

Chương 1. MÁY BIẾN ÁP

Trong phần này nội dung chủ yếu được đề cập đến nhằm giúp người đọc hiểu được cấu tạo và nguyên lý làm việc chung của máy biến áp, biết phương trình cân bằng áp, sơ đồ thay thế và các thông số kỹ thuật của máy biến áp.

Ngoài ra người đọc còn hiểu được phương pháp biến đổi điện áp ba pha và tổ nối dây của máy biến áp 3 pha.

1.1 Khái niệm chung

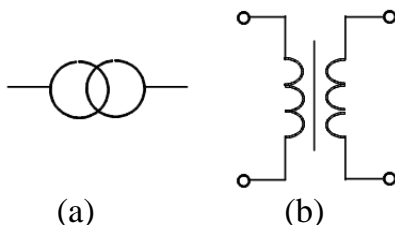
1.1.1. Định nghĩa máy biến áp

Máy biến áp là loại máy điện tĩnh, dùng để biến đổi điện áp của hệ thống điện xoay chiều nhưng vẫn giữ nguyên tần số của hệ thống.

Máy biến áp có 2 cửa: cửa nối với nguồn điện gọi là sơ cấp của máy biến áp, cửa nối với tải gọi là thứ cấp của máy biến áp.

Các đại lượng, thông số sơ cấp trong ký hiệu có ghi chỉ số 1: số vòng dây cuộn dây sơ cấp W_1 , điện áp sơ cấp: U_1 , dòng điện sơ cấp: I_1 , công suất ở sơ cấp: S_1, P_1

Các đại lượng, thông số thứ cấp trong ký hiệu có ghi chỉ số 2: số vòng dây cuộn dây thứ cấp W_2 , điện áp sơ cấp: U_2 , dòng điện sơ cấp: I_2 , công suất ở sơ cấp: S_2, P_2 . Ký hiệu của máy biến áp và sơ đồ nguyên lý của máy biến áp một pha như hình 1.1.



Hình 1.1. Ký hiệu (a) và sơ đồ nguyên lý (b) của máy biến áp một pha

Máy biến áp có vai trò quan trọng trong hệ thống điện. Có 2 dạng máy biến áp chính:

Máy biến áp điện lực được dùng trong hệ thống truyền tải và phân phối điện năng, làm nhiệm vụ: nâng điện áp đầu ra máy phát điện (thường từ 6,3 đến 38,5 kV) lên mức điện áp của đường dây truyền tải (thường là 35, 110, 220 và 500 kV) và hạ điện áp đường dây xuống mức điện áp cung cấp cho các tải (thường có các mức 3kV hoặc 6kV và 110V đến 500V).

Máy biến áp chuyên dùng được dùng trong các thiết bị: xe điện, lò điện, hàn điện, đo lường v.v...

1.1.2. Các lượng định mức của máy biến áp

Các lượng định mức của máy biến áp là các thông số kỹ thuật của máy do nhà sản xuất máy qui định.

- *Điện áp định mức sơ cấp*, Ký hiệu U_{1dm} là điện áp qui định cho cuộn dây sơ cấp.

- *Điện áp định mức thứ cấp*, Ký hiệu U_{2dm} là điện áp giữa các cực của cuộn thứ cấp khi thứ cấp hở mạch và điện áp sơ cấp là định mức. Theo qui ước, với máy biến áp 1 pha, điện áp định mức là điện áp pha; Với máy biến áp 3 pha điện áp định mức là điện áp dây. Đơn vị của điện áp ghi trên máy biến áp thường là kV.

- *Dòng điện định mức* là dòng điện qui định cho mỗi cuộn dây của máy biến áp ứng với công suất định mức và điện áp định mức. Theo qui ước, với máy biến áp 1 pha, dòng điện định mức là dòng điện pha. Với máy biến áp 3 pha dòng điện định mức là dòng điện dây. Dòng điện định mức sơ cấp, ký hiệu là I_{1dm} , dòng điện định mức thứ cấp, ký hiệu là I_{2dm} . Đơn vị dòng điện ghi trên máy biến áp thường là A.

- *Công suất định mức*, ký hiệu S_{dm} (đơn vị đo kVA), là công suất biểu kiến đưa

ra ở cuộn dây thứ cấp máy biến áp khi điện áp, dòng điện máy biến áp ở định mức.

Đối với máy biến áp 1 pha, công suất định mức là:

$$S_{đm} = U_{2đm} \cdot I_{2đm} \approx U_{1đm} \cdot I_{1đm} \quad (1.1)$$

Đối với máy biến áp 3 pha, công suất định mức là:

$$S_{đm} = \sqrt{3} U_{2đm} \cdot I_{2đm} \approx \sqrt{3} U_{1đm} \cdot I_{1đm} \quad (1.2)$$

Ngoài ra trên nhãn máy biến áp còn ghi tần số, số pha, sơ đồ nối dây và tổ nối dây, điện áp ngắn mạch, chế độ làm việc... của máy.

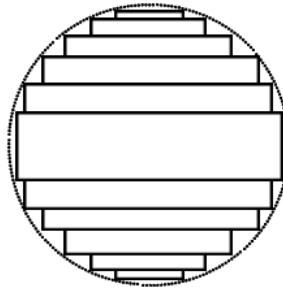
1.2. Cấu tạo của máy biến áp

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

1.2.1. Lõi thép

Lõi thép máy biến áp dùng để dẫn từ thông chính của máy. Để giảm dòng điện xoáy trong lõi thép, người ta ghép lõi thép bằng các lá thép kỹ thuật điện.

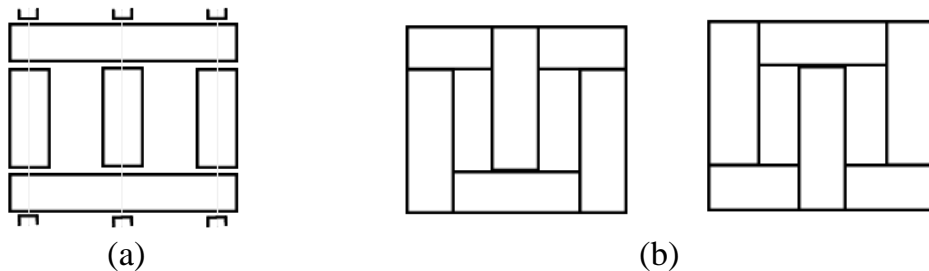
Phần lõi thép có lồng cuộn dây gọi là trụ của lõi thép. Phần lõi thép nối các trụ với nhau thành mạch từ khép kín gọi là gông của lõi thép. Tiết diện của gông có dạng hình chữ nhật.



Hình 1.2. Tiết diện trụ lõi thép của máy biến áp

Tiết diện của trụ, đối với máy biến áp công suất nhỏ thì có dạng hình chữ nhật. Đối với máy biến áp công suất lớn thì có dạng hình bậc thang như hình 1.2.

Gông và trụ có thể ghép với nhau theo phương pháp ghép nối hay ghép xen kẽ. Ghép nối thì trụ và gông ghép riêng, sau đó dùng xà ép và bu lông vít chặt lại như hình 1.3a.



Hình 1.3. Ghép nối giữa trụ và gông riêng (a) và xen kẽ (b)

Ghép xen kẽ thì toàn bộ lõi thép phải ghép đồng thời, các lá thép được xếp xen kẽ nhau theo thứ tự như mô tả ở hình 1.3b.

Để an toàn lõi thép được nối với vỏ và vỏ phải được nối đất.

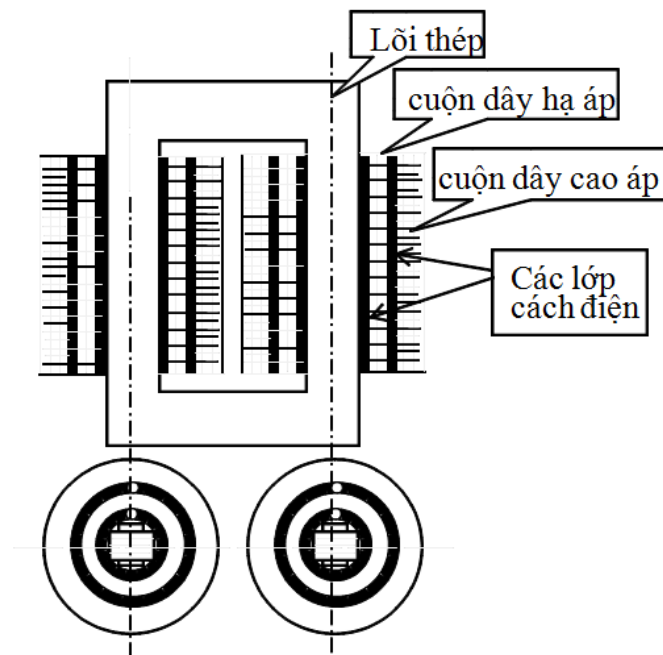
1.2.2. Dây quấn máy biến áp

Dây quấn máy biến áp thường được chế tạo bằng dây đồng hoặc nhôm, có tiết diện tròn hoặc chữ nhật, mặt ngoài dây có bọc lớp cách điện.

Mỗi cuộn dây của máy biến áp gồm 1 số vòng dây quấn thành 1 số lớp chồng lên nhau. Giữa các lớp dây của 1 cuộn dây. Giữa các cuộn dây với nhau và giữa cuộn dây với lõi thép đều có lớp cách điện.

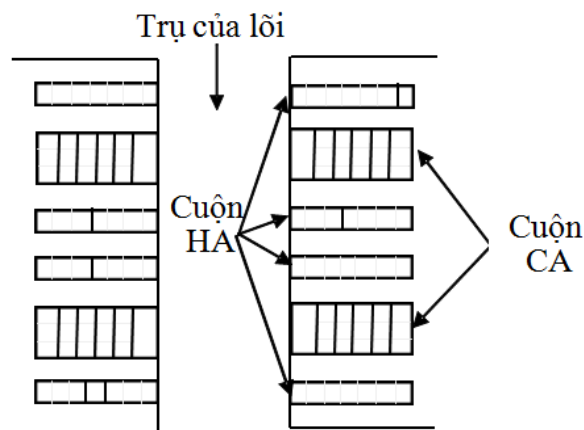
Một pha của máy biến áp thường có 2 cuộn dây, cuộn dây nối vào điện áp cao gọi là cuộn cao áp, cuộn dây nối vào điện áp thấp gọi là cuộn hạ áp. Khi cuộn cao áp và cuộn hạ áp cùng quấn trên 1 trụ trong kiểu dây quấn đồng tâm, thì cuộn hạ áp được

quấn sắt trụ, còn cuộn cao áp quấn ngoài cuộn hạ áp như hình 1.4. Làm như vậy sẽ giảm được vật liệu cách điện.



Hình 1.4. Dây quấn đồng tâm

Ngoài kiểu quấn dây đồng tâm còn có kiểu quấn dây xen kẽ, như biểu diễn trên hình 1.5. Trong kiểu quấn này, mỗi cuộn dây cao và hạ áp gồm một số bánh dây đặt xen kẽ nhau.



Hình 1.5. Dây quấn xen kẽ

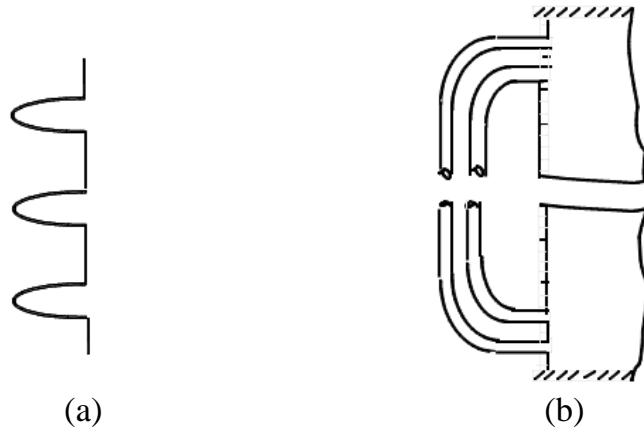
1.2.3. Vỏ máy biến áp

Vỏ máy biến áp gồm 2 phần: Thùng và nắp thùng:

Thùng máy biến áp: Thùng dùng để chứa máy biến áp và chứa dầu. Dầu máy biến áp dùng để tản nhiệt cho máy và tăng cường cách điện. Thùng máy làm bằng thép. Các máy công suất nhỏ ($\leq 30\text{KVA}$) thùng có vỏ tròn. Các máy công suất vừa và lớn, để tăng khả năng toả nhiệt, vỏ thùng được làm theo kiểu đập sóng hoặc được gắn các ống tản nhiệt hay bộ tản nhiệt như hình 1.6.

Nắp thùng: Nắp thùng dùng để đậy kín thùng và lắp các chi tiết như: Trụ sứ của các đầu dây cao áp và hạ áp (có nhiệm vụ cách điện giữa các đầu dây ra với vỏ máy). Bình giãn dầu: là 1 thùng hình trụ bằng thép, đặt trên nắp và nối thông với thùng máy biến áp bằng 1 ống. Ở 1 đầu của bình có gắn 1 ống chỉ mức dầu dùng để theo dõi mức

dầu bên trong. Bình giãn dầu tạo không gian cho dầu trong thùng máy biến áp giãn nở tự do, đảm bảo cho áp suất dầu không tăng và thùng luôn đầy dầu.



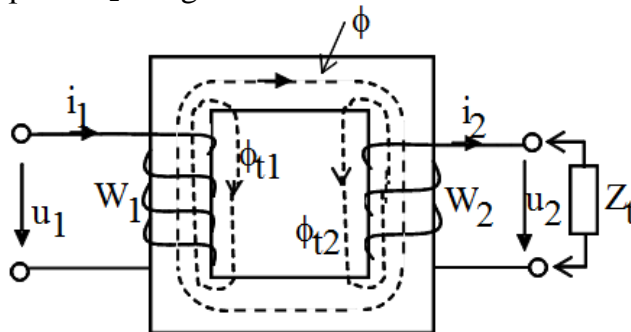
Hình 1.6. Vỏ thùng dập sóng (a), vỏ thùng có ống tản nhiệt (b)

Ống bảo hiểm: thường có dạng hình trụ, đặt nghiêng, một đầu thông với thùng máy biến áp, một đầu bịt kín bằng 1 đĩa thủy tinh. Khi áp suất trong thùng máy biến áp đột ngột tăng lên quá lớn, đĩa thủy tinh sẽ vỡ để dầu dầu thoát ra ngoài, máy biến áp sẽ không bị hỏng.

Bộ phận tuyến động của cầu dao đôi nối các đầu điều chỉnh điện áp của dây quấn cao áp.

1.3. Nguyên lý làm việc của máy biến áp 1 pha

Hình 1.7 là sơ đồ nguyên lý của máy biến áp 1 pha có 2 cuộn dây: cuộn sơ cấp có W_1 vòng, cuộn thứ cấp có W_2 vòng.



Hình 1.7. Sơ đồ nguyên lý của máy biến áp một pha

Khi ta nối cuộn sơ cấp W_1 vào nguồn điện xoay chiều có điện áp u_1 , tần số f , trong cuộn W_1 sẽ có dòng điện i_1 . Dòng điện i_1 sinh ra từ thông ϕ biến thiên chảy kín trong lõi thép xuyên qua cả 2 cuộn dây W_1 , W_2 và được gọi là từ thông chính.

Theo định luật cảm ứng điện từ, từ thông biến thiên ϕ sẽ làm cảm ứng trong cuộn dây sơ cấp sức điện động:

$$e_1 = -W_1 \frac{d\phi}{dt} \quad (1.3)$$

và trong cuộn dây sơ cấp sức điện động:

$$e_2 = -W_2 \frac{d\phi}{dt} \quad (1.4)$$

Khi máy biến áp không tải (cuộn thứ cấp hở mạch), dòng điện thứ cấp $i_2 = 0$, từ thông chính chỉ do dòng điện sơ cấp i_1 sinh ra. Khi máy biến áp có tải, cuộn thứ cấp của máy được nối với tải có trở kháng Z_t , sức điện động e_2 sẽ tạo ra dòng điện thứ cấp i_2 chảy qua tải và cuộn W_2 . Cuộn W_2 cũng sinh ra từ thông chảy trong lõi thép và từ thông chính lúc này do đồng thời 2 dòng điện i_1 và i_2 sinh ra.

Điện áp u_1 là hình sin nên từ thông ϕ cũng biến thiên hình sin: $\phi = \phi_{\max} \sin \omega t$ thế

vào (1.3), (1.4) ta có:

$$e_1 = -W_1 \frac{d\phi}{dt} = -W_1 \frac{d}{dt}(\phi_m \sin \omega t) = 4,44.f.W_1.\phi_m \sqrt{2} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) = E_1 \sqrt{2} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

$$e_2 = -W_2 \frac{d\phi}{dt} = -W_2 \frac{d}{dt}(\phi_m \sin \omega t) = 4,44.f.W_2.\phi_m \sqrt{2} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) = E_2 \sqrt{2} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

Trong đó: $E_1 = 4,44.f.W_1.\phi_m$

$$E_1 = 4,44.f.W_1.\phi_m \quad (1.5)$$

E_1, E_2 trong biểu thức (1.5) là giá trị hiệu dụng của sức điện động cuộn dây sơ cấp và thứ cấp máy biến áp. Biểu thức của e_1, e_2 cho thấy các sức điện động này có cùng tần số ω nhưng khác nhau về trị hiệu dụng.

$$\text{Tỷ số: } \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2} = K \quad (1.6)$$

Trong đó K được gọi là hệ số máy biến áp.

Nếu bỏ qua điện trở dây quấn và từ thông tản ra ngoài lõi thép, sẽ có các quan hệ gần đúng $U_1 \approx E_1, U_2 \approx E_2$, và có:

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2} = K \quad (1.7)$$

Nghĩa là tỷ số điện áp giữa sơ cấp và thứ cấp biến áp gần đúng bằng tỷ số vòng dây của 2 cuộn.

Nếu bỏ qua tổn hao trong máy biến áp, sẽ có quan hệ gần đúng:

$$U_1 I_1 \approx U_2 I_2$$

$$\text{Hay: } \frac{U_1}{U_2} \approx \frac{I_2}{I_1} \approx K \quad (1.8)$$

Như vậy, trong máy biến áp, giữa cuộn dây sơ cấp và thứ cấp không có sự liên tục về điện, năng lượng được truyền từ sơ cấp sang thứ cấp nhờ từ thông chính trong lõi thép.

1.4. Phương trình cân bằng điện và từ của máy biến áp

Để viết hệ phương trình, ta chọn chiều dòng điện, điện áp ở sơ cấp và thứ cấp biến áp như hình 7. Theo qui tắc vặn nút chai, chiều từ thông ϕ phù hợp với chiều i_1 , chiều e_1, e_2 phù hợp với chiều ϕ . Chiều i_2 được chọn ngược chiều e_2 , do đó chiều từ thông do i_2 sinh ra ngược chiều ϕ .

Trong máy biến áp, ngoài từ thông chính ϕ chạy trong lõi thép còn có các từ thông tản của các cuộn dây, định nghĩa như sau:

- Từ thông tản móc vòng cuộn dây sơ cấp, ký hiệu ψ_{t1} là từ thông do cuộn sơ cấp W_1 sinh ra và chỉ móc vòng riêng cuộn sơ cấp.

- Từ thông tản móc vòng cuộn dây thứ cấp, ký hiệu ψ_{t2} là từ thông do cuộn thứ cấp W_2 sinh ra và chỉ móc vòng riêng cuộn thứ cấp.

Đường đi của từ thông tản có nhưng đoạn ở ngoài lõi thép, có từ trở lớn, nên từ thông tản rất nhỏ so với từ thông chính.

Từ thông tản sơ cấp ψ_{t1} sinh ra trong cuộn W_1 sức điện động cảm ứng e_{t1}

$$e_{t1} = -\frac{d\psi_{t1}}{dt} = -L_1 \frac{di_1}{dt} \quad (1.9)$$

Trong đó: $L_1 = \frac{\Psi_{t1}}{i_1}$ gọi là điện cảm tản sơ cấp.

Từ thông tản sơ cấp ψ_{t2} sinh ra trong cuộn W_2 sức điện động cảm ứng e_{t2}

$$e_{i_2} = -\frac{d\Psi_{i_2}}{dt} = -L_2 \frac{di_2}{dt} \quad (1.10)$$

Trong đó: $L_2 = \frac{\Psi_{i_2}}{i_2}$ gọi là điện cảm tản thứ cấp.

1.4.1. Phương trình cân bằng điện sơ cấp

Trong mạch vòng sơ cấp có các điện áp và sức điện động: điện áp u_1 , điện áp trên điện trở dây quấn sơ cấp (r_1) là $i_1 r_1$, sức điện động do từ thông chính sinh ra e_1 , sức điện động do từ thông tản sơ cấp sinh ra $e_{i_1} = -L_1 \frac{di_1}{dt}$. Phương trình theo luật Kirhoff 2 viết cho mạch vòng sơ cấp là:

$$r_1 i_1 - u_1 = e_1 + e_{i_1} = e_1 - L_1 \frac{di_1}{dt}$$

Hay:
$$u_1 = r_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} - e_1$$

Viết dưới dạng phức:
$$\dot{U}_1 = r_1 \dot{I}_1 + jX_{L1} \dot{I}_1 - \dot{E}_1 = Z_1 \dot{I}_1 - \dot{E}_1 \quad (1.11)$$

Trong đó: $X_{L1} = \omega L_{t1}$ là điện cảm tản dây quấn sơ cấp.
 $Z_1 = r_1 + jX_{L1}$ gọi là tổng trở dây quấn sơ cấp.

1.4.2. Phương trình cân bằng điện thứ cấp

Tương tự như mạch sơ cấp, phương trình theo luật Kirhoff 2 viết cho mạch vòng thứ cấp là:

$$r_2 i_2 + u_2 = -e_2 + e_{i_2} = -e_2 - L_2 \frac{di_2}{dt}$$

Hay:
$$u_2 = -r_2 i_2 - L_2 \frac{di_2}{dt} - e_2$$

Viết dưới dạng phức:
$$\dot{U}_2 = -r_2 \dot{I}_2 - jX_{L2} \dot{I}_2 - \dot{E}_2 = -Z_2 \dot{I}_2 - \dot{E}_2 \quad (1.12)$$

Trong đó: $X_{L2} = \omega L_{t2}$ là điện cảm tản dây quấn thứ cấp.
 $Z_2 = r_2 + jX_{L2}$ gọi là tổng trở dây quấn thứ cấp.

Và điện áp thứ cấp u_2 chính là điện áp trên tải:
$$\dot{U}_2 = Z_2 \dot{I}_2 \quad (1.13)$$

1.4.3. Phương trình cân bằng từ

Vì điện kháng tản X_{L1} và điện trở dây quấn sơ cấp r_1 rất nhỏ, nên điện áp trên các phần tử đó ($r_1 \dot{I}_1, jX_{L1} \dot{I}_1$) cũng rất nhỏ so với \dot{E}_1 , do đó từ phương trình (1.11) có quan hệ gần đúng:

$$\dot{U}_1 \approx \dot{E}_1$$

Vì điện áp đặt vào sơ cấp biến áp U_1 không đổi, nên sức điện động E_1 cũng không đổi. Từ (1.5) suy ra biến độ từ thông chính ϕ_m không đổi.

Ở chế độ không tải, từ thông chính do sức từ động của cuộn dây sơ cấp $W_1 i_1$ sinh ra. Khi có tải, từ thông chính do tổng đại số các sức từ động của cuộn sơ cấp và thứ cấp ($W_1 i_1 - W_2 i_2$) sinh ra. Sức từ động thứ cấp $W_2 i_2$ lấy dấu âm (-) là do chiều i_2 không phù hợp với chiều ϕ theo qui tắc vắn nút chai.

Vì ϕ_m không đổi nên sức từ động lúc không tải bằng sức từ động lúc có tải, tức là:

$$q \cdot W_1 i_0 = W_1 i_1 - W_2 i_2 \quad (1.14)$$

Trong đó i_0 là dòng điện sơ cấp khi không tải và được gọi là *dòng điện không tải* hoặc *dòng điện từ hoá của máy biến áp*. (1.14) gọi là phương trình cân bằng từ của máy biến áp. Chia cả 2 vế của (1.14) cho W_1 và thay:

$$\frac{W_1}{W_2} = K; \quad i_2 = \frac{i_2}{K} \text{ ta được: } i_1 = i_0 + i_2 \quad (1.15)$$

Trong đó $i_2 = \frac{i_2}{K}$ gọi là dòng điện thứ cấp quy đổi về sơ cấp.

Phương trình cân bằng từ dưới dạng phức:

$$I_1 = I_0 + I_2 \quad (1.16)$$

1.5. Sơ đồ thay thế của máy biến áp

Để thuận lợi cho việc phân tích, nghiên cứu máy biến áp, ta tìm cách thay thế máy biến áp bằng một sơ đồ mạch có quá trình năng lượng tương đương với máy biến áp, tức là hệ phương trình mạch hoàn toàn đồng nhất với hệ phương trình máy biến áp.

Nhân 2 vế của (1.12) với K và thay $I_2 = K I_2$ và $E_1 = K E_2$, ta được:

$$K \dot{U}_2 = -K^2 r_2 \dot{I}_2 - jK^2 X_2 \dot{I}_2 - E_1 \quad (1.17)$$

Đặt: $r_2' = K^2 r_2$ với r_2' gọi là điện trở dây quấn thứ cấp quy đổi về mạch sơ cấp.

$X_2' = K^2 X_2$ với X_2' gọi là điện kháng tản dây quấn thứ cấp quy đổi về mạch sơ cấp.

$r_2' + jX_2' = K^2(r_2 + jX_2) = K^2 Z_2 = Z_2'$ với Z_2' gọi là trở kháng dây quấn thứ cấp quy đổi về mạch sơ cấp.

$Z_t' = K^2 Z_t$ với Z_t' gọi là trở kháng tải quy đổi về mạch sơ cấp.

$K \dot{U}_2 = \dot{U}_2'$ với \dot{U}_2' gọi là điện áp thứ cấp quy đổi về sơ cấp.

$\dot{U}_2' = K \dot{U}_2 = K Z_t' \dot{I}_2 = K^2 Z_t' \dot{I}_2 = Z_t' \dot{I}_2'$ và thế vào (1.17) ta được:

$$\dot{U}_2' = -r_2' \dot{I}_2' - jX_2' \dot{I}_2' - E_1 \quad (1.18)$$

Xét số hạng $(-E_1)$, trong đó E_1 là sức điện động do từ thông chính ϕ gây ra trong cuộn dây sơ cấp. Mà từ thông chính ϕ lại do dòng I_0 sinh ra, do đó $(-E_1)$ có thể coi là điện áp trên một nhánh $(r_m + jX_m)$ có dòng chảy qua gọi là nhánh từ hoá:

$$-E_1 = (r_m + jX_m) \dot{I}_0 \quad (1.19)$$

Trong đó: r_m gọi là điện trở từ hoá đặc trưng cho tổn hao sắt từ P_{st} với $P_{st} = r_m I_0^2$

X_m gọi là điện kháng từ hoá đặc trưng cho từ thông chính ϕ

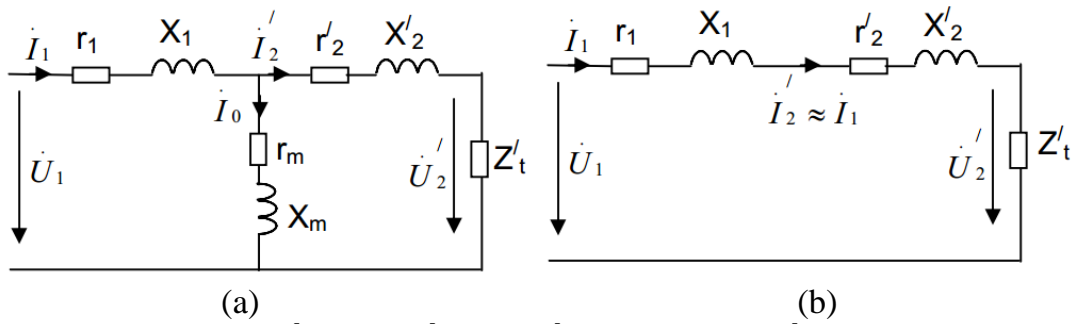
Thay (1.19) vào (1.11), (1.18) và kết hợp với (1.16) ta có hệ phương trình:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = r_1 \dot{I}_1 + jX_1 \dot{I}_1 - E_1 = Z_1 \dot{I}_1 - E_1 \\ \dot{U}_2' = -r_2' \dot{I}_2' - jX_2' \dot{I}_2' - E_1 \\ \dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}_2' \end{cases} \quad (1.20)$$

Hệ phương trình (1.20) là hệ phương trình viết theo luật K₁ và K₂ cho sơ đồ hình 1.8a. Đây gọi là sơ đồ thay thế của máy biến áp.

Thông thường tổng trở nhánh từ hoá rất lớn hơn tổng trở mạch thứ cấp quy đổi về sơ cấp: $r_m + jX_m = Z_m \ll Z_2' + Z_t'$.

Dòng điện từ hoá rất nhỏ hơn dòng điện thứ cấp quy đổi về sơ cấp: $i_0 \ll i_2'$, do đó có thể bỏ nhánh từ hoá, ta có sơ đồ thay thế gần đúng (đơn giản) như hình 1.8b. Sơ đồ thay thế đơn giản thường được dùng trong tính toán đơn giản các đặc tính của máy biến áp.



Hình 1.8. Sơ đồ thay thế máy biến áp (a) và sơ đồ đơn giản (b)

1.6. Tổn hao và hiệu suất của máy biến áp

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

- Tổn hao trên điện trở dây quấn sơ cấp và thứ cấp gọi là tổn hao đồng P_d

$$P_d = r_1 I_1^2 + r_2 I_2^2 = I_1^2 (r_1 + r_2') = I_1^2 \cdot r_n = K_t^2 \cdot I_{dm}^2 \cdot r_n = K_t^2 \cdot P_n \quad (1.21)$$

- Tổn hao trong lõi thép do dòng điện xoáy và do từ trễ gây ra gọi là tổn hao sắt từ P_{st} . Tổn hao sắt từ không phụ thuộc vào dòng điện tải mà phụ thuộc từ thông chính, cũng tức là phụ thuộc điện áp. Tổn hao sắt từ bằng công suất lúc không tải:

$$P_{st} = P_0 \quad (1.22)$$

Hiệu suất máy biến áp η được định nghĩa là:

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_d + P_{st}} = \frac{K_t \cdot S_{dm} \cdot \cos \varphi_t}{K_t \cdot S_{dm} \cdot \cos \varphi_t + P_0 + K_t^2 \cdot P_n} \quad (1.23)$$

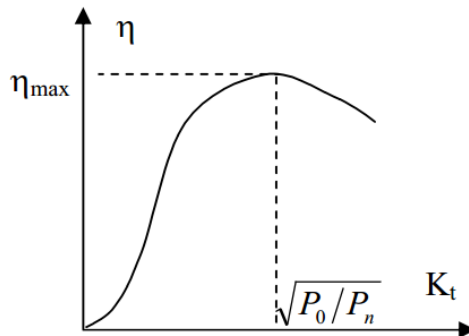
Trong đó: P_2 là công suất ra tải. Ta có $P_2 = S_2 \cdot \cos \varphi_t = K_t \cdot S_{dm} \cdot \cos \varphi_t$

Từ (1.23) cho thấy hiệu suất thay đổi theo tải. Nếu $\varphi_t = \text{const}$, hiệu suất đạt cực đại

khi:
$$\frac{\partial \eta}{\partial K_t} = 0 \quad (1.24)$$

Thay (1.23) vào (1.24) tính được: $K_t^2 \cdot P_n = P_0$

Vậy hiệu suất đạt cực đại khi tổn hao sắt từ bằng tổn hao đồng. Minh họa trên hình 1.9



Hình 1.9. Sự phụ thuộc của hiệu suất theo tải

Hệ số tải khi hiệu suất cực đại là:

$$K_t = \sqrt{\frac{P_0}{P_n}} \quad (1.25)$$

Máy biến áp điện lực thường được thiết kế để hiệu suất đạt cực đại ở $K_t = 0,5$ đến $0,7$.

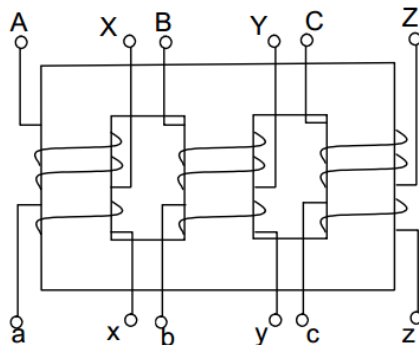
Hiệu suất máy biến áp thay đổi theo công suất máy và có giá trị lớn. Máy biến áp công suất lớn hiệu suất có thể đạt tới 99%.

1.7. Biến đổi điện áp ba pha

Để biến đổi điện áp 3 pha, ta có thể dùng 3 máy biến áp 1 pha nối với nhau tạo thành tổ máy biến áp 3 pha, hoặc dùng 1 máy biến áp 3 pha.

1.7.1. Máy biến áp 3 pha

Trên hình 1.10 là sơ đồ nguyên lý một máy biến áp 3 pha kiểu trụ. Lõi thép có 3 trụ, trên mỗi trụ quấn cuộn dây sơ cấp và thứ cấp của 1 pha. Người ta quy ước ký hiệu các đầu dây cuộn sơ cấp là các chữ in hoa, còn các đầu dây cuộn thứ cấp là các chữ in thường.



Hình 1.10. Sơ đồ nguyên lý máy biến áp 3 pha kiểu trụ

Pha	Đầu dây sơ cấp	Đầu dây thứ cấp
A	A, X	a, x
B	B, Y	b, y
C	C, Z	c, z

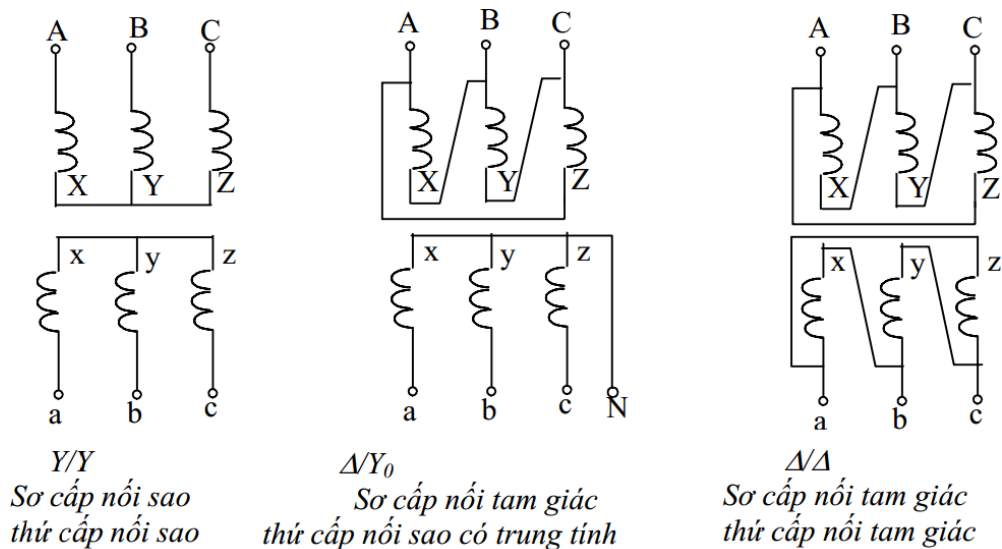
Nguyên lý làm việc của máy biến áp 3 pha tương tự như máy biến áp 1 pha. Gọi số vòng của cuộn dây sơ cấp và thứ cấp của 1 pha thứ tự là W_1 và W_2 , tỷ số điện áp pha sơ cấp và thứ cấp sẽ là:

$$\frac{U_{p1}}{U_{p2}} = \frac{W_1}{W_2} \quad (1.26)$$

Tỷ số điện áp dây sơ cấp và thứ cấp không chỉ phụ thuộc vào W_1, W_2 mà còn phụ thuộc vào cách nối dây ở sơ cấp và thứ cấp.

1.7.2. Nối dây máy biến áp 3 pha

Các cuộn dây sơ cấp và thứ cấp của máy biến áp 3 pha hoặc tổ máy biến áp 3 pha có thể nối với nhau theo hình sao hay tam giác. cách nối ở sơ cấp và thứ cấp không phụ thuộc lẫn nhau. Trên hình 1.11 là sơ đồ một vài cách nối và ký hiệu tương ứng.



Hình 1.11. Các cách nối dây máy biến áp 3 pha

Tỷ số điện áp dây sơ cấp và thứ cấp (Hệ số biến áp) của các sơ đồ là:

$$\text{Sơ đồ nối Y/Y: } \frac{U_{p1}}{U_{p2}} = \frac{W_1}{W_2} = \frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{\sqrt{3}U_{p1}}{\sqrt{3}U_{p2}}$$

$$\text{Sơ đồ nối } \Delta/\Delta: \frac{U_{p1}}{U_{p2}} = \frac{W_1}{W_2} = \frac{U_{d1}}{U_{d2}}$$

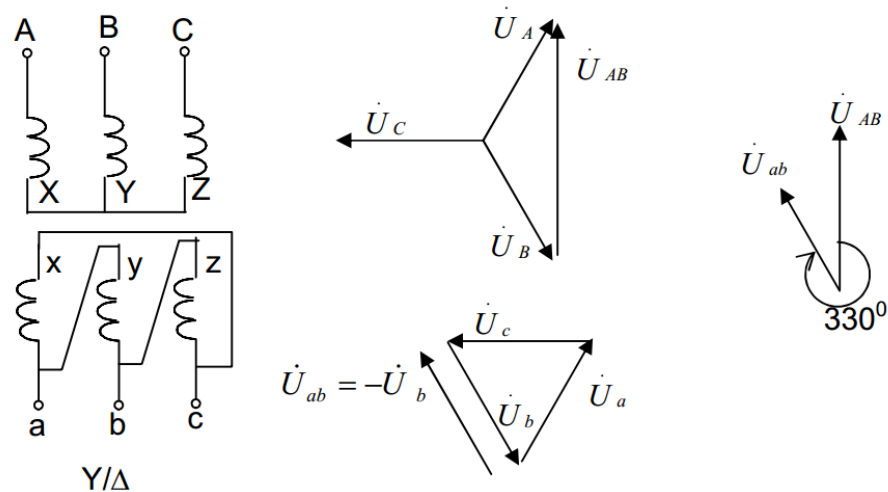
$$\text{Sơ đồ nối } \Delta/Y: \frac{U_{p1}}{\sqrt{3}U_{p2}} = \frac{W_1}{\sqrt{3}W_2} = \frac{U_{d1}}{U_{d2}}$$

1.7.3. Tổ nối dây máy biến áp 3 pha

- Tổ nối dây máy biến áp 3 pha là ký hiệu chỉ rõ cách nối dây của máy biến áp và góc lệch pha giữa điện áp dây sơ cấp và thứ cấp.

- Góc lệch pha giữa điện áp dây sơ cấp và thứ cấp luôn là bội số của của 30^0 với hệ số nhân là các số nguyên từ 1 đến 12. Trong ký hiệu tổ nối dây, để gọn, người ta qui ước không ghi góc lệch mà chỉ ghi hệ số nhân ứng với góc lệch.

Ví dụ: Tổ nối dây Y/ Δ -11 chỉ rằng: dây quấn sơ cấp nối sao, dây quấn thứ cấp nối tam giác, góc lệch pha giữa điện áp dây sơ cấp và thứ cấp là $11 \cdot 30^0 = 330^0$. Sơ đồ nối dây và đồ thị véc tơ điện áp của tổ nối dây này như hình 1.12.

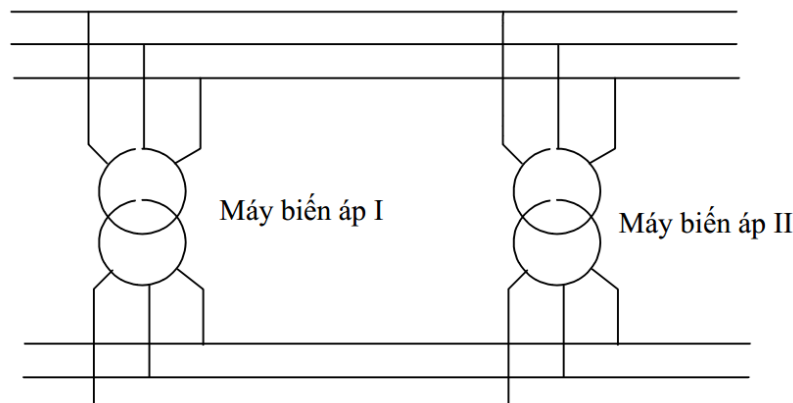


Hình 1.12. Sơ đồ nối dây và đồ thị véc tơ điện áp

Ở đây các đầu dây (A, a), (B, b) ... là các đầu dây cùng cực tính.

1.8. Máy biến áp làm việc song song

Khi cần tăng công suất thì nối nhiều máy biến áp làm việc song song với nhau như hình 1.13.



Hình 1.13. Nối hai máy biến áp làm việc song song

Điều kiện để các máy biến áp có thể làm việc song song là:

1- Điện áp định mức sơ cấp và thứ cấp của các máy phải tương ứng bằng nhau (cũng

có nghĩa là hệ số biến áp của máy bằng nhau).

$$U_{I1} = U_{II1}, U_{2I} = U_{2II}, k_I = k_{II}$$

(Thực tế cho phép hệ số biến áp của các máy sai khác nhau không quá 0, 5%)

2- Các máy phải có cùng tổ nối dây (để điện áp thứ cấp của chúng trùng pha nhau)

Điều kiện 1 và 2 đảm bảo cho không có dòng điện cân bằng lớn chảy quanh trong dây quấn các máy do sự chênh lệch điện áp thứ cấp của chúng.

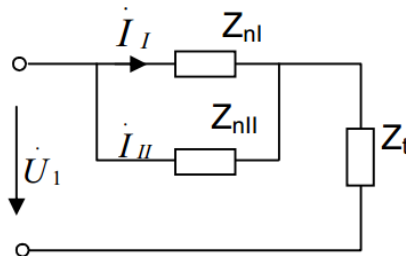
3- Điện áp ngắn mạch của các máy phải bằng nhau. $U_{nI}\% = U_{nII}\%$

Điều kiện này đảm bảo cho phân bố tải cho các máy tỷ lệ với công suất của chúng.

Thật vậy, giả sử có: $U_{nI}\% < U_{nII}\%$, xét khi máy I nhận tải định mức, tức có $I_I = I_{I\text{đm}}$ điện áp rơi trong máy I là: $I_{I\text{đm}} \cdot Z_{nI}$. Khi đó dòng điện trong máy II là I_{II} và điện áp rơi trong máy II là $I_{II} \cdot Z_{nII}$. Vì hai máy làm việc song song nên 2 điện áp này phải bằng nhau:

$$I_{I\text{đm}} \cdot Z_{nI} = I_{II} \cdot Z_{nII}$$

Với Z_{nI} và Z_{nII} là tổng trở ngắn mạch của máy I và máy II (xem hình 1.14). Vì $U_{nI}\% < U_{nII}\%$ nên $I_{I\text{đm}} \cdot Z_{nI} < I_{I\text{đm}} \cdot Z_{nII}$, do đó: $I_{II} < I_{I\text{đm}}$ tức dòng điện trong máy II nhỏ hơn dòng điện định mức của nó. Vậy khi máy I nhận tải định mức thì máy II non tải, nếu máy II nhận tải định mức thì máy I sẽ quá tải. Thực tế cho phép điện áp ngắn mạch các máy sai khác không quá 10%.



Hình 1.14. Tổng trở ngắn mạch của máy biến áp khi làm việc song song

Câu hỏi ôn tập chương 1

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

Câu 2. Ý nghĩa các đại lượng định mức của máy biến áp? Xác định các dòng điện định mức của máy biến áp 3 pha nếu biết $S_{\text{đm}} = 100(\text{kVA})$, $U_{1\text{đm}}/U_{2\text{đm}} = 6000/230 (\text{V})$.

Câu 3. Tại sao khi tăng dòng điện thứ cấp thì dòng điện sơ cấp lại tăng lên? lúc đó từ thông trong máy biến áp có thay đổi không?

Câu 4. Cách xác định trở kháng mạch sơ cấp và thứ cấp của máy biến áp? Tổn hao ngắn mạch là gì? Tổn hao không tải là gì? Trị số điện áp ngắn mạch có ý nghĩa gì?

Câu 5. Sự phụ thuộc của điện áp thứ cấp vào tải như thế nào?

Câu 6. Cho 2 máy biến áp nối Y/Y-12 và Y/Y-6 có cùng tỷ số biến đổi K và điện áp ngắn mạch U_n . Để chúng làm việc song song thì phải làm thế nào? Cùng các kiện trên nếu 2 máy biến áp có tổ nối dây Y/Δ-11 và Y/Δ-12?

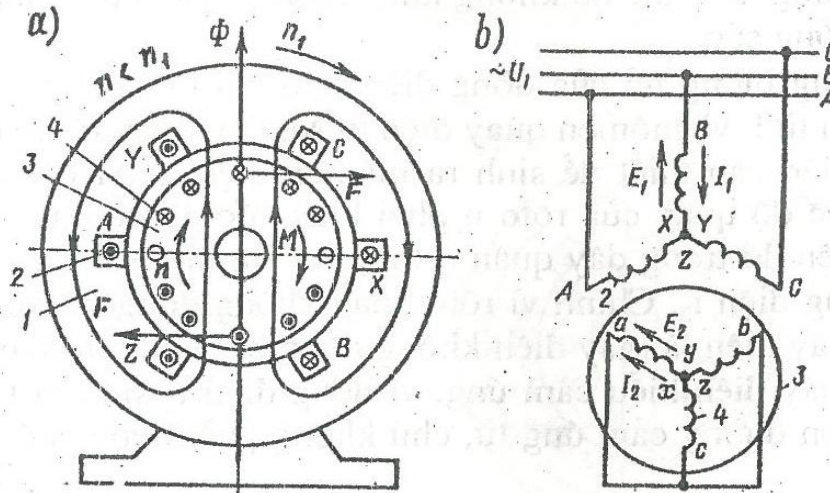
Câu 7. Máy biến áp 1 pha có tiết diện trụ lõi thép là 135cm^2 , điện áp sơ cấp/thứ cấp là $10\text{kV}/0,23\text{kV}$, 50Hz . Biết biên độ cảm ứng từ trong lõi thép là $1,1\text{T}$, Tính số vòng dây cuộn dây sơ cấp, thứ cấp.

Câu 8. Một máy biến áp 3 pha Y/Y-12 có: $S_{\text{đm}} = 180\text{kVA}$; $U_1/U_2 = 6000/400 \text{ V}$; dòng điện không tải $I_0\% = 6,4\%$; tổn hao không tải $P_0 = 1000\text{W}$; điện áp ngắn mạch $U_n\% = 5,5$; tổn hao ngắn mạch $P_n = 4000\text{W}$. Giả sử $r_1 = R_2$, $x_1 = X_2$. Hãy vẽ sơ đồ thay thế của máy biến áp và tính các thành phần của điện áp ngắn mạch.

Chương 2. MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Nội dung chính của chương máy điện không đồng bộ nhằm giúp người đọc hiểu được cấu tạo và nguyên lý làm việc chung và những thông số kỹ thuật của máy điện không đồng bộ, biết các phương pháp mở máy đối với động cơ điện không đồng bộ xoay chiều ba pha. Ngoài ra người đọc còn hiểu được những yêu cầu khi mở máy động cơ điện không đồng bộ.

2.1. Nguyên lý làm việc cơ bản của máy điện không đồng bộ



Hình 2.1. Sơ đồ điện từ và sự hình thành mômen điện từ ở máy điện không đồng bộ khi làm việc ở chế độ động cơ điện (a); sơ đồ đấu (b).

Trong máy điện không đồng bộ (hình 2.1a) có hai dây quấn: một dây quấn đặt ở phần tĩnh - trong lõi thép stato 1, còn dây quấn thứ hai đặt ở phần quay - trong lõi thép rôto 3. Giữa stato và rôto có khe hở không khí. Để tăng cường sự liên hệ về từ giữa các dây quấn, trị số khe hở không khí cần phải chế tạo nhỏ nhất khi có thể được. Dây quấn stato thường có ba pha (hoặc tổng quát gồm có nhiều pha), có các pha của nó được đặt cách đều nhau theo chu vi stato. Trường hợp trên hình 1, dây quấn stato 2 có ba pha AX, BY, CZ nối theo sơ đồ hình sao hoặc tam giác và được nối vào lưới điện xoay chiều ba pha (hình 1b). Dây quấn rôto được chế tạo thành ba pha (hoặc nhiều pha), có các pha của nó cũng được đặt cách đều nhau theo chu vi rôto. Trường hợp trên hình 1, dây quấn rôto 4 có ba pha ax, by, cz được nối ngắn mạch lại.

Khi được cung cấp điện xoay chiều ba pha, dây quấn stato tạo ra từ trường quay Φ_1 quay với tốc độ đồng bộ:

$$n_1 = \frac{60f_1}{p} \text{ (vòng/phút)} \quad (2.1)$$

Trong đó: f_1 - tần số lưới điện cung cấp (Hz); p - số đôi cực từ stato.

Từ trường quay stato Φ_1 quét qua các thanh dẫn dây quấn rôto, cảm ứng trong chúng s.d.đ cảm ứng e_2 và nếu dây quấn rôto được nối ngắn mạch, thì trong nó xuất hiện dòng điện i_2 , biến đổi với tần số $f_2=f_1$ (khi rôto đứng yên). Nếu dây quấn rôto có ba pha (hình 2.1b), thì dòng điện ba pha sinh ra trong nó sẽ tạo ra từ trường quay rôto Φ_2 , có số cực từ $2p$, quay cùng chiều và cùng tốc độ với từ trường quay stato khi $n=0$: $n_2=60f_2/p=60f_1/p=n_1$, vg/ph. Như vậy, từ trường quay Φ_1 và Φ_2 quay đồng bộ với nhau, tạo thành từ trường quay tổng Φ ở khe hở không khí. Kết luận này cũng đúng cho cả máy điện có rôto lồng sóc.

Tác dụng tương hỗ của dòng điện rôto với từ trường quay tổng Φ sẽ tạo ra lực điện từ F và mômen quay điện từ M , làm quay rôto với tốc độ n .

Điều kiện cần thiết để sinh ra mômen điện từ M ở máy điện không đồng bộ là tốc độ quay của rôto n phải khác tốc độ của từ trường quay n_1 . Chỉ ở điều kiện đó trong dây quấn rôto mới cảm ứng s.đ.đ e_2 và do vậy mới xuất hiện dòng điện i_2 . Chính vì rôto quay không đồng bộ với từ trường mà tên gọi của máy điện là máy điện không đồng bộ. Đôi khi máy điện này còn được gọi là máy điện kiểu cảm ứng, vì dòng điện i_2 sinh ra trong dây quấn rôto là nhờ con đường cảm ứng từ, chứ không phải được cung cấp từ nguồn ngoài.

Hiệu số tương đối của tốc độ từ trường quay n_1 và tốc độ quay rôto n được gọi là hệ số trượt s :

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} \quad (2.2)$$

Từ công thức (2.2), có thể tính tốc độ quay rôto n qua hệ số trượt s :

$$n = n_1(1-s) \quad (2.3)$$

Theo các công thức (2.2) và (2.3), có thể biểu thị hệ số trượt s (và tốc độ quay rôto n tương ứng) nằm trong các phạm vi cho ở bảng 1.1, mà mỗi phạm vi ứng với một chế độ làm việc cụ thể, được xét ở dưới đây.

Bảng 1.1

Hệ số trượt s	$+\infty \rightarrow s > 1$	$s = 1$	$1 > s > 0$	$s = 0$	$0 > s \rightarrow -\infty$
Tốc độ quay rôto n	$-\infty \leftarrow n < 0$	$n = 0$	$0 < n < n_1$	$n = n_1$	$n_1 < n \leftarrow +\infty$

2.1.1. Khi rôto quay theo chiều từ trường với tốc độ $0 < n < n_1$ ($1 > s > 0$).

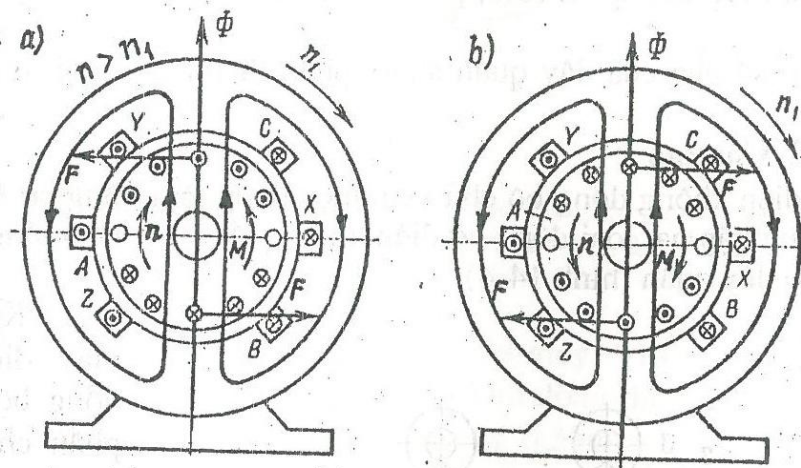
Giả thiết từ trường quay tổng Φ quay theo chiều kim đồng hồ với tốc độ đồng bộ n_1 và rôto quay cùng chiều từ trường với tốc độ $n < n_1$ như trên hình 2.1a. Căn cứ vào chiều chuyển động tương đối của các thanh dẫn rôto với từ trường quay tổng Φ , theo qui tắc bàn tay phải dễ dàng xác định được chiều s.đ.đ cảm ứng trong các thanh dẫn rôto (hình 2.1a).

Dòng điện thành phần tác dụng rôto trùng pha với s.đ.đ cảm ứng, nên ký hiệu "+" và "-" trên hình 2.2a đồng thời chỉ chiều của dòng điện này. Tác dụng của dòng điện trong thanh dẫn rôto với từ trường quay tổng Φ sẽ sinh ra lực điện từ F có chiều được xác định theo qui tắc bàn tay trái, và mômen quay điện từ của máy M .

Nếu mômen quay điện từ M đủ lớn thì rôto sẽ quay theo chiều của từ trường quay, đạt đến tốc độ n xác lập nào đó, ở đó có mômen quay điện từ M cân bằng với mômen cản M_c ở trên trục máy. Khi đó máy điện làm việc ở chế độ động cơ điện ($1 > s > 0$), biến điện năng nhận được từ lưới điện thành cơ năng đưa ra trục máy. Ở chế độ động cơ điện, mômen quay điện từ M đóng vai trò mômen chủ động.

1.2. Khi rôto quay theo chiều từ trường quay với tốc độ $n > n_1$ ($s < 0$).

Nếu nhờ động cơ sơ cấp quay rôto của máy điện không đồng bộ theo chiều từ trường quay đến tốc độ $n > n_1$, thì chiều s.đ.đ và dòng điện sinh ra trong thanh dẫn rôto thay đổi ngược lại so với ở chế độ động cơ điện vừa xét (hình 2.2a). Sở dĩ như vậy là vì chiều chuyển động tương đối của các thanh dẫn rôto với từ trường quay tổng Φ đã bị thay đổi ngược lại. Kết quả là mômen quay điện từ M bị đổi hướng, tác dụng ngược chiều quay rôto, đóng vai trò mômen hãm. Lúc này máy điện làm việc ở chế độ máy phát điện ($s < 0$), biến cơ năng nhận được ở trên trục thành điện năng cung cấp cho lưới điện.



Hình 2.2. Sự hình thành mômen điện từ ở máy điện không đồng bộ, khi làm việc ở chế độ máy phát điện (a) và chế độ hãm điện từ (b).

2.1.3. Khi rôto quay ngược chiều từ trường $n < 0$ ($s > 1$).

Nếu vì nguyên nhân nào đó, chẳng hạn do ngoại lực, rôto quay ngược chiều từ trường $n < 0$ (hình 2.2b), thì chiều chuyển động tương đối của các thanh dẫn rôto với từ trường quay tổng Φ vẫn không đổi, giống như ở chế độ động cơ điện. Do vậy chiều s.d.d, chiều dòng điện trong thanh dẫn rôto và chiều mômen quay điện từ M vẫn giống như ở chế độ động cơ điện. Song vì mômen quay điện từ M tác dụng ngược chiều quay rôto, nên nó đóng vai trò mômen hãm, có tác dụng hãm rôto lại. Chế độ làm việc này được gọi là chế độ hãm điện từ. Ở chế độ hãm điện từ máy điện không đồng bộ vừa tiêu thụ điện năng từ lưới điện, vừa nhận cơ năng từ trục máy.

2.2. Phân loại và cấu tạo của máy điện không đồng bộ

2.2.1. Phân loại

Có nhiều cách phân loại, chẳng hạn:

- Theo kết cấu vỏ máy, máy điện không đồng bộ được phân thành: kiểu hở, kiểu bảo vệ, kiểu kín, kiểu phòng nổ...
- Theo kiểu dây quấn rôto, phân thành hai loại: rôto lồng sóc và rôto dây quấn.
- Theo số pha của dây quấn stato, phân thành các loại: một pha, hai pha, ba pha...

2.2.2. Cấu tạo

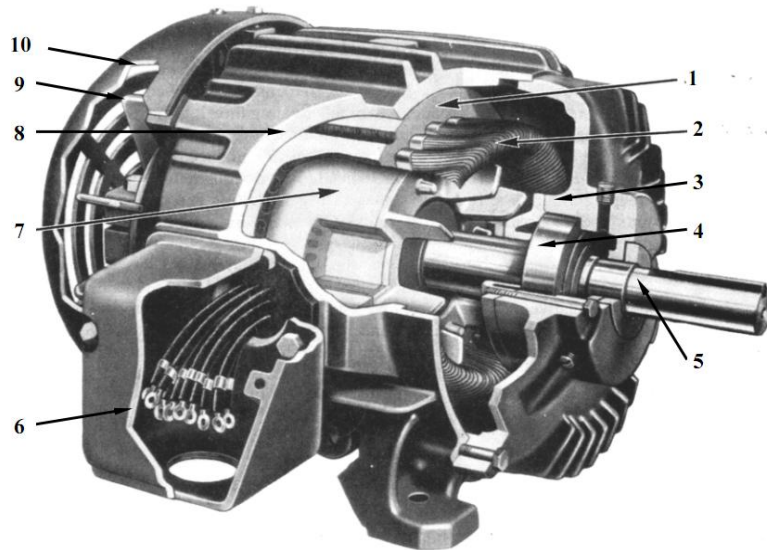
Máy điện không đồng bộ chủ yếu được dùng làm động cơ điện. Trong thực tế thường gặp hai loại động cơ điện không đồng bộ: rôto lồng sóc (hình 2.3) và rôto dây quấn (hình 2.4).

Kết cấu của máy điện không đồng bộ gồm hai phần chính: phần tĩnh và phần quay.

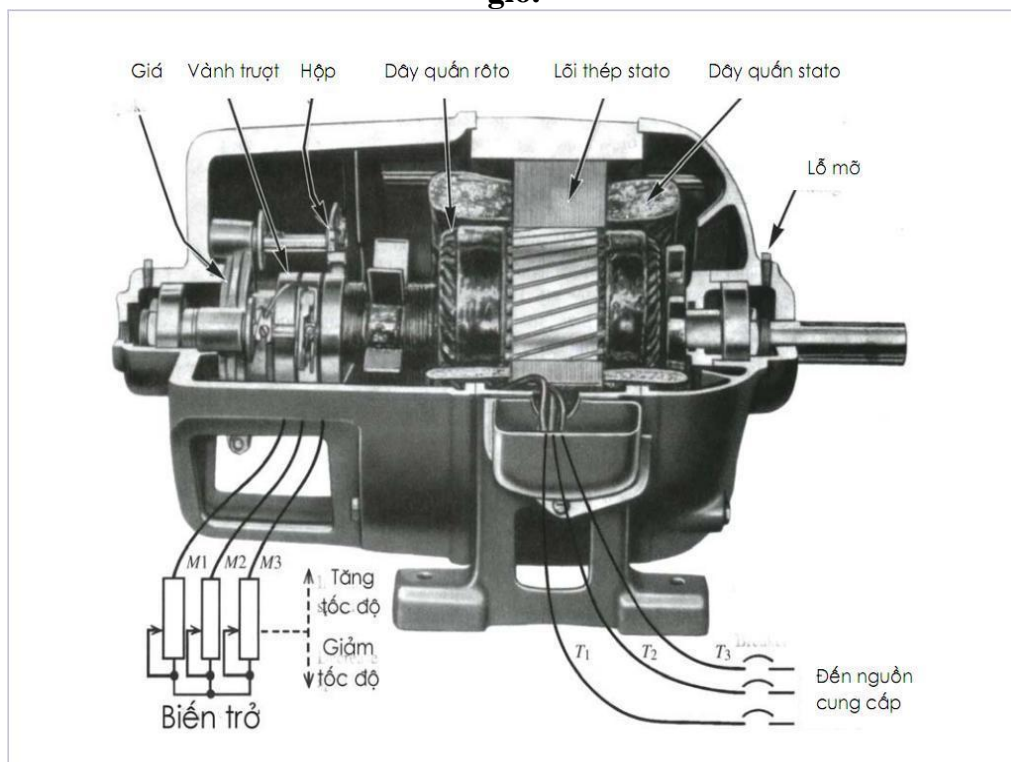
2.2.2.1. Phần tĩnh (stato) bao gồm: vỏ máy, lõi thép và dây quấn.

- Vỏ máy có tác dụng cố định lõi thép và dây quấn, ngoài ra còn được dùng để giữ nắp máy. Trên nắp máy có gắn ổ bi để đỡ phần quay. Vỏ máy thường làm bằng gang hoặc nhôm đối với máy nhỏ và làm bằng thép tấm hàn lại đối với máy lớn. Tùy thuộc vào cách làm nguội mà vỏ máy có hình dạng khác nhau.

- Lõi thép stato là phần dẫn từ của máy. Vì từ trường qua lõi thép stato là từ trường quay nên để giảm tổn hao dòng điện xoáy, lõi thép được làm bằng những lá thép kỹ thuật điện dày 0,35mm hoặc 0,5mm, phủ sơn cách điện ở hai mặt rồi ép lại với nhau.



Hình 2.3. Cấu tạo của động cơ điện không đồng bộ roto lồng sóc
 1 - lõi thép stato; 2 - dây quấn stato ; 3 - nắp máy; 4 - ổ bi; 5 - trục máy; 6 - hộp đầu cực; 7 - lõi thép roto; 8 - vỏ máy; 9 - quạt gió làm mát; 10 - nắp bảo vệ quạt gió.



Hình 2.4. Cấu tạo của động cơ điện không đồng bộ roto dây quấn

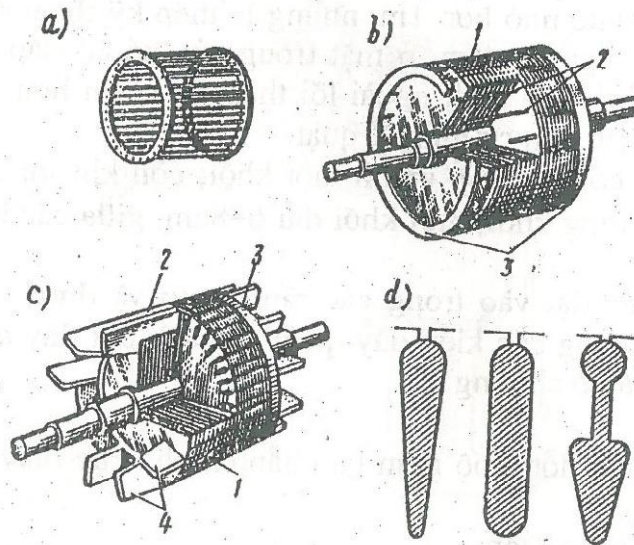
Ở tất cả các động cơ không đồng bộ có đường kính ngoài lõi thép stato nhỏ hơn 1m, những lá thép kỹ thuật điện stato có dạng hình vành khăn nguyên tâm, ở mặt trong của nó có dập sẵn rãnh để đặt dây quấn; còn khi đường kính ngoài lõi thép stato lớn hơn 1m, phải dùng những lá thép kỹ thuật điện có hình rẽ quạt. Khi lõi thép stato ngắn có thể ghép thành một khối; còn khi lõi thép stato quá dài phải ghép thành từng khối, mỗi khối dài 6÷8cm, giữa các khối có rãnh thông gió rộng 1cm.

- Dây quấn stato được đặt vào trong các rãnh stato và được cách điện tốt so với

lõi thép.

2.2.2.2. Phần quay (rôto).

Rôto của máy điện không đồng bộ gồm ba phần chính: trục máy, lõi thép và dây quấn.



Hình 2.5. Cấu tạo rôto lồng sóc: lồng sóc (a); rôto lồng sóc với thanh dẫn bằng đồng (b); rôto lồng sóc đúc nhôm (c); các dạng rãnh rôto (d).

1- lõi thép rôto; 2- các thanh dẫn; 3- vành ngăn mạch; 4- cánh quạt gió.

- Trục máy được làm bằng thép.

- Lõi thép rôto. Khi máy làm việc tổn hao sắt từ trong lõi thép rôto rất bé nên có thể không cần dùng thép lá kỹ thuật điện. Tuy vậy sau khi đập lõi thép stato, phần thép lá kỹ thuật điện còn lại thường được tận dụng để đập luôn lõi thép rôto. Trong các máy điện cỡ nhỏ lõi thép rôto được ép trực tiếp lên trục, còn ở những máy điện lớn lõi thép rôto được ép lên giá trục.

- Dây quấn rôto, gồm hai loại chính: rôto dây quấn và rôto lồng sóc.

+ Rôto dây quấn: có dây quấn giống như của dây quấn stato. Trong máy điện cỡ nhỏ thường dùng loại dây quấn đồng tâm một lớp. Trong máy điện cỡ trung trở lên thường dùng kiểu dây quấn sóng hai lớp vì bớt được những đầu dây nổi, kết cấu dây quấn trên rôto chặt chẽ. Dây quấn ba pha của rôto thường được đấu hình sao, còn ba đầu kia được nối vào ba vành trượt thường làm bằng đồng đặt cố định ở một đầu trục máy và thông qua chổi than có thể nối với mạch điện bên ngoài. Động cơ điện rôto dây quấn có ưu điểm là: thông qua vành trượt và chổi than có thể nối nối tiếp biến trở mở máy vào mạch rôto để cải thiện tính năng mở máy; đưa s.d.đ phụ hoặc nối nối tiếp điện trở phụ vào mạch rôto để điều chỉnh tốc độ. Lúc máy làm việc, dây quấn rôto được nối ngắn mạch.

+ Rôto lồng sóc: dây quấn rôto lồng sóc có cấu tạo rất khác so với dây quấn stato. Lồng sóc có thể được chế tạo từ các thanh dẫn bằng đồng (hoặc nhôm), hai đầu của chúng được nối ngắn mạch với nhau bằng hai vành ngăn mạch (hình 2.5a). Ở các động cơ điện có công suất lớn, lồng sóc được chế tạo từ các thanh dẫn bằng đồng đặt vào trong các rãnh rôto, phần đầu thanh dẫn nhô ra khỏi lõi thép được hàn lại với nhau thành hai vành ngăn mạch (hình 2.5b). Ở các động cơ điện có công suất nhỏ và trung bình, lồng sóc được chế tạo bằng cách đúc nhôm vào trong rãnh rôto, đồng thời đúc luôn cả vành ngăn mạch và cánh quạt gió (hình 2.5c). Dây quấn lồng sóc không cần

cách điện so với lõi thép rôto.

Để cải thiện tính năng mở máy, ở các động cơ điện công suất tương đối lớn rãnh rôto lồng sóc được chế tạo có hình dạng đặc biệt. Để cải thiện dạng sóng s.d.đ, trong các máy điện cỡ nhỏ rãnh rôto thường được làm chéo đi một góc so với phương dọc trục máy.

2.2.2.3. Khe hở không khí

Giữa stato và rôto của máy điện không đồng bộ có khe hở không khí δ rất nhỏ. Để hạn chế dòng điện từ hoá nhằm nâng cao hệ số công suất của máy, trị số khe hở không khí $\delta \leq 0,3 \div 1 \text{mm}$ đối với máy điện có công suất trên $0,5 \text{kW}$ và $\delta \leq 0,02 \div 0,3 \text{mm}$ đối với máy điện có công suất rất nhỏ.

2.3. Mở máy động cơ điện không đồng bộ

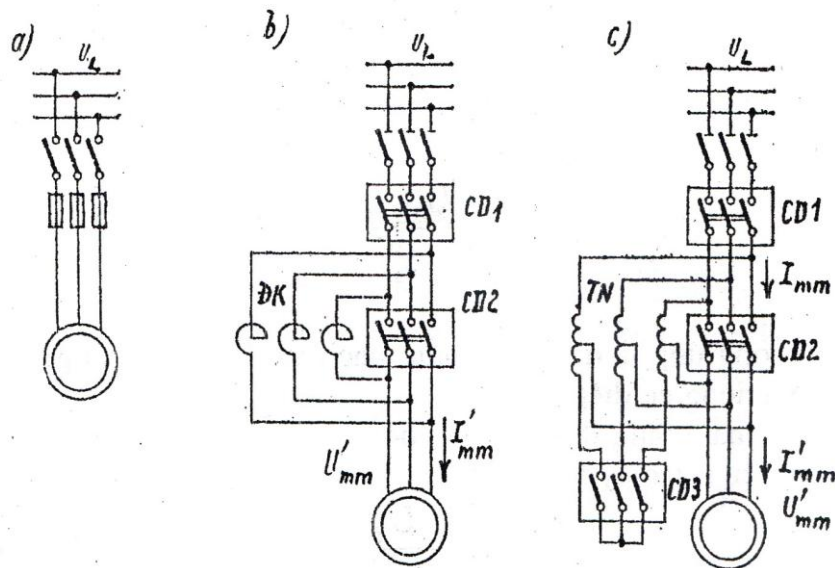
2.3.1. Các yêu cầu khi mở máy động cơ điện không đồng bộ

Các phương pháp mở máy động cơ điện không đồng bộ phải đáp ứng được các yêu cầu sau:

- Động cơ phải có mômen đủ lớn ($M_{mm} > M_c$) để rôto tăng tốc đạt tốc độ quay định mức.
- Dòng điện mở máy I_{mm} phải được hạn chế, để tránh làm hỏng động cơ và phá hủy chế độ làm việc bình thường của lưới điện.
- Sơ đồ mở máy phải đơn giản, chắc chắn, giá thành thiết bị mở máy phải rẻ.
- Tổn hao công suất trong quá trình mở máy càng nhỏ càng tốt.

2.3.2. Các phương pháp mở máy động cơ điện không đồng bộ

2.3.2.1. Mở máy trực tiếp động cơ điện không đồng bộ rôto lồng sóc.



Hình 2.6. Sơ đồ các phương pháp mở máy động cơ điện không đồng bộ rôto lồng sóc: a – mở máy trực tiếp; b- mở máy bằng điện kháng; c- mở máy bằng biến áp tự ngẫu

Đây là phương pháp mở máy đơn giản nhất, chỉ việc đấu dây quấn stator động cơ điện rô to lồng sóc trực tiếp vào lưới điện (hình 2.6a). Khi đó điện áp đặt trên dây quấn stator $U_1 = U_{dm}$ và dòng điện mở máy trực tiếp I_{mm} bằng:

$$I_{mm} = (4 \div 7) I_{dm} \quad (2.4)$$

Các động cơ điện không đồng bộ rô to lồng sóc được thiết kế, đảm bảo cho phép chúng mở máy trực tiếp được. Như vậy, các động cơ điện rô to lồng sóc hoàn toàn có thể mở máy trực tiếp được, nếu lưới điện có đủ công suất và dòng điện mở máy không gây ra sụt áp trong lưới điện quá mức cho phép.

2.3.2.2. Các phương pháp mở máy dưới điện áp thấp

Trong một số trường hợp, có khi không mở máy trực tiếp các động cơ không đồng bộ roto lồng sóc được, do nó gây ra sụt áp quá lớn trong lưới điện.

Lúc đó phải dùng các phương pháp mở máy dưới điện áp thấp.

Ưu điểm của phương pháp mở máy dưới điện áp thấp là giảm được dòng điện mở máy. Song, phương pháp mở máy này có nhược điểm là: khi giảm điện áp U_1 , mô men mở máy M_{mm} bị giảm bình phương lần mức giảm điện áp, do đó với những tải yêu cầu mômen mở máy lớn sẽ không dùng được phương pháp mở máy này.

a) Mở máy bằng cuộn kháng

Lúc mở máy tiến hành đóng cầu dao CD1, động cơ được cấp điện qua bộ điện kháng ba pha DK (hình 2.6b). Trị số điện kháng X_{dk} của bộ điện kháng nối nối tiếp ở mạch stator có tác dụng hạn chế trị số dòng điện mở máy của động cơ. Sau khi mở máy xong, đóng cầu dao CD2 loại điện kháng DK ra khỏi sơ đồ, đưa điện áp đủ $U_1 = U_{dm}$ vào cực động cơ.

Khi mở máy trực tiếp, dòng điện mở máy I_{mm} bằng:

$$I_{mm} = \frac{U_{dm}}{\sqrt{r_n^2 + x_n^2}} \quad (2.5)$$

trong đó:

r_n , x_n tương ứng là điện trở và điện kháng ngắn mạch của một pha động cơ điện.

Khi mở máy bằng điện kháng, bỏ qua điện trở tác dụng của bộ điện kháng, dòng điện mở máy I'_{mm} bằng:

$$I'_{mm} = \frac{U_{dm}}{\sqrt{r_n^2 + (x_n + x_{dk})^2}} \quad (2.6)$$

Bằng cách điều chỉnh trị số điện kháng x_{dk} sẽ nhận được dòng điện mở máy cần thiết.

Từ biểu thức (2.5) và (2.6), ta có:

$$\frac{I_{mm}}{I'_{mm}} = \sqrt{\frac{r_n^2 + (x_n + x_{dk})^2}{r_n^2 + x_n^2}} = k \quad (2.7)$$

Hay:
$$I'_{mm} = \frac{I_{mm}}{k} \quad (2.8)$$

Nghĩa là khi mở máy bằng điện kháng dòng điện mở máy của động cơ điện I'_{mm} bị giảm đi k lần so với khi mở máy trực tiếp I_{mm} .

Nếu coi rằng lúc mở máy bằng điện kháng các tham số của máy điện không đổi, thì điện áp trên cực động cơ U_{mm} cũng bị giảm đi k lần khi với mở máy trực tiếp:

$$U'_{mm} = \frac{U_{dm}}{k} \quad (2.9)$$

Và do vậy, mô men mở máy M_{mm} bị giảm đi k^2 lần so với khi mở máy trực tiếp.

$$M'_{mm} = \frac{M_{mm}}{k^2} \quad (2.10)$$

b) Mở máy bằng biến áp tự ngẫu

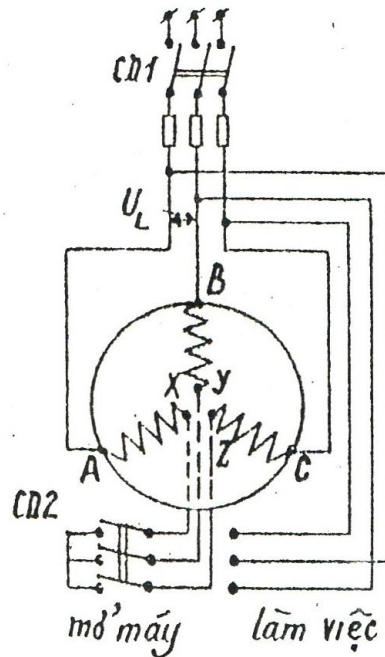
Đầu tiên đóng cầu dao CD1 và CD3 đưa điện áp thấp vào cực động cơ điện qua biến áp tự ngẫu TN (hình 2.6c). Sau khi đạt tốc độ quay nhất định nào đó có thể mở cầu dao CD3, khi đó động cơ được cấp điện qua một số vòng dây của máy biến áp tự

ngẫu TN, giống như trường hợp cấp điện qua cuộn kháng. Sau cùng tiến hành đóng cầu dao CD2 đưa điện áp định mức U_{dm} vào cực động cơ.

Nếu biến áp tự ngẫu TN giảm điện áp mở máy động cơ đi k_{TN} lần, thì dòng điện mở máy trong động cơ hay ở phía hạ áp HA của biến áp tự ngẫu I_{mm} cũng bị giảm đi k_{TN} lần, còn dòng điện mở máy phía cao áp CA của máy biến áp tự ngẫu hay ở phía lưới điện I_{mm} bị giảm đi k_{TN}^2 lần. Mô men mở máy của động cơ tỷ lệ với điện áp mở máy, cũng bị giảm đi k_{TN}^2 lần.

c) Mở máy bằng cách đổi nối tam giác – sao

Phương pháp mở máy bằng cách đổi nối sao - tam giác (hình 2.7) chỉ dùng thích hợp cho các động cơ điện lúc làm việc bình thường dây quấn stator đầu Δ .



Hình 2.7. Sơ đồ mở máy động cơ điện không đồng bộ rôto lồng sóc bằng cách đổi nối sao - tam giác.

Khi mở máy tiến hành đóng cầu dao CD2 trên hình 2.7 sang trái, ứng với vị trí mở máy, làm cho dây quấn stator đầu sao (Y); còn khi tốc độ động cơ đạt đến định mức phải nhanh chóng đóng cầu dao CD2 sang bên phải, ứng với vị trí làm việc, để dây quấn stator đầu lại thành sao (Δ).

So với khi mở máy trực tiếp với dây quấn stator đầu Δ , phương pháp mở máy này giảm được điện áp pha dây quấn stator ... lần, mô men mở máy giảm 3 lần, dòng điện mở máy trong mỗi pha dây quấn stator giảm ... lần, còn dòng điện mở máy phía lưới điện giảm 3 lần.

2.3.2.3. Mở máy động cơ điện không đồng bộ rôto dây quấn bằng biến trở mở máy

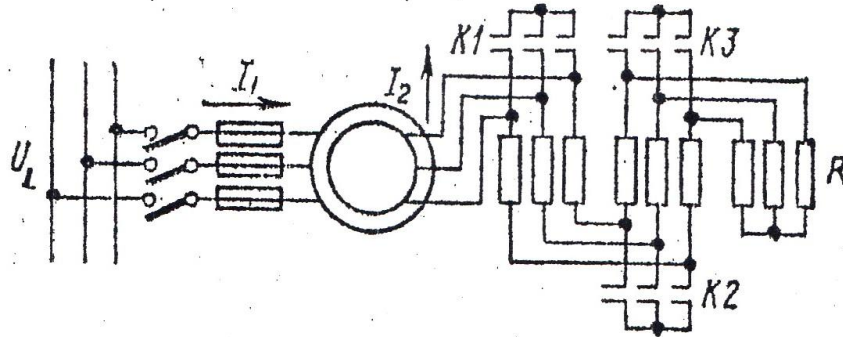
Động cơ điện rôto dây quấn ít được dùng hơn so với động cơ điện rôto lồng sóc. Chúng được sử dụng trong các trường hợp sau:

- Khi các động cơ điện rôto lồng sóc không đáp ứng được các yêu cầu về điều chỉnh tốc độ quay.

- Khi mở máy với mô men cản tĩnh M_c trên trục lớn, động cơ điện không đồng bộ rôto lồng sóc không thể mở máy được bằng phương pháp điện áp thấp, còn mở máy trực tiếp thì dòng điện mở máy lại quá lớn, không đảm bảo.

- Khi trọng lượng phần động lớn, nhiệt năng sinh ra ở mạch điện thứ cấp của động cơ điện rô to lồng sóc rất lớn, đốt nóng dây quấn rô to lồng sóc quá mức cho phép.

Dưới đây xét quá trình mở máy động cơ điện không đồng bộ rô to dây quấn nhờ biến trở mở máy nối nối tiếp vào mạch rô to như hình 2.8.



Hình 2.8. Sơ đồ mở máy động cơ điện không đồng bộ rô to dây quấn nhờ biến trở mở máy

Trước lúc mở máy, tất cả các cấp biến trở mở máy được nối vào mạch rô to qua vành tiếp xúc và chổi điện. Trong quá trình mở máy lần lượt đóng các tiếp điểm K3, K2, K1.

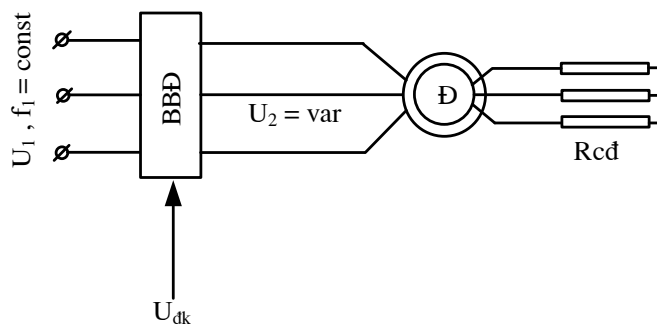
Ưu điểm của phương pháp mở máy này là tạo ra được mô men mở máy lớn, trong khi dòng điện mở máy lại nhỏ.

PHẦN THAM KHẢO ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ XOAY CHIỀU 3 PHA

I. Điều chỉnh tốc độ động cơ không đồng bộ bằng phương pháp thay đổi điện áp

1. Sơ đồ nguyên lý điều chỉnh

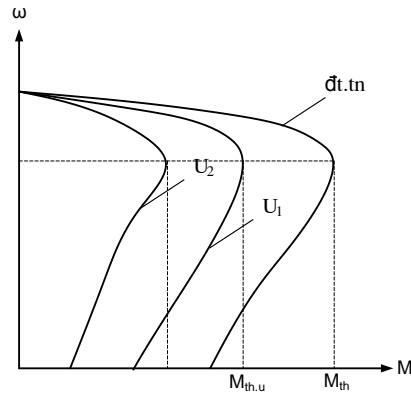
Để điều chỉnh điện áp ta dùng bộ biến đổi BBĐ có tín hiệu điện áp ra thay đổi theo tín hiệu điều khiển như sơ đồ nguyên lý sau



2. Đặc tính cơ trong điều chỉnh

a, Nếu bỏ qua tổng trở nguồn và không dùng điện trở phụ trong mạch rô to

Điện áp nguồn thay đổi ta thu được một họ đặc tính điều chỉnh có độ trượt tới hạn giữ nguyên còn M_{th} thay đổi tỉ lệ với U^2



Như vậy những đường đặc tính điều chỉnh này có đoạn làm việc ngắn, độ cứng thấp và M_{th} giảm nhanh khi điện áp giảm.

Để cải thiện đặc tính điều chỉnh và làm giảm mức phát nóng của máy điện người ta nối thêm một điện trở R_{cd} vào mạch roto. Khi điện áp đặt vào stato là định mức thì ta thu được đặc tính mềm hơn đặc tính tự nhiên, ta gọi nó là đường đặc tính giới hạn

$$s_{thgh} = s_{th} \cdot \frac{R_2 + R_{cd}}{R_2} \quad M_{thgh} = M_{th}$$

M_{thgh} , s_{thgh} : mô men và độ trượt tới hạn giới hạn của đặc tính giới hạn

M_{th} , s_{th} : mô men và độ trượt tới hạn của đặc tính tự nhiên

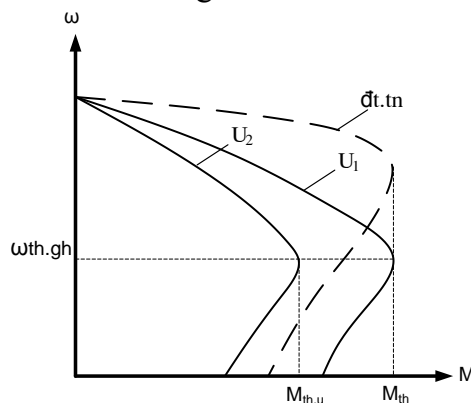
Khi điện áp đặt vào khác định mức, mô men tới hạn $M_{th.u}$ sẽ thay đổi tỉ lệ với bình phương điện áp còn độ trượt tới hạn $s_{th.u}$ thì không đổi

$$M_{th.u} = M_{thgh} \left(\frac{U}{U_{dm}} \right)^2 = M_{thgh} \cdot U^{*2}$$

$$s_{th.u} = s_{thgh} = const$$

Dựa vào đặc tính giới hạn $M_{gh}(s)$ ta suy ra đặc tính điều chỉnh ứng với giá trị U cho trước nhờ quan hệ $M_u = M_{gh} \cdot U^{*2}$

Các đường đặc tính điều chỉnh sẽ có dạng như sau:



b, Nếu tính đến cả tổng trở nguồn

Trường hợp đơn giản ta xét bộ biến đổi có điện trở R_b , điện kháng X_b và các thông số này không phụ thuộc vào điện áp U đặt vào động cơ, khi đó ta có

$$s_{thgh} = \frac{R_2 + R_{cd}}{\sqrt{(R_{lt}^2 + (X_{lt} + X_2)^2)}}$$

$$M_{thgh} = \frac{3U^2}{2\omega_0 [R_{lt} + \sqrt{R_{lt}^2 + (X_{lt} + X_2)^2}]} = M_{th} \frac{R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2)^2}}{R_{lt} + \sqrt{R_{lt}^2 + (X_{lt} + X_2)^2}}$$

Trong đó: $R_{1t} = R_1 + R_b$; $X_{1t} = X_1 + X_b$

Phương trình đặc tính cơ của đường đặc tính giới hạn sẽ là:

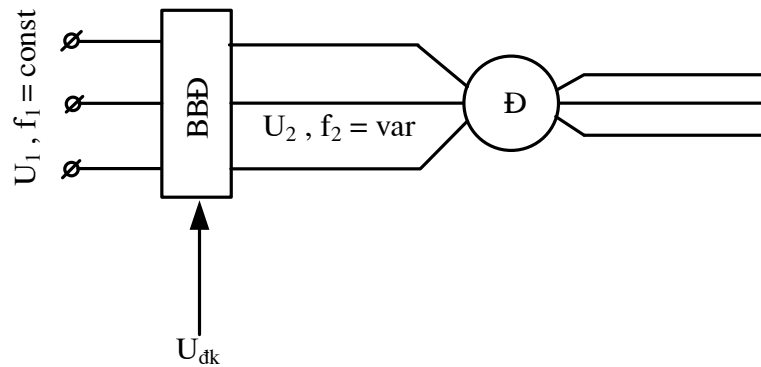
$$M_{gh} = \frac{2M_{thgh}(1 + a' s_{thgh})}{\frac{s}{s_{thgh}} + \frac{s_{thgh}}{s} + 2a' s_{thgh}} \quad \text{với:} \quad a' = \frac{R_{1t}}{R_2 + R_{cd}}$$

II. Điều chỉnh tốc độ động cơ không đồng bộ bằng phương pháp thay đổi tần số nguồn f_1

1. Khái niệm chung

Xuất phát từ biểu thức $\omega = \omega_0(1-s) = \frac{2\pi f_1}{p}(1-s)$, ta nhận thấy khi thay đổi tần số f_1 ta cũng có thể thay đổi được tốc độ của động cơ không đồng bộ.

Ta có sơ đồ điều chỉnh như sau:



Do máy điện được thiết kế để làm việc với một tần số nhất định nên việc thay đổi tần số sẽ làm ảnh hưởng đến chế độ công tác của máy điện.

$$\dot{E}_1 = C\Phi f_1 = \dot{U}_1 - \dot{I}_1 Z_1$$

$$C\Phi f_1 \approx \dot{U}_1 \Rightarrow \Phi = \frac{\dot{U}_1}{Cf_1} = C' \frac{\dot{U}_1}{f_1}$$

Nếu điện áp $U_1 = \text{const}$ thì khi tần số f_1 tăng thì từ thông Φ sẽ giảm do đó sẽ dẫn đến hiện tượng giảm mô men trong máy. Để giữ cho mô men không đổi thì ta phải tăng dòng điện. Như vậy động cơ sẽ bị quá tải về điện.

Nếu ta giảm tần số f_1 thì từ thông Φ sẽ tăng lên, điều này sẽ làm đốt nóng lõi thép và làm cho hiện tượng bão hòa từ trong máy tăng lên.

Như vậy đối với phương pháp thay đổi tần số thì khi điều chỉnh tần số thì ta cũng phải thay đổi U_1 cho phù hợp nhằm mục đích giữ cho Φ là không đổi.

2. Quy luật thay đổi tần số

Khi tiến hành điều chỉnh nếu ta giữ cho hệ số quá tải về mô men là một hằng số thì chế độ làm việc của máy điện sẽ luôn được duy trì ở mức tối ưu như khi làm việc với tải định mức.

Như vậy khi điều chỉnh ta cần phải luôn thoả mãn điều kiện: $\lambda = \frac{M_{th}}{M_c} = \text{const}$

Nếu coi $r_1 \approx 0$ từ biểu thức của M_{th} , ta có:

$$M_{th} \approx \frac{3U_1^2}{2\omega_0(x_1 f_1 + x_2' f_1)} = \frac{3U_1^2}{\frac{4\pi}{p}(C_1 + C_2')f_1^2}$$

Trong đó, ta đã thay thế $\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p}$

Hệ số quá tải về mô men của động cơ được xác định dựa vào M_{th} và $M_c = f(\omega)$

$$\lambda = \frac{M_{th}}{M_c} = \frac{3U_1^2}{\frac{4\pi}{p}(C_1 + C_2')f_1^2 \cdot M_c(\omega)} = A \cdot \frac{U_1^2}{f_1^2 \cdot M_c(\omega)}$$

Thay thế $M_c = f(\omega)$ bằng phương trình đặc tính cơ dạng gần đúng của máy sản xuất và

coi $\omega \approx \omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p} \Rightarrow M_c(\omega) = M_{c.dm} \cdot \omega^x = M_{c.dm} \frac{(2\pi)^x}{p^x} \cdot f_1^x = B \cdot f_1^x$

Như vậy ta có $\lambda = \frac{M_{th}}{M_c} = \frac{A}{B} \cdot \frac{U_1^2}{f_1^{(2+x)}}$ và viết biểu thức λ cho trường hợp làm việc ở các thông số định mức và trong trường hợp U_1, f_1 bất kỳ và thoả mãn điều kiện $\lambda = \text{const}$ lúc đó ta có

$$\frac{U_{1dm}^2}{f_1^{(2+x)}} = \frac{U_1^2}{f_1^{(2+x)}} \Rightarrow \frac{U_1^2}{U_{1dm}^2} = \frac{f_1^{(2+x)}}{f_{1dm}^{(2+x)}}$$

Từ đó ta rút ra quy luật biến đổi của điện áp $\frac{U_1}{U_{1dm}} = \sqrt{\frac{f_1^{(2+x)}}{f_{1dm}^{(2+x)}}}$ hoặc $U_1^* = \sqrt{f_1^{*(2+x)}}$

Vậy điện áp stato phải thay đổi phụ thuộc tần số và đặc tính phụ tải. Cho x các giá trị khác nhau ta sẽ có những quy luật biến đổi khác nhau của điện áp. Ta có bảng biểu diễn quy luật:

Loại tải	X	Quy luật điều chỉnh
Kiểu máy tiện	-1	$\sqrt{f_1^*}$
Kiểu máy nâng	0	f_1^*
Ma sát nhớt	1	$\sqrt{f_1^{*3}}$
Quạt gió	2	f_1^{*2}

3. Các đặc tính điều chỉnh

Đặc tính cơ của động cơ khi điều chỉnh tần số không những phụ thuộc vào f_1 mà còn phụ thuộc vào quy luật thay đổi điện áp, nghĩa là phụ thuộc vào đặc tính tải.

Khi sử dụng quy luật điều chỉnh điện áp gần đúng thì mô men tới hạn của đặc tính điều chỉnh cũng được xác định gần đúng. Khi tần số và điện áp là định mức thì mô men tới hạn sẽ là:

$$M_{th.dm} = \frac{3U_{1dm}^2}{\frac{4\pi}{p} f_{1dm}^2 (C_1 + C_2')}$$

So sánh với M_{th} ta có $M_{th} = M_{th.dm} \frac{U_1^{*2}}{f_1^{*2}}$ và thay U_1^* bằng quy luật biến thiên vừa xác định được ta sẽ có $M_{th} = M_{th.dm} f_1^{*x}$

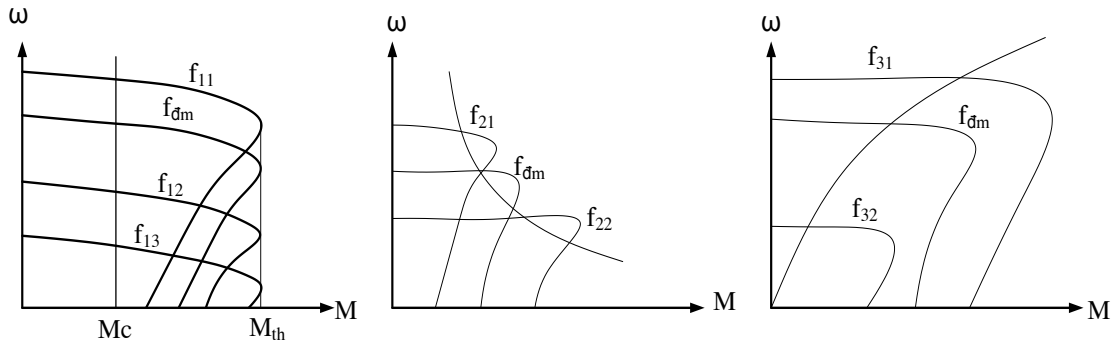
Độ trượt tới hạn được xác định theo biểu thức gần đúng $s_{th} = \frac{R_2'}{C_1 f_1^* + C_2' f_1^*} = \frac{s_{th.dm}}{f_1^*}$

Trong đó $s_{th.dm}$ là độ trượt tới hạn của đặc tính cơ tự nhiên.

Như vậy khi biết số liệu của đặc tính tự nhiên và đặc tính cơ của máy sản xuất ta có thể xác định được M_{th} và s_{th} của động cơ tại bất kỳ tần số nào. Cuối cùng sử dụng phương trình:

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

ta sẽ dựng được đặc tính cơ điều chỉnh. Dưới đây trình bày dạng các đường đặc tính cơ ứng với các phụ tải khác nhau.



Trên thực tế họ đặc tính này đều thỏa mãn điều kiện $\lambda = \frac{M_{th}}{M_c} = const$

Trong thực tế, do ta bỏ qua giá trị R_1 nên ở những miền tần số thấp mô men tới hạn có sự sai khác đáng kể so với giá trị tính toán. Ở những miền tần số cao thì điện kháng từ hoá $x_\mu \gg R_1$ nên ta có thể bỏ qua còn khi tần số điều chỉnh thấp thì giá trị R_1 không thể bỏ qua được nên kết quả tính toán sẽ không chính xác. Hệ số quá tải thực tế bị giảm đáng kể trong miền này.

Độ cứng của đặc tính cơ cũng phụ thuộc vào tần số điều chỉnh và đặc tính của mô men cản. Để đơn giản trong tính toán ta coi đoạn làm việc của đặc tính cơ là đường thẳng và có phương trình:

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

Khi đó độ cứng của nó sẽ được xác định theo phương trình:

$$\beta = -\frac{1}{\omega_0} \frac{2M_{th}}{s_{th}}$$

Thay các giá trị của M_{th} và s_{th} vào ta có các đặc tính điều chỉnh tương ứng

III. Điều chỉnh tốc độ động cơ không đồng bộ bằng phương pháp thay đổi số đôi cực

1. Nguyên lý điều chỉnh

Khi thay đổi số đôi cực của máy điện KĐB, tốc độ từ trường quay thay đổi do đó tốc độ của roto cũng thay đổi theo. Quan hệ đó được thể hiện theo biểu thức:

$$\omega = \omega_0(1-s) = \frac{2\pi f_1}{p}(1-s)$$

f_1 : tần số của lưới điện

p : số đôi cực

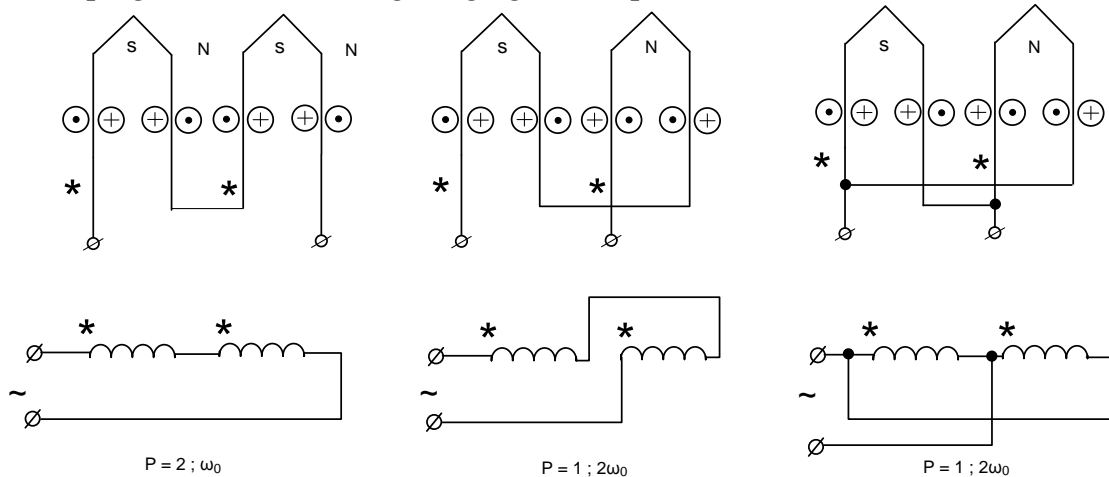
Để có thể thay đổi được số đôi cực của động cơ thì máy điện phải được chế tạo đặc biệt. Những máy điện kiểu đó gọi là máy điện đa tốc. Số đôi cực của máy có thể được thay đổi bằng 2 cách:

- + Dùng 2 tổ dây quấn stato riêng biệt, mỗi tổ có số đôi cực riêng
- + Dùng một tổ dây quấn stato nhưng mỗi pha được chia làm 2 đoạn, thay đổi cách nối dây giữa 2 đoạn đó ta sẽ thay đổi được số đôi cực.

Thông thường những động cơ có từ 3 cấp tốc độ trở lên đều có 2 hoặc nhiều tổ dây quấn stator. Mỗi tổ lại có thể phân đoạn để thay đổi số đôi cực theo cách hỗn hợp. Những loại động cơ kiểu này thường là loại động cơ lồng sóc.

Ta khảo sát phương pháp thay đổi số đôi cực bằng cách thay đổi cách đấu dây ở stator :

Giả sử ta có một tổ đấu dây ở stator gồm 2 đoạn, mỗi đoạn là một phần tử dây quấn, nếu ta đấu nối tiếp hai đoạn đó thuận cực nhau thì số đôi cực sẽ là $p = 2$, còn nếu ta đấu nối tiếp ngược cực hoặc song song ngược thì $p = 1$.



Như vậy bằng cách đổi nối đơn giản ta đã điều chỉnh được tốc độ động cơ.

Câu hỏi ôn tập chương 2

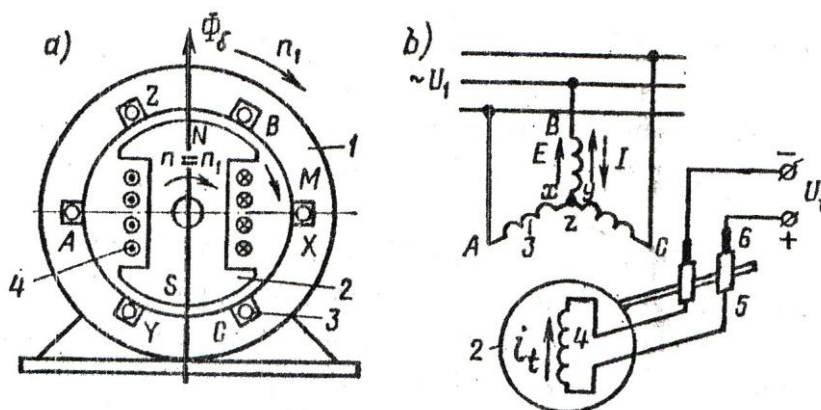
- Câu 1. Nguyên lý làm việc chung của máy điện không đồng bộ là gì ? Vai trò của máy điện không đồng bộ trong công nghiệp và dân dụng ?
- Câu 2. Mối quan hệ của hệ số trượt s với tốc độ quay của rôto n ? Tại sao tốc độ quay của rôto lại khác tốc độ của từ trường quay ?
- Câu 3. Cấu tạo của động cơ không đồng bộ ba pha loại lồng sóc và dây quấn ? Chức năng của mỗi bộ phận ?
- Câu 4. Các yêu cầu khi mở máy động cơ điện không đồng bộ, giải thích vai trò và ý nghĩa của các yêu cầu khi mở máy động cơ không đồng bộ ?
- Câu 5. Giải thích tại sao cần phải áp dụng các phương pháp khởi động các động cơ không đồng bộ có những phương pháp khởi động nào ?
- Câu 6. Đặc điểm của các phương pháp mở máy động cơ không đồng bộ rôto lồng sóc, phạm vi ứng dụng của từng phương pháp ?
- Câu 7. Đặc điểm của các phương pháp mở máy động cơ không đồng bộ rôto dây quấn, phạm vi ứng dụng của từng phương pháp ?

Chương 3. MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Nội dung chính của chương máy điện đồng bộ nhằm giúp người đọc hiểu được cấu tạo và nguyên lý làm việc chung và những thông số kỹ thuật của máy điện đồng bộ, biết các phương pháp mở máy đối với động cơ điện đồng bộ. Ngoài ra người đọc còn hiểu được vai trò, phạm vi ứng dụng của máy phát và động cơ điện đồng bộ.

3.1. Nguyên lý làm việc cơ bản của máy điện đồng bộ

Stato của máy điện đồng bộ (hình 3.1a) có cấu tạo giống như stato của máy điện không đồng bộ. Dây quấn stato 3 của máy điện đồng bộ thường có ba pha AX, BY, CZ (tổng quát có nhiều pha), có cấu tạo giống như dây quấn stato của máy điện không đồng bộ, có số cực từ bằng số cực từ của rô to, được gọi là dây quấn phần ứng.



Hình 3.1. Sơ đồ điện từ (a) và sơ đồ đấu dây (b) của máy điện đồng bộ

Trên lõi thép rô to của máy điện đồng bộ đặt dây quấn kích thích 4, được cung cấp điện một chiều từ nguồn ngoài qua vành trượt 5 và chổi điện 6. Như vậy, dòng điện sinh ra trong dây quấn rô to là do nguồn điện một chiều bên ngoài cung cấp, chứ không phải từ con đường cảm ứng như trong máy điện không đồng bộ. Dây quấn kích thích, có nhiệm vụ tạo ra từ trường kích thích trong máy. Rô to cùng với dây quấn kích thích được gọi chung là phần cảm. Khi chế tạo máy điện đồng bộ, cần phải sử dụng các biện pháp sao cho nhận được sự phân bố từ cảm của từ trường kích thích dọc theo chu vi stato có dạng gần sin nhất.

Nếu quay rô to của máy điện đồng bộ với tốc độ n nào đó và cấp điện cho dây quấn kích thích, thì từ thông kích thích Φ_t sẽ quét qua các thanh dẫn dây quấn stato, cảm ứng trong các pha dây quấn stato s.đ.đ xoay chiều E (hình 3.1b) biến đổi với tần số f_1 .

$$f_1 = \frac{pn}{60}, \text{ Hz} \quad (3.1)$$

trong đó:

n -tốc độ quay rô to, vg/ph

Hệ thống s.đ.đ dây quấn stato là hệ thống s.đ.đ ba pha đối xứng. Khi mắc tải đối xứng cho nó, dây quấn stato sẽ mang tải ba pha đối xứng và máy làm việc ở chế độ máy phát điện.

Khi mang tải, dây quấn stato tạo ra từ trường quay, giống như của dây quấn stato máy điện không đồng bộ. Từ trường stato quay theo chiều quay của rô to, với tốc độ:

$$n_1 = \frac{60f_1}{p}, \text{vg/ph} \quad (3.2)$$

Từ các công thức (3.1) và (3.2), ta có:

$$n_1 = n \quad (3.3)$$

Như vậy, từ trường stato luôn quay cùng chiều và cùng tốc độ (nghĩa là quay đồng bộ) với rôto, chính vì vậy mà máy điện được gọi là máy điện đồng bộ.

Từ trường stato và từ trường rô to luôn quay đồng bộ với nhau, tạo ra từ trường quay tổng Φ_δ giống như ở máy điện không đồng bộ.

Có thể đặt dây quấn phần ứng ở phần tĩnh, còn dây quấn kích thích ở phần quay như trên hình 3.1a (kiểu cơ bản), hoặc có thể đặt ngược lại (kiểu đảo ngược) vì điều đó không làm thay đổi nguyên lý làm việc cơ bản của máy điện.

Máy điện đồng bộ có thể làm việc song song với các máy phát điện đồng bộ khác trên cùng một lưới điện.

Khi làm việc với lưới điện, máy điện đồng bộ có thể cung cấp điện năng cho lưới điện (tư cách này là máy phát điện) hoặc tiêu thụ điện năng từ lưới điện (tư cách là động cơ điện).

Khi dây quấn stato nối vào lưới điện có điện áp U_1 , tần số f_1 , giống như ở máy điện không đồng bộ, dòng điện stato tạo ra từ trường quay stato. Tác dụng tương hỗ giữa từ trường quay stato với dòng điện kích thích i_f của rô to sẽ tạo ra mômen điện từ M . Khi máy làm việc ở chế độ động cơ điện mô men điện từ M đóng vai trò mô men chủ động; còn khi làm việc ở chế độ máy phát điện là mô men hãm.

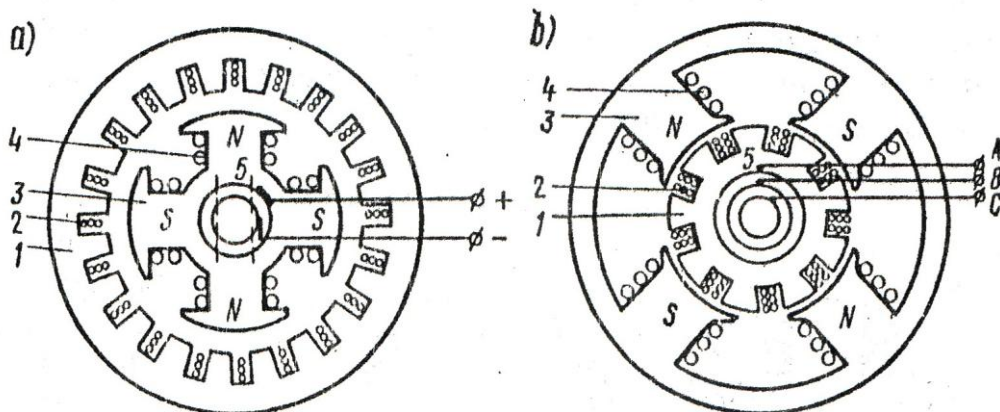
Như vậy khác với máy điện không đồng bộ, sẽ sinh ra mô men điện từ ở máy điện đồng bộ không đòi hỏi phải có s.d.đ cảm ứng ở dây quấn rô to, vì trong dây quấn rô to đã có dòng điện i_f được cung cấp từ nguồn ngoài. Cũng chính vì vậy, mà rô to luôn quay đồng bộ với từ trường quay stato cả ở chế độ động cơ điện, cũng cả ở chế độ máy phát điện, không phụ thuộc vào tải cơ trên trục rô to hoặc tải điện.

3.2. Phân loại và cấu tạo của máy điện đồng bộ

3.2.1. Phân loại

Có thể phân loại máy điện đồng bộ theo kết cấu, theo cách đặt các dây quấn và theo chức năng của máy.

- Theo kết cấu, máy điện đồng bộ được phân thành: máy cực âm và máy cực lồi.



Hình 3.2. Máy điện đồng bộ kiểu cơ bản (a) và kiểu đảo ngược (b).

- Theo cách đặt các dây quấn, máy điện đồng bộ có công suất lớn thường được chế tạo theo kiểu cơ bản, có dây quấn phần ứng đặt ở phần tĩnh (hình 3.2a) để tiện cho việc truyền dẫn điện năng từ phần ứng ra lưới điện. Mặt khác, khi đó thực hiện cấp điện cho dây quấn kích thích qua các vành trượt không phải gặp trở ngại lớn do công suất kích thích nhỏ. Các máy điện đồng bộ có công suất nhỏ $2 \div 5kW$, thường được chế tạo theo kiểu đảo ngược (hình 3.2b).

- Theo chức năng, máy điện đồng bộ được phân thành:

+ Máy phát điện đồng bộ: Máy phát điện đồng bộ được sử dụng để biến đổi cơ năng thành điện năng. Điện năng ba pha dùng trong sản xuất và trong đời sống hiện nay chủ yếu được sản xuất ra từ các máy phát điện quay bằng tuabin hơi hoặc khí (gọi là máy phát tuabin hơi) hoặc quay bằng tuabin nước (gọi là máy phát tuabin nước). Máy phát điện đồng bộ được quay bằng các loại động cơ khác (động cơ diesel, động cơ đốt trong, xy lanh hơi nước...) được chế tạo có công suất vừa và nhỏ, dùng cho các tải địa phương.

+ Động cơ điện đồng bộ: Khác với các động cơ điện không đồng bộ, động cơ điện đồng bộ có khả năng phát ra chứ không tiêu thụ công suất phản kháng. Các động cơ điện đồng bộ thường được dùng để kéo các tải không yêu cầu phải thay đổi tốc độ, có công suất chủ yếu từ 200kW trở lên, như dùng để truyền động cho các máy nén xi lanh, quạt gió mở, nôm thủy lực, máy xúc mỏ lộ thiên... Các động cơ điện đồng bộ có công suất nhỏ (đặc biệt làm các động cơ nam châm vĩnh cửu) được sử dụng rất rộng rãi trong các thiết bị tự động và điều khiển.

+ Máy bù đồng bộ: Máy bù đồng bộ chủ yếu được dùng để cải thiện hệ số công suất $\cos\varphi$ của lưới điện.

Ngoài ra trong thực tế còn gặp các máy điện đồng bộ đặc biệt, như: máy biến đổi một phần ứng, máy đồng bộ tần số cao, các máy đồng bộ công suất nhỏ dùng trong điều khiển tự động: động cơ đồng bộ phản kháng, động cơ đồng bộ từ trễ, động cơ bước...

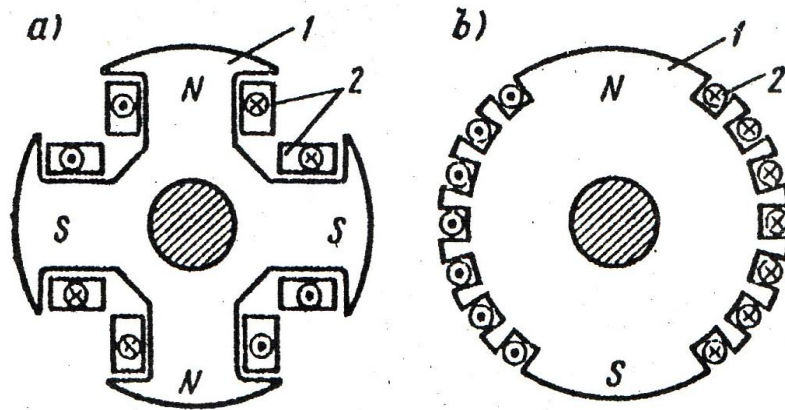
3.2.2. Cấu tạo

3.2.2.1. Kết cấu của máy điện đồng bộ cực ẩn:

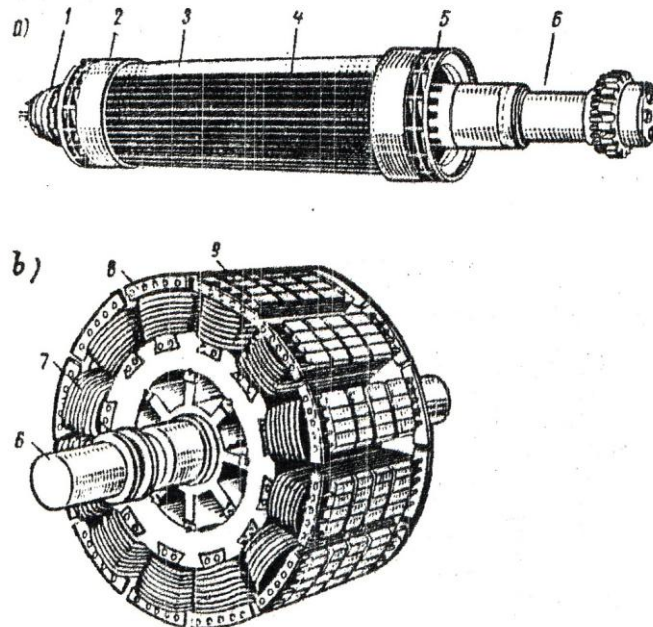
Kết cấu rôto của máy điện đồng bộ công suất lớn phụ thuộc chủ yếu vào tốc độ quay. Kết cấu rôto cực ẩn hình 3.3b được dùng đặc biệt thích hợp cho các máy điện đồng bộ có hai cực $2p=2$ ($n=3000\text{vg/ph}$) và bốn cực $2p=4$ ($n=1500\text{vg/ph}$), như các máy phát tuabin hơi. Sở dĩ không dùng được kết cấu rô to cực lồi cho các máy có ít cực (đặc biệt là máy hai cực) là vì việc cố định dây quấn kích thích rất khó khăn.

Rôto của máy điện đồng bộ cực ẩn (hình 3.3a) được làm bằng thép hợp kim chất lượng cao (hợp kim Crom, Niken, Mólipđen). Nó được chế tạo từ một phôi thép nguyên với cả đầu trục, được rèn thành khối hình trụ, sau đó gia công và phay rãnh để đặt dây quấn kích thích. Phần không phay rãnh của rô to hình thành nên mặt cực từ. Mặt cắt ngang trục lõi thép rô to cho trên hình 3.3b. Do tốc độ quay lớn, để hạn chế lực ly tâm và đảm bảo độ bền cơ. Khi $n=3000\text{vg/ph}$ đường kính rô to D không vượt quá $1,20 \div 1,30\text{m}$. Để tăng công suất máy, chỉ có thể tăng chiều dài l của rôto. Chiều dài tối đa của rôto vào khoảng $l \approx 7,5 \div 8,5\text{m}$.

Dây quấn kích thích đặt trong rãnh rô to được chế tạo từ dây đồng trần tiết diện chữ nhật quấn theo chiều mỏng thành các bó dây đồng tâm. Các vòng dây của bó dây này được cách điện với nhau bằng một lớp mica mỏng.



Hình 3.3. Rô to của máy điện đồng bộ cực lồi (a) và cực ẩn (b): 1- lõi thép rô to; 2- dây quấn kích thích



Hình 3.4. Hình dáng bề ngoài rô to cực ẩn (a) và cực lồi (b)

Để cố định và ép chặt dây quấn kích thích vào trong rãnh, miệng rãnh được nôm kín bằng các thanh nôm thép không từ tính. Phần đầu nổi (nằm ngoài rãnh) của dây quấn kích thích được đai chặt bằng các ống trụ thép không từ tính.

Hai đầu dây quấn kích thích đi luôn trong trục và nối với hai vành trượt đặt ở đầu trục, thông qua hai chổi điện dây quấn kích thích được nối với nguồn một chiều bên ngoài.

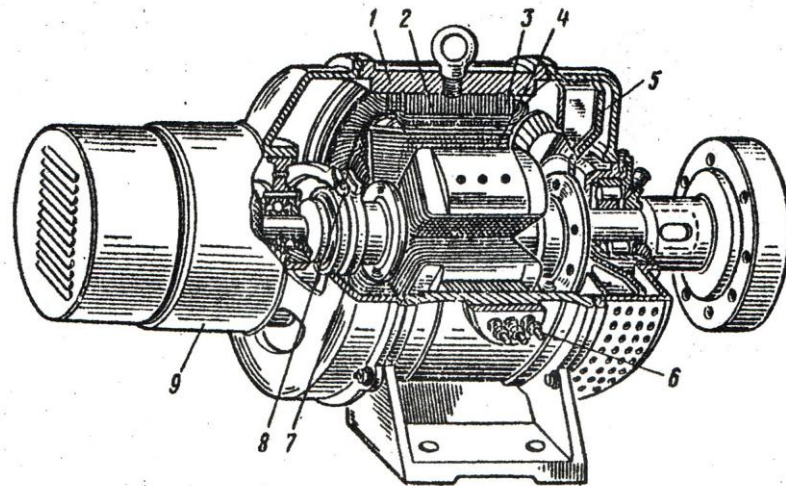
Thường sử dụng máy phát điện một chiều làm máy kích thích từ của máy điện đồng bộ. Máy kích từ được đặt trên trục máy điện đồng bộ hoặc được nối với trục của nó.

Stato của máy điện đồng bộ cực ẩn bao gồm lõi thép, trong đó có đặt dây quấn ba pha, than máy và nắp máy. Lõi thép stato được chế tạo từ các lá thép kỹ thuật điện (tôn silic) dày 0,5mm, hai mặt có phủ sơn cách điện, rồi được ép chặt lại. Dọc chiều dài lõi thép stato cứ cách khoảng $3 \div 6cm$ lại có một rãnh thông gió ngang trục, rộng 10mm. Lõi thép stato được đặt cố định trong than máy. Ở các máy điện đồng bộ công

suất trung bình và lớn, thân máy được chế tạo sao cho trong nó hình thành hệ thống đường thông gió để làm nguội máy điện. Nắp máy cũng được chế tạo từ thép tấm hoặc từ gang đúc. Đối với các máy điện đồng bộ công suất trung bình và lớn, ổ trục được đặt trên giá đỡ ổ trục, đặt cố định trên bộ máy.

3.2.2.2. Kết cấu của máy điện đồng bộ cực lồi

Kết cấu rô to cực lồi hình 3.5 được dùng trong các máy điện đồng bộ có số cực từ $2p \geq 4$ ($n \leq 1500 \text{vg/ph}$), như máy phát tuabin nước, máy phát diezen, máy bù đồng bộ, động cơ tốc độ chậm...



Hình 3.5. Cấu tạo của máy điện rô to cực lồi

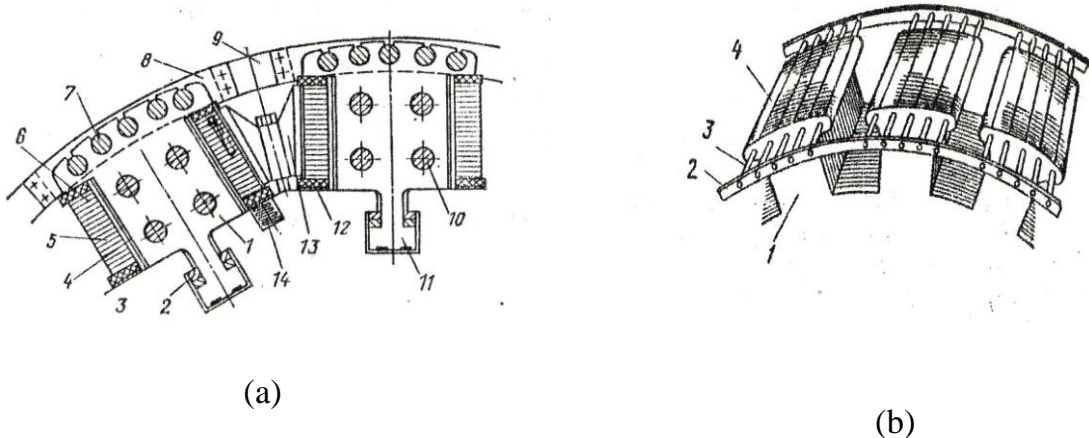
Máy điện đồng bộ cực lồi thường có tốc độ quay thấp (cỡ vài chục hoặc vài trăm vg/ph), vì máy có số cực từ lớn ($2p = 16 \div 96$). Vì vậy, khác với máy điện đồng bộ cực ẩn, đường kính rô to D của máy điện đồng bộ cực lồi có thể đến 15m trong khi chiều dài 1 của nó lại nhỏ (tỷ lệ $l/D = 0,15 \div 0,2$).

Kết cấu của máy điện đồng bộ cực lồi công suất nhỏ cho trên hình 3.5. Lõi thép rô to máy điện đồng bộ cực lồi công suất trung bình và nhỏ được làm bằng thép đúng và gia công thành khối lăng trụ hoặc khối hình trụ (bánh xe) trên mặt có đặt các cực từ. Ở các máy có công suất lớn, lõi thép rô to được chế tạo từ các tấm thép dày $1 \div 6 \text{mm}$, được dập hoặc đúc định hình sẵn để ghép thành các khối lăng trụ và lõi thép này không được lồng trực tiếp vào trục máy. Cực từ đặt trên lõi thép rô to. Giá đỡ rô to mới được lồng $1 \div 1,5 \text{mm}$. Cực từ được cố định trên lõi thép nhờ đuôi hình T hoặc nhờ các bulông xuyên qua mặt cực và vít chặt vào lõi thép rô to.

Dây quấn kích thích được chế tạo từ dây đồng trần tiết diện chữ nhật quấn theo chiều mỏng thành từng cuộn dây. Cách điện giữa các vòng dây là các lớp mica hoặc amiang. Các cuộn dây sau khi gia công được lồng vào than các cực từ.

Dây quấn cần (ở máy phát điện đồng bộ) hoặc dây quấn mở máy (ở động cơ điện đồng bộ) được đặt trên các đầu cực. Các dây quấn này (giống như dây quấn lồng sóc của máy điện không đồng bộ) được chế tạo từ các thanh dẫn bằng đồng đặt vào rãnh ở các đầu cực và hai đầu của chúng được nối bằng hai vòng ngắn mạch (hình 3.6b). Dây quấn mở máy chỉ khác dây quấn cần ở chỗ các thanh lớn hơn, do được làm từ những vật liệu có điện trở suất cao hơn (đồng thau).

Stato của máy điện đồng bộ cực lồi có cấu tạo tương tự như stato của máy điện đồng bộ cực ẩn.



Hình 3.6. Mặt cắt ngang (a) và dây quấn (b) của rôto cực lồi

Trục của các máy đồng bộ cực lồi (động cơ điện đồng bộ, máy bù đồng bộ, máy phát điện diezen...) thường được đặt nằm ngang.

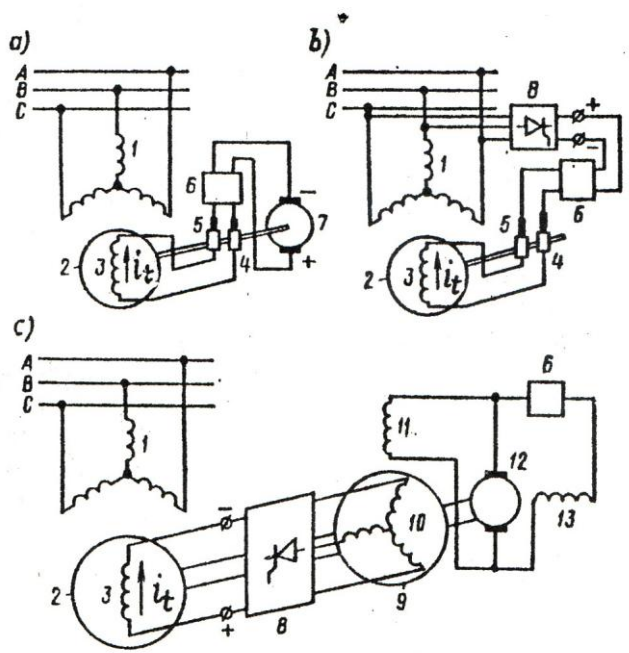
Trục của các máy phát tuabin nước được đặt thẳng đứng.

3.2.2.3. Hệ thống kích thích của máy điện đồng bộ

Theo phương pháp cấp điện cho dây quấn kích thích, hệ thống kích thích của máy điện đồng bộ được phân thành: kích thích độc lập và tự kích.

Ở hệ thống kích thích độc lập, nguồn điện cấp cho dây quấn kích thích lấy từ máy phát điện một chiều (máy kích từ) đặt trên trục của máy điện đồng bộ (hình 3.7a) hoặc lấy từ máy phát điện riêng, được quay bởi động cơ điện đồng bộ.

Ở hệ thống tự kích, dây quấn kích thích được cấp điện từ dây quấn phần ứng của máy điện đồng bộ qua bộ chỉnh lưu có điều khiển hoặc không có điều khiển dùng van bán dẫn (hình 3.7b). Công suất cần thiết để kích thích chỉ bằng 0,3 ÷ 3,0% công suất của máy điện đồng bộ.



Hình 3.7. Sơ đồ kích thích của máy phát điện đồng bộ

Trong các máy phát điện công suất lớn, ngoài máy kích từ chính, đôi khi còn có thêm máy kích từ phụ (là máy phát điện một chiều công suất nhỏ), dùng để cấp điện

cho cuộn kích thích của máy kích từ chính. Trong trường hợp này có thể sử dụng máy phát điện đồng bộ kết hợp với bộ chỉnh lưu bán dẫn để làm máy kích từ chính. Việc cấp điện cho dây quấn kích thích qua chỉnh lưu bán dẫn dùng điôt hoặc thyristơ được áp dụng rộng rãi ở các động cơ điện đồng bộ và máy phát điện đồng bộ công suất nhỏ và trung bình, cũng như cả ở các máy phát tuabin nước và tuabin hơi công suất lớn (hệ thống kích thích dùng thyristor). Việc điều chỉnh dòng điện kích thích i_f được thực hiện tự động nhờ bộ điều chỉnh kích thích đặc biệt. Ở các máy phát điện công suất nhỏ đôi khi người ta điều chỉnh dòng điện kích thích bằng tay, nhờ thay đổi trị số biến trở mắc trong mạch dây quấn kích thích.

Để nâng cao độ tin cậy cho hệ thống kích thích, người ta dùng hệ thống kích thích không có chổi điện (hình 3.7c), nghĩa là trong mạch cấp điện cho dây quấn kích thích của máy phát điện đồng bộ không có vành trượt và chổi điện. Trên hình 3.7c, máy kích từ chính là máy phát điện đồng bộ có dây quấn phần ứng đặt trên rô to và có bộ chỉnh lưu được gắn trực tiếp lên trục. Cuộn dây kích thích của máy kích từ chính được cấp điện từ máy kích từ phụ qua bộ điều chỉnh điện áp.

3.3. Động cơ điện đồng bộ

3.3.1. Ưu, nhược điểm và phạm vi sử dụng của động cơ điện đồng bộ

Trong thực tế chủ yếu dùng động cơ điện không đồng bộ, do chúng có những ưu thế: cấu tạo đơn giản, làm việc chắc chắn, bảo quản dễ dàng và giá thành hạ.

Tuy vậy, so với loại động cơ điện không đồng bộ, các động cơ điện đồng bộ có những ưu điểm:

- Nhờ được kích thích bằng dòng điện một chiều, chúng có thể làm việc với $\cos\varphi=1$, và khi đó không tiêu thụ một công suất phản kháng nào của lưới điện. Còn khi làm việc ở chế độ quá kích thích, thậm chí các động cơ điện đồng bộ sẽ phát công suất phản kháng vào lưới điện, cải thiện được hệ số công suất của lưới điện, làm giảm hao tổn điện áp và tổn hao công suất trong lưới điện, cũng như nâng cao hệ số công suất của máy phát điện, làm việc trên trạm phát điện.

- Mômen cực đại của động cơ điện đồng bộ tỷ lệ với U , còn của động cơ điện không đồng bộ tỷ lệ với U^2 . Vì vậy khi điện áp giảm, động cơ điện đồng bộ vẫn có khả năng duy trì sự làm việc với tải lớn. Ngoài ra, sử dụng khả năng tăng dòng điện kích thích của các động cơ điện đồng bộ sẽ cho phép tăng độ tin cậy làm việc của chúng khi điện áp trong lưới điện bị giảm xuống do sự cố và cải thiện được điều kiện làm việc của cả lưới điện.

- Do trị số khe hở không khí lớn, các tổn hao phụ trong thép và trong lồng sóc rô to của các động cơ điện đồng bộ nhỏ hơn so với động cơ điện không đồng bộ, vì vậy mà các động cơ điện đồng bộ thường có hiệu suất cao hơn.

Cấu tạo của các động cơ điện đồng bộ phức tạp hơn so với động cơ điện không đồng bộ rô to lồng sóc, và thêm vào đó, các động cơ điện đồng bộ cần phải có máy kích từ hoặc một thiết bị nào khác để cung cấp dòng điện một chiều cho dây quấn kích thích. Vì vậy, nói chung động cơ điện đồng bộ đắt hơn động cơ điện không đồng bộ rô to lồng sóc. Việc mở máy và điều chỉnh tốc độ quay của động cơ điện đồng bộ cũng phức tạp hơn.

Các động cơ điện đồng bộ có ưu thế lớn chỉ khi $P_{dm} > 200 \div 300kW$ và chúng được sử dụng thích hợp ở những nơi không đòi hỏi phải mở máy, dừng và điều khiển tốc độ quay thường xuyên (tổ hợp động cơ điện-máy phát điện, bơm công suất lớn, máy nén khí, quạt gió mỏ, động cơ dẫn động chính trong các máy xúc EKG-8U trên mỏ khai thác lộ thiên...). Theo nghiên cứu của các tác giả L.V.litvak,

L.A.Surtramiannikôv, các động cơ điện đồng bộ có $\cos\varphi_{dm}=1$ xét về mặt giá thành và tổn hao năng lượng luôn ưu việt hơn so với các động cơ điện không đồng bộ có dùng kết hợp với tụ điện để bù hệ số công suất đến $\cos\varphi=1$. Khi $P_{dm} > 300kW$ dùng các động cơ điện đồng bộ có $\cos\varphi_{dm}=0,9$ làm việc ở chế độ quá kích thích là có lợi; còn khi $P_{dm} > 1000kW$ - dùng với $\cos\varphi=0,8$. Các động cơ điện đồng bộ được chế tạo có công suất đến $P_{dm} = 50000kW$.

Ngày nay, các động cơ điện đồng bộ được sử dụng ngày càng rộng rãi.

3.3.2. Các phương pháp mở máy động cơ điện đồng bộ

3.3.2.1. Mở máy theo phương pháp không đồng bộ

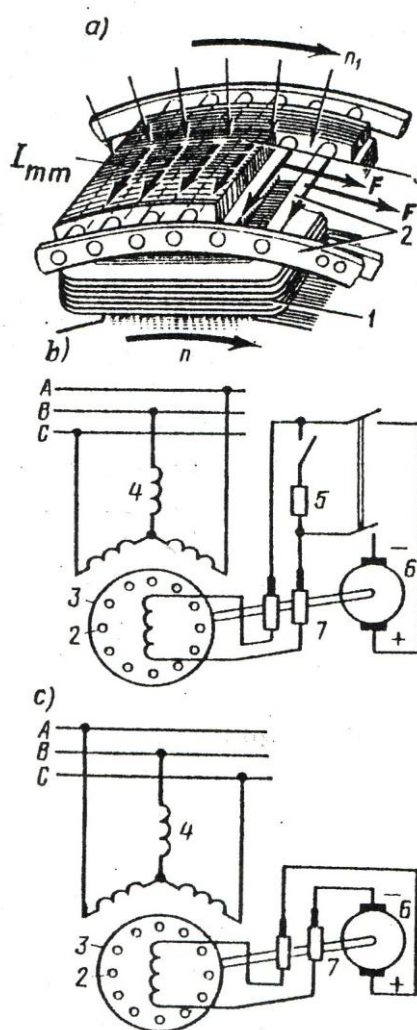
Đa số các động cơ điện đồng bộ sử dụng phương pháp mở máy này.

Quá trình mở máy không đồng bộ động cơ điện đồng bộ được chia thành hai giai đoạn.

Giai đoạn I: khi mở máy, dây quấn phần ứng của động cơ điện đồng bộ (hình 3.8b) được nối với lưới điện. Từ trường quay phần ứng được sinh ra tác dụng tương hỗ với dòng điện trong dây quấn mở máy (hình 3.8a), tạo nên lực điện từ F và mômen điện từ không đồng bộ, làm quay rôto.

Dây quấn mở máy có cấu tạo kiểu lồng sóc đặt trong các rãnh ở mặt cực, hai đầu nối với hai vành ngăn mạch (hình 8a) và được tính toán để mở máy trực tiếp. Ở một số động cơ điện, các mặt cực bằng thép nguyên khối được nối với nhau ở hai đầu rô to bằng hai vòng ngăn mạch, thay thế cho rô to lồng sóc để mở máy. Còn đối với các động cơ điện đồng bộ cực ẩn, việc mở máy theo phương pháp không đồng bộ có khó khăn hơn, vì dòng điện cảm ứng ở lớp mỏng mặt ngoài rô to nguyên khối sẽ gây nóng cục bộ đáng kể. Trong trường hợp đó, để mở máy được dễ dàng, cần phải hạ thấp điện áp bằng cách dùng biến áp tự ngẫu hoặc cuộn kháng.

Giai đoạn II: Ở cuối quá trình mở máy không đồng bộ, khi $s \approx 0,05$ rơ le tốc độ tác động, tiếp điểm 7 của công tắc tự đóng lại, còn tiếp điểm 8 bị mở ra. Kết quả là dây quấn 2 được cấp dòng điện kích thích và rôto của động cơ điện được lôi vào đồng bộ sau một vài quá trình dao động.



Hình 3.8. Cấu tạo dây quấn mở máy của động cơ điện đồng bộ (a) và sơ đồ mở máy không đồng bộ (b,c).

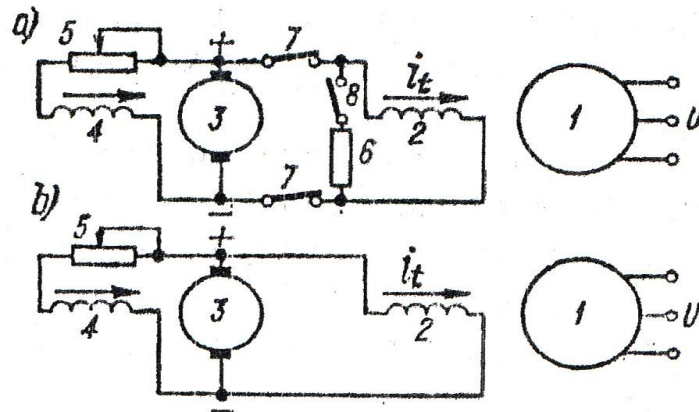
Máy kích từ của động cơ điện đồng bộ đặt ngay trên trục của nó, thường là máy phát điện một chiều kích thích song song (hình 3.9).

Khi mở máy theo sơ đồ hình 3.9a tiếp điểm 7 mở, còn tiếp điểm 8 đóng. Khi đó dây quấn kích thích 2 của động cơ điện đồng bộ được nối tắt qua điện trở 6, nhờ vậy quá trình mở máy được diễn ra trong những điều kiện thuận lợi nhất. Sở dĩ phải nối tắt dây quấn kích thích 2 với điện trở 6, là vì nếu để hở mạch dây quấn kích thích thì lúc bắt đầu mở máy từ trường quay phản ứng quét qua đó với tốc độ đồng bộ sẽ sinh ra s.d.đ cảm ứng rất lớn có thể phá hỏng cách điện dây quấn.

Động cơ điện đồng bộ được lòi vào đồng bộ một cách chắc chắn, nếu hệ số trượt ở cuối giai đoạn I chưa kích thích thỏa mãn điều kiện:

$$S_{od} \leq 0,04 \sqrt{\frac{k_m P_{dm}}{GD^2 n_{dm}^2} \frac{i_{db}}{i_{dm}}} \quad (3.4)$$

Trong đó. S_{od} - bội số mômen cực đại ở chế độ đồng bộ, khi dòng điện kích thích định mức i_{dm} ; P_{dm} là công suất định mức của động cơ điện, kW; i_{db} là dòng điện kích thích khi hòa đồng bộ; GD^2 là mômen động lượng của động cơ điện và cơ cấu nối trục với nó, $kG.m^2$; n_{dm} - tốc độ quay định mức của động cơ điện, vg/ph.



Hình 3.9. Sơ đồ mạch kích thích của động cơ điện đồng bộ với máy kích từ lúc mở máy có dây quấn kích thích được nối tắt qua điện trở triệt từ (a) và được nối thẳng vào máy kích từ (b)

Mở máy theo sơ đồ hình 3.9b diễn ra trong những điều kiện kém thuận lợi hơn:

- Thứ nhất, vì động cơ điện đồng bộ được kích thích quá sớm sẽ tạo nên dòng điện ngắn mạch:

$$I_n = \frac{(1-s)E}{\sqrt{r_u^2 + (1-s)^2 x_d^2}} \quad (3.5)$$

Trong đó

E-s.d.đ cảm ứng bởi dòng điện kích thích i_t ; x_d - điện kháng đồng bộ dọc trục, khi $s=0$.

Do đó, động cơ điện phải tải thêm công suất:

$$P_n = m I_n^2 r_u \quad (3.6)$$

Và trên trục động cơ điện có thêm momen cản:

$$M_n = \frac{pP_n}{\omega_1} \quad (3.7)$$

Khiến cho quá trình lồi rôto động cơ điện vào đồng bộ gặp khó khăn hơn.

- *Thứ hai*, so với sơ đồ hình 8, đường cong momen không đồng bộ có dạng kém thuận lợi hơn.

Sơ đồ hình 3.9b đảm bảo lồi động cơ điện vào đồng bộ chắc chắn, nếu momen cản trên trục khi $n \approx n_{dm} : M_c(0,4 \div 0,5)M_{dm}$ Khi dây quấn mở máy được thiết kế hoàn hảo, động cơ điện có thể được lồi vào đồng bộ tin cậy khi $M_c = M_{dm}$.

Mở máy theo sơ đồ hình 3.9b rất đơn giản, giống như mở máy động cơ điện không đồng bộ rôto lồng sóc, vì vậy cách mở máy này ngày càng được áp dụng rộng rãi.

Trên thực tế các động cơ điện đồng bộ thường được mở máy trực tiếp theo phương pháp không đồng bộ, nghĩa là tiến hành nối trực tiếp dây quấn phần ứng của nó vào lưới điện có điện áp đủ. Khi điều kiện mở máy khó khăn (giảm áp trong lưới điện lớn, quá nhiệt ở dây quấn mở máy hoặc ở rôto nguyên khối đến mức nguy hiểm) thì phải mở máy dưới điện áp thấp bằng điện kháng hoặc bằng biến áp tự ngẫu, giống như đối với động cơ điện không đồng bộ rôto lồng sóc.

Trên hình 3.10 cho các đường cong thay đổi của dòng điện phần ứng I, dòng điện kích thích i_t , điện áp U, tốc độ máy quay n, khi mở máy không đồng bộ trực tiếp động cơ điện đồng bộ công suất lớn ($P_{dm} 1500kW, U_{dm} = 6kV, n_{dm} = 1000vg / ph$) lúc không tải, bằng cách nối thẳng dây quấn kích thích.

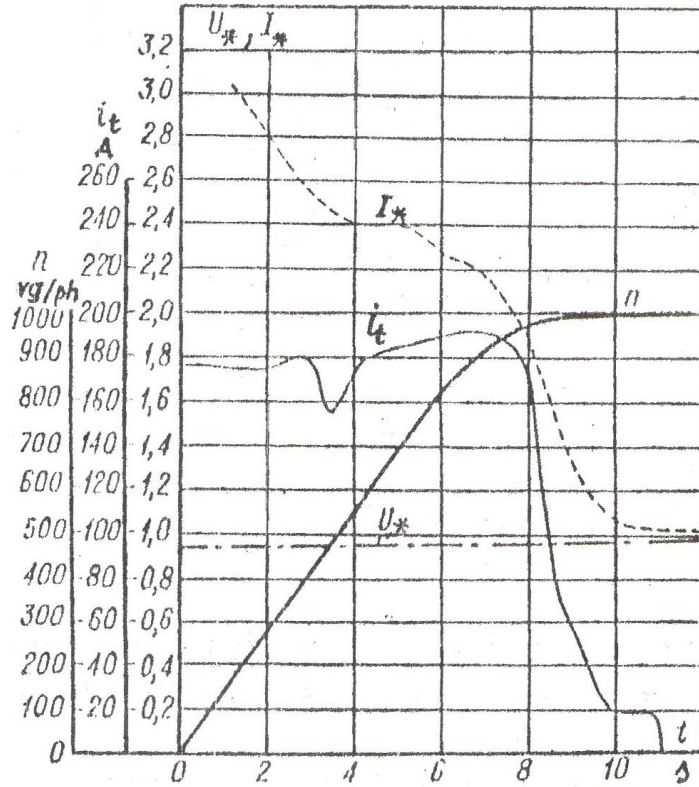
Động cơ được lồi vào đồng bộ sau 11 giây dưới tác dụng của mômen phản kháng.

3.3.2.2. Các phương pháp mở máy khác

Ngoài phương pháp mở máy không đồng bộ, trong những trường hợp cá biệt, còn có thể sử dụng một vài phương pháp mở máy khác. Chẳng hạn, có thể mở máy theo phương pháp hòa đồng bộ, bằng cách quay động cơ điện đồng bộ lúc không tải nhờ một máy nối với nó (thí dụ, trong tổ hợp máy “động cơ điện đồng bộ-máy phát điện một chiều”). Khi đó có thể dùng phương pháp hòa đồng bộ với lưới điện, như đối với máy phát điện đồng bộ. Trong một số trường hợp có thể mở máy bằng nguồn có tần số thay đổi. Theo phương pháp này, động cơ điện đồng bộ được cấp điện từ một máy phát điện đồng bộ riêng, và tần số được tăng lên dần dần từ không. Khi đó, động cơ điện đồng bộ được quay đồng bộ thậm chí ngay từ khi tốc độ còn rất thấp. Dây quấn kích thích của máy phát điện và của động cơ điện trong trường hợp này cần phải được cung cấp từ nguồn ngoài. Mở máy bằng nguồn có tần số thay đổi sẽ diễn ra thuận lợi hơn khi dòng điện kích thích của máy phát điện lúc bắt đầu mở máy cỡ bằng định mức, còn dòng điện kích thích của động cơ điện bằng dòng điện kích thích lấy theo đặc tính không tải ứng với khi $U \approx U_{dm}$ và $n=n_{dm}$.

3.3.3. Các đặc tính làm việc của động cơ điện đồng bộ

Các đặc tính làm việc của động cơ điện đồng bộ là quan hệ của $P_1, I, \eta, \cos\varphi=f(P_2)$ khi $U=const, f=const$ và $i_t = const$ có dạng như trên hình 3.10. Cũng giống như máy phát điện đồng bộ, động cơ điện đồng bộ thường làm việc với góc tải $\theta_{dm} = 20 \div 30^0$.



Hình 3.10. Các đường cong đặc trưng cho quá trình mở máy trực tiếp động cơ đồng bộ bằng cách nối thẳng dây quấn kích thích

Câu hỏi ôn tập chương 3

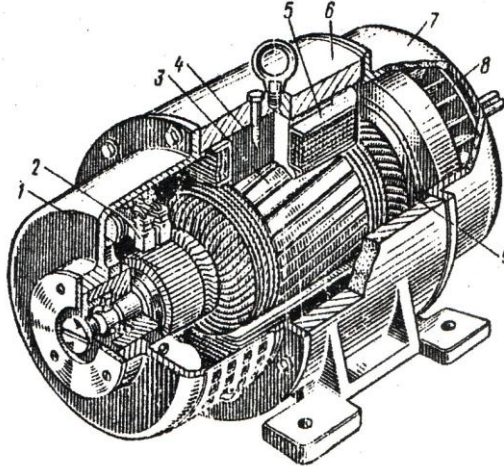
- Câu 1. Nguyên lý làm việc chung của máy điện đồng bộ là gì ? Vai trò của máy điện đồng bộ trong công nghiệp và hệ thống phân phối và truyền tải điện năng ?
- Câu 2. Mối quan hệ của tốc độ từ trường quay stator n_1 với tốc độ quay của rôto n ? Tại sao tốc độ quay của rôto lại bằng tốc độ của từ trường quay ?
- Câu 3. Kết cấu của máy điện đồng bộ loại cực ẩn và cực lồi ? Chức năng của mỗi bộ phận ?
- Câu 4. Các sơ đồ kích thích của máy phát điện đồng bộ, phạm vi ứng dụng của mỗi sơ đồ ?
- Câu 5. Ưu nhược điểm và phạm vi sử dụng của động cơ điện không đồng bộ ?
- Câu 6. Đặc điểm của các phương pháp khởi động các động cơ đồng bộ, đặc tính làm việc của động cơ điện đồng bộ ?

Chương 4. MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

Trong chương này nội dung được giới thiệu về máy điện một chiều nhằm giúp người đọc hiểu được cấu tạo, nguyên lý thuận nghịch và những thông số kỹ thuật của máy điện một chiều, biết các phương pháp mở máy đối với động cơ điện một chiều. Ngoài ra người đọc còn biết những yêu cầu khi mở máy động cơ điện một chiều và các phương pháp điều chỉnh tốc độ động cơ điện một chiều.

4.1. Đại cương về máy điện một chiều

4.1.1. Cấu tạo của máy điện một chiều



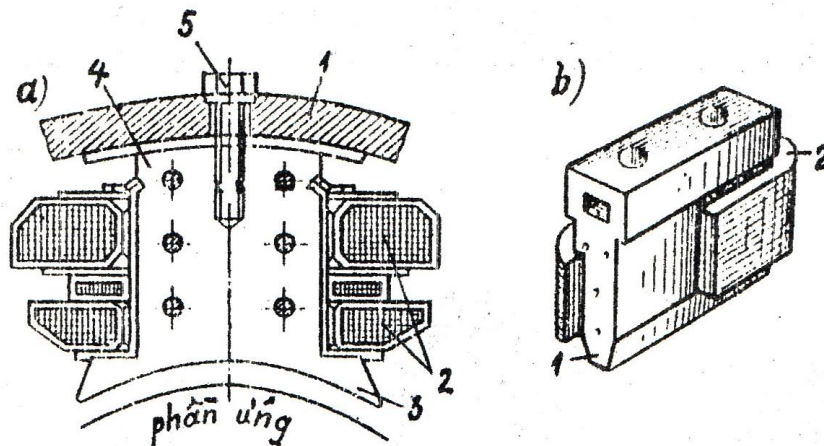
Hình 4.1. Cấu tạo của máy điện một chiều

1-lắp bảo vệ cổ góp chổi điện, 2-chổi điện, 3-lõi thép rôto, 4-lõi thép Stato

5-cực từ chính, 6-vỏ máy, 7-lắp bảo vệ cánh quạt, 8-quạt gió

4.1.1.1. Phần tĩnh (Stator), gồm các bộ phận sau:

- Cực từ chính (hình 4.2a) là bộ phận sinh ra từ trường, gồm lõi thép cực từ 4 và dây quấn kích thích 2 lồng bên ngoài lõi thép. Lõi thép cực từ làm từ những lá thép kỹ thuật điện dày 0,5-1mm, được ép và tán chặt với nhau. Đối với những máy điện nhỏ, cực từ có thể được chế tạo từ thép khối. Cực từ được gắn chặt vào vỏ máy nhờ các bulông 5. Dây quấn kích thích bằng đồng bọc cách điện, quấn thành từng cuộn rồi bọc cách điện thành một khối và được tẩm sơn cách điện trước khi đặt trên các cực từ. Các cuộn dây kích thích trên các cực từ, được nối nối tiếp với nhau.



Hình 4.2. Cực từ chính (a) và cực từ phụ (b) của máy điện một chiều

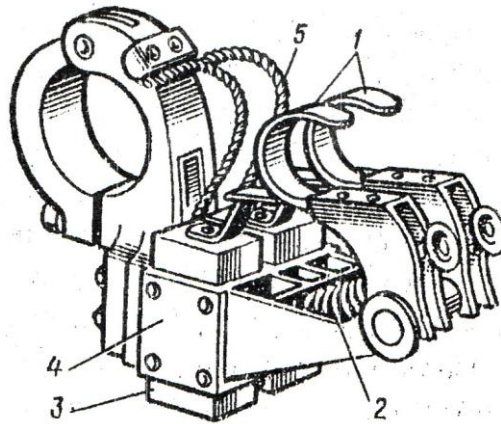
- Cực từ phụ (hình 4.2b) đặt giữa các cực từ chính, dùng để cải thiện đổi chiều. Lõi thép 1 của cực từ phụ thường được làm bằng thép khối, trên có đặt dây quấn 2 có cấu tạo như dây quấn cực từ chính. Cực từ phụ cũng được gắn vào vỏ máy bằng bulông.

- Gông từ (hình 4.1 - số 6) dùng để nối liền mạch từ giữa các cực từ, đồng thời làm thành vỏ máy. Đối với những máy điện nhỏ và vừa, gông từ được chế tạo từ các tấm thép dày sau khi uốn lại được hàn, đôi khi cũng được đúc bằng gang. Đối với những máy điện lớn gông từ thường được chế tạo từ thép đúc.

- Các bộ phận khác, gồm:

+ Nắp máy (hình 4.1 - số 1 và số 7), dùng để bảo vệ khỏi những vật lạ rơi vào trong máy và để đảm bảo an toàn cho người sử dụng, tránh nguy hiểm do điện giật. Ở những máy điện nhỏ và vừa, nắp máy còn có tác dụng làm giá đỡ ổ bi chúng thường được đúc bằng gang.

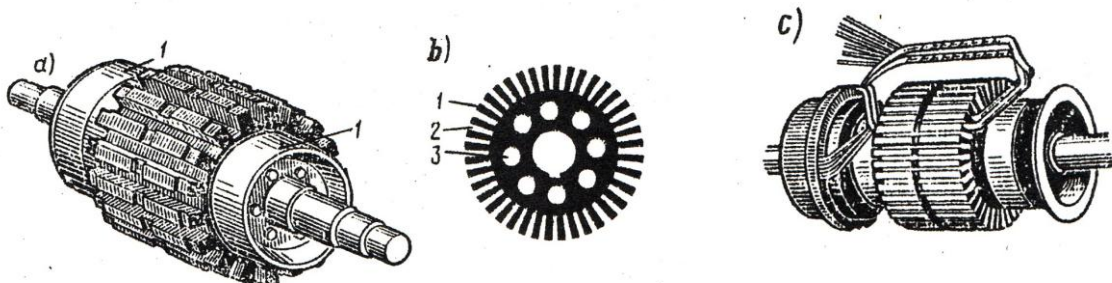
+ Cơ cấu chổi than (hình 4.3) dùng để đưa dòng điện từ phần quay ra ngoài hoặc ngược lại. Cơ cấu chổi than, gồm: Chổi than 3 đặt trong hộp chổi than 4 và nhờ lò xo 2 nó được tỳ chặt xuống cổ góp.



Hình 4.3. Cơ cấu chổi than

Hộp chổi than đặt cố định trên giá chổi than và được cách điện so với giá. Giá chổi than có thể xoay được, mục đích để điều chỉnh và đặt chổi than đúng vị trí. Sau khi điều chỉnh xong, dùng vít cố định chặt lại.

4.1.1.2. Phần quay (rotor) gồm các bộ phận sau:



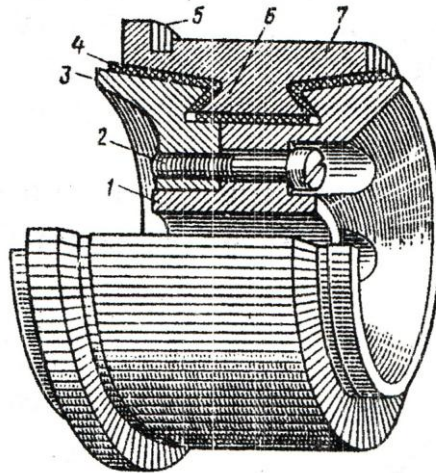
Hình 4.4. Lõi thép phản ứng máy điện một chiều khi không có dây quấn (a); Lá thép của lõi thép phản ứng (b); phản ứng có vài phần tử dây quấn (c)

- Lõi thép phản ứng (hình 4.4a) dùng để dẫn từ, được ghép từ các lá thép kỹ thuật điện dày 0,5mm, sơn cách điện mỏng ở hai mặt rồi ép chặt lại với nhau nhằm

giảm tổn hao dòng điện xoáy. Trên từng lá thép có dập hình dạng rãnh (hình 4.4b), để sau khi ép chúng lại dây quấn phần ứng sẽ được đặt vào các rãnh (hình 4.4c). Đối với những máy điện cỡ trung bình trở lên trên các tấm thép còn dập thêm các lỗ thông gió, để khi ép chúng lại thành lõi thép, lỗ thông gió dọc trục được tạo ra.

Đối với những máy điện vừa và lớn, lõi thép thường được chia thành từng đoạn nhỏ, giữa các đoạn có để một khe hở. Đối với những máy điện cỡ nhỏ lõi thép phần ứng được ép trực tiếp vào trục.

- Dây quấn phần ứng là bộ phận sinh ra s.đ.đ và có dòng điện chạy qua, thường được chế tạo từ dây đồng bọc cách điện có tiết diện tròn hoặc chữ nhật. Dây quấn phải được cách điện so với rãnh và so với nắp máy.



Hình 4.5. Cổ góp máy điện một chiều

- Cổ góp hay còn gọi là vành góp (hình 4.5), dùng kết hợp với chổi than để đổi chiều dòng điện xoay chiều trong phần ứng thành dòng điện một chiều ở mạch ngoài (hoặc ngược lại).

- Các bộ phận khác, gồm có: Cánh quạt dùng để làm nguội máy (hình 4.2 số 8); trục máy để đặt lõi thép phần ứng và ổ bi.

4.1.2. Phân loại máy điện một chiều

- Phân loại máy điện một chiều theo công suất: đến 0,5kW là máy có công suất rất nhỏ; từ 0,5 đến 20kW là máy công suất nhỏ; từ 20 đến 250kW là máy công suất trung bình và trên 250kW là máy điện công suất lớn.

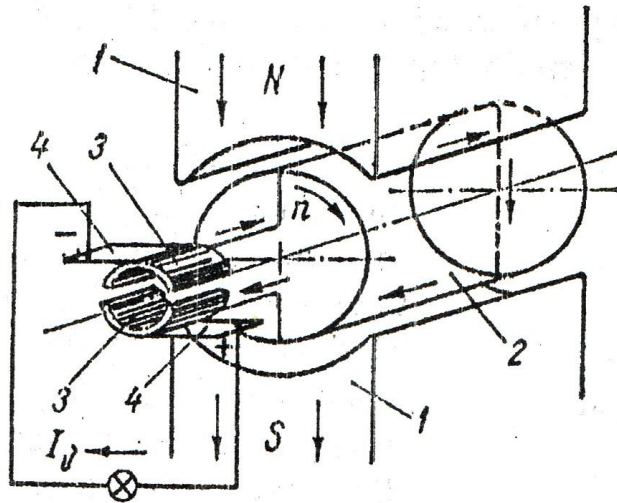
- Phân loại theo điện áp: đến 24V là máy điện áp rất thấp; từ 60 đến 80V là máy điện áp thấp; từ 110 đến 220V là máy điện áp thường; từ 400 đến 600V là máy điện áp tương đối cao và trên 750V là máy điện áp cao.

- Phân loại theo vị trí đặt cuộn kích từ so với phần ứng động cơ điện một chiều gồm có: Động cơ điện một chiều kích từ độc lập, động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp, động cơ điện một chiều kích từ song song và động cơ điện một chiều kích từ hỗn hợp.

4.2. Nguyên lý thuận nghịch của máy điện một chiều

Từ thông chính do phần cảm tạo ra đi từ cực từ bắc N qua phần ứng đến cực nam S và qua gông từ trở về khép kín mạch ở cực N.

Máy điện một chiều có tính chất thuận nghịch, nghĩa là máy có thể làm việc ở chế độ máy phát điện, cũng như cả ở chế độ động cơ điện. Dưới đây sẽ lần lượt xét từng chế độ làm việc của nó.



Hình 4.6. Sơ đồ nguyên lý máy điện một chiều đơn giản

4.2.1. Chế độ máy phát điện

Giả sử quay phần ứng của máy điện một chiều (hình 4.6 và hình 4.7a) theo chiều kim đồng hồ. Khi đó, theo định luật cảm ứng điện từ trong các thanh dẫn dây quấn phần ứng cảm ứng ra s.đ.đ, có chiều được xác định theo quy tắc bàn tay phải, còn giá trị tức thời của nó bằng:

$$e_{td} = Blv \quad (4.1)$$

trong đó:

B - từ cảm ở khe hở không khí nơi thanh dẫn quét qua;

l - chiều dài tác dụng thanh dẫn;

v - tốc độ chuyển động thanh dẫn trong từ trường.

Do các thanh dẫn bố trí đối xứng, nên s.đ.đ. cảm ứng trong các thanh dẫn e_{td} giống nhau, theo một vòng kín các s.đ.đ. này được cộng lại. Như vậy s.đ.đ. dây quấn phần ứng có một vòng dây:

$$E_u = 2e_{td} = 2Blv \quad (4.2)$$

Vì các thanh dẫn quay luân chuyển trong từ trường từ N đến S và ngược lại, nên s.đ.đ. cảm ứng trong thanh dẫn e_{td} và trong dây quấn phần ứng E_u là những đại lượng xoay chiều. Nếu tốc độ quay phần ứng n có thứ nguyên là vg/s, thì tần số f biến đổi của s.đ.đ. ở máy điện 2 cực: $f = n$ còn ở máy điện có p số đôi cực từ: $f = pn$.

Nếu máy phát điện mang tải, dây quấn phần ứng khép kín mạch với tải bên ngoài qua vành góp và chổi than (hình 4.3, hình 4.5), thì trong dây quấn phần ứng có có mặt dòng điện xoay chiều I_u biến đổi tương tự như dạng E_u . Ở mạch ngoài, do tác dụng của vành góp và chổi than mà cực tính của chổi than luôn không đổi, vì vậy s.đ.đ E_u và dòng điện I_u ở mạch ngoài là những đại lượng một chiều biến đổi đập mạch. Thật vậy, khi phần ứng cùng ổ góp quay đi 90° so với vị trí trên hình 4.7a, chiều s.đ.đ trong thanh dẫn bị đổi lại đồng thời với việc thay thế phiến góp dưới chổi than. Nhận thấy chổi than bên trên luôn tiếp xúc với phiến góp nối với thanh dẫn nằm dưới cực N, còn chổi than bên dưới – cực S, chính vì vậy mà cực tính của chổi than luôn không đổi, và E_u, I_u ở mạch ngoài là những đại lượng một chiều. Như vậy ở chế độ máy phát, vành góp và chổi than là bộ chỉnh lưu cơ khí biến đổi dòng điện xoay chiều trong dây quấn phần ứng thành dòng điện một chiều ở mạch ngoài.

Để nhận được s.đ.đ E_u ở mạch ngoài có trị số lớn và bớt bị đập mạch, trong thực tế dây quấn phần ứng gồm nhiều bó dây, các bó dây đặt cạnh nhau lệch nhau

trong không gian một góc nào đó. Tất nhiên khi đó cổ góp cũng bao gồm nhiều phiến góp đặt cách điện so với nhau và cách điện so với trục máy.

Khi máy phát điện mang tải, điện áp trên cực máy phát U nhỏ hơn s.d.đ E_r một lượng bằng điện áp rơi trên điện trở dây quấn phần ứng:

$$U = E_r - I_r R_r \quad (4.3)$$

trong đó: R_r – điện trở toàn phần của mạch điện phần ứng.

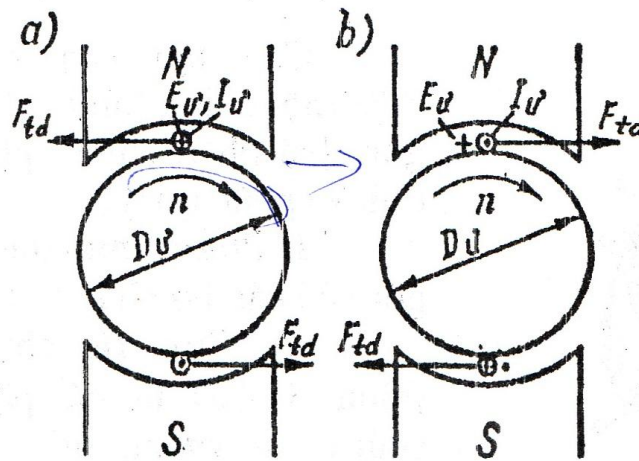
Khi có dòng điện I_r chạy trong thanh dẫn nằm trong từ trường, sẽ xuất hiện lực điện từ F_{td} tác dụng lên thanh dẫn (hình 4.6). Chiều của lực điện từ F_{td} được xác định theo quy tắc bàn tay trái, còn trị số của nó được tính theo công thức:

$$F_{td} = B I l_r \quad (4.4)$$

Lực điện từ F_{td} tạo ra mô men điện từ M

$$M = F_{td} D_r = B I l_r D_r \quad (4.5)$$

trong đó: D_r – đường kính phần ứng.



Hình 4.7. Nguyên lý của máy điện một chiều đơn giản ở chế độ máy phát điện (a) và động cơ điện (b).

Ở chế độ máy phát điện, mô men điện từ M tác dụng ngược chiều quay phần ứng nên nó đóng vai trò mô men hãm.

4.2.2. Chế độ động cơ điện

Muốn máy điện một chiều đang xét làm việc ở chế độ động cơ điện, phải dùng nguồn điện một chiều từ bên ngoài đặt vào các chổi than khác cực tính của máy. Nhờ có dòng điện I_r chảy trong dây quấn phần ứng mà lực điện từ F_{td} xuất hiện tác dụng lên thanh dẫn. Chiều của lực điện từ F_{td} được xác định theo quy tắc bàn tay trái, còn trị số của nó cũng được xác định theo công thức (4.4). Kết quả là mô men điện từ M , có trị số xác định theo công thức (4.5) được tạo ra. Khi mômen điện từ M đủ lớn thắng được mômen cản phần ứng sẽ quay, tạo ra công suất cơ trên trục động cơ điện. Ở chế độ động cơ điện, chiều quay của máy do mômen điện từ quyết định nên M đóng vai trò là mômen chủ động.

Khi thanh dẫn quay trong từ trường, trong thanh dẫn cảm ứng s.d.đ e_{td} có chiều được xác định theo quy tắc bàn tay phải, còn trị số cũng được xác định theo công thức (4.1). Kết quả là trong dây quấn phần ứng có mặt s.d.đ E_r .

Ở chế độ động cơ điện, điện áp đặt trên cực U cân bằng với s.d.đ E_r và điện áp rơi trên điện trở dây quấn phần ứng:

$$U = E_r + I_r R_r \quad (4.6)$$

Ở chế độ động cơ điện, vành góp và chổi than đóng vai trò bộ nghịch lưu dòng điện, biến đổi dòng điện một chiều ở mạch ngoài thành dòng điện xoay chiều trong dây quấn phần ứng.

Nếu cực tính cực từ chính và chiều quay phần ứng ở chế độ máy phát điện và động cơ điện giống nhau (hình 4.7), thì chiều tác dụng của mômen điện từ M và chiều dòng điện I_r ở hai chế độ này ngược nhau.

4.3. Mở máy động cơ điện một chiều

4.3.1. Yêu cầu mở máy động cơ điện một chiều

- Phải tạo được mômen mở máy M_{mm} có giá trị lớn nhất có thể có, để động cơ điện hoàn thành quá trình mở máy trong khoảng thời gian ngắn nhất.

- Dòng điện mở máy I_{mm} phải được hạn chế đến mức nhỏ nhất, nhằm tránh cho dây quấn phần ứng khỏi bị cháy hoặc ảnh hưởng xấu đến đổi chiều.

Để mở máy không tải động cơ điện, có thể sử dụng các phương pháp như mở máy trực tiếp, mở máy bằng biến trở và mở máy bằng điện áp thấp.

4.3.2. Các phương pháp mở máy động cơ điện một chiều

4.3.2.1. Mở máy trực tiếp:

Đây là phương pháp mở máy đơn giản nhất, chỉ việc đóng điện trực tiếp cho động cơ điện vào nguồn có điện áp đủ $U=U_{dm}$.

ta có:

$$I_u = \frac{U - E_u}{R_u} \quad (4.7)$$

Lúc rôto chưa quay $n=0$, s.đ.đ $E_u=C_e\Phi\delta n=0$, vì vậy dòng điện phần ứng:

$$I_u = \frac{U}{R_u} \quad (4.8)$$

Trong hệ đơn vị tương đối, với $U=U_{dm}$, ta có:

$$I_{u*} = \frac{U_*}{R_{u*}} = \frac{1}{R_{u*}} \quad (4.9)$$

Ở các máy điện kiểu thông thường, có $R_{u*}=0,02\div 0,10$, nên khi mở máy trực tiếp với điện áp định mức ($U_*=1$):

$$I_r=(50\div 10)I_{dm} \quad (4.10)$$

Dòng điện phần ứng I_r lớn như vậy là không cho phép.

Vì vậy phương pháp mở máy trực tiếp chỉ dùng phù hợp để mở máy các động cơ điện một chiều công suất cỡ vài trăm W, vì chúng có R_r tương đối lớn, lúc mở máy có $I_r\leq(4\div 6)I_{dm}$, mặt khác thời gian quá trình mở máy lại ngắn $1\div 2s$.

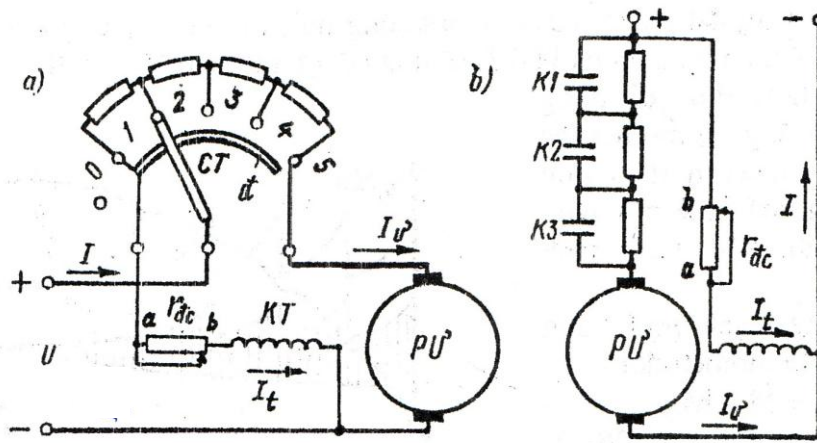
4.3.2.2. Mở máy dùng điện trở, biến trở:

Đây là phương pháp hay được dùng nhất để mở máy các động cơ điện một chiều kích từ song song.

Sơ đồ mở máy động cơ điện kích thích song song nhờ biến trở mở máy được trình bày trên hình 4.8. Để tránh nguy hiểm cho động cơ điện vì dòng điện mở máy I_{mm} quá lớn, lúc mở máy phải nối nối tiếp vào mạch phần ứng của động cơ điện biến trở mở máy (hình 4.8a) hay điện trở mở máy (hình 4.8b).

Khi đó, theo biểu thức (4.8) ta có:

$$I_u = \frac{U - E_u}{R_u + R_{mm}} \quad (4.11)$$



Hình 4.8. Sơ đồ mở máy động cơ điện một chiều kích từ song song dùng biến trở (a) và điện trở (b).

Ở thời điểm bắt đầu mở máy, $n=0$, $E_u=0$:

$$I_u = \frac{U}{R_u + R_{mm}} \quad (4.12)$$

R_{mm} là của biến trở mở máy (hình 4.8a) hay điện trở mở máy (hình 4.8b).

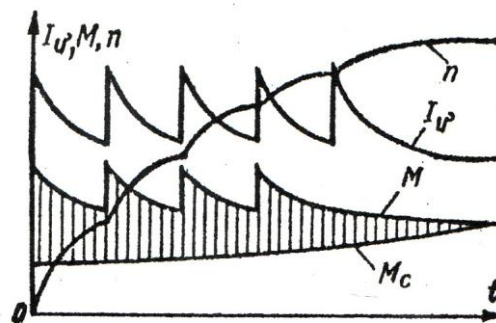
Trị số của R_{mm} phải được tính chọn sao cho đối với các động cơ điện công suất lớn lúc bắt đầu mở máy có $I_u=(1,4\div 1,7)I_{dm}$, còn đối với các động cơ điện công suất nhỏ - $I_u=(2\div 2,5)I_{dm}$.

Trước lúc mở máy công tắc động CT của biến trở mở máy đặt ở vị trí 0 trên hình 8a, mạch điện của động cơ điện để hở.

Lúc bắt đầu mở máy ($t=0$), dùng tay xoay công tắc động CT về vị trí 1. Trong quá trình mở máy công tắc động CT lần lượt được xoay về các vị trí 2, 3, 4, 5, nhờ vậy từng cấp điện trở của biến trở mở máy lần lượt được loại ra khỏi sơ đồ. Khi kết thúc quá trình mở máy ở vị trí 5 (loại hết các cấp biến trở mở máy ra khỏi sơ đồ), động cơ điện làm việc dưới điện áp đủ $U=U_{dm}$.

Khi thành lập sơ đồ hình 4.8a phải lưu ý: để trong suốt quá trình mở máy mạch kích thích của động cơ điện luôn đặt dưới điện áp đủ, dây quấn kích thích KT phải được nối cố định với cung đồng đ, công tắc động CT luôn tiếp xúc trượt trên nó, và trước lúc mở máy phải đặt con trượt của biến trở điều chỉnh ở vị trí sao cho $r_{dc}=0$. Điều này là cần thiết để cho khi mở máy luôn có I_t và Φ_δ đạt giá trị cực đại và không đổi, và nhờ vậy ứng với mỗi trị số I_u đã cho sẽ nhận được mômen M cực đại.

Sự thay đổi của dòng điện phần ứng I_u , mômen M và tốc độ quay n theo thời gian trong quá trình mở máy, được trình bày trên hình 4.9.



Hình 4.9. Quan hệ của I_u , M , n với thời gian khi mở máy động cơ điện.

Vùng gạch chéo trên hình 4.9 là mômen động:

$$M_d = M - M_C \quad (4.13)$$

Dưới tác dụng của mômen động này, diễn ra quá trình tăng tốc độ n . Số cấp biến trở mở máy và trị số điện trở từng cấp phải được tính chọn sao cho trong khoảng thời gian chuyển tiếp giữa các cấp, trị số cực đại và cực tiểu của dòng điện I_u ở tất cả các cấp phải bằng nhau.

Các cấp điện trở được tính chọn theo chế độ làm việc ngắn hạn dưới tải.

Trong các thiết bị tự động, thay cho biến trở mở máy người ta sử dụng các điện trở mở máy (hình 4.8b). Khi mở máy, chúng lần lượt được nối sun một cách tự động nhờ các tiếp điểm của công tắc tơ K_1, K_2, K_3 . Để đơn giản sơ đồ và giảm bớt số lượng thiết bị, số cấp điện trở mở máy cần lấy nhỏ nhất (với động cơ điện công suất nhỏ thường lấy bằng 1÷2 cấp).

Khi dừng động cơ điện, không được để hở mạch kích thích, mà phải khép kín mạch của nó qua phần ứng (hình 4.8a,b). Làm như vậy có tác dụng để cho dòng điện trong dây quấn kích thích không bị giảm xuống 0 một cách tức thời sau khi cắt điện động cơ, mà phải sau thời gian đủ lớn, nhằm ngăn ngừa s.đ.đ tự cảm có trị số rất lớn cảm ứng ra trong dây quấn kích thích, có thể phá hỏng cách điện của dây quấn này.

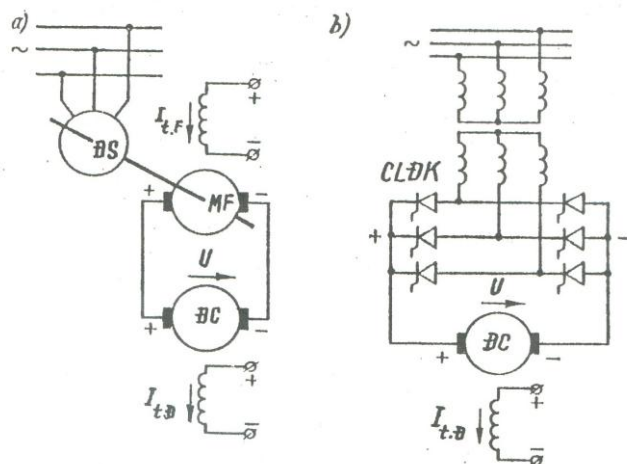
Cần đặc biệt lưu ý là: trong bất cứ trường hợp nào cũng không cho phép làm đứt mạch dây quấn kích thích của động cơ điện.

Để đổi chiều quay động cơ điện cần phải đổi chiều dòng điện phần ứng I_u , hoặc đổi chiều dòng điện kích thích I_t ngay trước lúc mở máy. Muốn đổi chiều quay lúc động cơ điện đang quay, chỉ được phép đổi chiều dòng điện phần ứng I_u , vì nếu đổi chiều dòng điện kích thích thì sẽ xuất hiện s.đ.đ tự cảm rất lớn (do dây quấn kích thích có điện cảm lớn) có thể gây ra quá điện áp đánh thủng cách điện của nó.

4.3.2.3. Mở máy bằng điện áp thấp:

Mục đích của phương pháp mở máy này là để hạn chế dòng điện mở máy. Để mở máy bằng điện áp thấp đòi hỏi phải có nguồn điện một chiều có điện áp điều chỉnh được (máy phát điện một chiều, chỉnh lưu có điều khiển...) cung cấp điện cho phần ứng của động cơ điện. Trong khi đó, mạch kích thích của động cơ phải được đặt dưới điện áp đủ $U=U_{dm}$, lấy từ nguồn điện một chiều độc lập khác. Phương pháp mở máy này thường sử dụng cho các động cơ điện công suất lớn, có kết hợp với việc điều chỉnh tốc độ quay của động cơ.

4.3.2.4. Mở máy bằng cách thay đổi điện áp phần ứng:



Hình 4.10. Sơ đồ điều chỉnh tốc độ quay động cơ điện kích thích độc lập bằng cách thay đổi điện áp phần ứng, khi cấp điện cho động cơ từ máy phát điện (a) và từ bộ chỉnh lưu có điều khiển (b).

Phương pháp điều chỉnh tốc độ này có thể áp dụng được đối với động cơ điện kích từ song song làm việc ở chế độ kích từ độc lập.

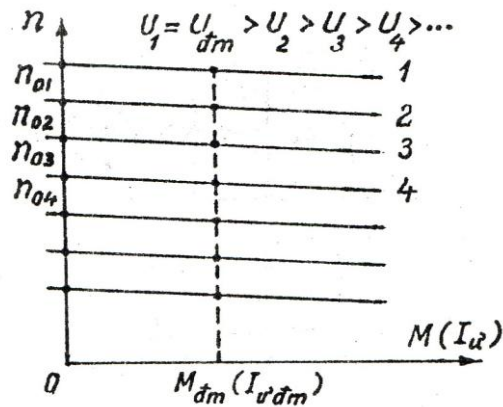
Muốn điều chỉnh tốc độ, phải có nguồn điện một chiều cho phép điều chỉnh em điện áp để cung cấp cho phần ứng của động cơ điện, trong khi đó mạch kích thích của nó phải được cung cấp từ nguồn điện một chiều độc lập khác (để $\Phi_{\delta} = \text{const}$).

Trên thực tế, có thể sử dụng máy phát điện một chiều kích thích độc lập trong tổ hợp "máy phát điện & động cơ điện một chiều" (hình 4.10a), hoặc bộ chỉnh lưu bán dẫn thyristơ có điều khiển - điều chỉnh được điện áp ra (hình 4.10b), làm nguồn điện một chiều cung cấp cho phần ứng động cơ.

Khi thay đổi điện áp U cung cấp cho dây quấn phần ứng, sẽ nhận được một họ đặc tính có cùng độ dốc như trên hình 4.11.

Vì không cho phép động cơ điện làm việc ở điện áp $U > U_{dm}$, nên phương pháp điều chỉnh này chỉ cho phép điều chỉnh tốc độ về bên dưới tốc độ định mức. Khi điện áp U càng giảm, tốc độ động cơ điện càng thấp.

Ở phương pháp điều chỉnh tốc độ này có phạm vi điều chỉnh tốc độ khá rộng, đến 1:10 và lớn hơn, và hiệu suất động cơ điện khi điều chỉnh tốc độ vẫn được duy trì cao.



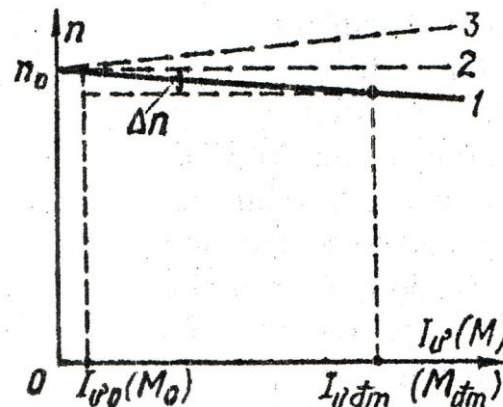
Hình 4.11. Đặc tính tốc độ và đặc tính cơ

4.4. Điều chỉnh tốc độ động cơ điện một chiều

4.4.1. Động cơ điện một chiều kích thích song song

4.4.1.1. Đặc tính tốc độ và đặc tính cơ tự nhiên

Đặc tính tốc độ tự nhiên và đặc tính cơ tự nhiên của động cơ điện kích thích song song là đường thẳng (đường 1 hình 4.12). Khi làm việc trên đặc tính tự nhiên, sự



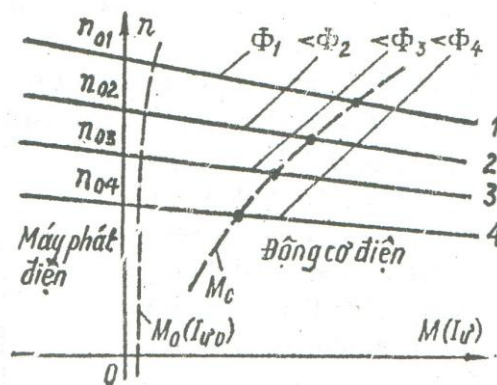
Hình 4.12. Đặc tính tốc độ tự nhiên và đặc tính cơ tự nhiên của động cơ điện một chiều kích thích song song.

thay đổi tốc độ quay Δn ở động cơ điện kích thích song song khi tải thay đổi từ không tải ($I_r = I_{r0}$) đến tải định mức ($I_r = I_{r,đm}$) là rất nhỏ, bằng $(2 \div 8)\% n_{đm}$. Đặc tính có sự suy giảm tốc độ nhỏ như vậy được gọi là đặc tính cứng. Động cơ điện kích thích song song có đặc tính cứng được sử dụng trong các thiết bị yêu cầu tốc độ quay duy trì gần như không đổi khi tải thay đổi (máy cắt gọt kim loại...).

4.4.1.2. Điều chỉnh tốc độ quay bằng cách giảm từ thông:

Phương pháp điều chỉnh tốc độ bằng cách giảm từ thông Φ_δ là phương pháp tiện lợi, phổ biến và kinh tế nhất. Tính kinh tế thể hiện ở chỗ: khi tiến hành điều chỉnh ở mạch kích thích (dòng điện kích thích chỉ bằng $(1 \div 10)\%$ dòng điện định mức phần ứng) tổn hao khi điều chỉnh rất nhỏ, vì vậy hiệu suất động cơ khi điều chỉnh vẫn được duy trì cao.

Các động cơ điện được tính toán để làm việc ở chế độ định mức có trị số Φ_δ là lớn nhất, nghĩa là có tốc độ quay n là nhỏ nhất. Vì vậy, trên thực tế chỉ có thể điều chỉnh tốc độ bằng cách giảm từ thông Φ_δ nhờ tăng điện trở điều chỉnh $r_{đc}$ trong mạch kích thích.



Hình 4.13. Đặc tính cơ và đặc tính tốc độ của động cơ điện một chiều kích thích song song khi điều chỉnh tốc độ bằng cách giảm từ thông Φ_δ .

Khi không có điện trở phụ trong mạch phần ứng $R_f = 0$ và $U = \text{const}$, ở các trị số từ thông $\Phi_\delta < \Phi_{\delta,đm}$ khác nhau nhận được các đặc tính tốc độ $I_r = f(n)$ và đặc tính cơ $M = f(n)$ có dạng như trên hình 4.13. Đường đặc tính dưới cùng ứng với từ thông $\Phi_\delta = \Phi_{\delta,đm}$, là đặc tính cơ (hay đặc tính tốc độ) tự nhiên của động cơ điện. Khi càng giảm từ thông, tốc độ không tải lý tưởng n_0 càng lớn và đặc tính càng mềm hơn.

Tất cả các đặc tính tốc độ $I_r = f(n)$ cắt trục hoành ($n=0$) tại cùng một điểm có dòng điện I_r rất lớn, bằng: $I_r = U/R_r$. Còn các đặc tính cơ $M = f(n)$ cắt trục hoành tại các điểm khác nhau.

Giao điểm của các đặc tính nói trên với đặc tính mômen cản $M_c = f(n)$ (đường nét đứt đậm nét trên hình 4.13) sẽ xác định trị số tốc độ quay n ở chế độ làm việc xác lập của động cơ điện. Do điều kiện đối chiều không chế, ở các động cơ điện kiểu thông thường cho phép điều chỉnh tốc độ bằng cách giảm từ thông trong phạm vi 1:2. Cũng có các động cơ điện được chế tạo ra cho phép điều chỉnh tốc độ quay bằng cách giảm từ thông trong phạm vi 1:5 hoặc thậm chí 1:8, nhưng khi đó phải dùng thêm một số biện pháp để hạn chế điện áp cực đại giữa các phiến góp (tăng khe hở không khí, dùng cuộn bù...v.v...) làm cho động cơ được chế tạo ra sẽ đắt hơn.

Giao điểm của các đặc tính nói trên với đặc tính mômen cản lúc không tải $M_0 = f(n)$ sẽ xác định điểm làm việc không tải của động cơ điện [$M = M_0 (I_r = I_{r0})$] nằm ở bên phải gần sát trục tung trên hình

Ở chế độ làm việc không tải nói trên, nhờ có mômen ngoài động cơ điện có thể chuyển sang làm việc ở chế độ máy phát điện trên góc phần tư thứ hai.

- Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện trở phụ R_f trong mạch phản ứng.

Khi mắc nối tiếp điện trở phụ R_f vào mạch phản ứng (hình 4.14a), ta có:

$$n = \frac{U}{C_e \Phi_\delta} - \frac{(R_u + R_f)I_u}{C_e \Phi_\delta} \quad (4.14)$$

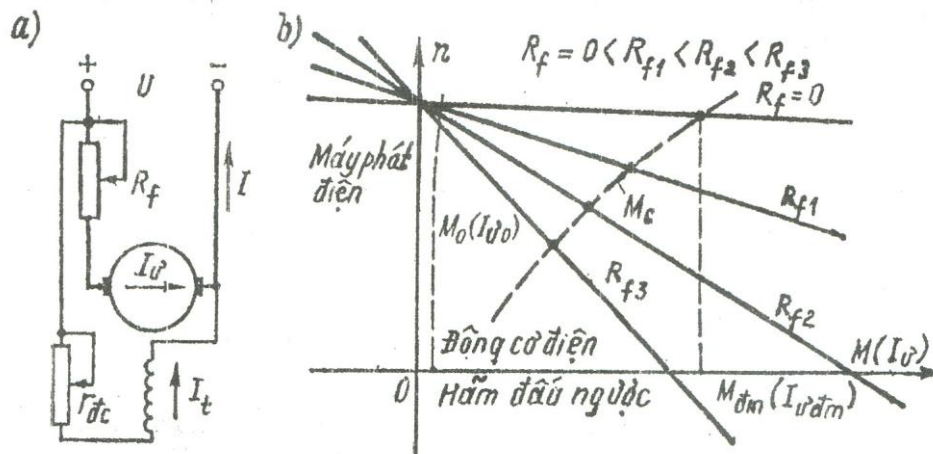
$$n = \frac{U}{C_e \Phi_\delta} - \frac{(R_u + R_f)M}{C_e C_M \Phi_\delta^2} \quad (4.15)$$

Điện trở phụ R_f được tính chọn để làm việc ở chế độ dải hạn, và có thể điều chỉnh được.

Khi $U = \text{const}$, $I_t = \text{const}$, với các trị số $R_f = \text{const}$ khác nhau sẽ nhận được các đặc tính $M = f(n)$ và $I_u = f(n)$ như trên hình 4.14b. Đặc tính trên cùng hình 4.14b có $R_f = 0$, là đặc tính tự nhiên. Khi trị số R_f càng lớn, đặc tính càng mềm hơn, tốc độ thay đổi nhiều hơn khi tải thay đổi, nhưng tốc độ không tải lý tưởng n_0 vẫn giữ nguyên. Mỗi đặc tính cắt trục hoành ($n=0$) tại một điểm có:

$$I_u = \frac{U}{R_u + R_f} \quad (4.16)$$

$$M = \frac{C_M \Phi_\delta U}{R_u + R_f} \quad (4.17)$$



Hình 4.14. Sơ đồ điều chỉnh tốc độ quay của động cơ điện kích thích song song bằng cách thay đổi điện trở phụ R_f trong mạch phản ứng (a); và các đặc tính tốc độ, đặc tính cơ tương ứng (b).

Giao điểm của các đường đặc tính nói trên với đặc tính mômen cản $M_C = f(n)$ (đường nét đứt đậm nét trên hình 4.14b) sẽ xác định tốc độ quay n ở chế độ làm việc xác lập của động cơ điện ứng với mỗi trị số của R_f . Phương pháp điều chỉnh tốc độ này chỉ cho phép điều chỉnh tốc độ về bên dưới tốc độ định mức và có phạm vi điều chỉnh tốc độ phụ thuộc vào mômen tải M_C bằng quãng 1:5.

Phần tiếp tục của các đặc tính nói trên về bên dưới trục hoành trên hình 4.14b là chế độ hãm đấu ngược của động cơ điện, ở đó $n < 0$, s.đ.đ E_u bị đổi dấu và được cộng với điện áp của lưới điện U , vì vậy:

$$I_u = \frac{U + E_u}{R_u + R_f} \quad (4.18)$$

còn mômen M của động cơ điện tác dụng ngược chiều quay, là mômen hãm.

Nếu ở chế độ không tải ($I_u=I_{u0}$) nhờ có mômen quay bên ngoài làm tăng tốc độ của động cơ, thì ban đầu đạt đến chế độ $I_r=0$, còn sau đó I_r bị đổi chiều, máy chuyển sang làm việc ở chế độ máy phát điện (góc phần tư thứ hai trên hình 4.14b).

Khi trị số R_f càng lớn, tốc độ quay n càng nhỏ, và hiệu suất động cơ điện càng thấp.

4.4.2. Động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp

4.4.2.1. Đặc tính tốc độ và đặc tính cơ tự nhiên

Ở động cơ điện một chiều kích thích nối tiếp có $I_t=I_r=I$, nên có thể viết

$$\Phi_\delta = k_\phi I \quad (4.19)$$

trong đó

k_ϕ - hệ số phụ thuộc vào tải, có giá trị không đổi khi $I < I_{dm}$ và bắt đầu bị giảm đi một ít khi $I > (0,8 \div 0,9)I_{dm}$ do mạch từ bão hoà.

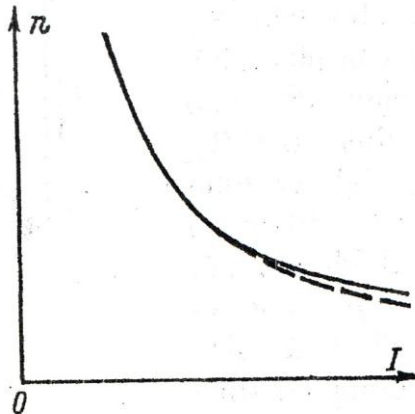
Đối với động cơ điện một chiều kích thích nối tiếp ta có:

$$n = \frac{U}{C_e k_\phi I} - \frac{R_u I}{C_e k_\phi I} \quad (4.20)$$

$$M = C_M \Phi_\delta I = C_M k_\phi I^2 = C_M \frac{\Phi_\delta^2}{k_\phi} \quad (4.21)$$

$$n = \frac{\sqrt{C_M} U}{C_e \sqrt{k_\phi} \sqrt{M}} - \frac{R_u}{C_e k_\phi} \quad (4.22)$$

Đặc tính tốc độ của động cơ điện kích thích nối tiếp $I=f(n)$ rất mềm, có dạng hypebon như trên hình 4.15. Khi $k_\phi = \text{const}$, đặc tính $I=f(n)$ có dạng đường nét đứt. Khi dòng điện I nhỏ, tốc độ động cơ điện tăng lên rất lớn, không cho phép. Vì vậy, không cho phép để động cơ điện kích thích nối tiếp làm việc không tải hoặc có thể rơi vào tình trạng làm việc không tải (chẳng hạn không được dùng bộ truyền đai hoặc ly hợp ma sát... để truyền động cho máy công tác từ loại động cơ điện này). Thông thường chỉ cho phép động cơ điện kích thích nối tiếp làm việc với tải tối thiểu $P_2 = (0,2 \div 0,25)P_{dm}$.



Hình 4.15. Đặc tính tốc độ tự nhiên của động cơ điện một chiều kích thích nối tiếp.

Chỉ những động cơ điện kích thích nối tiếp có công suất rất nhỏ (cỡ vài chục W) mới cho phép chạy không tải.

Đặc tính cơ tự nhiên của động cơ điện kích thích nối tiếp $M=f(n)$ xác định theo biểu thức (4.22) được biểu diễn bằng đường 1 trên hình 4.15.

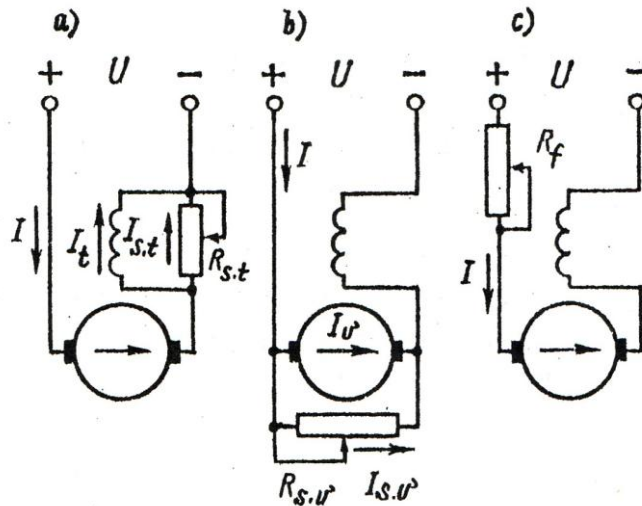
So với động cơ điện kích thích song song, động cơ điện kích thích nối tiếp tạo ra mômen mở máy lớn hơn đáng kể và khi bị quá tải về mômen nó ít bị nguy hiểm hơn do công suất P_2 thay đổi ít hơn (*) khi mômen tải $M_C=M$ thay đổi trong phạm vi rộng.

Các động cơ điện kích thích nối tiếp được dùng thích hợp ở những nơi có điều kiện mở máy nặng nề (yêu cầu phải có mômen mở máy M_{mm} lớn) và có mômen tải thay đổi trong phạm vi rộng. Chúng thường được sử dụng trong các đầu tàu điện, vận tải mỏ hầm lò,...

Cần biết rằng, khi tăng tốc độ quay, động cơ điện kích thích nối tiếp không thể chuyển sang làm việc ở chế độ máy phát điện được. Điều này thể hiện ở chỗ, đặc tính $I=f(n)$ trên hình 4.15 không cắt trục tung.

4.4.2.2. Điều chỉnh tốc độ quay bằng cách thay đổi từ thông có thể thực hiện bằng hai cách:

+ Giảm từ thông Φ_δ bằng cách nối sun dây quấn kích thích với điện trở $R_{s,t}$ (hình 4.16a) hoặc giảm số vòng dây kích thích, thông qua các đầu dây đưa ra từ dây quấn này.



Hình 4.16. Sơ đồ điều chỉnh tốc độ quay động cơ điện một chiều kích thích nối tiếp bằng cách nối sun dây quấn kích thích (a), nối sun phân ứng (b) và mắc nối tiếp điện trở phụ R_f vào mạch phân ứng (c).

Vì điện trở dây quấn kích thích R_t nhỏ và giá áp trên nó nhỏ, cho nên $R_{s,t}$ cũng cần phải nhỏ. Vì vậy, tổn hao trên điện trở $R_{s,t}$ cũng nhỏ, và tổng tổn hao trên thậm chí bị giảm đi, do đó hiệu suất động cơ vẫn duy trì cao. Phương pháp điều chỉnh tốc độ này được sử dụng rộng rãi trên thực tế.

Khi điều chỉnh tốc độ bằng cách giảm từ thông, phải thay k_ϕ trong các công thức (4.20) ÷ (4.21) bằng $k_\phi \cdot k_{g,t}$, với $k_{g,t}$ là hệ số suy giảm từ thông kích thích. Trường hợp nối sun kích thích:

$$k_{g,t} = \frac{R_{s,t}}{R_t + R_{s,t}} \quad (4.23)$$

còn trường hợp giảm số vòng dây kích thích:

$$k_{g,t} = \frac{W_{t,lv}}{W_{t,\Sigma}} \quad (4.24)$$

trong đó:

$W_{t.lv}$ - số vòng dây kích thích làm việc;

$W_{t,\Sigma}$ - tổng số vòng dây dây quấn kích thích.

Trên hình 4.17 cho các đặc tính cơ $M=f(n)$ ứng với: $k_{g,t}=1$ - đường 1, là đặc tính cơ tự nhiên; $k_{g,t}=0,6$ - đường 2; $k_{g,t}=0,3$ - đường 3.

Các đặc tính trên hình 4.17 cho trong hệ đơn vị tương đối, ứng với khi $k_{\phi}=\text{const}$ và $R_{u^*}=0,1$.

+ Tăng từ thông Φ_{δ} bằng cách nối sun dây quấn phần ứng với điện trở $R_{s,ur}$ (hình 4.16b). Vì giáng áp $R_t I$ nhỏ, nên có thể lấy $R_t \approx 0$, và thực tế điện trở $R_{s,ur}$ đặt dưới điện áp đủ của lưới điện, vì vậy trị số của $R_{s,t}$ cần phải lớn, làm cho tổn hao trên nó lớn và hiệu suất động cơ điện bị giảm mạnh.

Ngoài ra, nối sun phần ứng chỉ mang lại hiệu quả khi mạch từ không bão hòa. Vì những lẽ trên, mà trên thực tế rất ít khi sử dụng phương pháp điều chỉnh tốc độ này.

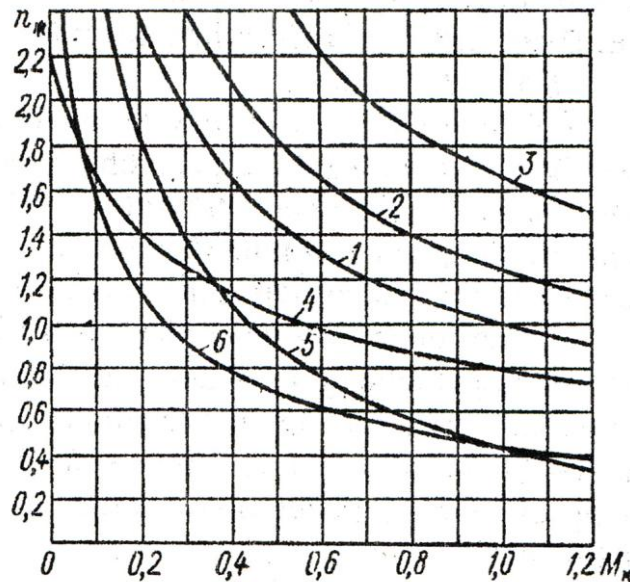
Trên hình 4.17 đường 4 là đặc tính cơ $M=f(n)$ khi:

$$I_{s,u} \approx \frac{U}{R_{s,u}} = 0,5 I_{dm}$$

4.4.2.3. Điều chỉnh tốc độ quay bằng cách nối nối tiếp điện trở R_f vào mạch phần ứng:

Phương pháp này cho phép điều chỉnh tốc độ n về bên dưới tốc độ định mức trên hình 4.16c. Do có thêm tổn hao trên điện trở phụ R_f lúc điều chỉnh tốc độ, làm cho hiệu suất động cơ điện bị giảm đi đáng kể, vì vậy phương pháp điều chỉnh tốc độ này ít được sử dụng.

Khi điều chỉnh tốc độ với $R_{f^*}=0,5$, đặc tính cơ $M=f(n)$ có dạng đường 5 trên hình 4.17.

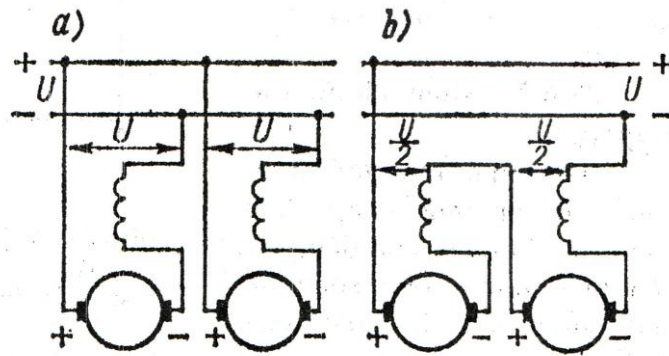


Hình 4.17. Các đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích thích nối tiếp ở các phương pháp điều chỉnh tốc độ quay khác nhau.

4.4.2.4. Điều chỉnh tốc độ quay bằng cách thay đổi điện áp:

Phương pháp này cho phép điều chỉnh tốc độ n về bên dưới tốc độ định mức, và động cơ điện vẫn làm việc với hiệu suất cao. Đây là phương pháp điều chỉnh tốc độ được dùng phổ biến trong các thiết bị vận tải, trong đó có vận tải tàu điện mỏ hầm lò, thực hiện bằng cách chuyển từ cách nối song song các động cơ với lưới điện, sang nối

nối tiếp các động cơ (hình 4.18). Trên hình 4.17 đường 6 là đặc tính cơ $M=f(n)$ khi điều chỉnh tốc độ với $U=0,5U_{dm}$.



Hình 4.18. Điều chỉnh tốc độ quay động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp bằng cách chuyển từ cách nối song song các động cơ với lưới điện (a) sang cách nối nối tiếp các động cơ (b).

Câu hỏi ôn tập chương 4

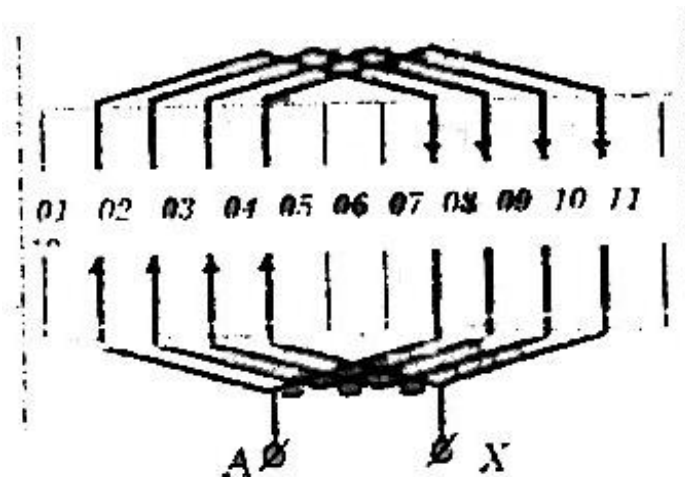
- Câu 1. Cấu tạo và nguyên lý thuận nghịch của máy điện một chiều ? Vai trò của máy điện một chiều trong công nghiệp và dân dụng ?
- Câu 2. Sơ đồ nguyên lý và nguyên lý làm việc của máy điện một chiều ở chế độ máy phát điện và động cơ điện ?
- Câu 3. Các yêu cầu khi mở máy động cơ điện một chiều, giải thích ý nghĩa của mỗi yêu cầu ?
- Câu 4. Sơ đồ và đặc điểm của mỗi phương pháp mở máy động cơ điện một chiều ?
- Câu 5. Đặc điểm của các phương pháp điều chỉnh tốc độ động cơ một chiều kích thích song song ?
- Câu 6. Đặc điểm của các phương pháp điều chỉnh tốc độ động cơ một chiều kích từ nối tiếp ?

PHÂN THAM KHẢO CÁC KIỂU DÂY QUẤN CỦA MÁY ĐIỆN

A. DÂY QUẤN MÁY ĐIỆN XOAY CHIỀU

I. Dây quấn 1 pha

1. Dây quấn đồng khuôn



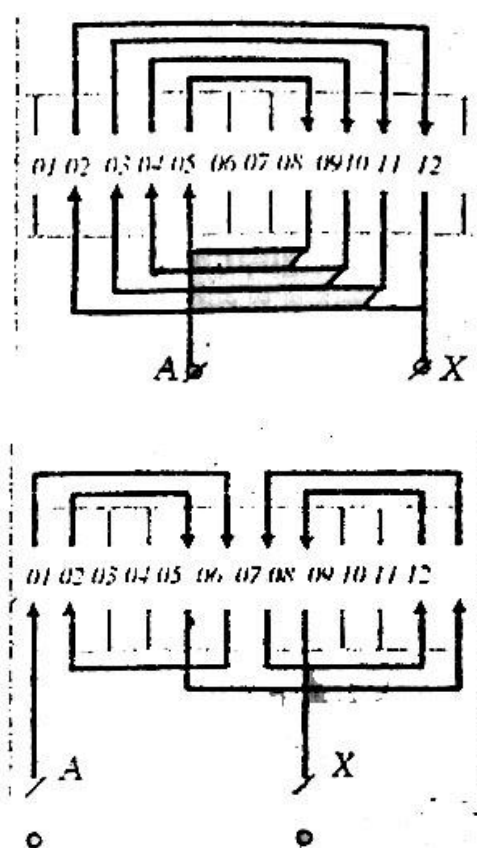
Dây quấn của máy điện xoay chiều có nhiệm vụ tạo ra sức điện động và đồng thời cũng tham gia vào việc tạo nên từ trường cần thiết cho sự biến đổi năng lượng cơ điện trong máy.

- Kết cấu của dây quấn phải đảm bảo
- Tiết kiệm được dây đồng (chủ yếu là phần đầu nối).
- Bền về cơ, điện, nhiệt.
- Chế tạo đơn giản, lắp ráp, sửa chữa dễ dàng.

Để tiết kiệm kim loại và cải thiện dạng sóng sức điện động, dây quấn 1 pha thường quấn rải.

Các kiểu dây quấn 1 pha của máy điện có $Z=12$.

Dây quấn đồng tâm và dây quấn bước ngắn



II. Dây quấn ba pha

Bộ dây 3 pha là tổ hợp của 3 bộ dây 1 pha đặt lệch nhau một góc 120° trong không gian.

1. Dây quấn 3 pha một lớp

Dây quấn 3 pha một lớp thường được dùng trong các động cơ điện có công suất dưới 75kW và trong các máy phát điện tuabin nước. Ở loại dây quấn này trong mỗi rãnh chỉ đặt một cạnh tác dụng của một bộ dây do đó số bộ dây $S=Z/2$.

Xét dây quấn một lớp với số pha $m=3$; $Z=24$; $2p=4$. Vì góc lệch pha giữa 2 rãnh liên tiếp là $\alpha = \frac{p \cdot 360^\circ}{Z} = 30^\circ$ nên sức điện động của các cạnh tác dụng từ 1-12 dưới đôi

cực thứ nhất làm thành hình sao sức điện động có 12 tia như hình vẽ bên dưới:

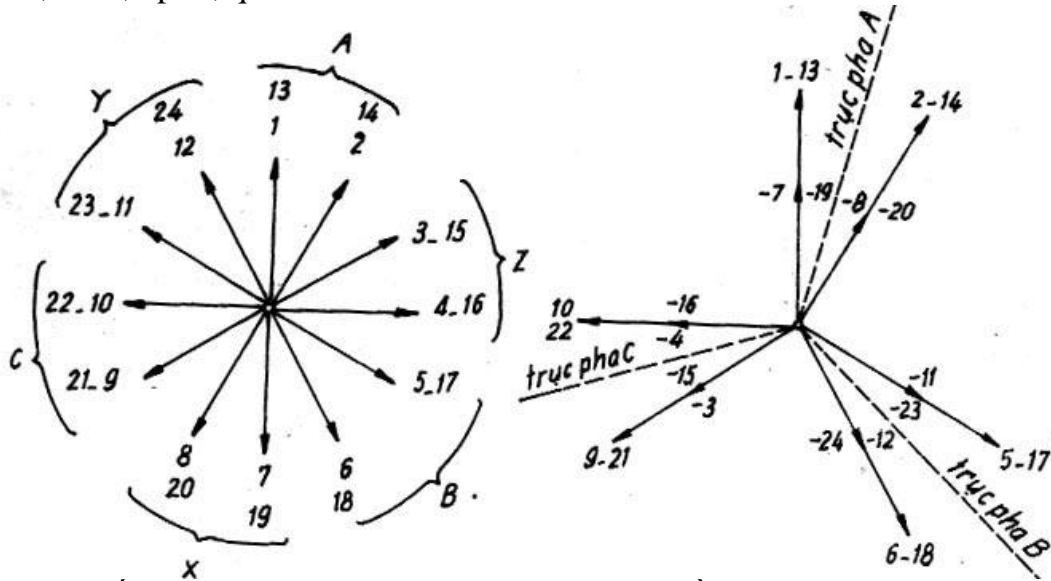
Do vị trí của các cạnh từ 13-24 dưới đôi cực thứ 2 hoàn toàn giống vị trí các cạnh 1-12 dưới đôi cực thứ nhất nên sức điện động của chúng có thể biểu thị bằng hình sao sức điện động trùng với hình sao sức điện động thứ nhất.

Số rãnh của một pha dưới một cực là: $q = \frac{Z}{2mp} = \frac{24}{2 \cdot 3 \cdot 2} = 2$

Ta có vùng pha $\gamma = q \cdot \alpha = 2 \cdot 30^\circ = 60^\circ$.

Vì 2 cạnh tác dụng của mỗi phần tử cách nhau $y = \tau \cdot m \cdot q = 2 \cdot 3 = 6$ rãnh, nên pha A gồm 2 phần tử tạo thành bởi các cạnh tác dụng (1-7) và (2-8) dưới đôi cực thứ nhất và 2 phần tử (13-19); (14-20) dưới đôi cực thứ 2. Do các pha lệch nhau 120° nên pha B gồm các phần tử (5-11); (6-12); (17-23); (18-24). Pha C gồm: (9-15); (10-16); (21-3); (22-4).

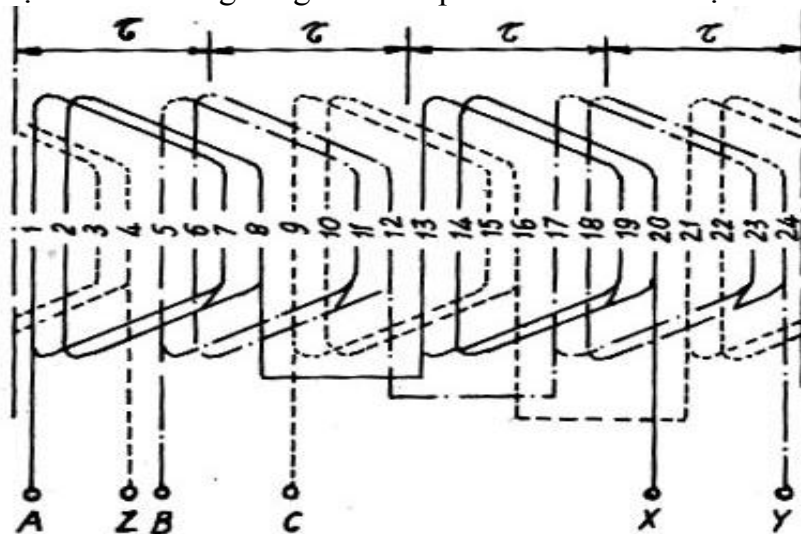
Hình sao sức điện động rãnh hay hình sao sức điện động phần tử của dây quấn có $Z=24$; $m=3$; $2p=4$; $q=2$.



Cộng tất cả các véc tơ sức điện động của các phần tử thuộc cùng 1 pha ta sẽ có các sức điện động $E_A E_B E_C$. Đem nối các phần tử thuộc cùng 1 pha với nhau ta sẽ có dây quấn 3 pha.

Sơ đồ khai triển dây quấn 3 pha đồng khuôn có $Z=24$; $2p=4$; $q=2$ như hình dưới:

Vì mỗi pha có 2 nhóm phần tử có vị trí dưới 2 đôi cực hoàn toàn giống nhau nên có thể tạo thành một mạch nhánh (nếu nối cuối của nhóm phần tử trước với đầu của nhóm phần tử sau) hay thành 2 mạch nhánh ghép song song (nếu nối đầu của 2 nhóm phần tử với nhau và nối cuối của chúng với nhau). Tổng quát, nếu máy có p đôi cực thì số mạch nhánh song song của mỗi pha là k với điều kiện k chia hết cho p .



Từ hình vẽ trên ta thấy sức điện động của mỗi pha không phụ thuộc vào thứ tự nối các cạnh tác dụng, thí dụ với pha A chẳng hạn ta có thể nối các cạnh tác dụng 1-8-2-7 ở dưới đôi cực thứ nhất và 13-20-14-19 dưới đôi cực thứ hai và ta được 2 nhóm có 2 phần tử kích thước không giống nhau và gọi là dây quấn đồng tâm. Ở dây quấn đồng tâm, khó thực hiện các nhánh song song hoàn toàn giống nhau vì chiều dài của các nhóm bố dây trong từng pha không bằng nhau.

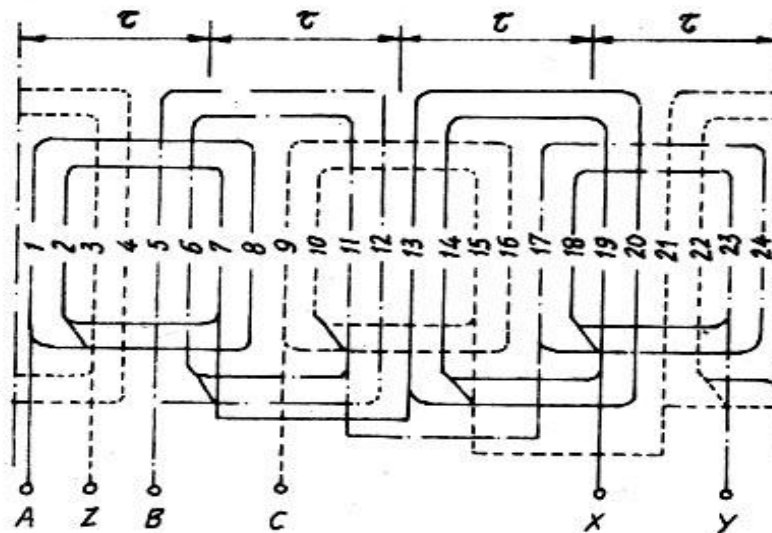
2. Dây quấn 3 pha hai lớp

Dây quấn 2 lớp là dây quấn mà trong mỗi rãnh có đặt 2 cạnh tác dụng của phần tử. Như vậy số phần tử S bằng số rãnh Z. Dây quấn 2 lớp có ưu điểm là thực hiện được bước ngắn, làm yếu được sức điện động bậc cao, do đó cải thiện được sức điện động. Nhược điểm của nó là việc vào dây quấn hay sửa chữa dây quấn khó khăn hơn.

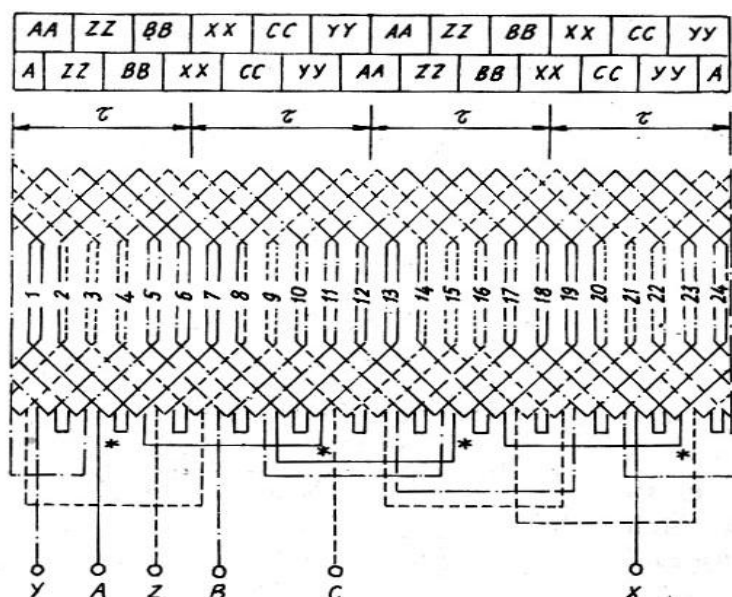
Dây quấn 2 lớp của máy điện xoay chiều được chế tạo theo 2 kiểu: dây quấn xếp và dây quấn sóng.

Dây quấn xếp thường được dùng còn dây quấn sóng chỉ dùng để quấn rotor dây quấn của động cơ không đồng bộ và máy phát tuabin hơi nước công suất lớn.

Sơ đồ khai triển của dây quấn 3 pha đồng tâm 2 mặt với $Z=24, 2p=4, q=2$



Dây quấn 2 lớp thường được thực hiện với vùng pha $\gamma=q.\alpha=60^0$



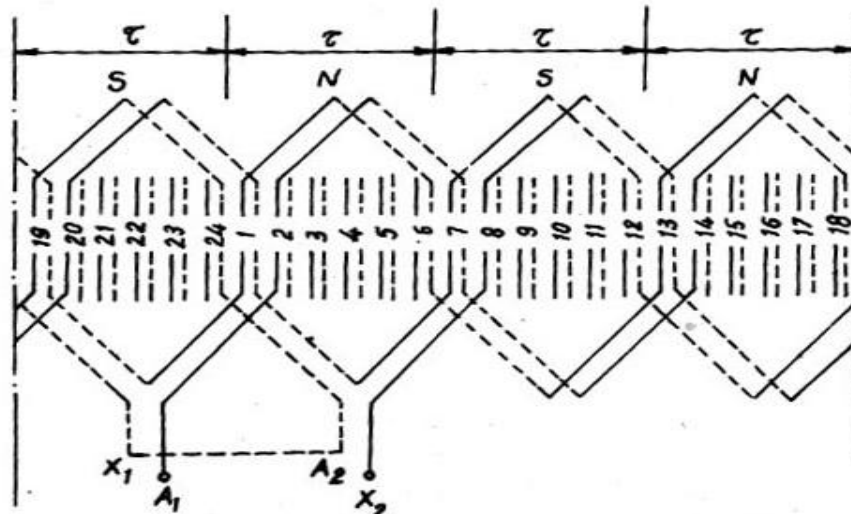
Hình trên trình bày cách triển khai của dây quấn xếp có $Z=24$, $2p=4$, $m=3$, vùng pha $\gamma=q.\alpha=60^\circ$ và bước ngắn $y=\frac{5}{6}\tau$. Do góc lệch pha giữa 2 rãnh liên tiếp là

$\alpha=\frac{p.360^\circ}{Z}=30^\circ$ nên dưới mỗi cực từ mỗi pha có $q=\gamma/\alpha=2$ bó dây. Thứ tự nối các bó dây như sau:

- Pha A: A-1-2-8-7-13-14-20-19-X
- Pha B: B-5-6-12-11-17-18-24-23-Y
- Pha C: C-9-10-16-15-21-22-4-3-Z

Đó là dây quấn xếp 3 pha 2 lớp với $(z=24, 2p=4, q=2; y=5, \beta = \frac{5}{6})$

Còn dây quấn sóng 3 pha 2 lớp với $(Z=24; 2p=4; q=2; y=5; \beta = \frac{5}{6})$ thì như sau:



Vì các nhóm phần tử của một pha liên tiếp được đặt dưới các cực từ khác nhau nên sức điện động cảm ứng của chúng có chiều ngược nhau (đầu các nhóm phần tử, ví dụ pha A có ghi kí hiệu *). Để mỗi pha hình thành một mạch nhánh, ta phải nối cuối của nhóm phần tử trước với đầu của nhóm phần tử tiếp theo như hình. Nếu muốn mỗi pha có nhiều mạch nhánh song song thì phải nối đầu của các nhóm bó dây của pha đó với nhau và cuối của các nhóm bó dây đó với nhau. Nói chung số nhánh song song của một pha có thể là k với điều kiện là k chia hết cho $2p$.

B. DÂY QUẤN MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

I. Dây quấn phần ứng máy điện một chiều

Dây quấn phần ứng là bộ phận quan trọng nhất của máy điện vì nó tham gia trực tiếp vào quá trình biến đổi năng lượng từ điện năng thành cơ năng và ngược lại. Ngoài ra dây quấn phần ứng còn chiếm một tỷ lệ khá cao trong cơ cấu giá thành của máy phát điện một chiều.

Các yêu cầu đặt ra cho dây quấn phần ứng là:

- Sinh ra một sức điện động cần thiết, có thể cho một dòng điện nhất định chạy qua để sinh ra một mô men cần thiết mà không bị nóng quá nhiệt độ quy định, đồng thời đảm bảo đời chiều tốt.
- Kết cấu đơn giản, tiết kiệm vật liệu, làm việc chắc chắn an toàn.
- Dây quấn phần ứng chia làm dây quấn xếp đơn và xếp phức tạp và dây quấn sóng đơn và sóng phức tạp. Một số máy điện một chiều có công suất lớn còn dùng loại dây quấn hỗn hợp, kết hợp giữa dây quấn sóng và xếp.

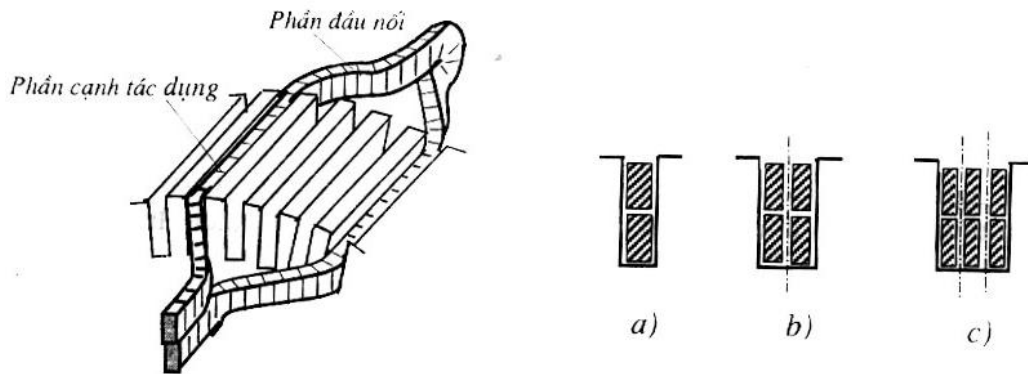
1. Cấu tạo:

Dây quấn phần ứng gồm nhiều phần tử dây quấn nối với nhau theo một quy luật nhất định. Phần tử là một bó dây gồm một hay nhiều vòng dây mà 2 đầu của nó nối vào 2 phiến góp. Các phần tử nối với nhau thông qua các phiến góp đó và làm thành mạch vòng kín.

Mỗi phần tử có 2 cạnh tác dụng, đó là phần đặt vào rãnh của lõi sắt. Phần nối 2 cạnh tác dụng nằm ngoài lõi sắt gọi là phần đầu nối.

Để dễ chế tạo, một cạnh tác dụng của phần tử đặt ở lớp dưới của một rãnh còn cạnh tác dụng kia đặt ở lớp trên của một rãnh khác. Các phần tử khác cũng xếp thứ tự như vậy vào các rãnh kề bên cho đến khi đầy các rãnh. Nếu trong một rãnh phần ứng (gọi là rãnh thực) chỉ đặt 2 cạnh tác dụng (một cạnh nằm ở lớp trên và một cạnh nằm ở lớp dưới rãnh) thì ta gọi rãnh đó là rãnh nguyên tố. Nếu trong một rãnh thực đó có đặt $2u$ cạnh tác dụng ($u=1,2,3,4\dots n$) thì ta có thể chia rãnh thực đó thành u rãnh nguyên tố. Vì vậy quan hệ giữa số rãnh thực Z của phần ứng với số rãnh nguyên tố là: $Z_{nt}=uZ$. Giữa số phần tử của dây quấn S , số rãnh nguyên tố Z_{nt} và số phiến góp G cũng có mối quan hệ nhất định. Vì mỗi phần tử có 2 đầu nối và 2 phiến góp, đồng thời ở mỗi phiến góp lại nối 2 đầu của 2 phần tử lại với nhau, nên số phần tử S bằng số phiến góp G . Tức là $S=G$.

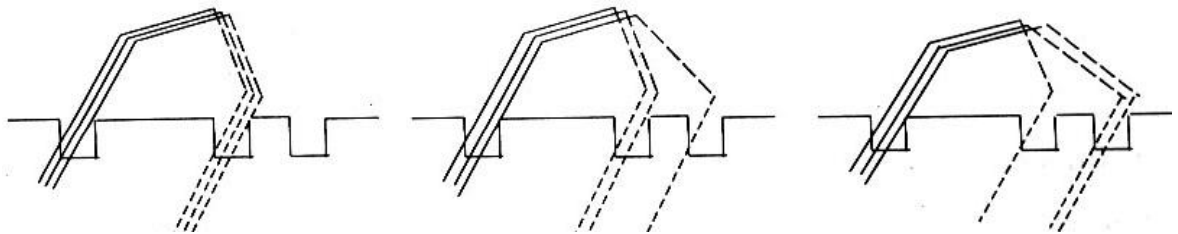
Vì mỗi rãnh nguyên tố đặt 2 cạnh tác dụng mà mỗi phần tử cũng có 2 cạnh tác dụng nên $Z_{nt}=S=G$. Rãnh thực có 1,2,3 rãnh nguyên tố:



Tùy theo kích thước của các phần tử mà ta chia dây quấn thành dây quấn có phần tử đồng đều và dây quấn theo cấp.

- Dây quấn có phần tử đồng đều là dây quấn mà kích thước các phần tử hoàn toàn giống nhau.

- Dây quấn theo cấp là dây quấn mà khi cạnh tác dụng thứ nhất của các phần tử cùng nằm trong một rãnh thực thì cạnh tác dụng thứ 2 của chúng lại nằm trong rãnh thực khác nhau. Vì vậy kích thước của các phần tử không bằng nhau.



Dây quấn có phần tử đồng đều và theo cấp

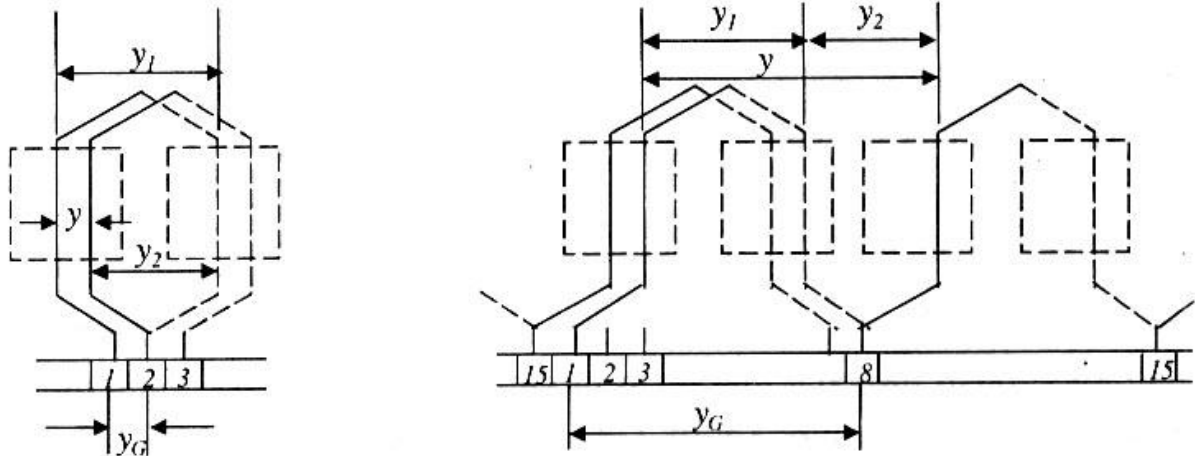
2. Các bước dây quấn

Các bước dây quấn xếp và sóng:

Quy luật nối các phần tử dây quấn có thể được xác định theo bước dây quấn sau:

- Bước dây quấn thứ nhất y_1 : đó là khoảng cách giữa 2 cạnh tác dụng của một phần tử đo bằng số rãnh nguyên tố.

- Bước dây quấn thứ hai y_2 : đó là khoảng cách giữa cạnh tác dụng thứ 2 của phần tử thứ nhất với cạnh tác dụng thứ nhất của phần tử thứ hai nối tiếp ngay sau đó và đo bằng số rãnh nguyên tố.



- Bước dây quấn tổng hợp y : Đó là khoảng cách giữa 2 cạnh tương ứng của 2 phần tử liên tiếp nhau đo bằng rãnh nguyên tố.

- Bước trên vành góp y_g : đó là khoảng cách giữa 2 phiến góp có 2 cạnh tác dụng của cùng một phần tử nối vào đó và đo bằng số phiến góp.

Gọi khoảng cách giữa 2 cực từ tính theo chu vi phần ứng là bước cực τ , ta có:

$$\tau = \frac{Z_{nt}}{2p}$$

2.1. Dây quấn xếp đơn

Do đặc điểm về bước dây quấn của kiểu dây này là các phần tử nối tiếp nhau đều xếp lên nhau nên ta gọi là kiểu dây quấn xếp.

2.1.1. Bước dây quấn

a. Bước dây quấn thứ nhất y_1 :

Bước dây quấn thứ nhất phải được chọn sao cho sức điện động cảm ứng trong phần tử lớn nhất. Muốn vậy thì 2 cạnh tác dụng phải cách nhau một bước cực, vì lúc này trị số tức thời của sức điện động của 2 cạnh tác dụng bằng nhau về trị số và ngược chiều nhau và do trong một phần tử đuôi của 2 cạnh tác dụng nối với nhau nên sức điện động tổng của phần tử bằng tổng số học sức điện động của 2 cạnh tác dụng.

Nếu biểu thị sức điện động của mỗi cạnh tác dụng bằng 1 véc tơ thì 2 sức điện động của 2 cạnh này cùng phương và véc tơ sức điện động tổng của phần tử bằng 2 lần véc tơ sức điện động của một cạnh tác dụng.

Vì số rãnh nguyên tố dưới mỗi bước cực bằng $\frac{Z_{nt}}{2p}$ nên tốt nhất là $y_1 = \frac{Z_{nt}}{2p}$. Nếu

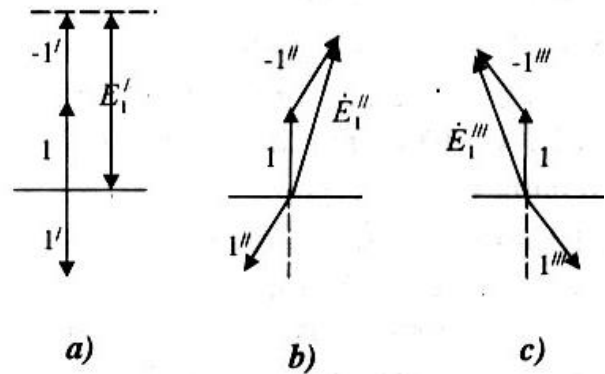
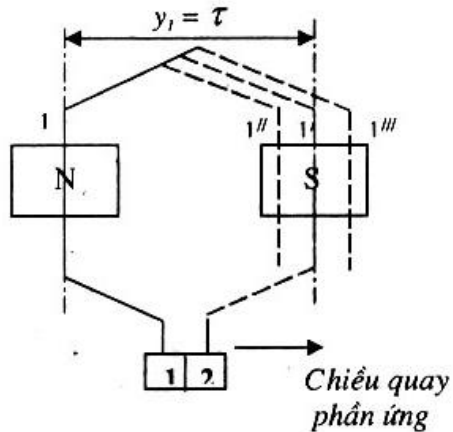
$y_1 = \frac{Z_{nt}}{2p}$ không phải là số nguyên thì phải chọn y_1 bằng một số nguyên gần bằng $\frac{Z_{nt}}{2p}$,

ta có: $y_1 = \frac{Z_{nt}}{2p} \pm \varepsilon = \text{Số nguyên}$. Khi:

- $y_1 = \frac{Z_{nt}}{2p}$ ta có dây quấn bước đủ

- $y_1 = \frac{Z_{nt}}{2p} + \varepsilon$ ta có dây quấn bước dài
- $y_1 = \frac{Z_{nt}}{2p} - \varepsilon$ ta có dây quấn bước ngắn

Dây quấn thường được thực hiện theo bước ngắn vì đỡ tốn đồng hơn. Nhưng cả bước dài và ngắn thì sức điện động tổng đều nhỏ hơn bước đủ do 2 sức điện động của 2 cạnh tác dụng không cùng phương.
Sức điện động của phần tử: bước đủ, ngắn, dài



b. Bước dây quấn thứ nhất y và bước vành góp y_G :

Đặc điểm của dây quấn xếp đơn là 2 đầu dây của một phần tử nối liền vào 2 phiến góp kề nhau nên $y_G=1$. Vậy ta có $y=y_G=1$.

c. Bước dây quấn thứ hai y_2 :

Ta có $y_2=y_1-y$

2.1.2. Giản đồ khai triển của dây quấn

Ta dùng giản đồ khai triển để phân tích cách đấu dây của các phần tử. Đó là hình vẽ khai triển của dây quấn khi cắt bề mặt phần ứng theo chiều trục rồi trải ra thành mặt phẳng.

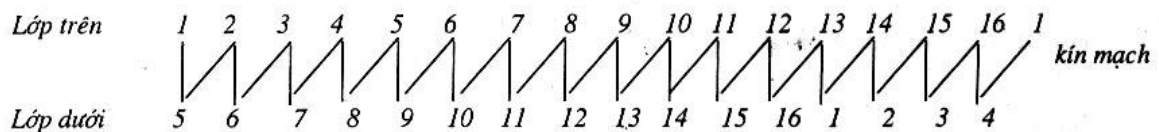
Ta xét ví dụ sau: dây quấn xếp đơn có $Z_{nt}=S=G=16, 2p=4$.

a. Các bước dây quấn: $y_1 = \frac{Z_{nt}}{2p} \pm \varepsilon = \frac{16}{4} = 4; y=y_G=1; y_2=y_1-y=3$

b. Thứ tự nối các phần tử:

- Ta đánh số rãnh từ 1 đến 16.
- Phần tử thứ nhất có cạnh tác dụng thứ nhất (coi như đặt nằm trong rãnh) đặt vào rãnh nguyên tố thứ nhất thì cạnh tác dụng thứ 2 của nó phải nằm ở phía dưới của rãnh nguyên tố thứ 5. ($y_1=5-1=4$). Hai đầu của phần tử này nối vào phiến đổi chiều 1 và 2.
- Cạnh thứ nhất của phần tử thứ 2 phải đặt ở rãnh nguyên tố thứ 2 và nằm ở lớp trên (vì $y_2=5-2=3$) và cứ tiếp tục như vậy cho đến khi khép kín mạch.

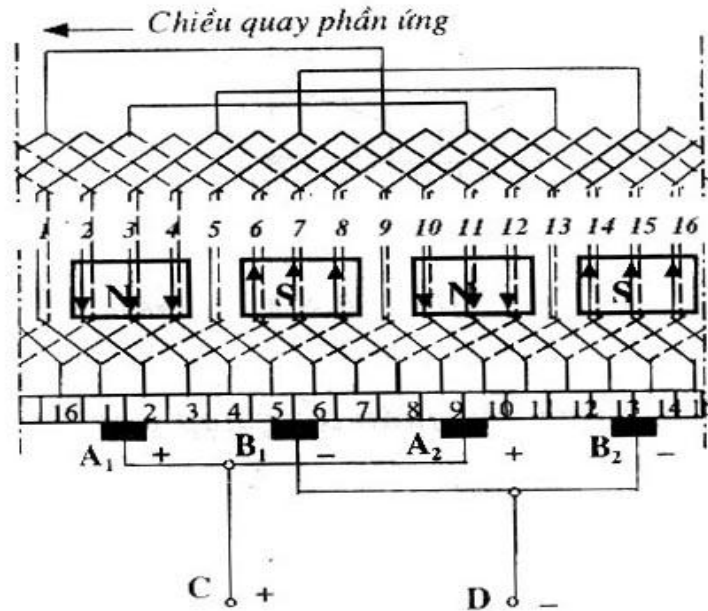
Xem sơ đồ sau:



c. Giản đồ khai triển:

Ta quy ước các cạnh của phần tử ở lớp trên vẽ bằng nét liền còn lớp dưới vẽ bằng nét đứt.

Vị trí của các cực từ phải đối xứng nghĩa là khoảng cách giữa chúng phải đều nhau, chiều rộng cực từ vào khoảng 0,7 bước cực. Theo cực tính của cực từ và chiều quay của phần ứng mà chiều sức điện động cảm ứng như hình. Vị trí của chổi than trên phiên đối chiều cũng phải đối xứng, nghĩa là khoảng cách giữa các chổi than phải bằng nhau. Chiều rộng của chổi than có thể lấy bằng một phiên đối chiều. Vị trí tương đối giữa chổi than và cực từ phải có một mối quan hệ nhất định. Chổi than phải đặt ở chỗ để sức điện động lấy ra ở 2 đầu chổi than là lớn nhất và dòng điện trong phần tử khi bị chổi than nối ngắn mạch là nhỏ nhất.



Dòng điện trong phần tử khi bị chổi than nối ngắn mạch là nhỏ nhất khi 2 cạnh của phần tử nằm ở vị trí trùng với đường trung tính hình học của phần ứng. Như vậy thì vị trí của chổi than đặt trên vành góp phải trùng với trục của cực từ.

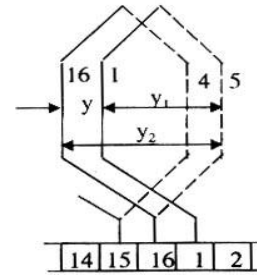
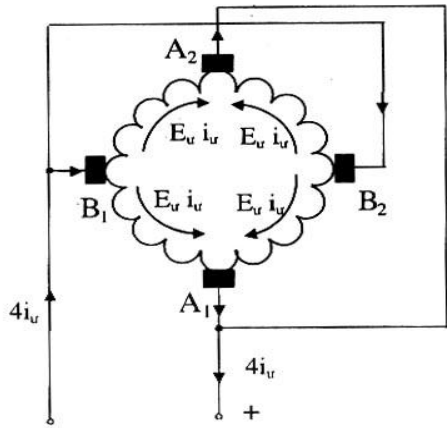
Để thuận lợi, có khi trong một số hình vẽ ta quy ước vị trí của các chổi than ở đúng trên đường trung tính hình học của phần ứng.

Theo hình vẽ, khi chổi than ở trên vành góp đặt đúng giữa trục cực từ thì sức điện động của các phần tử giữa 2 chổi than đều cộng với nhau nên sức điện động giữa 2 chổi than là lớn nhất. Khi chổi than dịch đến vị trí khác thì sức điện động sẽ giảm đi.

2.1.3. Số đôi mạch nhánh.

Ta giả sử ở thời điểm nào đó, dây quấn quay đến vị trí như trong giản đồ khai triển trên. Ta thấy sức điện động của các phần tử giữa 2 chổi than cùng chiều và chổi than A₁A₂ có cùng cực tính (cực +). Cực tính của các chổi than B₁B₂ là giống nhau (cực -). Vì vậy ta thường nối A₁ với A₂ và B₁ với B₂. Từ ngoài nhìn vào ta có thể biểu thị sơ đồ dây quấn như hình. Từ hình ta thấy dây quấn là một mạch điện gồm 4 mạch nhánh ghép song song hợp lại. Khi phần ứng quay, vị trí của phần tử thay đổi nhưng nhìn từ bên ngoài vào vẫn là 4 mạch nhánh song song. Nếu máy điện có số đôi cực là 2p thì số đôi mạch nhánh cũng là 2p. Vì vậy đặc điểm của dây quấn xếp đơn là số mạch nhánh ghép song song của dây quấn phần ứng bằng số cực từ: $2a=2p$.

Sơ đồ ký hiệu dây quấn xếp đơn và dây quấn xếp trái:



Trong ví dụ trên $y_G=1$ nên dây quấn được xếp theo thứ tự từ trái sang phải, ta gọi là dây quấn phải. nếu $y_G=-1$ thì đầu cuối của phần tử nằm bên trái của đầu phần tử ta có dây quấn trái, cách này tồn đồng hơn ít được sử dụng.

2.2. Dây quấn sóng đơn

2.2.1. Bước dây quấn

Đặc điểm của dây quấn sóng là hai đầu của phần tử nối với hai phiến góp cách rất xa nhau và hai phần tử nối tiếp nhau cũng cách xa nhau nên nhìn cách đầu gần giống như làn sóng. Cách xác định bước dây quấn y_1 giống như dây quấn xếp đơn, chỉ khác ở y_G . Khi chọn y_G , trước hết yêu cầu sức điện động sinh ra trong hai phần tử nối tiếp nhau cùng chiều, như vậy sức điện động mới có thể cộng số học với nhau được. Muốn thế thì hai phần tử đó phải nằm dưới các cực từ cùng cực tính, có vị trí tương đối gần giống nhau trong từ trường, nghĩa là cách nhau một khoảng bằng hai bước cực. Mặt khác các phần tử nối tiếp nhau sau khi quấn vòng quanh bề mặt phân ứng phải trở về bên cạnh phần tử đầu tiên để lại tiếp tục nối với các phần tử khác quấn vòng thứ hai. Như vậy, nếu máy có p đôi cực thì muốn cho các phần tử nối tiếp nhau đi một vòng bề mặt phân ứng, phải có p phần tử. Hai phiến đối chiều nối với hai đầu của phần tử cách xa nhau y_G phiến, do đó muốn cho khi quấn xong vòng thứ nhất đầu cuối của phần tử phải kề với đầu đầu của phần tử đầu tiên thì số phiến đối chiều mà các phần tử vượt qua phải bằng: $p \cdot y_G = G \pm 1$ và ta có: $y_G = \frac{G \pm 1}{p}$

Từ các công thức về bước dây quấn trên ta thấy, mặc dù 2 phần tử nối tiếp nhau ở dưới các cực từ cùng cực tính nhưng vị trí tương đối trong từ trường không hoàn toàn như nhau, vì khoảng cách rãnh giữa hai phần tử đó là:

$$y = y_G = \frac{G \pm 1}{p} = \frac{Z_{nt} \pm 1}{p} = \frac{Z_{nt}}{p} \pm \frac{1}{p}$$

2.2.2. Giảm đồ khai triển của dây quấn

Ví dụ có dây quấn sóng đơn với $2p = 4$, $G = S = Z_{nt} = 15$.

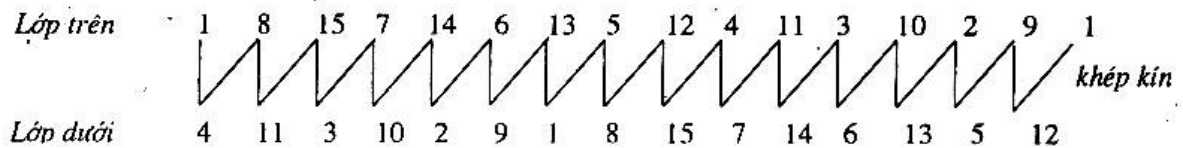
a. Bước dây quấn

- $y_1 = \frac{Z_{nt} \pm \epsilon}{2p} = \frac{15}{4} - \frac{3}{4} = 3$, chọn dây quấn bước ngắn.

- $y_G = \frac{G \pm 1}{p} = \frac{15-1}{2} = 7$, chọn dây quấn trái.

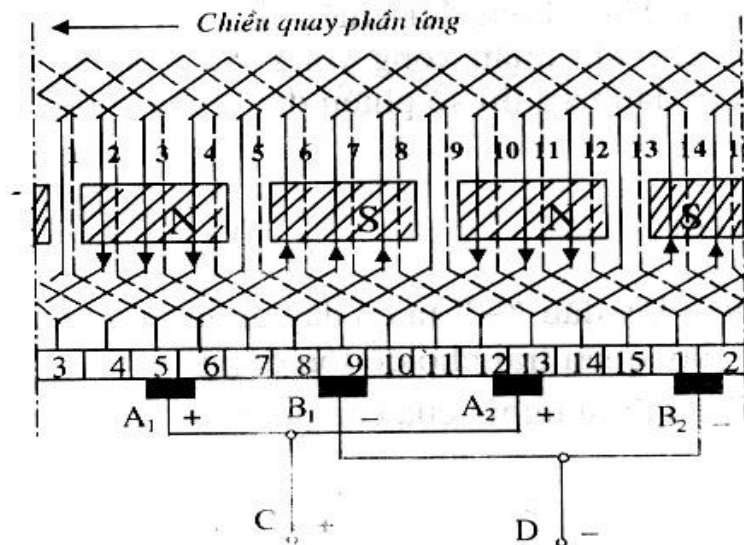
- $y = y_G = 7$; $y_2 = y - y_1 = 7 - 3 = 4$.

b. Thứ tự nối các phần tử



c. Giản đồ khai triển dây quấn

Cách vẽ vị trí cực từ và chổi than trong giản đồ triển khai giống như ở dây quấn xếp. Theo thứ tự nối các phần tử ta thấy, phần tử 1 nối với phần tử 8 rồi với phần tử 15, cách nhau 7 phần tử. Nhìn trên giản đồ khai triển ta thấy, các cạnh tương ứng của các phần tử ấy đều nằm dưới các cực từ cùng cực tính, ví dụ cạnh thứ nhất của các phần tử 1,8,15 đều nằm dưới cực S. Nhưng sau khi nối đến phần tử thứ 5 trở đi thì tất cả các phần tử sẽ nằm ở dưới cực N cho đến khi nối thành mạch kín.

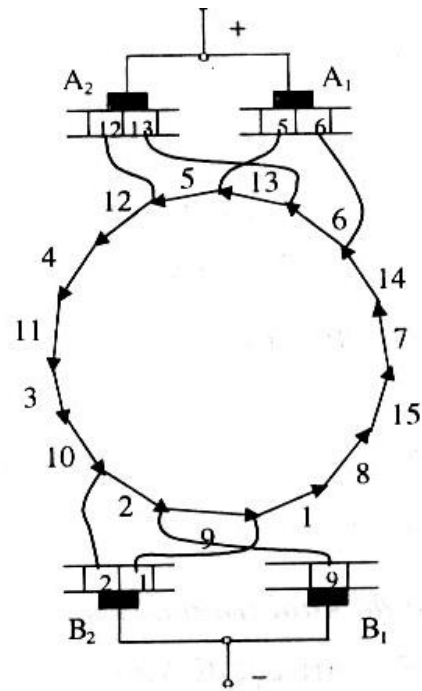
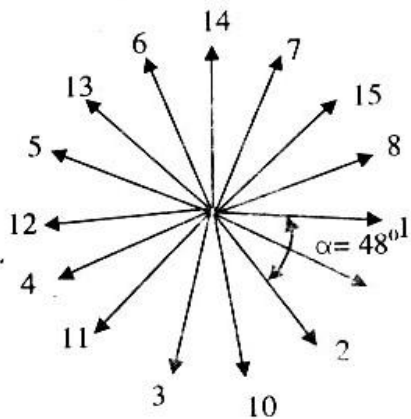


Như vậy dù máy có bao nhiêu đôi cực thì quy luật nối dây quấn này vẫn là: trước hết nối nối tiếp tất cả các phần tử ở dưới các cực từ có cùng cực tính lại sau đó nối các phần tử ở dưới các cực từ có cực tính khác cho đến khi hết.

d. Số đôi mạch nhánh

Có thể dùng đa giác sức điện động để xác định nhanh chóng số đôi mạch nhánh của dây quấn sóng đơn. Theo hình tia sức điện động, góc độ điện giữa 2 phần tử kề nhau

$$\text{là: } \alpha = \frac{p \cdot 360^\circ}{S} = \frac{2 \cdot 360}{15} = 48^\circ.$$



Khi vẽ hình tia sức điện động ta không thấy véc tơ sức điện động nào trùng nhau, do đó ta chỉ có 1 đa giác sức điện động và do đó chỉ có một đôi mạch nhánh. Ta có $a=1$.

Về lý luận ta thấy chỉ cần 2 chổi than cũng đủ (vì chỉ có một đôi mạch nhánh) nhưng ta vẫn thường đặt số chổi than bằng số cực từ nhằm phân bố dòng điện trên nhiều chổi than hơn, làm giảm kích thước chổi than và chiều dài của vành góp.

Điều quan trọng là phải đảm bảo tính đối xứng của cả 2 mạch nhánh. Theo hình trên ta thấy có 5 phần tử bị ngắn mạch và khép kín qua chổi than (2,5,6,9,13) nên trong mỗi mạch nhánh chỉ còn lại 5 phần tử, nghĩa là chúng đối xứng nhau.