳ: ta phân tích I làm hai thành phần: thành phần dọc trục $I_d = I \cdot \sin \Psi$ và thành phần ngang trục $I_q = I \cdot \cos \Psi$, dòng I sinh ra từ trường phản ứng vừa có tính chất ngang trục vừa có tính chất dọc trục khử từ hoặc trợ từ tùy theo tính chất của tải.

§5. MÔ HÌNH TOÁN HỌC CỦA MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

1. Chế độ máy phát điện

a) Phương trình điện áp của máy phát điện đồng bộ cực lõi

Khi máy phát điện làm việc từ thông cực từ Φ_0 sinh ra sức điện động E_0 ở dây quấn stato. Khi máy có tải sẽ có dòng điện I và U trên tải. Từ trường chính phản ứng ngang trục và dọc trục tạo nên các sức điện động:

$$\dot{E}_{uq} = -j\dot{I}_q X_{uq} = -L_{uq} \cdot \frac{di_q}{dt} = -j\omega L_{uq} \cdot \dot{I}_q \quad (5.1)$$

$$\dot{E}_{ud} = -j\dot{I}_d X_{ud} = -L_{ud} \cdot \frac{di_d}{dt} = -j\omega L_{ud} \cdot \dot{I}_d \quad (5.2)$$

X_{uq} , X_{ud} là điện kháng phản ứng phản ứng ngang trục, dọc trục.

Từ thông tản của dây quấn stato gây nên sức điện động tản đặc trưng bởi điện kháng tản X_t :

$$\dot{E}_t = -jIX_t = -j\dot{I}_d X_t - j\dot{I}_q X_t \quad (5.3)$$

Phương trình cân bằng áp là:

$$\begin{aligned} \dot{U} &= \dot{E}_0 - j\dot{I}_d X_{ud} - j\dot{I}_q X_{uq} - j\dot{I}_d X_t - j\dot{I}_q X_t - \dot{I}_r \\ &= \dot{E}_0 - j\dot{I}_d (X_{ud} + X_t) - j\dot{I}_q (X_{uq} + X_t) - \dot{I}_r \\ \dot{U} &= \dot{E}_0 - j\dot{I}_d X_d - j\dot{I}_q X_q - \dot{I}_r \end{aligned} \quad (5.4)$$

$X_d = X_{ud} + X_t$: điện kháng đồng bộ dọc trục

$X_q = X_{uq} + X_t$: điện kháng đồng bộ ngang trục

Bỏ qua điện áp rơi trên dây quấn phản ứng ($r_u \approx 0$) thì ta được:

$$\dot{U} = \dot{E}_0 - j\dot{I}_d X_d - j\dot{I}_q X_q \quad (5.5)$$

b) Phương trình điện áp máy phát đồng bộ cực ẩn

thay $X_d = X_q = X_{db}$ vào (5.5) ta được:

$$\dot{U} = \dot{E}_0 - j(\dot{I}_d + \dot{I}_q) X_{db}$$

$$\dot{U} = \dot{E}_0 - jI X_{db} \quad (5.6)$$

2. Chế độ động cơ điện

Điện năng $\rightarrow$ cơ năng

Vì động cơ đồng bộ thường có cấu tạo cực lồi nên ta có:

$$\dot{U} = \dot{E}_0 + j\dot{I}_d X_d + j\dot{I}_q X_q + \dot{I} r_u \quad (5.7)$$

$$\text{bỏ qua } r_u \approx 0 \rightarrow \dot{U} = \dot{E}_0 + j\dot{I}_d X_d + j\dot{I}_q X_q \quad (5.8)$$

§6. CÔNG SUẤT ĐIỆN TỪ CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ CỰC LỒI

1. Công suất tác dụng

Công suất tác dụng của máy phát cung cấp cho tải là:

$$P = mUI \cos \varphi \quad (6.1)$$

trong đó: U, I là điện áp pha, dòng điện pha
 m là số pha

Từ đồ thị ta có: $\varphi = \Psi - \theta$ do đó:

$$P = mUI \cos(\Psi - \theta) = mUI \cos \Psi \cos \theta + mUI \sin \Psi \sin \theta \quad (6.2)$$

vì $I \cos \Psi = I_q$ và $I \sin \Psi = I_d$
mặt khác theo hình vẽ ta có:

$$I_q = \frac{U \cdot \sin \theta}{X_q} \quad \text{và} \quad I_d = \frac{E - U \cdot \cos \theta}{X_d}$$

Thế I_d và I_q vào phương trình (6.2), bỏ qua tổn hao ta được:

$$\begin{aligned} P_{dt} &= mU \frac{U \cdot \sin \theta}{X_q} \cdot \cos \theta + mU \frac{E - U \cdot \cos \theta}{X_d} \cdot \sin \theta \\ P_{dt} &= mU \frac{E}{X_d} \cdot \sin \theta + m \frac{U^2}{2} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \cdot \sin 2\theta \end{aligned} \quad (6.3)$$

Ta nhận thấy công suất điện từ gồm hai thành phần:

+ Thành phần $\frac{mUE}{X_d} \sin \theta$ do dòng điện kích từ tạo nên tỉ lệ với $\sin \theta$. Đó là thành phần công suất chủ yếu của máy phát.

+ Thành phần $\frac{mU^2}{2} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \cdot \sin 2\theta$ không phụ thuộc vào dòng điện kích từ và chỉ

suất hiện khi $X_d \neq X_q$.

Nếu $X_d = X_q$ ta được phương trình công suất điện từ của máy phát điện đồng bộ cực lồi:

$$P_{dt} = mU \frac{E}{X_d} \cdot \sin \theta \quad (6.4)$$

Đặc tính $P = f(\theta)$ gọi là đặc tính góc công suất. Máy phát làm việc ổn định khi $0 < \theta < 90^\circ$. Khi tải định mức thường thì $\theta = 20^\circ \div 30^\circ$.

2. Công suất phản kháng

Công suất phản kháng của máy phát điện đồng bộ là:

$$\begin{aligned} Q &= mUI \sin \varphi = mUI \sin(\Psi - \theta) \\ Q &= mUI \sin \Psi \cos \theta - mUI \cos \Psi \sin \theta \end{aligned} \quad (6.5)$$

từ đồ thị vector ta được I_d, I_q thay vào (6.5) ta được:

$$Q = mU \frac{E_0 - U \cos \theta}{X_d} \cdot \cos \theta - mU \frac{U \sin \theta}{X_q} \cdot \sin \theta$$

$$Q = m \frac{U \cdot E_0}{X_d} \cdot \cos \theta + \frac{mU^2}{2} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \cos 2\theta - \frac{mU^2}{2} \left(\frac{1}{X_q} + \frac{1}{X_d} \right) \quad (6.6)$$

Hình vẽ cho đặc tính góc công suất phản kháng của MFĐ đồng bộ cực lồi. Khi $-\theta' < \theta < \theta'$, máy phát Q vào lưới điện. Ngược lại ngoài phạm vi trên máy tiêu thụ Q từ lưới điện.

Đối với MFĐ đồng bộ cực ẩn thì $X_d = X_q = X_{db}$:

$$Q = m \frac{U \cdot E_0}{X_{db}} \cdot \cos \theta + \frac{mU^2}{X_{db}} \quad (6.7)$$

3. Điều chỉnh công suất tác dụng và công suất phản kháng

a) Điều chỉnh công suất tác dụng

Máy phát điện biến đổi cơ năng thành điện năng, vì thế muốn điều chỉnh công suất tác dụng P thì phải điều chỉnh công suất cơ của động cơ sơ cấp (tua bin hơi, tua bin khí ...).

b) Điều chỉnh công suất phản kháng

$$(6.6) \text{ viết lại: } Q = \frac{mU(E_0 \cos \theta - U)}{X_{db}} \quad (6.8)$$

Khi U, f và P không đổi thì:

+ Nếu $E_0 \cos \theta < U \rightarrow Q < 0$: máy nhận công suất phản kháng từ lưới điện để tạo ra từ trường, máy thiếu kích từ.

+ Nếu $E_0 \cos \theta > U \rightarrow Q > 0$: máy phát công suất phản kháng cung cấp cho tải, máy quá kích thích.

Vậy muốn thay đổi $Q \rightarrow$ thay đổi $E_0 \rightarrow$ thay đổi dòng điện kích từ. Khi tăng kích từ E_0 tăng, $\cos \theta$ tăng (vì $P \equiv E_0 \sin \theta = \text{const}$) $\rightarrow Q$ tăng. Ngược lại khi kích từ giảm thì Q giảm.

§7. CÁC LOẠI TỔN HAO, HIỆU SUẤT VÀ CÂN BẰNG NĂNG LƯỢNG TRONG MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

1. Các loại tổn hao

a) *Tổn hao đồng* ΔP_{Cu} : là tổn hao trên dây quấn stato phụ thuộc vào mật độ dòng điện, trọng lượng đồng và thường tính ở 75°C .

b) *Tổn hao thép* ΔP_{Fe} : là tổn hao trên mạch từ (gông và răng) do từ trường biến đổi hình sin. Tổn hao này phụ thuộc vào B, f , trọng lượng thép, chất lượng và công nghệ chế tạo.

c) *Tổn hao kích từ* ΔP_t : là công suất tổn hao trên điện trở dây quấn kích thích và các chổi than. Nếu máy kích từ đặt trên trụ của máy đồng bộ thì công suất tổn hao trên phải chia cho hiệu suất của máy kích thích.

d) *Tổn hao phụ* ΔP_f : do dòng điện xoáy và các sóng hài bậc cao.

e) *Tổn hao cơ* $\Delta P_{C\phi}$: do ma sát ở ổ trục và bề mặt rôto và stato do thổi khí làm lạnh.

2. Cân bằng năng lượng

a) Chế độ máy phát điện

$$P_{dt} = P_1 - \Delta P_{c\sigma} - \Delta P_t - \Delta P_f \quad (7.1)$$

$$P_2 = P_{dt} - \Delta P_{cu} - \Delta P_{Fe} \quad (7.2)$$

b) Chế độ động cơ điện

$$P_{dt} = P_1 - \Delta P_{Cu} - \Delta P_{Fe} \quad (7.3)$$

$$P_2 = P_{dt} - \Delta P_t - \Delta P_f - \Delta P_{c\sigma} \quad (7.4)$$

3. Hiệu suất

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \sum \Delta P} \cdot 100\% \quad (7.5)$$

trong đó: P_2 = công suất ra của máy
 $\sum \Delta P = \Delta P_{Cu} + \Delta P_{Fe} + \Delta P_t + \Delta P_f + \Delta P_{c\sigma}$

§8. CÁC ĐẶC TÍNH LÀM VIỆC Ở TẢI ĐỐI XỨNG

1. Đặc tính không tải

$$E_0 = U_0 = f(i_{kt}) \text{ khi } I = 0 \text{ và } f = f_{dm}$$

2. Đặc tính ngoài

$$U = f(I) \text{ khi } i_{kt} = \text{const}, \cos\varphi = \text{const và } f = f_{dm}.$$

Độ thay đổi điện áp đầu cực máy phát khi làm việc định mức so với khi không tải là:

$$\Delta U\% = \frac{U_0 - U_{dm}}{U_{dm}} 100\% = \frac{E_0 - U_{dm}}{U_{dm}} 100\% \quad (8.1)$$

3. Đặc tính điều chỉnh

$$i_{kt} = f(I) \text{ khi } U = \text{const}, \cos\varphi = \text{const và } f = f_{dm}.$$

Đối với tải R, L khi tải tăng thì U giảm, để $U = \text{const} \rightarrow$ tăng i_{kt} .

Đối với tải C, khi tải tăng $\rightarrow$ U tăng, để $U = \text{const} \rightarrow$ giảm i_{kt} .

4. Đặc tính ngắn mạch

$$I_n = f(i_{kt}) \text{ khi } U = 0, f = f_{dm}$$

Nếu bỏ qua $r_u \approx 0 \rightarrow$ mạch điện dây quấn phản ứng là thuần cảm $\psi = 90^\circ \rightarrow$
 $I_q = I \cdot \cos\psi = 0, I_d = I \cdot \sin\psi = I \rightarrow \dot{E}_0 = j\dot{I} \cdot X_d.$

Vì lúc ngắn mạch, phản ứng phần ứng là khử từ, mạch từ của máy không bão hòa $\rightarrow$
 $E_0 \equiv i_t \rightarrow I_n = f(i_t)$ là đường thẳng.

* Tỷ số ngắn mạch:

$$K = \frac{I_{n0}}{I_{dm}} \quad (8.2)$$

trong đó:

$$I_{n0} = \text{dòng điện ngắn mạch ứng với dòng điện kích từ sinh ra } E_0 = U_{dm}$$

$$I_{dm} = \text{dòng điện định mức}$$

$$\text{mà } I_{n0} = \frac{U_{dm}}{X_d} \rightarrow K = \frac{U_{dm}}{X_d I_{dm}} = \frac{X_{ddm}}{X_d} = \frac{1}{X_d / X_{ddm}} = \frac{1}{X_d^*} \quad (8.3)$$

+ Máy phát tua bin nước $K = 0,8 \div 1,8$

+ Máy phát tua bin hơi $K = 0,5 \div 1,0$

Kết luận: Dòng điện ngắn mạch xác lập của máy phát điện đồng bộ không lớn do tác dụng khử từ rất mạnh của phản ứng phần ứng.

§9. MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ LÀM VIỆC SONG SONG

1. Đại cương

Trong mỗi nhà máy điện thường có rất nhiều máy phát điện đồng bộ và nói chung các nhà máy điện đều làm việc trong hệ thống điện lực. Như vậy trong hệ thống điện lực có rất nhiều máy phát điện đồng bộ làm việc song song. Việc nối các máy phát điện làm việc chung trong hệ thống điện lực là cần thiết, vì có ưu điểm giảm bớt vốn đầu tư đặt máy phát điện dự trữ để phòng sửa chữa và sự cố để đảm bảo an toàn cung cấp điện, hoặc sử dụng hợp lý các nguồn năng lượng, nâng cao các chỉ tiêu kinh tế và kỹ thuật khi thiết kế và vận hành hệ thống.

2. Ghép một máy phát điện đồng bộ làm việc song song

Khi ghép một máy phát điện đồng bộ làm việc song song với hệ thống điện hoặc với một máy phát điện đồng bộ khác, để tránh dòng điện xung và mômen điện từ có trị số rất lớn có thể sinh ra sự cố làm hỏng máy và các thiết bị điện khác, gây rối loạn hệ thống điện thì trị số tức thời của điện áp máy phát điện và hệ thống điện lực phải luôn bằng nhau. *Muốn vậy phải đảm bảo các điều kiện sau đây:*

+ Điện áp của máy phát U_F phải bằng điện áp của lưới điện U_L về biên độ và góc pha.

+ Tần số của máy phát f_F phải bằng tần số của lưới điện f_L .

+ Thứ tự pha của máy phát phải giống thứ tự pha của lưới điện.

Nếu không đảm bảo các điều kiện nói trên khi ghép song song máy phát điện có thể xảy ra sự cố nghiêm trọng như: Dòng điện xung khi đóng cầu dao có thể lớn gấp 2 lần dòng điện ngắn mạch bình thường, lực và mômen điện từ sẽ lớn gấp 4 lần, phá hỏng dây quấn, kết cấu thép ... của máy phát điện.

Khi ghép song song, việc điều chỉnh điện áp U_F của máy phát được thực hiện bằng cách thay đổi dòng điện kích từ của máy, tần số f_F của máy được điều chỉnh bằng cách thay đổi momen hoặc tốc độ quay của động cơ sơ cấp kéo máy phát điện. Sự trùng pha được kiểm tra bằng đèn, thứ tự pha được kiểm tra lúc đầu khi xây lắp máy.

Có hai phương pháp hoà đồng bộ:

+ Hoà đồng bộ chính xác

+ Hoà đồng bộ không chính xác (tự đồng bộ)

2.1 Các phương pháp hoà đồng bộ chính xác

a) Hoà đồng bộ kiểu ánh sáng:

* Khi hoà đồng bộ kiểu nối tối, mỗi ngọn đèn 1, 2, 3 của bộ đồng bộ được nối tương ứng hai đầu của cầu dao D2. Trong quá hoà đồng bộ thường phải điều chỉnh đồng thời điện áp U_F và tần số f_F máy phát điện F_2 . Điện áp U_F được điều chỉnh bằng U_L và được

kiểm tra nhờ vôn mét. Tần số và thứ tự pha được kiểm tra bằng bộ đồng bộ với 3 đèn 1, 2, 3.

Khi tần số $f_F \neq f_L$ thì điện áp đặt vào 3 bóng đèn là $U_F - U_L$ sẽ thay đổi giống nhau trong phạm vi $0 \leq \Delta U \leq 2U_F$ và cùng sáng tối với tần số $f_F - f_L$. Tiếp tục điều chỉnh tần số f_F sao cho chu kỳ tối và sáng bằng 3÷5 giây ($f_F \approx f_L$) và chờ cho đèn tắt hẳn ứng với điện áp máy phát F_2 và của lưới trùng pha nhau ta đóng cầu dao D2 và việc ghép song song máy phát điện vào lưới điện được hoàn thành.

* Khi hoà đồng bộ theo kiểu ánh sáng quay thì 2 trong 3 ngọn đèn (ví dụ các đèn 2, 3) phải được nối chéo với các đầu không tương ứng của cầu dao D2. Trong quá trình ghép song song nếu thứ tự pha giống nhau thì khi $f_F \neq f_L$ các đèn 1, 2, 3 sẽ lần lượt sáng tối tạo thành ánh sáng “quay”.

Vì điện áp đặt vào các đèn đó sẽ không bằng nhau và lần lượt thay đổi trong phạm vi $0 \leq \Delta U \leq 2U_F$. Khi $f_F > f_L$ nếu ánh sáng quay theo chiều nhất định thì khi $f_F < f_L$ ánh sáng sẽ quay theo chiều ngược lại. Điều chỉnh cho $f_F = f_L$ và tốc độ ánh sáng quay thật chậm ($f_F \approx f_L$) và đợi cho khi đèn không nối chéo (đèn 1) tắt hẳn và các đèn nối chéo 2, 3 sáng bằng nhau ứng với điện áp máy phát điện và lưới điện trùng pha nhau thì ta đóng cầu dao D3.

b) Hoà đồng bộ bằng bộ đồng bộ kiểu điện từ

Cột đồng bộ gồm 3 dụng cụ đo sau: 1 vôn mét có hai kim, một kim chỉ điện áp U_F , một kim chỉ điện áp U_L của lưới điện, một tần số kế chỉ đồng thời tần số f_F của máy phát và tần số f_L của lưới và một dụng cụ đo làm việc theo nguyên lý từ trường quay có kim quay với tần số $f_F - f_L$. Tốc độ quay của kim thuộc vào trị số $f_F - f_L$ và chiều quay của kim thuận hoặc ngược thuộc vào $f_F > f_L$ hay ngược lại. Khi $U_F = U_L$ và kim quay thật chậm ($f_F \approx f_L$) thì thời điểm đóng cầu dao là lúc kim trùng với đường thẳng đứng và hướng lên trên.

2.2 Phương pháp tự đồng bộ

Quay máy phát điện không được kích thích ($U_F = 0$) với dây quấn kích thích được nối tắt qua điện trở diệt từ đến tốc độ sai khác với tốc độ đồng bộ khoảng 2% rồi không cần kiểm tra tần số, biên độ và góc pha điện áp, cứ việc đóng cầu dao ghép máy phát điện vào lưới điện. Sau đó lập tức cấp kích từ cho máy phát điện và do tác dụng của mômen đồng bộ, máy phát điện bị cuốn vào tốc độ đồng bộ ($f_F = f_L$), quá trình ghép máy phát điện làm việc song song được hoàn thành.

§10. MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ LÀM VIỆC VỚI TẢI

KHÔNG ĐỐI XỨNG

10.1 Khái niệm

Trong quá trình cung cấp điện có thể xảy ra trường hợp tải của các pha không bằng nhau nghĩa là máy phát điện làm việc với tải không đối xứng, kết quả điện áp các pha của máy phát không đối xứng, có các sóng hài bậc cao, làm cho tổn hao tăng lên, rôto nóng và máy rung,...

Trường hợp nặng nhất là có thể xảy ra ngắn mạch không đối xứng trong hệ thống điện hay đầu cực máy phát. Mặc dù dòng điện ngắn mạch tồn tại trong thời gian ngắn vì hệ thống bảo vệ rơ le tác động, nhưng lực điện từ gây ra hoặc nhiệt lượng sinh ra lớn có thể làm hư hỏng máy phát điện.

Để nghiên cứu chế độ làm việc không đối xứng của máy điện đồng bộ, người ta dùng phương pháp phân chia điện áp thành các thành phần đối xứng: *thứ tự thuận, thứ tự ngược và thứ tự không*.

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{I}_b \\ \dot{I}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \\ \dot{I}_0 \end{bmatrix} \quad (10.1)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_a \\ \dot{U}_b \\ \dot{U}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \\ \dot{U}_0 \end{bmatrix} \quad (10.2)$$

trong đó $a = e^{j2\pi/3}$; $a^2 = e^{j4\pi/3}$; $1 + a + a^2 = 0$.

Thông số của máy phát điện ứng với các thành phần đối xứng là Z_1, Z_2, Z_0 .

Để thành lập các phương trình điện áp của máy điện đồng bộ khi tải không đối xứng cần chú ý rằng từ trường của cực từ rôto chỉ sinh ra sđđ thứ tự thuận E_1 , còn sđđ thứ tự ngược và thứ tự không không tồn tại. Vì vậy ta có:

$$\begin{cases} \dot{E}_1 = \dot{U}_1 + \dot{I}_1 Z_1 \\ 0 = \dot{U}_2 + \dot{I}_2 Z_2 \\ 0 = \dot{U}_0 + \dot{I}_0 Z_0 \end{cases} \quad (10.3)$$

từ (10.1), (10.2) và (10.3) ta có thể suy ra:

$$\begin{cases} \dot{U}_a = \dot{E}_0 - \dot{I}_1 Z_1 - \dot{I}_2 Z_2 - \dot{I}_0 Z_0 \\ \dot{U}_b = a^2 (\dot{E}_0 - \dot{I}_1 Z_1) - a \dot{I}_2 Z_2 - \dot{I}_0 Z_0 \\ \dot{U}_c = a (\dot{E}_0 - \dot{I}_1 Z_1) - a^2 \dot{I}_2 Z_2 - \dot{I}_0 Z_0 \end{cases} \quad (10.4)$$

Các phương trình trong (10.4) cho thấy điện áp của máy phát điện ở tải không đối xứng bằng sđđ ở các pha trừ đi điện áp rơi trên các tổng trở thứ tự thuận, thứ tự ngược và thứ tự không. Các phương trình (10.1), (10.2), (10.4) là cơ sở để phân tích chế độ làm việc ở không đối xứng nói chung của máy phát.

Trong chín phương trình không đối xứng (10.1), (10.2), (10.4) nói trên, các thông số E_0, Z_1, Z_2, Z_0 đã biết và chứa 12 ẩn số. Tùy theo trường hợp tải không đối xứng cụ thể, để tìm ra lời giải ta cần xác định thêm ba phương trình bổ sung.

10.2 Ảnh hưởng của tải không đối xứng đối với máy phát đồng bộ

Khi làm việc với tải không đối xứng, trong máy phát chỉ có dòng điện thứ tự thuận và thứ tự ngược, còn dòng điện thứ tự không rất nhỏ hoặc không tồn tại tùy theo chế độ làm việc của điểm trung tính máy phát có nối đất hay không, nối trực tiếp hay qua điện trở. Từ trường do dòng điện thứ tự nghịch sinh ra sẽ làm cho điện áp không đối xứng, tổn hao tăng và rôto nóng hơn, máy rung nhiều. Sau đây ta lần lượt xem xét các hiện tượng đó.

a) Điện áp không đối xứng

Khi làm việc ở tải không đối xứng dòng điện thứ tự ngược sẽ gây nên điện áp rơi $Z_2 I_2$ biểu thị bằng những véc tơ có các góc khác nhau với điện áp thứ tự thuận ở các pha. Nếu vẽ đồ thị véc tơ riêng biệt cho từng pha theo phương trình (10.4) ta sẽ suy ra được điện áp U_a, U_b, U_c ở đầu cực máy phát đồng bộ. Các điện áp này có biên độ không bằng nhau và lệch pha khác 120° . Kết quả ảnh hưởng xấu đến các hộ tiêu thụ điện, đặc biệt đối với các động cơ điện không đồng bộ và đồng bộ.

Nếu rôto máy phát có đặt dây quấn cản hoặc được làm bằng thép nguyên khối thì Z_2 có trị số nhỏ hơn nên điện áp bất đối xứng ít hơn. Vì dòng điện cảm ứng trong dây quấn cản và lõi thép rôto nguyên khối khá lớn sẽ sinh ra từ thông làm giảm bớt từ trường quay ngược khiến cho Z_2 nhỏ hơn và điện áp tốt hơn.

b) Tổn hao tăng và rôto nóng

Khi làm việc ở tải không đối xứng, từ trường quay ngược sinh ra dòng điện có tần số $2f$ ở rôto làm tăng thêm tổn hao rôto và làm cho rôto bị nóng thêm và hiệu suất của máy giảm xuống. Trong dây quấn cản hoặc rôto thép nguyên khối của máy phát tua bin hơi, dòng điện này rất lớn, mặt khác do hiệu ứng bề mặt, điện trở của dây quấn cản cũng tăng, nếu tải không đối xứng nhiều thì dây quấn cản và rôto nguyên khối sẽ nóng dữ dội. Như vậy lõi thép rôto sẽ bị biến dạng và có thể làm hư hỏng cách điện của dây quấn kích từ.

c) 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, cũng như từ trường quay thuận của stato với từ trường các dòng điện tần số $2f$ cảm ứng ở rôto sẽ sinh ra mômen quay có dấu thay đổi và có lực đập mạch với tần số $2f$ tác dụng theo hướng tiếp tuyến ở mặt rôto và tác dụng theo hướng tâm giữa stato và rôto. Kết quả là stato và rôto có khuynh hướng bị biến dạng, máy bị rung mạnh và ồn.

Các hiện tượng nêu trên càng nghiêm trọng nếu mức độ không đối xứng của tải của tải càng nhiều. Để hạn chế các hiện tượng trên, chủ yếu là hạn chế nhiệt độ tăng ở rôto và độ rung máy, thì chỉ cho phép máy phát làm việc lâu dài với tải không đối xứng nếu dòng điện các pha không quá định mức và độ chênh lệch dòng điện các pha không quá 10% dòng điện định mức đối với máy phát tuabin hơi và 20% đối với máy phát tuabin nước.

10.3 Ngắn mạch không đối xứng

Ngắn mạch không đối xứng có rất nhiều dạng như ngắn mạch một pha, ngắn mạch hai pha, ngắn mạch hai pha chạm đất. Sau đây ta xét vài trường hợp cụ thể.

a) Ngắn mạch một pha

Giả sử pha a bị ngắn mạch như trên hình vẽ:

$$\dot{U}_a = 0 \quad (10.5)$$

$$\dot{I}_b = \dot{I}_c = 0 \quad (10.6)$$

Ba phương trình trên cộng với 9 phương trình (10.1), (10.2) và (10.4) ở trước thành 12 phương trình 12 ẩn số. Ở đây ta xác định dòng điện ngắn mạch một pha.

Ta có: $\dot{I}_a = \dot{I}_n^{(1)} \quad (10.7)$

Từ (10.6) và (10.1) suy ra được: $\dot{I}_1 = \dot{I}_2 \quad (10.8)$

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_1 = \dot{I}_2 = \frac{1}{3} \dot{I}_a = \frac{1}{3} \dot{I}_n^{(1)} \quad (10.9)$$

Thay (10.9) vào (10.4) ta được:

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_1 = \dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_0}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad (10.10)$$

Và dòng điện ngắn mạch một pha có trị số:

$$\dot{I}_n^{(1)} = \dot{I}_a = 3\dot{I}_0 = \frac{3\dot{E}_0}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad (10.11)$$

Điện áp các pha b và c được xác định theo (10.4). Nếu bỏ qua điện trở thì đồ thị vectơ dòng điện và điện áp khi ngắn mạch 1 pha như hình vẽ:

Từ kết quả phân tích cho thấy có thể thành lập mạch điện thay thế ứng với ngắn mạch 1 pha như hình 10.3, trong đó máy phát đồng bộ được biểu thị bằng sđđ E_0 với tổng trở thứ tự thuận Z_1 , và chỗ ngắn mạch biểu thị bằng tổng trở Z_2 và Z_0 giữa hai điểm M và N. Mạch điện thay thế này hoàn toàn phù hợp với biểu thức (10.10). Điện áp U_1 đặc trưng cho điện áp ngắn mạch, còn điện áp U_2 và U_0 là điện áp rơi trên các tổng trở Z_2 và Z_0 . Chú ý rằng mạch điện thay thế này cũng có thể áp dụng khi xảy ra ngắn mạch 1 pha trong lưới điện phức tạp. Trong trường hợp đó Z_1 , Z_2 và Z_0 là các tổng trở thứ tự thuận, thứ tự ngược và thứ tự không của cả lưới điện.

b) Ngắn mạch hai pha

Giả sử xảy ra ngắn mạch giữa hai pha b và c như trên hình 10.4, ta có:

$$\dot{U}_b = \dot{U}_c \quad (10.12)$$

$$\dot{I}_a = 0 \quad (10.13)$$

$$\dot{I}_b + \dot{I}_c = 0 \quad (10.14)$$

Để xác định dòng điện ngắn mạch hai pha trước hết ta kết hợp phương trình (10.1) với (10.13), (10.14) và (10.3) ta được:

$$\dot{I}_0 = 0 \quad (10.15)$$

$$\dot{U}_0 = 0 \quad (10.16)$$

$$\dot{I}_1 + \dot{I}_2 = 0 \quad (10.17)$$

Thay (10.12) vào phương trình (10.2) ta có $U_1 = U_2$, đưa kết quả đó vào (10.3) ta được:

$$\dot{E}_0 = (Z_1 + Z_2)\dot{I}_1$$

hay là:
$$\dot{I}_1 = -\dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_0}{Z_1 + Z_2}$$

Và sau cùng:
$$\dot{I}_n^{(2)} = \dot{I}_b = -\dot{I}_c = a^2 \dot{I}_1 + a \dot{I}_2 = (a^2 - a)\dot{I}_1 = -j\sqrt{3}\dot{I}_1 = \frac{-j\sqrt{3}\dot{E}_0}{Z_1 + Z_2} \quad (10.18)$$

Đồ thị véc tơ dòng điện và điện áp khi bỏ qua điện trở ứng với trường hợp ngắn mạch 2 pha trình bày trên hình 10.4. Mạch điện thay thế ứng với trường hợp ngắn mạch hai pha như ở hình 10.5.

Từ kết quả phân tích cho ngắn mạch 1 pha, 2 pha và 3 pha ta thấy $I_n^1 > I_n^2 > I_n^3$ nghĩa là dòng điện ngắn mạch 1 pha có trị số lớn nhất. Sở dĩ như vậy vì trường hợp ngắn mạch 1 pha tác dụng khử từ của phản ứng phần ứng chỉ do một pha tạo nên, do đó dòng điện ngắn mạch 1 pha sẽ lớn. Khi số pha ngắn mạch tăng lên thì tác dụng khử từ của phản ứng cũng tăng và dòng điện ngắn mạch sẽ giảm xuống.

§11. QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ TRONG MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

11.1 Đại cương

Khi có những thay đổi đột ngột về chế độ làm việc của máy điện đồng bộ như tăng tải, giảm tải, ngắn mạch trong hệ thống điện,... thì trong máy điện đồng bộ sẽ xuất hiện các quá trình quá độ khác nhau. Nếu có nhiều máy phát làm việc trong hệ thống, thì quá trình quá độ xảy ra trong một máy có thể ảnh hưởng đến sự làm việc của các máy phát khác trong hệ thống. Đặc biệt là khi xảy ra ngắn mạch trong hệ thống điện, mặc dù trong thời gian ngắn nhưng dòng điện xung và lực điện từ lớn có thể gây ra sự cố nghiêm trọng đến các máy phát điện và các thiết bị điện khác dẫn đến hậu quả ngừng cung cấp điện cho các hộ tiêu thụ.

Hiện tượng xảy ra ở máy điện đồng bộ trong quá trình quá độ lúc mới xảy ra ngắn mạch khác với khi ngắn mạch xác lập, vì lúc đó dòng điện ba pha và các dòng điện bên rôto đều thay đổi có liên quan chặt chẽ với nhau và tốc độ quay rôto thường không phải là hằng số. Các quá trình quá độ nói chung cũng như khi ngắn mạch đột nhiên nói riêng của máy điện đồng bộ đều được biểu thị bằng hệ phương trình vi phân phức tạp. Vì vậy việc phân tích chúng chặt chẽ bằng toán học gặp rất nhiều khó khăn. Ở đây việc nghiên cứu chủ yếu dựa vào hiện tượng vật lý và chỉ kết hợp một phần với phương pháp phân tích toán học.

Trong khi phân tích quá trình quá độ cần chú ý rằng điện trở dây quấn phần ứng có giá trị rất nhỏ so với điện kháng nên thường không có tác dụng quyết định đến trị số ban đầu của các dòng điện stato và rôto, mà chỉ khiến cho thành phần tự do của dòng điện đó giảm dần theo thời gian của quá trình quá độ. Vì vậy khi xác định trị số ban đầu của các dòng điện ngắn mạch có thể giả thiết rằng điện trở của dây quấn bằng không.

Ngoài ra khi phân tích quá trình quá độ khi ngắn mạch, ta giả sử các điều kiện sau đây:

- Tốc độ quay của rôto không đổi.
- Ngắn mạch xảy ra ở đầu cực máy phát đang làm việc không tải với dòng kích từ không đổi.

Trường hợp xảy ra ngắn mạch trên đường dây có thể đưa về trường hợp ngắn mạch đầu cực máy phát nếu xem điện kháng máy phát bao gồm cả điện kháng đường dây.

11.2 Ngắn mạch 3 pha của máy điện đồng bộ

11.2.1 Hiện tượng vật lý trong máy điện đồng bộ

Giả sử thời điểm xảy ra ngắn mạch đột nhiên ($t=0$), vị trí cực từ đối với các dây quấn A-X, B-Y, C-Z như trên hình 11.1a.

Lúc đó trục cực từ và trục a của pha A làm thành một góc α và như vậy từ thông móc vòng xuyên qua các pha sẽ là:

$$\psi_A = \psi_t \cos \alpha$$

$$\begin{aligned}\psi_B &= \psi_t \cos(\alpha - 120^\circ) \\ \psi_C &= \psi_t \cos(\alpha - 240^\circ)\end{aligned}\quad (11.1)$$

trong đó ψ_t là từ thông móc vòng của cực từ với dây quấn khi trục cực từ và trục dây quấn trùng nhau.

Sau đây ta sẽ lần lượt phân tích qui luật biến đổi của các dòng điện ở dây quấn stato và các dòng điện ở dây quấn kích từ và dây quấn cảm trên rôto.

a) Dòng điện ở dây quấn stato

Với giả thiết điện trở các pha $r_u = 0$, nghĩa là các pha A, B, C là những mạch điện siêu dẫn thì sau khi xảy ra ngắn mạch 3 pha từ thông móc vòng các pha phải là không đổi. Muốn vậy dòng điện trong các pha phải gồm có hai thành phần. Thành phần thứ nhất là thành phần dòng điện một chiều i để duy trì từ thông móc vòng ψ_A, ψ_B, ψ_C theo như biểu thức 11.1 ở thời điểm $t=0$.

$$\begin{aligned}i_A &= I_m \cos \alpha \\ i_B &= I_m \cos(\alpha - 120^\circ) \\ i_C &= I_m \cos(\alpha - 240^\circ)\end{aligned}\quad (11.2)$$

trong đó I_m là trị số lớn nhất của thành phần dòng điện một chiều ứng với trục cực từ trùng với trục của pha đó.

Như vậy thành phần dòng điện một chiều i_{Σ} ở các pha và từ thông do chúng sinh ra như trên các hình 11.1b và 11.2.

Thành phần thứ hai là thành phần dòng điện xoay chiều để sinh ra từ thông phản ứng dọc trục khử từ quay đồng bộ với rôto để khiến cho sau khi xảy ra ngắn mạch, tổng từ thông cực từ Φ_t và từ thông phản ứng dọc trục Φ_{ud} ở khe hở bằng không. Thành phần dòng điện xoay chiều ở các pha và từ thông phản ứng dọc trục khử từ do chúng sinh ra được trình bày trên hình 11.1c và 11.2

Kết quả dòng điện trong các pha i_A, i_B, i_C là tổng của thành phần dòng điện một chiều và thành phần dòng điện xoay chiều có dạng như trên hình 11.2. Vì khi xảy ra ngắn mạch, máy điện làm việc không tải, dòng điện các pha bằng không nên ở thời điểm $t=0$ các thành phần dòng điện một chiều và xoay chiều phải bằng nhau về trị số và khác về dấu.

Mặc khác dây quấn kích từ và dây quấn cảm cũng là siêu dẫn nên chúng sẽ sinh ra dòng điện để chống lại từ thông phản ứng xuyên qua chúng, kết quả là từ thông phản ứng phải đi theo mạch tản từ của các dây quấn đó như trình bày trên hình 11.3a. Lúc đó quan hệ hồ cảm giữa các dây quấn stato, dây quấn kích từ và dây quấn cảm tương tự như quan hệ điện từ trong máy biến áp ba dây quấn, trong đó các dây quấn kích từ và dây quấn cảm bị nối tắt. Mạch điện thay thế tương ứng được trình bày trên hình 11.4a và điện kháng đầu vào mạch điện còn gọi là *điện kháng siêu quá độ dọc trục* bằng:

$$x_d'' = x_{\sigma u} + \frac{1}{\frac{1}{x_{ud}} + \frac{1}{x_{ut}} + \frac{1}{x_{\sigma cd}}}\quad (11.4)$$

trong đó:

x_{ud} là điện kháng phản ứng phản ứng dọc trục

$x_{\sigma u}, x_{\sigma t}, x_{\sigma cd}$, là các điện kháng tản dây quấn phản ứng, dây quấn kích từ và dây quấn cảm dọc trục

b) Dòng điện ở các dây quấn rôto

Trước lúc ngắn mạch, chỉ có từ thông cực từ Φ_t sinh ra do dòng kích từ i_{t0} xuyên qua dây quấn kích từ và dây quấn cảm đặt ở rôto. Sau khi xảy ra ngắn mạch, rôto tiếp tục quay với tốc độ đồng bộ và như vậy từ thông đứng yên trong không gian sinh ra bởi thành phần dòng điện một chiều trong dây quấn stato sẽ xuyên qua các dây quấn kích từ và dây quấn cảm theo qui luật hình sin. Mặt khác, từ thông phản ứng dọc trục khử từ do các thành phần dòng điện xoay chiều trong dây quấn stato, quay đồng bộ và không đổi so với rôto cũng xuyên qua các dây quấn kích từ và dây quấn cảm. Với giả thiết các dây quấn này là mạch siêu dẫn, từ thông xuyên qua chúng vẫn là Φ_t như trước lúc xảy ra ngắn mạch, nên trong chúng sẽ phải sinh ra hai thành phần dòng điện: *thành phần thứ nhất là thành phần dòng điện xoay chiều* để sinh ra từ thông xoay chiều hình sin bằng về trị số và ngược về dấu đối với từ thông của dây quấn stato xuyên qua rôto theo qui luật hình sin, và *thành phần thứ hai là thành phần dòng điện một chiều* để sinh ra từ thông không đổi bằng về trị số và ngược về dấu đối với từ thông phản ứng dọc trục khử từ của dây quấn stato.

Kết quả là khi xảy ra ngắn mạch 3 pha, dòng điện kích từ và dòng điện trong dây quấn cảm, tổng của các thành phần dòng điện xoay chiều và một chiều được biểu thị như trên hình 11.5.

Từ những phân tích nói trên ta thấy, khi xảy ra ngắn mạch các dòng điện trong các dây quấn stato và rôto đều bao gồm các thành phần chu kỳ và không chu kỳ và có liên quan chặt chẽ với nhau: thành phần chu kỳ của các dòng điện ở rôto với thành phần không chu kỳ của dòng điện ở stato và thành phần không chu kỳ của các dòng điện rôto với thành phần chu kỳ của các dòng điện ở stato.

Trên thực tế điện trở các dây quấn $r_u, r_t, r_c \neq 0$, vì vậy các dòng điện đều giảm dần theo thời gian. Điện trở của dây quấn phản ứng $r_u \neq 0$, vì vậy thành phần một chiều của dòng điện trong dây quấn stato giảm dần đến trị số không (đường số 1 trên hình 11.6b), từ thông một chiều do chúng sinh ra cũng giảm dần đến không và do đó thành phần xoay chiều của các dòng điện trong dây quấn kích từ và dây quấn cảm cũng giảm tương ứng tới trị số 0 (đường số 2 trên hình 11.6c,d). Điện trở của dây quấn cảm tương đối lớn nên thành phần một chiều của dòng điện trong dây quấn cảm giảm nhanh đến trị số không (đường số 1 trên hình 11.6d). Từ thông do nó sinh ra cũng giảm đến trị số không, do đó từ thông phản ứng dọc trục khử từ bắt đầu xuyên qua dây quấn cảm như trình bày trên hình 11.3b. Thành phần dòng điện xoay chiều trong dây quấn stato sinh ra từ thông phản ứng dọc trục cũng sẽ giảm tương ứng.

Giống như thành phần dòng điện một chiều trong dây quấn cảm, thành phần dòng điện một chiều trong dây quấn kích từ cũng giảm dần nhưng chậm hơn đến trị số ban đầu i_{t0} (đường số 1 trên hình 11.6c) do điện trở dây quấn kích thích nhỏ hơn điện trở dây quấn cảm. Từ thông do nó sinh ra cũng giảm theo. Kết quả từ thông phản ứng phản ứng sẽ xuyên qua dây quấn kích từ (hình 11.1c) và chế độ ngắn mạch xác lập bắt đầu. Thành phần dòng điện xoay chiều trong dây quấn stato sinh ra từ thông phản ứng dọc trục cũng giảm tương ứng đến giá trị cuối cùng là dòng điện ngắn mạch xác lập. Sự giảm dần của thành phần dòng điện xoay chiều trong dây quấn stato tương ứng với sự giảm dần của các thành phần dòng điện một chiều trong dây quấn cảm và dây quấn kích từ được trình bày trên hình 11.6a.

Tổng của thành phần dòng điện xoay chiều và một chiều của các dòng điện trong các dây quấn phần ứng, dây quấn kích từ và dây quấn cản khi xét đến sự giảm dần của các dòng điện do tác dụng của điện trở của các dây quấn được trình bày bằng đường 2 trên hình 11.6b,c và d, cho thấy sự biểu diễn thực tế của các dòng điện trong các dây quấn máy điện đồng bộ trong quá trình quá độ khi xảy ra ngắn mạch.

Chú ý rằng khi từ thông phản ứng dọc trục xuyên qua dây quấn cản như trình bày trên hình 11.3b, thì quan hệ hồ cảm giữa dây quấn stato và dây quấn kích từ như của máy biến áp hai dây quấn, trong đó dây quấn kích từ bị nối tắt. Mạch điện thay thế tương ứng được trình bày trên hình 11.4b và điện kháng đầu vào của nó được gọi là *điện kháng quá độ dọc trục* và bằng:

$$x_d' = x_{\sigma u} + \frac{1}{\frac{1}{x_{ud}} + \frac{1}{x_{\sigma t}}} \quad (11.5)$$

11.2.2 Mô tả toán học dòng điện ngắn mạch 3 pha

Như đã nói ở trên, khi xảy ra ngắn mạch 3 pha quá trình quá độ giữa các dây quấn stato và rôto có sự liên hệ điện từ chặt chẽ như trong máy biến áp. Nếu bỏ qua điện trở các dây quấn thì các phương trình điện áp của các dây quấn phần ứng, dây quấn kích từ và dây quấn cản sẽ lần lượt như sau:

$$\begin{vmatrix} \omega e \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} x_{ud} + x_{\sigma u} & x_{ud} & x_{ud} \\ x_{ud} & x_{ud} + x_{\sigma t} & x_{ud} \\ x_{ud} & x_{ud} & x_{ud} + x_{\sigma cd} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \frac{di}{dt} \\ \frac{di_t}{dt} \\ \frac{di_c}{dt} \end{vmatrix} \quad (11.6)$$

trong đó

$x_{\sigma u}$, $x_{\sigma t}$, $x_{\sigma cd}$ là điện kháng tản của dây quấn phần ứng, dây quấn kích từ và dây quấn cản hướng dọc trục.

Giải hệ phương trình vi phân (11.6) với $t=0$, $i=0$, $i_c=0$, $i_t=i_{t0}$ ta sẽ có các dòng điện i , i_t , i_c .

Kết quả dòng điện ngắn mạch quá độ trong dây quấn stato như sau:

$$i = -\frac{\sqrt{2}E_0}{x_d''} \cos(\omega t + \alpha) + \frac{\sqrt{2}E_0}{x_d''} \cos \alpha \quad (11.7)$$

trong đó α là góc hợp bởi trục cực từ và trục dây quấn pha được xét lúc xảy ra ngắn mạch.

Từ biểu thức (11.7) ta thấy dòng điện i là tổng của thành phần dòng điện xoay chiều biến đổi hình sin theo thời gian với biên độ không đổi và thành phần dòng điện một chiều có trị số không đổi.

Trên thực tế các dây quấn phần ứng, dây quấn kích từ và dây quấn cản đều có điện trở, nên hai thành phần dòng điện xoay chiều và một chiều nói trên đều giảm theo thời gian và sau quá trình quá độ trong dây quấn phần ứng sẽ còn lại dòng điện ngắn mạch xác lập.

Như đã phân tích ở trên mục 11.2, thành phần dòng điện xoay chiều của (11.7) giảm dần, phụ thuộc vào sự giảm của thành phần dòng điện một chiều trong dây quấn

cản (với hằng số thời gian siêu quá độ T_d'') và của thành phần dòng điện một chiều trong dây quấn kích từ (với hằng số thời gian quá độ T_d').

Để thấy rõ điều đó có thể viết thành phần dòng điện xoay chiều đó dưới dạng:

$$\frac{\sqrt{2}E_0}{x_d''} \cos(\omega t + \alpha) = [\sqrt{2}E_0(\frac{1}{x_d''} - \frac{1}{x_d'}) + \sqrt{2}E_0(\frac{1}{x_d'} - \frac{1}{x_d}) + \sqrt{2}E_0 \frac{1}{x_d}] \cos(\omega t + \alpha) \quad (11.8)$$

trong đó số hạng thứ nhất của vế phải giảm dần theo hằng số thời gian siêu quá độ T_d'' và số hạng thứ hai giảm dần theo hằng số thời gian quá độ T_d' .

Thành phần dòng điện một chiều trong biểu thức (11.7) sẽ giảm dần theo hằng số thời gian của dây quấn phần ứng T_u .

Như vậy khi xét đến điện trở của dây quấn, dòng điện ngắn mạch trong thời gian quá độ sẽ giảm dần và được biểu thị như sau:

$$i = -[\sqrt{2}E_0(\frac{1}{x_d''} - \frac{1}{x_d'})e^{-t/T_d''} + \sqrt{2}E_0(\frac{1}{x_d'} - \frac{1}{x_d})e^{-t/T_d'} + \sqrt{2}E_0 \frac{1}{x_d}] \cos(\omega t + \alpha) + \frac{\sqrt{2}E_0}{x_d''} \cos \alpha e^{-t/T_u} \quad (11.9)$$

Trong biểu thức (11.9) hằng số thời gian siêu quá độ T_d'' phụ thuộc vào tốc độ giảm của thành phần dòng điện một chiều trong dây quấn cản do đó:

$$T_d'' = \frac{x_{cd}''}{\omega r_{cd}} \quad (11.10)$$

trong đó x_{cd}'' là điện kháng dọc trục của dây quấn cản đã qui đổi về dây quấn phần tĩnh khi dây quấn kích từ và dây quấn phần tĩnh nối tắt.

Tương tự ta có điện kháng siêu quá độ dọc trục của dây quấn cản là:

$$x_{cd}'' = x_{\sigma c} + \frac{1}{\frac{1}{x_{ud}} + \frac{1}{x_{\sigma u}} + \frac{1}{x_{\sigma l}}} \quad (11.5)$$

R_{cd} là điện trở dọc trục của dây quấn cản qui đổi về dây quấn phần tĩnh.

Hằng số thời gian quá độ T_d' phụ thuộc vào tốc độ giảm của thành phần dòng điện một chiều trong dây quấn kích từ và có trị số:

$$T_d' = \frac{x_{ld}'}{\omega r_l} \quad (11.12)$$

trong đó x_{ld}' là điện kháng dây quấn kích từ qui đổi về stato.

Tương tự ta có điện kháng quá độ dọc trục của dây quấn kích từ là:

$$x_{ld}' = x_{\sigma l} + \frac{1}{\frac{1}{x_{ud}} + \frac{1}{x_{\sigma u}}} \quad (11.13)$$

r_l là điện trở dây quấn kích từ qui đổi về stato.

Hằng số thời gian tắt dần của thành phần một chiều của dòng điện ngắn mạch có trị số:

$$T_u = \frac{x_u''}{\omega r_u} \quad (11.14)$$

trong đó r_u là điện trở dây quấn stato

x_u'' là điện kháng do từ trường của thành phần dòng điện không chu kỳ của phần tĩnh. Gần đúng ta được:

$$x_u'' \approx \frac{x_d'' + x_q''}{2} \approx x_2 \quad (11.15)$$

Vì khi quay trong từ trường đứng yên của thành phần dòng điện không chu kỳ nói trên, rôto thay đổi vị trí dọc trục và ngang trục một cách tuần hoàn giống như đối với từ trường thứ tự ngược.

Sự biến đổi của dòng điện i theo biểu thức (11.9) có dạng như đã trình bày trên hình 11.6b. Ta thấy rằng trị số xung của dòng điện ngắn mạch 3 pha là giá trị tức thời lớn nhất xảy ra vào khoảng 0,01 giây (một nửa chu kỳ) sau khi xảy ra sự cố đối với pha mà $\alpha = 0$ (điện áp pha đó qua trị số không). Lúc đó thành phần chu kỳ của dòng điện chưa kịp giảm rõ rệt, vì vậy có thể viết gần đúng:

$$i_{xg} = \frac{\sqrt{2}E_0}{x_d''} (1 + e^{-0,01/T_u''}) \quad (11.16)$$

Thừa số $k_{xg} = 1 + e^{-0,01/T_u''}$ được gọi là *hệ số xung* của dòng điện ngắn mạch. Thông thường $k_{xg} = 1.8$.

11.2.3 Ảnh hưởng của ngắn mạch 3 pha

Ngắn mạch 3 pha ảnh hưởng rất nguy hiểm đến bản thân máy điện đồng bộ và đối với hệ thống điện lực.

Đối với bản thân máy điện, ngắn mạch 3 pha sinh ra những lực điện từ và mô men điện từ rất lớn, ngoài ra còn kèm theo cả tác dụng về nhiệt. Dòng điện ngắn mạch 3 pha như phân tích ở trên có trị số rất lớn và lực điện từ tỉ lệ với bình phương của dòng điện đó tác dụng lên phần đầu nối của phần tử và các nhóm phần tử của các pha khác nhau một cách tuần hoàn, có thể làm hỏng cách điện của chúng ở chỗ sát đầu rãnh, thậm chí phá tung cả phần đầu nối. Chính vì vậy mà đối với các máy công suất lớn, khi thiết kế và chế tạo phải đảm bảo cố định thật chặt các phần đầu nối để tránh những hư hỏng nói trên. Mô men điện từ sinh ra do tác dụng của từ thông không đổi ở khe hở, với thành phần dòng điện xoay chiều của dòng điện ngắn mạch cũng có trị số rất lớn, có thể gấp hơn mười lần trị số định mức và có thể làm hỏng trục máy và các bu lông bắt chặt thân máy. Vì vậy khi thiết kế cần đặt biệt chú ý đến các bộ phận này. Khi ngắn mạch 3 pha, tuy dòng điện ngắn mạch rất lớn nhưng hiệu ứng nhiệt không nguy hiểm đối với máy vì thời gian xảy ra rất ngắn, dòng điện ngắn mạch tắt rất nhanh, hơn nữa các role bảo vệ sẽ tác động ngay để tách máy điện ra khỏi chỗ ngắn mạch.

Đối với hệ thống điện, ngắn mạch sự cố có thể phá vỡ sự ổn định của hệ thống, sinh ra hiện tượng quá điện áp và hiện tượng nhiễu cao tần. Các hiện tượng đó như sau.

Khi trên đường dây xảy ra ngắn mạch sự cố, điện áp sẽ hạ thấp và công suất của máy phát điện đồng bộ không truyền tải đi được. Vì động cơ sơ cấp kéo máy phát điện chưa kịp điều chỉnh giảm bớt công suất của nó; kết quả không có sự cân bằng công suất giữa ngõ vào và ngõ ra, làm cho tốc độ máy phát tăng vọt, máy sẽ mất đồng bộ, hệ thống điện mất ổn định.

Ngắn mạch sự cố không đối xứng sẽ sinh ra quá điện áp ở pha không bị ngắn mạch của máy. Trị số quá điện áp có thể gấp 2÷3 lần điện áp định mức gây nguy hiểm cho các máy biến áp và các thiết bị điện khác trong hệ thống điện.

Khi xảy ra ngắn mạch sự cố không đối xứng, trong dây quấn phần ứng sẽ xuất hiện các thành phần sóng hài bậc cao. Từ trường do các sóng hài bậc cao đó sinh ra quanh đường dây tải điện sẽ gây nhiễu các đường dây thông tin, phá hoại sự làm việc của các đường dây đó.

§12. DAO ĐỘNG CỦA MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

12.1 Khái niệm chung

Khi có sự thay đổi đột ngột về chế độ làm việc ở đầu vào hoặc ở đầu ra của máy điện đồng bộ thì góc tải θ sẽ thay đổi. Sự thay đổi của góc θ thường mang tính chất dao động và như vậy tốc độ quay của rôto không phải là hằng số mà tăng giảm một cách chu kỳ quanh một trị số trung bình. Tùy theo tính chất của sự thay đổi ở đầu ra hoặc đầu vào và cấu tạo của máy mà dao động của rôto có thể là dao động cưỡng bức hoặc dao động tự do tắt dần và máy phát có thể tiếp tục làm việc hoặc mất đồng bộ.

Dao động tự do của máy điện đồng bộ có thể xảy ra nếu động cơ sơ cấp của nó có mômen quay đều và khi máy làm việc song song với lưới điện trong trường hợp thay đổi tải đột ngột, ngắn mạch, điện áp đầu cực giảm, thay đổi dòng điện kích từ. Hình 12.1 trình bày quá trình dao động khi mômen của động cơ sơ cấp thay đổi đột ngột từ trị số M_1 đến M_2 . Công suất điện từ ứng với góc θ_1 sẽ thay đổi ứng với trị số θ_2 và sự thay đổi đó biểu diễn bằng quá trình dao động tắt dần của góc θ và tốc độ góc Ω của rôto.

Dao động cưỡng bức của máy điện đồng bộ xảy ra khi mômen cơ trên trục thay đổi tuần hoàn theo thời gian. Đó là trường hợp máy điện đồng bộ được ghép cùng trục với các động cơ chạy bằng xilanh. Dao động cưỡng bức sẽ rất mạnh và nguy hiểm nếu tần số của nó trùng với tần số dao động riêng của máy, nghĩa là khi có cộng hưởng hoặc khi có nhiều máy phát điện có tần số dao động cưỡng bức bằng nhau làm việc song song.

Biểu hiện bên ngoài của hiện tượng dao động của máy điện đồng bộ là sự dao động công suất P và dòng điện phần ứng I . Biên độ dao động của Ω và θ càng lớn thì dao động của P và I càng mạnh. Nếu công suất của cả lưới điện nhỏ thì điện áp U có thể dao động.

Hiện tượng dao động trong máy điện đồng bộ được biểu thị bằng các phương trình vi phân. Nghiệm của các phương trình đó sẽ cho thấy rõ quy luật biến đổi của tốc độ góc rôto trong quá trình dao động.

12.2 Mômen và phương trình chuyển động của rôto lúc dao động

Giả sử máy điện đồng bộ làm việc như máy phát điện. Ở tải xác lập, mômen điện từ M của máy phát điện sẽ cân bằng với mômen cơ M_1 của động cơ sơ cấp và rôto của máy quay với tốc độ đồng bộ Ω_{db} . Khi dao động, tốc độ quay của rôto $\Omega \neq \Omega_{db}$, nên ngoài các mômen điện từ và mômen cơ trên trục máy còn có tác dụng của các mômen cản và mômen gia tốc. Tính chất của dao động được quyết định bởi quan hệ các mômen đó thể hiện qua phương trình chuyển động rôto lúc dao động. Sau đây xem xét các loại mômen đó trước khi viết phương trình chuyển động của rôto lúc dao động.

• Mômen cơ tác dụng lên trục

Trong trường hợp tổng quát, mômen cơ tác dụng trên trục máy phát điện có tính chất tuần hoàn như ví dụ trên hình 12.2. Mômen này có thể phân tích thành chuỗi Fourier:

$$M_1 = M_{tb} + M_k = M_{tb} + \sum_{v=1} M_{vm} \cos(v\Omega_{tb}t + \varphi_v) \quad (12.1)$$

trong đó Ω_{tb} là tốc độ góc trung bình của rôto;

M_{vm}, φ_v là biên độ và góc pha của sóng thứ v

• Mômen điện từ lúc dao động

Ta có mômen điện từ:
$$M = \frac{P}{\Omega_{tb}} = \frac{mE_0U}{\Omega_{tb}x_d} \sin \theta + \frac{mU^2}{2\Omega_{tb}} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta \quad (12.2)$$

hay viết lại
$$M = M_0 + \Delta M = M_0 + M_{cb} \Delta \theta \quad (12.3)$$

trong đó:
$$M_0 = \frac{mE_0U}{\Omega_{db}x_d} \sin \theta_0 + \frac{mU^2}{2\Omega_{db}} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta_0 \quad (12.4)$$

là mômen điện từ khi $\theta = \theta_0$ (trị số trung bình) và

$$M_{cb} = \frac{mE_0U}{\Omega_{db}x_d} \cos \theta_0 + \frac{mU^2}{\Omega_{db}} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \cos 2\theta_0 \quad (12.5)$$

là hệ số mômen chỉnh bộ.

• Mômen cản dẫu

Khi máy điện đồng bộ dao động, rôto quay không đồng bộ với từ trường quay của stato, do đó trong dây quấn kích từ, dây quấn cản và thép của rôto sẽ cảm ứng được các sức điện động và sinh ra các dòng điện tần số thấp (0.5 đến 1.5Hz). Tác dụng của từ trường tổng với các dòng điện đó sẽ sinh ra mômen cản có tác dụng kéo rôto trở về tốc độ đồng bộ. Khi biên độ dao động của rôto nhỏ, nghĩa là tốc độ quay của rôto khác tốc độ đồng bộ không nhiều thì giống như đối với mômen không đồng bộ, mômen cản dẫu tỉ lệ với tốc độ thay đổi của góc $\Delta\theta$, nghĩa là:

$$M_{cd} = k_{cd} \frac{d\Delta\theta}{dt} \quad (12.6)$$

• Mômen gia tốc

Gọi J là mômen quán tính của bộ phận quay thì mômen gia tốc được xác định bởi hệ thức:

$$M_J = J \frac{d\Omega}{dt} = \frac{J}{p} \frac{d^2(\theta_0 + \Delta\theta)}{dt^2} = \frac{J}{p} \frac{d^2\Delta\theta}{dt^2} \quad (12.7)$$

• Phương trình chuyển động của rôto lúc dao động

Khi dao động, mômen của động cơ sơ cấp phải cân bằng với mômen điện từ, mômen cản dẫu, và mômen gia tốc. Một cách tổng quát ta có phương trình chuyển động của rôto lúc dao động:

$$M_0 + M_{cb} \Delta\theta + k_{cd} \frac{d\Delta\theta}{dt} + \frac{J}{p} \frac{d^2\Delta\theta}{dt^2} = M_{tb} + \sum_{v=1}^{\infty} M_{mv} \cos(v\Omega_{tb}t + \varphi_v) \quad (12.8)$$

Trên cơ sở (12.8), ta phân tích các trường hợp dao động tự do và cưỡng bức của các máy phát điện đồng bộ khi làm việc song song với lưới điện và khi làm việc độc lập.

12.3 Dao động của máy phát điện đồng bộ khi làm việc song song với lưới điện

Khi làm việc song song với lưới điện công suất lớn, máy phát điện đồng bộ có thể dao động tự do hoặc dao động cưỡng bức.

a) Dao động tự do của máy điện đồng bộ

Dao động tự do của máy phát điện đồng bộ làm việc song song với lưới điện có thể xảy ra khi mômen quay của động cơ sơ cấp là đều, nghĩa là số hạng thứ 2 của phương trình (12.8) bằng không và khi tốc độ quay thay đổi trong phạm vi khiến cho bộ điều chỉnh tốc độ của động cơ sơ cấp không tác động và như vậy mômen trung bình của động cơ sơ cấp bằng mômen điện từ. Trong các điều kiện trên, phương trình chuyển động của rôto (12.8) trở thành:

$$\frac{J}{p} \frac{d^2 \Delta\theta}{dt^2} + k_{cd} \frac{d\Delta\theta}{dt} + M_{cb} \Delta\theta = 0 \quad (12.9)$$

Nghiệm của phương trình (12.9) có dạng:

$$\Delta\theta = C_1 e^{x_1 t} + C_2 e^{x_2 t} \quad (12.10)$$

trong đó C_1, C_2 là các hằng số tích phân

x_1, x_2 là các nghiệm của phương trình đặc tính

$$x_1 = -\frac{1}{T} + j\omega_0 \quad \text{và} \quad x_2 = -\frac{1}{T} - j\omega_0$$

trong đó:

$$\text{Hằng số thời gian tắt dần của dao động: } T = \frac{2j}{pk_{cd}}$$

$$\text{Tần số góc của dao động tự do: } \omega_0 = 2\pi f_0 \approx \sqrt{\frac{pM_{cb}}{J}}$$

Thay nghiệm phương trình vào (12.10) ta được:

$$\Delta\theta = -\Delta\theta_{m0} \cos \omega_0 t e^{-t/T} \quad (12.11)$$

Dao động của $\Delta\theta$ là tắt dần theo hằng số thời gian T . Khi k_{cd} lớn thì T nhỏ và biên độ dao động giảm rất nhanh, ngược lại nếu $k_{cd}=0$ thì $T=\infty$ và dao động không tắt. Tần số của dao động tính toán ở trên bằng:

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} \approx \sqrt{\frac{pM_{cb}}{J}} \quad (12.13)$$

b) Dao động cưỡng bức của máy điện đồng bộ

Dao động cưỡng bức của máy điện đồng bộ khi làm việc trong lưới điện công suất lớn xảy ra khi mômen của động cơ sơ cấp biến đổi tuần hoàn và tương tự khi $M_0 = M_{tb}$ thì phương trình chuyển động của rôto có dạng:

$$\frac{J}{p} \frac{d^2 \Delta\theta}{dt^2} + k_{cd} \frac{d\Delta\theta}{dt} + M_{cb} \Delta\theta = \sum_{v=1}^{\infty} M_{mv} \cos(v\Omega_{tb}t + \varphi_v) \quad (12.14)$$

Nghiệm của (12.14) là tổng nghiệm của phương trình (12.14) khi vế phải bằng không được xác định theo (12.11) biểu thị dao động tự do tắt dần và nghiệm riêng của phương trình (12.14) biểu thị dao động cưỡng bức ở chế độ xác lập:

$$\Delta\theta = \sum_{v=1}^{\infty} \frac{M_{mv}}{v\Omega \sqrt{k_{cd}^2 + \left(\frac{v\Omega_{tb}J}{p} - \frac{M_{cb}}{v\Omega_{tb}}\right)^2}} \sin(v\Omega_{tb}t + \Psi_v - \varphi_v) \quad (12.15)$$

Như vậy trong trường hợp này, dao động của máy là sự xếp chồng của dao động tự do tắt dần và dao động cưỡng bức.

Nếu $v\Omega_{tb} = \omega_0$ thì xảy ra cộng hưởng sóng thứ v và biên độ $\Delta\theta_m$ của dao động cưỡng bức bậc thứ v sẽ rất lớn, cộng với dao động cưỡng bức khác và dao động tự do có thể làm máy phát điện mất đồng bộ với lưới điện. Hiện tượng dao động sẽ bớt đi nếu rôto có đặt dây quấn cản để tăng hệ số k_{cd} .

12.4 Dao động cưỡng bức của máy phát làm việc độc lập

Khi làm việc độc lập trong lưới điện thì điện áp và tần số máy phát có thể thay đổi, sự dao động của rôto không phụ thuộc vào góc θ vì E_0 và U cùng dao động. Trong trường hợp đó M_{cb} và M_{cd} đều bằng không và phương trình (12.8) trở thành:

$$\frac{J}{p} \frac{d^2\Delta\theta}{dt^2} = \sum_{v=1}^{\infty} M_{mv} \cos(v\Omega_{tb}t + \varphi_v) \quad (12.16)$$

lấy tích phân hai lần liên tiếp phương trình (12.16) ta được tốc độ góc của dao động:

$$\omega = \frac{d\Delta\theta}{dt} = \sum_{v=1}^{\infty} \frac{pM_{mv}}{Jv\Omega_{tb}} \sin(v\Omega_{tb}t + \varphi_v) \quad (12.17)$$

và nghiệm của (12.16) là:

$$\theta = -\sum_{v=1}^{\infty} \frac{pM_{mv}}{J(v\Omega_{tb})^2} \cos(v\Omega_{tb}t + \varphi_v) \quad (12.18)$$

Khi làm việc tốc độ góc dao động làm điện áp nhấp nháy. Để khắc phục bằng cách tăng mômen quán tính J của rôto hoặc bằng cách lắp thêm một bánh đà trên trục của máy phát đồng bộ.

§13. ĐỘNG CƠ VÀ MÁY BÙ ĐỒNG BỘ

13.1 Động cơ đồng bộ

Các động cơ điện xoay chiều dùng trong sản xuất thường là những động cơ điện không đồng bộ, vì động cơ này có đặc điểm là cấu tạo đơn giản, làm việc chắc chắn, bảo quản dễ dàng và giá thành thấp. Tuy nhiên động cơ đồng bộ có những ưu điểm nhất định nên trong thời gian gần đây được sử dụng khá rộng rãi, đặc biệt trong lĩnh vực truyền động điện. Về ưu điểm động cơ đồng bộ có thể làm việc với $\cos\varphi$ bằng 1 mà không cần lấy Q từ lưới điện kết quả hệ số $\cos\varphi$ của lưới điện nâng cao, giảm sụt áp và tổn thất trên đường dây và động cơ đồng bộ ít chịu ảnh hưởng của điện áp lưới điện (vì mômen của động cơ đồng bộ tỉ lệ với U còn động cơ không đồng bộ tỉ lệ với U^2). Vì vậy khi tụt áp do sự cố khả năng giữ tải của động cơ đồng bộ lớn hơn, trong trường hợp này nếu tăng kích từ, động cơ đồng bộ có thể làm việc an toàn và cải thiện điều kiện làm việc của lưới điện. Và hiệu suất của động cơ đồng bộ cũng lớn hơn động cơ không đồng bộ vì động cơ đồng bộ có khe hở tương đối lớn nên tổn hao phụ nhỏ hơn.

Nhược điểm của động cơ đồng bộ so với động cơ không đồng bộ ở chỗ cấu tạo phức tạp, đòi hỏi phải có máy kích từ hoặc nguồn một chiều nên giá thành cao. Hơn nữa việc mở máy động cơ đồng bộ cũng phức tạp hơn và việc điều chỉnh tốc độ chỉ được thực hiện bằng cách thay đổi tần số nguồn điện.

Động cơ không đồng bộ khi làm việc cần sử dụng tụ điện để nâng $\cos\varphi$ nên tăng giá thành và tổn hao vì vậy khi $P_{dm} > 200 \div 300 \text{KW}$ thì nên dùng động cơ đồng bộ ở những nơi ít thường xuyên mở máy và điều chỉnh tốc độ, khi $P_{dm} > 200 \div 300 \text{KW}$ dùng động cơ đồng bộ với $\cos\varphi = 0.9$ và khi $P_{dm} > 1000 \text{KW}$ dùng động cơ đồng bộ với $\cos\varphi = 0.8$ là có lợi hơn động cơ không đồng bộ.

Các phương trình điện áp, đồ thị véc tơ, công suất và mômen điện từ của động cơ đồng bộ đã trình bày trong các bài trước. Sau đây ta chỉ đề cập đến vấn đề mở máy, đặc tính làm việc và chế độ của nó.

13.2 Máy bù đồng bộ

Máy bù đồng bộ thực chất là động cơ điện đồng bộ làm việc không tải với dòng điện kích từ được điều chỉnh để phát hoặc tiêu thụ công suất phản kháng, do đó có thể ổn định được điện áp của lưới điện. Chế độ làm việc bình thường của máy bù đồng bộ là chế độ quá kích thích phát công suất cảm kháng vào lưới điện hay nói cách khác là tiêu thụ công suất dung kháng của lưới điện. Lúc này máy bù đồng bộ có tác dụng giống như bộ tụ điện và gọi là máy phát công suất kháng. Về ban đêm, phụ tải của hệ tiêu thụ giảm, điện áp lưới tăng cao thì máy bù đồng bộ làm việc ở chế độ thiếu kích thích, tiêu thụ công suất phản kháng của lưới điện để ổn định điện áp cho hệ tiêu thụ. Việc điều chỉnh kích từ để duy trì điện áp lưới được tiến hành tự động. Máy bù đồng bộ tiêu thụ rất ít công suất tác dụng vì công suất đó chỉ dùng để bù vào tổn hao trong máy.

Máy bù đồng bộ thường có cấu tạo theo kiểu cực lõi. Để dễ mở máy, mặt cực được chế tạo bằng thép nguyên khối trên có đặt dây quấn mở máy. Trong trường hợp mở máy trực tiếp gặp khó khăn thì phải hạ điện áp mở máy, hoặc dùng động cơ không đồng bộ rôto dây quấn để kéo máy bù đồng bộ đến tốc độ đồng bộ. Trục của máy bù đồng bộ có thể nhỏ vì không kéo tải cơ. Và do mô men cản trên trục nhỏ nên yêu cầu làm việc ổn định với lưới điện không cần thiết, do đó có thể thiết kế x_d lớn, nghĩa là khe hở nhỏ, kết quả có thể làm giảm sức từ động và dây quấn kích từ khiến cho kích thước máy nhỏ hơn.

BÀI TẬP CHƯƠNG 4

4.1 Cho dây quấn phần ứng máy điện xoay chiều có số pha $m=3$, $2p=8$, số vòng dây nối tiếp trên một pha $W=168$, $\Phi=0.0218\text{Wb}$, $f=60\text{Hz}$. Cho biết hệ số dây quấn $k_{dq}=1$, tính sức điện động cảm ứng trên một pha của dây quấn.

ĐS: $E=976\text{V}$

4.2 Cho máy phát điện đồng bộ cực ẩn 3 pha có các thông số định mức: $S_{dm}=250\text{kVA}$, $U_{dm}=660\text{V}$, $f=60\text{Hz}$, $R_u=0.2\Omega/\text{pha}$, $X_{db}=1.4\Omega/\text{pha}$. Xác định độ thay đổi điện áp $\Delta U\%$ khi:

- Tải định mức và $\cos\varphi=1$.
- Tải định mức và $\cos\varphi=0.866$ (trễ).
- Tải định mức và $\cos\varphi=0.7$ (sớm).

ĐS: a. $\Delta U\%=37.4\%$

b. $\Delta U\%=63.12\%$

c. $\Delta U\%=28.79\%$

4.3 Cho máy phát điện đồng bộ cực ẩn có $S_{dm}=25\text{kVA}$, $U_{dm}=220\text{V}$, $m=3$, $\cos\varphi=0.8$, điện trở một pha của máy là $R_u=0.2\Omega$, $X_{db}=0.6\Omega/\text{pha}$, dây quấn nối Y, điện áp cung cấp cho dây quấn kích từ $U=115\text{VDC}$, dòng kích từ $I_t=9.3\text{A}$. Cho biết tổn hao sắt $\Delta P_{Fe}=610\text{W}$, tổn hao do ma sát + quạt gió là $\Delta P_f=460\text{W}$, hãy xác định:

- Sức điện động trên dây quấn phần ứng.
- Độ thay đổi điện áp $\Delta U\%$.
- Hiệu suất ở chế độ định mức.

ĐS: a. $E=158.26\text{V}$

b. $\Delta U\%=24.61\%$

c. $\eta_{dm}=85.36\%$

4.4 Cho máy phát điện đồng bộ ba pha $S_{dm}=108\text{MVA}$, $U_{dm}=13.8\text{kV}$, $f=60\text{Hz}$, $\cos\varphi_{dm}=1$, $\eta_{dm}=97\%$, $n_{dm}=120\text{vg/ph}$, dây quấn nối Y, hãy xác định:

- Số cực của máy.
- Công suất tác dụng P cung cấp cho tải.
- Dòng điện định mức.
- Công suất cơ, mô men cơ cung cấp cho máy.

ĐS: a. $2p=60$

b. $P=108\text{MW}$

c. $I=4518.4\text{A}$

d. $P_{co}=111.34\text{MW}$, $M_{co}=8864.6\text{kN.m}$

4.5 Cho máy phát điện đồng bộ cực ẩn $m=3$, nối Y, $S_{dm}=1600\text{kVA}$, $U_{dm}=13\text{kV}$, $R_u=1.5\Omega/\text{pha}$, $X_{db}=30\Omega/\text{pha}$. Tính $\Delta U\%$ khi tải tiêu thụ công suất tác dụng là $P=1280\text{kW}$ và $\cos\varphi=0.8$ (cảm) và xác định góc công suất θ trong trường hợp này.

ĐS: $\Delta U\% = 20\%$
 $\theta = 8^\circ 69'$

4.6 Cho máy phát điện đồng bộ cực lồi, nối Y, $S_{dm} = 8750 \text{ kVA}$, $U_{dm} = 11 \text{ kV}$, $X_d = 17 \Omega/\text{pha}$, $X_q = 9 \Omega/\text{pha}$, $R_u = 0$. Khi máy làm việc với tải định mức và $\cos\varphi = 0.8$, hãy xác định:

- X_d^* , X_q^* .
- Tính sức điện động E và góc θ .
- Công suất điện từ.

ĐS: a. $X_d^* = 1.23$, $X_q^* = 0.65$
b. $E = 12.5 \text{ kV (pha)}$, $\theta = 20^\circ 5'$
c. $P_{dt} = 9278.6 \text{ kW}$

4.7 Cho máy phát điện đồng bộ cực lồi, nối Y, $U_{dm} = 220 \text{ V (pha)}$, $I_{dm} = 10 \text{ A}$, $R_u = 0.6 \Omega/\text{pha}$, $\cos\varphi = 0.8$, góc lệch pha giữa I và E là $\psi = 60^\circ$, $E_{pha} = 400 \text{ V}$. Tính các giá trị X_d , X_q .

ĐS: $X_d = 22.4 \Omega$, $X_q = 18.3 \Omega$

4.8 Cho hai máy phát điện đồng bộ cực ẩn giống nhau làm việc song song và có giá trị $X_{db} = 4.5 \Omega/\text{pha}$, nối Y, $U_{dm} = 13.2 \text{ kV}$. Cho biết tải chung của hai máy là $P = 26000 \text{ kW}$ và $\cos\varphi = 0.866$ đang phân phối đều cho hai máy. Bây giờ thay đổi kích từ để máy 1 có $\cos\varphi_1 = 1$, hãy tính $\cos\varphi_2$ của máy 2, giá trị E và góc θ của từng máy.

ĐS: $\cos\varphi_2 = 0.69$
(E_1 , θ_1) = (8039 V , $18^\circ 56'$)
(E_2 , θ_2) = (10621.2 V , $60^\circ 25'$)

4.9 Cho máy phát điện đồng bộ 3 pha làm việc song song với lưới và có các thông số: $E = 700 \text{ V}$, điện áp lưới $U_L = 380 \text{ V}$, $X_{db} = 1.66 \Omega$, góc $\theta = 30^\circ$, $n_{dm} = 3000 \text{ v/g/ph}$, $S_{dm} = 1250 \text{ kVA}$, điện áp định mức máy phát $U_F = 400 \text{ V}$, hiệu suất $\eta_{dm} = 93\%$. Hãy xác định công suất tác dụng do máy phát ra và mô men cản trên trục máy phát.

ĐS: $P = 635 \text{ kW}$, $M = 2.02 \text{ kN.m}$

4.10 Một máy phát có điện trở dây quấn phần ứng $R_u = 0.045 \Omega$ cung cấp công suất $S = 2500 + j3000 \text{ (kVA)}$ cho một lưới điện có điện áp $U_L = 6.3 \text{ kV}$ và có điện trở đường dây $R = 0.15 \Omega$.

- Xác định tổng tổn hao trong trường hợp trên.
- Nếu dùng thêm một máy bù đồng bộ có $S_b = 30 - j3000 \text{ (kVA)}$ thì lúc này tổng tổn hao trên đường dây và trong máy phát là bao nhiêu.

ĐS: a. 75.2 kW
b. 31.5 kW

4.11 Cho động cơ đồng bộ có $P_{dm}=0.1kW$, $n_{dm}=3000vg/ph$, $U_{dm}=380V$, $\eta_{dm}=80\%$, $X_d=1260\Omega$, $X_q=412\Omega$. Hãy xác định dòng điện tiêu thụ, công suất tiêu thụ và mô men cơ đưa ra đầu trục.

ĐS: $I_1=0.37A$, $P_1=125W$, $M_{C\phi}=0.313N.m$

4.12 Một động cơ đồng bộ 3 pha cực ẩn, đấu Y, có điện kháng đồng bộ $X_{db}=35\Omega$ được cung cấp; $U=2.3kV$, $P_1=150kW$, $\cos\phi=1$, $f=50Hz$, dòng kích từ $I_{kt}=70A$, tốc độ quay $n=750vg/ph$, hiệu suất $\eta=95\%$. Bỏ qua tổn hao kích từ và tổn hao đồng stato ($R_s=0$), hãy xác định:

a. Mô men điện từ và mô men tải.

b. Sức điện động kích từ E_0

ĐS: a. $M_{dt}=1910.82N.m$, $M_2=1815.28N.m$

b. $E_0=163V$

4.13 Một động cơ đồng bộ 3 pha cực ẩn, 4 cực, làm việc ở tải định mức $75kW$, đấu Y, $50Hz$, $460V$, hệ số công suất 0.8 (dung). Tổn hao cơ và tổn hao phụ là 3% . Nếu coi tổn hao kích từ và tổn hao stato là không đáng kể thì hiệu suất động cơ lúc đó là 96% . Điện kháng đồng bộ là $2.72\Omega/pha$, xác định:

a. Mô men điện từ ở tải định mức

b. Dòng phần ứng

c. Sức điện động cảm ứng

ĐS: a. $M_{dt}=497.61N.m$

b. $I=117.66A$

c. $E_0=796.36V$

CHƯƠNG 5: MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

Trong sản xuất và đời sống, máy điện một chiều vẫn đóng vai trò quan trọng. Nó có thể dùng làm động cơ điện, máy phát điện hay trong các chế độ làm việc khác.

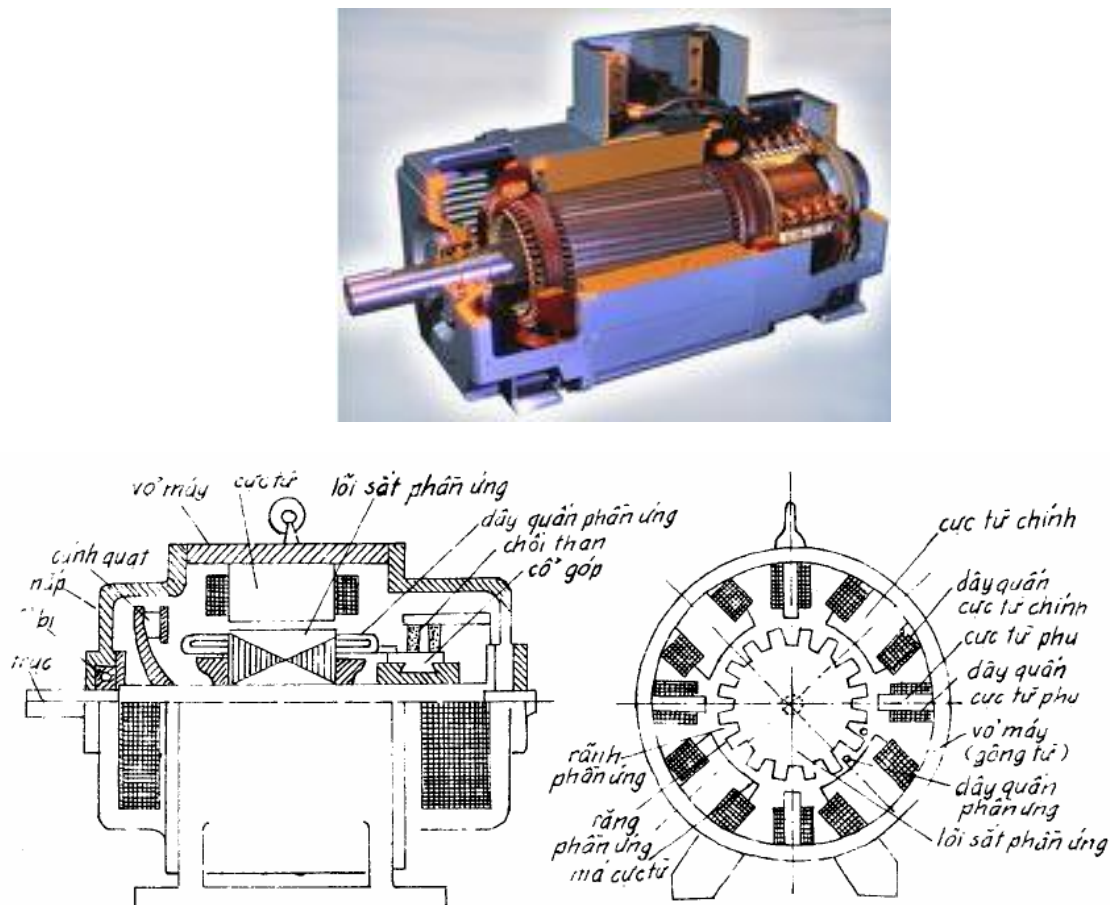
Động cơ điện một chiều có đặc tính điều chỉnh tốc độ rất tốt, vì vậy được dùng trong các ngành công nghiệp có yêu cầu cao về điều chỉnh tốc độ như cán thép, hầm mỏ, giao thông vận chuyển, ...

Máy phát điện một chiều dùng làm nguồn điện cho các động cơ điện một chiều, nguồn một chiều kích từ cho máy phát điện động bộ. Ngoài ra còn ứng dụng trong lĩnh vực luyện kim, mạ điện, ... dùng nguồn một chiều điện áp thấp. Máy điện một chiều có nhược điểm hơn máy điện xoay chiều là giá thành cao hơn, sử dụng kim loại màu nhiều hơn, chế tạo phức tạp, ... nhưng có những ưu điểm của nó nên vẫn được dùng trong sản xuất.

Công suất lớn nhất của máy điện một chiều hiện nay vào khoảng vài chục MW, điện áp khoảng vài kV. Hướng phát triển là cải thiện tính năng vật liệu, nâng cao chỉ tiêu kinh tế của máy và chế tạo công suất lớn hơn.

§1. CẤU TẠO MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

Cấu tạo của máy điện một chiều như hình vẽ, gồm hai phần chính là *stato* và *rôto*.



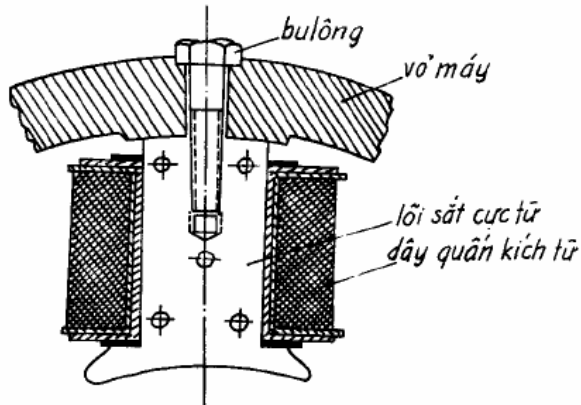
Hình 5.1 Cấu tạo của máy điện một chiều

1. Phần tĩnh (stato)

Phần tĩnh gồm các bộ phận chính sau đây:

a. Cực từ chính

Cực từ chính là bộ phận sinh ra từ trường gồm có lõi thép cực từ và dây quấn kích từ lồng ngoài lõi thép kích từ. Lõi thép cực từ làm bằng những lá thép kỹ thuật điện dày từ $0,5 \div 1$ mm ép lại và tán chặt. Trong máy điện nhỏ có thể dùng thép khối, cực từ gắn chặt vào vỏ máy nhờ bulông. Dây quấn kích từ được quấn bằng dây đồng bọc cách điện và mỗi cuộn dây đều được bọc cách điện thành một khối và tẩm sơn cách điện trước khi đặt lên các cực từ được nối nối tiếp với nhau.



b. Cực từ phụ

Cực từ phụ được đặt giữa các cực từ chính và dùng để cải thiện đổi chiều. Lõi thép cực từ phụ thường làm bằng thép khối và trên thân cực từ phụ có đặt dây quấn giống cực từ chính và được gắn vào vỏ nhờ các bulông.

c. Gông từ

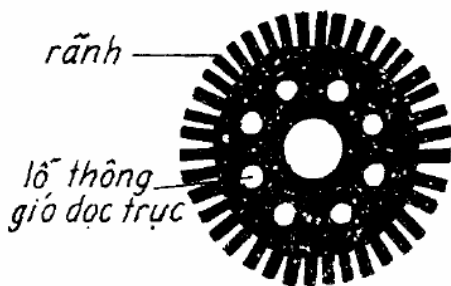
Gông từ dùng để làm mạch từ nối liền các cực từ, đồng thời làm vỏ máy. Trong máy điện nhỏ và vừa thường dùng thép tấm dày uốn và hàn lại. Trong máy điện lớn thường dùng thép đúc.

d. Các bộ phận khác

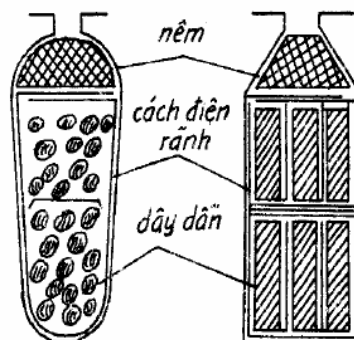
- Nắp máy: Bảo vệ máy không bị những vật bên ngoài rơi vào làm hư hỏng dây quấn hay an toàn cho người khỏi chạm phải điện.
- Cơ cấu chổi than: Để đưa dòng điện từ phần quay ra ngoài và được tì chặt lên cổ góp.

2. Phần quay (rôto)

Rôto của máy điện một chiều được gọi là phần ứng, gồm có các bộ phận sau:



Hình 2.3 Lá thép phân ứng



Hình 2.4 Rãnh lõi thép

a. Lõi thép phần ứng

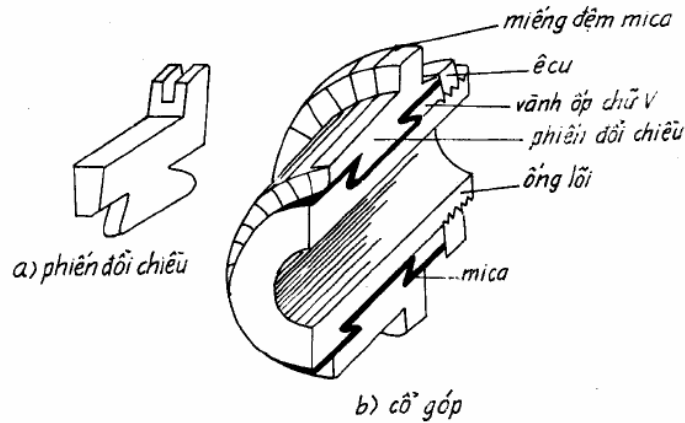
Lõi thép phần ứng để dẫn từ. Làm bằng các lá thép kỹ thuật điện dày $0,5 \div 1$ mm ghép lại để giảm tổn hao do dòng điện xoáy. Trên lá thép có dập dạng rãnh để đặt dây quấn vào.

b. Dây quấn phản ứng

Dây quấn phản ứng là phần sinh ra sức điện động và có dòng điện chạy qua. Dây quấn phản ứng thường làm bằng đồng tiết diện hình tròn hoặc chữ nhật có bọc cách điện.

c. Cổ góp

Dùng để đổi chiều dòng điện xoay chiều thành dòng điện một chiều.



Hình 2.5 Phiến góp và cổ góp

d. Các bộ phận khác

- + Cánh quạt: Gắn trên trục máy dùng để làm nguội máy.
- + Trục máy: Trên có đặt lõi thép phản ứng, cổ góp, cánh quạt và ổ bi.

3. Các trị số định mức

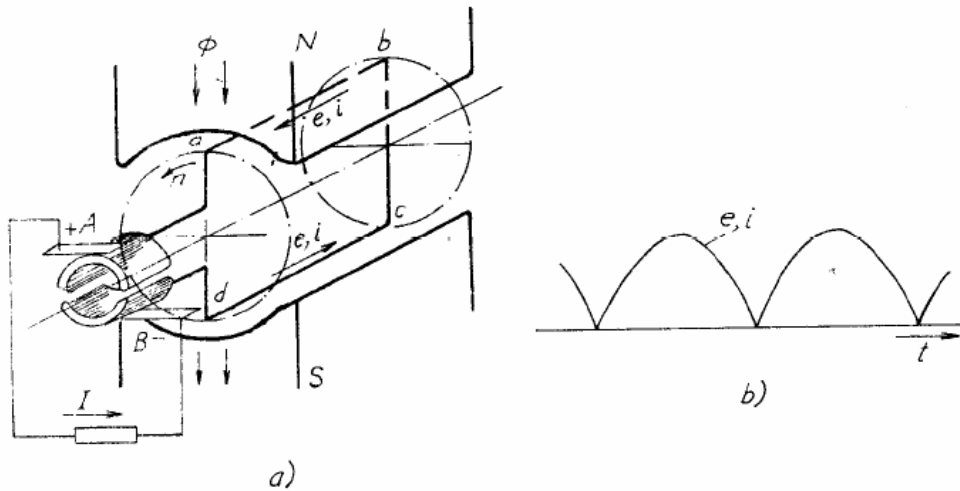
Chế độ định mức là chế độ làm việc trong những điều kiện mà nhà chế tạo qui định và được ghi trên nhãn máy:

- Công suất định mức: P_{dm} [KW, HP]; 1HP = 746W (Pháp), 1 HP = 736W (Anh)
- Điện áp định mức: U_{dm} [V]
- Dòng điện định mức: I_{dm} [A]
- Tốc độ định mức: n_{dm} [vòng/phút]
- Kiểu máy, phương pháp kích từ, $I_{ktđm}$ [A], $U_{ktđm}$ [V], khối lượng m [kg], điều kiện làm việc.

§2. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC

1. Chế độ máy phát điện

Khi động cơ sơ cấp quay phần ứng, các thanh dẫn của dây quấn phản ứng cắt từ trường của cực từ, cảm ứng các sức điện động. Chiều sức điện động xác định theo qui tắc bàn tay phải. Ở thanh dẫn trên sức điện động e có chiều từ $b \rightarrow a$, thanh dẫn dưới có chiều từ $d \rightarrow c$. Nếu nối hai chổi than A và B với tải sẽ có dòng điện từ $A \rightarrow B$.



Hình 2.6 Sơ đồ nguyên lý làm việc của

Phương trình điện áp là:

$$U = E_u - R_u \cdot I_u \quad (2.1)$$

R_u : Điện trở phần ứng

E_u : Sức điện động phần ứng

U : Điện áp đầu cực máy

Sơ đồ thay thế:

2. Chế độ động cơ điện

Khi đặt điện áp U vào hai chổi điện A và B, trong dây quấn phần ứng có dòng điện I_u . Các thanh dẫn nằm trong từ trường sẽ chịu tác dụng của lực điện từ F_{dt} làm quay rôto. Chiều F_{dt} xác định theo qui tắc bàn tay trái.

Khi động cơ quay, các thanh dẫn cắt trong từ trường sẽ cảm ứng sức điện động E_u , chiều xác định theo qui tắc bàn tay phải. Phương trình cân bằng điện áp là:

$$U = E_u + R_u \cdot I_u \quad (2.2a2)$$

Sơ đồ thay thế tương ứng:

§3. DÂY QUẤN PHẦN ỨNG

1. Đại cương

- Yêu cầu cơ bản:

- + Đảm bảo sức điện động
- + Bền về các mặt điện, nhiệt
- + Tiết kiệm được kim loại màu.
- + Chế tạo, lắp ráp, sửa chữa được dễ dàng.

- Dây quấn phần ứng hình thành do gồm nhiều búi dây nối tiếp với nhau nhờ phiến góp theo qui luật nào đó tạo thành 1 hoặc 2, 3 mạch kín.

- Búi dây

- + Búi dây là phân tử cơ bản của phần ứng
- + Số vòng $W_s \geq 1$

- Một số khái niệm khác
 - + Rãnh nguyên tố (Z_{nt}): Là rãnh chỉ chứa hai cạnh tác dụng.
 - + Rãnh thực (Z): Là rãnh chứa $2u$ cạnh tác dụng.

+ Gọi s là số bội dây, G là số phiếm góp thì ta được:

$$Z_{nt} = S = G = u.Z$$

- Phân loại:
 - + Dây quấn xếp: xếp đơn và xếp phức.
 - + Dây quấn sóng: Sóng đơn và sóng phức.
 - + Dây quấn hỗn hợp.

2. Các thông số đặt trưng của dây quấn phản ứng

- *Bước dây quấn* y : Là khoảng cách giữa hai cạnh của mỗi phần tử tính bằng số rãnh nguyên tố.

$$y = \frac{Z_{nt}}{2p} \pm \varepsilon \quad \in Z$$

- *Bước trên phần ứng* y_u : Là khoảng cách hai tác dụng đầu (hoặc cuối) của hai phần tử liên tiếp tính bằng số rãnh nguyên tố.

- *Bước trên vành góp* y_G : Là khoảng cách giữa hai phiến góp nối với hai đầu dây của một phần tử, cũng là khoảng cách giữa hai đầu của 2 phần tử liên tiếp tính bằng số phiến góp.

3. Dây quấn xếp

- Dây quấn xếp có bước trên vành góp $y_G = \pm m$ ($m=1, 2, 3$).

Dấu (+) là quấn phải, dấu (-) là quấn trái.

a. *Dây quấn xếp đơn* ($m=1$)

Ví dụ: $Z_{nt} = 16, 2p = 4, y_G = +1$

Ta có: $y = \frac{Z_{nt}}{2p} \pm \varepsilon = \frac{16}{4} = 4 \rightarrow$ dây quấn bước đủ

$y_u = y_G = +1 \rightarrow$ dây quấn xếp đơn quấn phải

- Trình tự nối các phần tử:

- Sơ đồ kí hiệu của dây quấn:

- Số đôi mạch nhánh song song bằng số đôi cực từ $a=p$.

b) *Dây quấn xếp phức tạp* ($m \geq 2$)

Ví dụ: $Z_{nt} = 12, 2p = 4, y_G = 2$

$$y = \frac{Z_{nt}}{2p} \pm \varepsilon = \frac{12}{4} = 3$$

$$y_U = y_G = +2$$

Số đôi mạch nhánh song song của dây quấn phức tạp bằng m lần số đôi mạch nhánh của dây quấn xếp đơn $a = mp$.

4. Dây quấn sóng

Bước trên phần ứng $y_U = \frac{Z_{nt} \pm m}{p}$

a. Dây quấn sóng đơn ($m = 1$):

Ví dụ: $Z_{nt} = Z = S = G = 15$, $2p = 4$, $m = 1$

$$\text{Ta có: } y = \frac{Z_{nt}}{2p} \pm \varepsilon = \frac{15}{4} - \frac{3}{4} = 3 \quad \rightarrow \text{ bước ngắn}$$

$$y_U = y_G = \frac{G \pm m}{p} = \frac{15 - 1}{2} = 7 \quad \rightarrow \text{ quấn trái}$$

Trình tự nối dây quấn

Hình sao và đa giác sức điện động

- Số đôi mạch nhánh song song $a = 1$

b. Dây quấn sóng phức tạp ($m \geq 2$)

Ví dụ: $Z_{nt} = Z = S = G = 18$, $2p = 4$, $m = 2$

Các bước dây quấn:

$$y = \frac{Z_{nt}}{2p} \pm \varepsilon = \frac{18}{4} - \frac{2}{4} = 4 \quad \rightarrow \text{ bước ngắn}$$

$$y_U = y_G = \frac{G \pm m}{p} = \frac{18 - 2}{2} = 8 \quad \rightarrow \text{ quấn trái}$$

$$\alpha = \frac{p \cdot 360^\circ}{Z} = \frac{2 \cdot 360^\circ}{18} = 40^\circ$$

Trình tự nối các phần tử:

Giản đồ triển khai dây quấn

- Dây quấn sóng phức tạp xem như gồm m dây quấn sóng đơn hợp lại, do đó số đôi mạch nhánh song song bằng m số đôi mạch nhánh của dây quấn sóng đơn $a = m$.

§4. SỨC ĐIỆN ĐỘNG CẢM ỨNG E

- Sức điện động trung bình cảm ứng trong thanh dẫn có chiều dài tác dụng l, chuyển động trong từ trường với tốc độ v bằng:

$$e_{tb} = B_{tb} \cdot l \cdot v \quad (4.1)$$

trong đó: v là vận tốc thanh dẫn

$$v = \omega.r = 2\pi f \frac{D}{2} = \frac{\pi D n}{60} = 2\tau p \frac{n}{60}$$

B_{tb} là từ cảm trung bình dưới mỗi cực từ

$$B_{tb} = \frac{\Phi_{\delta}}{S} = \frac{\Phi_{\delta}}{\tau.l}$$

trong đó: D là đường kính ngoài phần ứng

τ là bước cực

p là số đôi cực

n (vg/ph) là tốc độ quay phần ứng

Φ_{δ} [Wb] là từ thông khe hở dưới mỗi cực từ ta được

ta được:
$$e_{tb} = 2p.\Phi_{\delta}.\frac{n}{60} \quad (4.2)$$

Gọi N là tổng số thanh dẫn của dây quấn thì mỗi mạch nhánh song song có $N/2a$ thanh dẫn nối tiếp nhau và sức điện động của máy là:

$$E_u = \frac{N}{2a}.e_{tb} = \frac{p.N}{60a}.\Phi_{\delta}.n = K_e.\Phi_{\delta}.n \quad (4.3)$$

với $K_e = \frac{p.N}{60.a}$ là hệ số $\in$ kết cấu máy và dây quấn

Chiều E_u phụ thuộc vào chiều Φ_{δ} và n , và được xác định theo qui tắc bàn tay phải.

§5. MÔMEN ĐIỆN TỪ VÀ CÔNG SUẤT

Khi máy làm việc trong dây quấn phần ứng sẽ có dòng điện chạy qua. Tác dụng của từ trường lên từng thanh dẫn có dòng điện sẽ sinh ra lực điện từ. Mômen điện từ do lực điện từ tác dụng lên thanh dẫn xác định theo qui tắc bàn tay trái.

Lực điện từ tác dụng lên từng thanh dẫn bằng: $f = B_{tb}.l.i_u$

Tổng số thanh dẫn là N , dòng điện trong mạch nhánh $i_u = \frac{I_u}{2a}$ thì momen điện từ tác dụng lên dây quấn phần ứng là:

$$M = f.\frac{D}{2}.N = B_{tb}.\frac{I_u}{2a}.l.N.\frac{D}{2} \quad (5.1)$$

trong đó: B_{tb} = từ cảm trung bình khe hở

I_u = dòng điện phần ứng

a = số đôi mạch nhánh song song

l = chiều dài thanh dẫn

D = đường kính ngoài phần ứng

$$D = \frac{2p\tau}{\pi}, \quad B_{tb} = \frac{\Phi_{\delta}}{\tau.l}$$

ta được:
$$M = \frac{\Phi_{\delta}}{\tau.l}.\frac{I_u}{2a}.l.N.\frac{2p\tau}{2\pi} = \frac{p.N}{2\pi a}.\Phi_{\delta}.I_u$$

$$M = K_M.\Phi_{\delta}.I_u [N.m] = \frac{1}{9.81}.K_M.\Phi_{\delta}.I_u [kg.m] \quad (5.2)$$

với $K_M = \frac{p.N}{2\pi a}$ là hệ số $\in$ kết cấu máy và dây quấn

Ở máy phát điện $M \uparrow \downarrow n$ nên mômen điện từ M là mômen hãm. Ở động cơ điện $M \uparrow \uparrow n$ nên mômen điện từ là mômen quay.

- Công suất điện từ là:

$$P_{dt} = M \cdot \omega = \frac{p \cdot N}{2\pi a} \cdot \Phi_{\delta} \cdot I_u \cdot \frac{2\pi n}{60} = \frac{p \cdot N}{60a} \cdot n \cdot \Phi_{\delta} \cdot I_u$$

hay $P_{dt} = E_u \cdot I_u$ [W] (5.3)

Quan hệ P_{dt} với M và sự trao đổi năng lượng trong máy. Đối với MFđ P_{dt} công suất cơ $M\omega$ thành công suất điện từ $E_u I_u$. Ngược lại trong động cơ điện công suất điện từ chuyển công suất điện $E_u I_u$ thành công suất cơ $M\omega$.

S6. QUÁ TRÌNH NĂNG LƯỢNG VÀ CÁC PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG

1. Tổn hao trong máy điện một chiều

a) *Tổn hao cơ* P_{Cg} : Chủ yếu do ma sát ở ổ bi, chổi than với vành góp, thông gió, phụ thuộc vào tốc độ rôto và làm cho ổ bi, vành góp nóng lên.

b) *Tổn hao sắt* P_{Fe} : Do từ trễ và dòng điện xoáy trong lõi thép tỉ lệ với $f^{1,2 \div 1,6}$ và B^2 .

$$\text{Tổn hao không tải: } P_0 = P_{Co} + P_{Fe} \quad (6.1)$$

$$\text{Mômen không tải: } M_0 = \frac{P_0}{\omega} \quad (6.2)$$

c) *Tổn hao đồng* P_{Cu} :

$$P_{Cu} = P_{Cu,u} + P_{Cu,t} = R_u \cdot I_u^2 + U_t \cdot I_t \quad (6.3)$$

$$\text{với } R_u = r_u + r_f + r_{tx}$$

d) *Tổn hao phụ* P_f : Tổn hao phụ bao gồm

Tổn hao phụ trong thép do từ trường phân bố không đều trên bề mặt phần ứng, bulông ốc vít, răng rãnh làm sinh ra từ trường đập mạch.

Tổn hao phụ trong đồng do quá trình đổi chiều dòng điện phân bố không đều trên chổi than làm tăng P_{tx} và từ trường phân bố không đều làm sinh ra dòng điện xoáy tổn hao ở dây nối cân bằng.

Thường lấy $P_f = 1\% P_{dm}$.

2. Quá trình năng lượng và các phương trình cân bằng

a) *Máy phát điện*:

- Máy phát nhận công suất cơ P_1 , tiêu hao một phần P_{Cg} và P_{Fe} còn lại biến thành P_{dt} .

$$P_{dt} = P_1 - P_0 \quad (6.4)$$

- Khi có dòng điện trong dây dẫn thì có tổn hao đồng, công suất điện đưa ra P_2 bằng:

$$P_2 = P_{dt} - P_{Cu} = E_u I_u - R_u I_u^2 = U \cdot I_u \quad (6.5)$$

Chia hai vế cho I_u ta được phương trình cân bằng sức điện động là:

$$U = E_u - R_u I_u \quad (6.6)$$

$$\text{từ (1)} \rightarrow M_1 \omega = M_0 \omega + M \omega$$

$$M_1 = M_0 + M \quad : \text{phương trình cân bằng mômen}$$

b) *Động cơ điện*:

Ta có các phương trình cân bằng:

$$P_{dt} = P_1 - P_{Cu.u} - P_{Cu.t} \quad (6.7)$$

$$P_2 = P_{dt} - P_0 \quad (6.8)$$

$$UI_u = P_{dt} + P_{Cu.u} = E_u I_u + R_u I_u^2$$

$$U = E_u + R_u I_u \quad : \text{phương trình cân bằng sức điện động} \quad (6.9)$$

$$M\omega = M_0\omega + M_2\omega$$

$$M = M_0 + M_2 \quad : \text{phương trình mômen động cơ điện một chiều} \quad (6.10)$$

§7. PHƯƠNG PHÁP KÍCH TỪ

1. Kích từ độc lập

- Dùng nam châm vĩnh cửu: Công suất nhỏ.
- Dùng nguồn điện kích từ riêng: Ac quy, nguồn điện DC do chỉnh lưu, máy phát điện 1 chiều phụ (công suất lớn)

$$- I_t = \frac{U_t}{R_{dc} + R_t} \text{ thay đổi} \rightarrow \Phi \text{ thay đổi} \rightarrow E \text{ thay đổi}$$

2. Phương pháp tự kích

a) Kích từ song song

- Máy phát: $I = I_u - I_t$
- Động cơ: $I = I_u + I_t$
- $I_{kt} = \frac{U}{R_t + R_{dc}}$ thay đổi $\in U, R_{dc}$

b) Kích từ nối tiếp

Ta có: $I_t = I_u = I$

Chỉ dùng cho động cơ ở chế độ máy phát yêu cầu $U = \text{const}$ khi I thay đổi. Mà khi I thay đổi $\rightarrow I_t$ thay đổi $\rightarrow \Phi$ thay đổi $\rightarrow E$ thay đổi $\rightarrow U$ không ổn định.

- Tổn hao kích từ lớn

c) Kích từ hỗn hợp

Gồm có:

- + Hỗn hợp cộng $\Phi_{\text{tnt}} \uparrow \uparrow \Phi_{\text{t//}}$
- + Hỗn hợp trừ $\Phi_{\text{tnt}} \uparrow \downarrow \Phi_{\text{t//}}$

§8. MÁY PHÁT ĐIỆN MỘT CHIỀU

1. Phân loại

Dựa vào phương pháp kích từ:

- + Máy phát điện một chiều kích từ độc lập
- + Máy phát điện một chiều kích từ song song
- + Máy phát điện một chiều kích từ nối tiếp
- + Máy phát điện một chiều kích từ hỗn hợp

2. Các đặc tính của máy phát điện một chiều

a) Đặc tính không tải:

$$U_0 = E_0 = f(I_t) \text{ khi } I = 0, n = \text{const}$$

b) Đặc tính ngoài:

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

* *Kích từ độc lập:*

$$\text{Ta có: } U = E_u - I.R_u$$

Khi I tăng thì điện áp rơi trên dây quấn phần ứng $I.R_u$ tăng, phản ứng phần ứng tăng nên $E_u \downarrow$ giảm $\rightarrow U \downarrow$.

$$\text{- Độ biến đổi điện áp định mức là: } \Delta U_{dm} \% = \frac{U_0 - U_{dm}}{U_{dm}} \cdot 100\% = 5 \div 15\%$$

* *Kích từ song song:*

$$\text{Khi } I \uparrow \text{ thì } U \downarrow \text{ nhiều hơn vì ngoài việc } I.R_u \uparrow, E \downarrow \text{ thì khi } U \downarrow \rightarrow I_{kt} = \frac{U}{R_t + R_{dc}} \downarrow$$

$$\rightarrow \Phi \downarrow \rightarrow E \downarrow \text{ nhiều hơn. } \Delta U_{dm} \% = 10 \div 12\%$$

* *Kích từ nối tiếp:*

$$\text{Vì } I_t = I_u = I \text{ nên khi } I \uparrow \text{ thì } I_t \uparrow \rightarrow \Phi \uparrow \rightarrow E_u \uparrow \rightarrow U = E_u - I.R_u \uparrow.$$

* *Kích từ hỗn hợp:*

- + Khi nối thuận hai cuộn kích từ thì U hầu như không đổi.
- + Khi bù thừa thì $E_u \uparrow$ nhanh $\rightarrow U$ tăng khi tải tăng.
- + Khi bù thiếu $\rightarrow E_u \downarrow$ nhanh $\rightarrow U \downarrow$ giảm nhanh hơn kích từ song song.

c) *Đặc tính điều chỉnh*

$$I_t = f(I_u) \text{ khi } U = \text{const}, n = \text{const}$$

* *Kích từ độc lập*

$$\text{Ta có: } U = E_u - I.R_u$$

Khi I tăng, muốn U không đổi ta phải tăng dòng điện kích từ $I_t \rightarrow \Phi \uparrow \rightarrow E_u \uparrow$ để bù lại $I.R_u \uparrow$ và phản ứng phần ứng.

* *Kích từ song song*

Khi I tăng thì U giảm nhiều, để $U = \text{const}$ thì phải tăng I_t nhiều hơn kích từ độc lập.

* *Kích từ hỗn hợp*

- + Khi nối thuận U giảm ít nên I_t tăng ít
- + Khi nối bù thừa U tăng lên nên I_t giảm
- + Khi nối bù thiếu U giảm nhiều nên I_t tăng nhanh

d) *Đặc tính ngắn mạch*

$$I = f(I_t) \text{ khi } U = 0, n = \text{const}$$

Dùng với máy kích từ độc lập.

Khi ngắn mạch: $U = 0 \rightarrow E_u = I_u.R_u$, do R_u rất nhỏ $\rightarrow E_u$ rất nhỏ để $I = 1,25 \div 1,5 I_{dm} \rightarrow I_t \rightarrow$ mạch từ không bão hòa, $E_u \equiv I_t$, $I \equiv I_t$ và đặc tuyến có dạng đường thẳng.

3. Máy phát điện một chiều làm việc song song

Điều kiện máy phát điện một chiều làm việc song song:

- + Cùng cực tính
- + Sức điện động E của máy phải bằng U thanh góp.
- + Đối với máy kích từ hỗn hợp thì phải nối dây cân bằng.

Giải thích:

- Nếu không thỏa điều kiện 1 sẽ gây nên ngắn mạch 2 máy.
- Nếu $E > U$ máy sẽ nhận tải đột ngột làm điện áp lưới thay đổi. $E < U$ máy sẽ làm việc ở chế độ động cơ.
- Nếu không có dây cân bằng thì giả sử $n_1 \uparrow$ thì $E_1 \uparrow$ và $I_1 \uparrow \rightarrow E_1 \uparrow$ nhanh $\rightarrow$ Máy I nhận hết tải $\rightarrow$ quá tải máy II chuyển thành động cơ. Nếu có dây cân bằng thì làm cho sức điện động máy tăng đều.

§9. ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU

1. Phân loại

Dựa vào phương pháp kích từ:

- + Động cơ điện kích từ độc lập: $I = I_u$
- + Động cơ điện kích từ song song $I = I_u + I_t$
- + Động cơ điện kích từ nối tiếp $I = I_u = I_t$
- + Động cơ điện kích từ hỗn hợp $I = I_u + I_t$

2. Mở máy động cơ điện một chiều

* *Các yêu cầu khi mở máy:*

- Mômen mở máy M_k có giá trị lớn nhất để hoàn thành quá trình mở máy.
- Dòng điện mở máy I_k được hạn chế đến mức nhỏ nhất để dây quấn khỏi bị cháy hoặc ảnh hưởng xấu đến đôi chiều.

* *Các phương pháp mở máy:*

a) *Mở máy trực tiếp:*

Theo phương pháp này khi cần mở máy ta chỉ việc đóng thẳng động cơ vào lưới.

$$\text{ta có: } U = E_u + I_u \cdot R_u \rightarrow I_u = \frac{U - E_u}{R_u} \quad (9.1)$$

khi mở máy $n = 0 \rightarrow E_u = K_e \cdot n \cdot \Phi = 0 \rightarrow I_{umm} \equiv \frac{U}{R_u} = (5 \div 10) I_{dm}$ làm hỏng cổ góp và chổi than. Nên dùng mở máy cho động cơ công suất nhỏ khoảng vài trăm 100W. Vì với các động cơ này R_u tương đối lớn.

b) *Mở máy biến trở:*

- Mặc biến trở mở máy vào mạch phản ứng, thì dòng điện mở máy là :

$$I_{umm} = \frac{U}{R_u + R_m} \quad (9.2)$$

- Lúc mở máy biến trở R_m lớn nhất, trong quá trình mở máy $n \uparrow \rightarrow E_u \uparrow \rightarrow I_u \downarrow \rightarrow M \downarrow \rightarrow$ tốc độ tăng chậm dần, ta tiếp tục giảm R_m sau đó M, I_u lại giảm, ta giảm dần R_m đến không, máy làm việc định mức.

c) *Giảm điện áp vào phản ứng*

Sử dụng khi có nguồn điện một chiều có thể chỉnh điện áp (hệ thống máy phát – động cơ) hoặc nguồn 1 chiều chỉnh lưu. Khi đó mạch kích từ đặt dưới điện áp $U_t = U_{dm}$ của nguồn khác $\rightarrow$ phương pháp này dùng cho các động cơ công suất lớn kết hợp với việc thay đổi n nhờ thay đổi U_t .

3. Đặc tính cơ $n = f(M)$ và điều chỉnh tốc độ của động cơ điện một chiều

$$\text{ta có: } E = K_e \cdot n \cdot \Phi \rightarrow n = \frac{E}{K_e \cdot \Phi} = \frac{U - R_u I_u}{K_e \cdot \Phi}$$

$$n = \frac{U}{K_e \cdot \Phi} - \frac{R_u I_u}{K_e \cdot \Phi}$$

$$\text{vì } M = K_M \cdot \Phi \cdot I_u \rightarrow n = \frac{U}{K_e \cdot \Phi} - \frac{R_u \cdot M}{K_M \cdot K_e \cdot \Phi^2} \quad (9.3)$$

- Giả sử đặc tính cơ của tải $M_C = f(n)$ thì điều kiện làm việc ổn định của động cơ là $\frac{dM}{dn} < \frac{dM_C}{dn}$, ngược lại điều kiện không ổn định là $\frac{dM}{dn} > \frac{dM_C}{dn}$.

a) Động cơ điện kích từ song song hay kích từ độc lập

- Với điều kiện $U = \text{const}$, $I_t = \text{const}$ khi M (hoặc I_u) thay đổi $\rightarrow \Phi = \text{const}$.

$$n = n_0 - \frac{R_u \cdot M}{K} \quad (9.4)$$

do R_u rất nhỏ, $M = 0 \div M_{dm}$ thì n thay đổi rất ít $\rightarrow$ được dùng trong trường hợp n hầu như không đổi khi tải thay đổi (máy cắt kim loại,...).

i) Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi từ thông Φ

Nếu tăng điện trở R_{dc} trên mạch kích từ thì $I_t \searrow \rightarrow \Phi \searrow \rightarrow n \nearrow$ và đặc tính cơ được nâng lên.

ii) Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện trở phụ R_f trên mạch phản ứng

$$\text{Ta được: } n = n_0 - \frac{(R_u + R_f) \cdot M}{K}$$

- R_f càng lớn $\rightarrow$ đặc tính cơ càng dốc và càng mềm hơn.

iii) Điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi điện áp

Khi $U \searrow \rightarrow n \searrow$, khi $U \nearrow \rightarrow n \nearrow$ nhưng vì U không được vượt quá U_{dm} nên $n > n_{dm}$ được điều chỉnh trong phạm vi hẹp.

b) Động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp

Vì $I_t = I_u = I \rightarrow \Phi = K_\Phi \cdot I$: chưa bão hòa

$$M = K_M \cdot \Phi \cdot I_u = K_M \cdot \frac{\Phi^2}{K_\Phi} \rightarrow \Phi = \frac{\sqrt{K_\Phi} \cdot \sqrt{M}}{\sqrt{K_M}} \quad \text{thế vào (9.3) ta được:}$$

$$n = \frac{\sqrt{K_M} \cdot U}{K_e \sqrt{K_\Phi} \sqrt{M}} - \frac{R_u}{K_e \cdot K_\Phi} \quad (9.5)$$

Nếu bỏ qua R_u thì: $n = \frac{C}{\sqrt{M}} \rightarrow M = \frac{C'}{n^2}$: hypebol

$\rightarrow$ Đặc tính cơ mềm

- Chú ý không cho máy làm việc ở chế độ không tải $M=0 \rightarrow n$ rất lớn $\rightarrow$ hư hỏng cơ học.

i) Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi từ thông Φ

Hai sơ đồ a, b $I_t = K.I$ trong đó:

$$K = \frac{R_{st}}{R_t + R_{st}} < 1 \quad \text{hoặc} \quad K = \frac{W_t'}{W_t} < 1 \quad \text{lúc đó ta được:}$$

$$n = \frac{\sqrt{K_M} \cdot U}{K_e \sqrt{K \cdot K_\Phi} \sqrt{M}} - \frac{R_u}{K_e \cdot K \cdot K_\Phi} \approx \frac{C}{\sqrt{M}} : \text{ hypebol} \quad (9.6)$$

Do chỉ điều chỉnh $\Phi < \Phi_{dm} \rightarrow$ tốc độ thay đổi được trong vùng trên định mức (đường 2).

- Sơ đồ c) mắc shunt phần ứng làm cho tổng trở toàn mạch giảm $\rightarrow I = I_t \nearrow$ và $\Phi \nearrow \rightarrow n \searrow$ có dạng đường cong 3 ($n < n_{dm}$).

ii) Điều chỉnh tốc độ bằng cách thêm điện trở phụ R_f trên mạch phần ứng

Khi thêm điện trở phụ R_f vào mạch phần ứng ta được:

$$n = \frac{\sqrt{K_M} \cdot U}{K_e \sqrt{K_\Phi} \sqrt{M}} - \frac{(R_f + R_u)}{K_e \cdot K_\Phi} \quad (9.7)$$

Khi $R_f \nearrow \rightarrow n \searrow$ ($n < n_{dm}$), tăng tổn hao trên điện trở phụ $R_f \rightarrow$ hiệu suất giảm $\rightarrow$ đặc tính cơ trên hình 4, 5.

iii) Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện áp

Vì chỉ điều chỉnh $U < U_{dm} \rightarrow n < n_{dm}$ (đường 6)

c) Động cơ điện một chiều kích từ hỗn hợp

Đặc tính cơ mang tính trung gian giữa động cơ kích từ song song và kích từ nối tiếp.

Áp dụng các phương pháp điều chỉnh tốc độ của động cơ kích từ song song hay nối tiếp.

4. Đặc tính làm việc của động cơ điện một chiều

a) Đặc tính tốc độ

$$n = f(I_u) \text{ khi } U = U_{dm} = \text{const}$$

ta có: $n = \frac{U}{K \cdot \Phi} - \frac{R_u \cdot I_u}{K_e \cdot \Phi}$ và vì $M = K_M \cdot \Phi \cdot I_u$ nên đặc tính tốc độ giống đặc tính cơ.

b) Đặc tính mômen

$$M = f(I_u) \text{ khi } U = U_{dm} = \text{const}$$

$$\text{ta có: } M = K_M \cdot \Phi \cdot I_u$$

* Kích từ // : $\Phi = \text{const} \rightarrow M \equiv I_u \rightarrow M = f(I_u)$ là đường thẳng

* Kích từ nối tiếp: $\Phi \equiv I_u \rightarrow M \equiv I_u^2 \rightarrow M = f(I_u)$ là parabol

* Kích từ hỗn hợp: $I_u \nearrow \rightarrow \Phi \nearrow$ nhưng chậm hơn kích từ nối tiếp $\rightarrow$ đặc tính mômen là trung gian giữa kích từ // và kích từ nối tiếp.

c) Đặc tính hiệu suất

$$\eta = f(I_u) \text{ khi } U = U_{dm} = \text{const}$$

$$\eta = \eta_{\max} \text{ khi } \Delta P_0 = \Delta P_{Cu}$$

$$I_r = 0,75 I_{dm}$$

Thường $\eta = 75 \div 85\%$: công suất nhỏ

$\eta = 85 \div 95\%$: công suất lớn

Ví dụ 1:

Một máy phát điện DC kích từ song song, công suất định mức $P_{dm} = 25\text{kW}$, điện áp định mức $U_{dm} = 115\text{V}$, có các thông số sau: điện trở dây quấn kích từ song song $R_{kt} = 12,5\Omega$; điện trở dây quấn phần ứng $R_r = 0,0238\Omega$; số đôi nhánh $a = 2$; số đôi cực từ $p = 2$; số thanh dẫn $N = 300$; tốc độ quay $n = 1300\text{v/p}$.

a) Xác định sức điện động E_r , từ thông Φ .

b) Giả sử dòng điện kích từ không đổi, bỏ qua phản ứng phần ứng. Hãy xác định điện áp đầu cực máy khi dòng điện giảm xuống $I = 80,8\text{A}$.

Ví dụ 2:

Một máy phát điện một chiều kích từ song song, điện áp định mức $U_{dm} = 115\text{V}$; cung cấp dòng điện $I_t = 98,3\text{A}$ cho tải. Điện trở phần ứng $R_r = 0,0735\Omega$, điện trở dây quấn kích từ song song $R_{kt} = 19\Omega$. Tổn hao cơ, sắt từ và phụ bằng 4% công suất điện.

a) Xác định sức điện động E_r và hiệu suất η của máy ở chế độ tải trên.

b) Tính dòng điện ngắn mạch khi ngắn mạch hai đầu cực máy phát. Cho biết từ thông dư bằng 3% từ thông của máy ở chế độ tải trên và tốc độ máy không đổi.

Ví dụ 3:

Một máy phát điện một chiều kích từ hỗn hợp, công suất định mức $P_{dm} = 20\text{ kW}$, điện áp định mức 230 V . Điện trở mạch kích từ song song $R_{ktss} = 71,87\ \Omega$, điện trở dây quấn phần ứng $R_r = 0,098\ \Omega$, điện trở dây quấn kích từ nối tiếp $R_{knt} = 0,04\ \Omega$, tổn hao cơ, sắt, từ, phụ bằng 4% công suất định mức. Xác định sức điện động E_r .

Ví dụ 4:

Một động cơ điện một chiều công suất định mức $P_{dm} = 1,5\text{ kW}$, điện áp định mức $U_{dm} = 220\text{ V}$; hiệu suất $\eta = 0,82$; tốc độ $n = 1500\text{v/p}$. Tính momen định mức, tổng tổn hao trong máy, dòng điện định mức.

Ví dụ 5:

Một động cơ điện một chiều kích từ hỗn hợp, điện áp định mức $U_{dm} = 220\text{ V}$; dòng điện định mức $I_{dm} = 502\text{ A}$, hiệu suất định mức $\eta = 0,905$; điện trở dây quấn kích từ song song $R_{ktss} = 50\ \Omega$; tổn hao cơ, sắt từ và phụ là 4136 W . Tính công suất điện động cơ tiêu thụ, công suất định mức động cơ, tổng tổn hao trên các điện trở phần ứng, điện trở kích từ nối tiếp và dây quấn cực từ phụ.

Ví dụ 6:

Một động cơ điện một chiều kích từ hỗn hợp, điện áp định mức $U_{dm} = 220$ V; dòng điện định mức $I_{dm} = 94$ A, điện trở dây quấn kích từ song song $R_{ktss} = 338$ Ω ; điện trở dây quấn phần ứng và kích từ nối tiếp $R_r + R_{nt} = 0,17$ Ω , số đôi nhánh $a = 1$, số đôi cực từ $p = 2$, số thanh dẫn $N = 372$, tốc độ $n = 1100$ v/p. Tính sức điện động E_u , từ thông Φ , công suất điện từ, momen điện từ.

Ví dụ 7:

Một động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp, điện áp định mức $U_{dm} = 110$ V; dòng điện định mức $I_{dm} = 26,6$ A, điện trở phần ứng và dây quấn kích từ nối tiếp $R_r + R_{nt} = 0,282$ Ω . Tính dòng điện mở máy trực tiếp. Tính điện trở mở máy để dòng điện mở máy bằng 2 lần dòng điện định mức.

Ví dụ 8:

Một động cơ điện một chiều kích từ song song, công suất định mức $P_{dm} = 10$ kW, điện áp định mức $U_{dm} = 220$ V; hiệu suất $\eta = 0,86$, tốc độ định mức $n = 2250$ v/p, dòng điện kích từ định mức $I_{kt} = 2,26$ A, điện trở phần ứng $R_r = 0,178$ Ω . Tính dòng điện mở máy trực tiếp. Để giảm dòng điện mở máy xuống bằng 2 lần dòng điện định mức, tính điện trở mở máy R_{mm} .

Ví dụ 9:

Một động cơ điện một chiều kích từ song song, công suất định mức $P_{dm} = 12$ kW, điện áp định mức $U_{dm} = 220$ V; tốc độ định mức $n_{dm} = 685$ v/p, dòng điện định mức $I_{dm} = 64$ A, dòng điện kích từ định mức $I_{ktdm} = 2$ A, điện trở phần ứng $R_r = 0,281$ Ω . Động cơ kéo tải có momen cản không đổi. Để giảm tốc độ động cơ người ta dùng hai phương pháp sau:

- Thêm điện trở phụ $R_p = 0,7$ Ω vào mạch phần ứng. Tính tốc độ và hiệu suất của động cơ ở tình trạng này.
- Giảm điện áp đặt vào động cơ. Tính tốc độ và hiệu suất lúc $U = 176,6$ V. Có nhận xét gì về hiệu suất trong 2 phương pháp đã sử dụng.

Giả thiết bỏ qua tổn hao cơ, phụ và trong hai trường hợp trên giữ từ thông không thay đổi.

Ví dụ 10:

Một máy phát điện một chiều kích từ song song, công suất định mức $P_{dm} = 7,5 \text{ kW}$, điện áp định mức $U_{dm} = 230 \text{ V}$; tốc độ quay định mức $n_{dm} = 1450 \text{ v/p}$, điện trở mạch phần ứng $R_u = 0,54 \Omega$, điện trở mạch kích từ song song $R_{ktss} = 191,7 \Omega$, điện áp rơi trên chổi than 2 V .

Máy phát sử dụng ở chế độ động cơ $U = 220 \text{ V}$, quay với tốc độ $n = 1162 \text{ v/p}$ và hiệu suất $\eta = 0,825$. Xác định công suất điện động cơ tiêu thụ, công suất cơ hữu ích trên trục.

Bài 1.

Một động cơ một chiều kích từ song song có điện trở mạch ứng $R_{\text{ur}} = 0,5\Omega$, điện trở mạch kích từ $R_{\text{kt}} = 125\Omega$, tiêu thụ dòng tổng $I = 21\text{A}$ từ nguồn 125V . Tổn hao không tải là $P_0 = 200\text{W}$. Động cơ quay 1800v/p . Tính:

- Công suất điện từ.
- Công suất ra.
- Moment ra.
- Do tải tăng lên tốc độ $n = 1650\text{ v/p}$. Tính công suất điện từ và moment điện từ (dòng kích từ không đổi).

Bài 2.

Cho động cơ DC kích từ song song và có các thông số định mức: công suất $P_{\text{đm}} = 27\text{ kW}$, điện áp $U_{\text{đm}} = 220\text{V}$, hiệu suất $\eta_{\text{đm}} = 90\%$, điện trở dây quấn kích từ $R_{\text{kt}} = 100\Omega$, Điện trở dây quấn phần ứng $R_{\text{ur}} = 0,06\Omega$, tốc độ $n_{\text{đm}} = 900\text{v/p}$, số đôi mạch nhánh song song $a = 2$.

Ở chế độ định mức hãy xác định:

- Dòng điện tiêu thụ $I_{\text{đm}}$, dòng điện phần ứng $I_{\text{uđm}}$.
- Sức điện động phần ứng $E_{\text{uđm}}$, moment điện từ $M_{\text{đt}}$
- Tiết diện của dây quấn phần ứng khi biết mật độ dòng trên dây quấn là $J = 2,5\text{ A/mm}^2$.

Bài 3.

Một động cơ DC kích từ song song đang làm việc ở chế độ định mức: $14,5\text{ kW}$, 220V , 500 v/p , hiệu suất 85% , có điện trở mạch phần ứng $R_{\text{ur}} = 0,3\Omega$ và của mạch kích từ ($R_{\text{kt}} + R_{\text{đc}} = 96\Omega$). Hãy xác định các thông số:

Dòng điện động cơ tiêu thụ và sức điện động phần ứng?

Moment điện từ?

Nếu tăng điện trở $R_{\text{đc}}$ để từ thông mỗi cực từ giảm bớt 10% thì động cơ sẽ quay tải với tốc độ n là bao nhiêu?

Bài 4.

Động cơ điện DC kích từ song song khi làm việc định mức có: $P_{đm} = 35\text{kW}$, $U_{đm} = 240\text{V}$, $n_{đm} = 3000\text{v/p}$, dây quấn phần ứng có $R_r = 0,057\Omega$, dây quấn kích từ có $R_{kt} = 104\Omega$. Bỏ qua tổn hao không tải và ảnh hưởng của phản ứng phần ứng, hãy xác định:

Moment cơ M cơ đưa ra đầu trục.

Sức điện động cảm ứng $E_{uđm}$ và dòng phần ứng $I_{uđm}$.

Dòng điện tiêu thụ $I_{đm}$.

Hiệu suất $\eta_{đm}\%$.

Nếu thay tải bằng cánh quạt gió có đặc tính cơ $M = 10 \cdot 10^{-3} \cdot n^2$ (n tính bằng v/p) thì tốc độ quay n của động cơ là bao nhiêu.