



KHOA CÔNG NGHỆ ĐIỆN

GIÁO TRÌNH

LÝ THUYẾT MÁY ĐIỆN

Biên soạn : BỘ MÔN THIẾT BỊ

Lưu hành nội bộ

CHƯƠNG 1: SỞ ĐIỆN TỬ TRONG LÝ THUYẾT MÁY ĐIỆN.

1.1. Khái quát chung.

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

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

- ❖ Máy điện tĩnh : Máy biến áp (máy biến áp ba pha, máy biến áp một pha)
- ❖ Máy điện Quay :

- Máy điện một chiều (máy điện DC) : Máy phát và động cơ.

- Máy điện xoay chiều (máy điện AC) :

- Máy điện đồng bộ và không đồng bộ : Máy phát và động cơ.

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

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

- Máy biến áp : Biến đổi nguồn điện từ cấp điện áp này sang cấp điện áp khác.

Được sử dụng thông dụng trong truyền tải và phân phối điện năng.

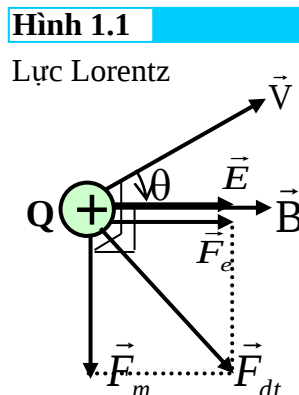
Cho dù các loại máy điện có khác nhau về cấu trúc, tính năng . . . , nhưng nguyên lý chung cho tất cả các máy điện là dựa trên nguyên lý điện từ. Do vậy trước khi đi vào phân tích máy điện ta cũng nên phân tích qua các hiện tượng điện từ liên quan.

1.2. Các định luật điện từ:

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

1.2.1. Lực Lorentz.

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

Và lực Lorentz được định nghĩa :

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

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

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

Xét một dây dẫn l mang dòng điện I đặt trong từ trường ngoài có mật độ từ thông $\vec{B}$ như hình vẽ (**Hình 1.3**). Trên l xét một đoạn vi phân $d\vec{l}$, mang điện tích dQ . dQ dịch chuyển trong đoạn $d\vec{l}$ trong khoảng thời gian dt với vận tốc v , $d\vec{l} = v.dt$.

Lực từ tác động lên phần tử dòng dQ :

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

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

ta có : $dQ = I.dt$

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

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

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

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

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

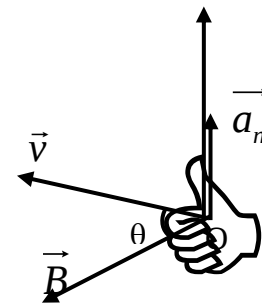
$$\vec{F} = I.\vec{l} \times \vec{B} \quad (1-4)$$

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

Độ lớn lực từ :

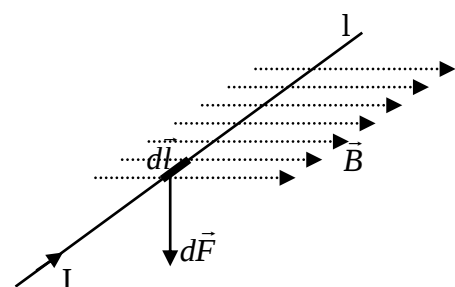
Hình 1.2

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



Hình 1.3

Lực từ tác động lên dây dẫn



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

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

1.2.3. Moment – Moment từ của một cuộn dây.

1.2.3.1. Moment.

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

$$\vec{T} = \vec{r} \times \vec{F} \quad (1-5)$$

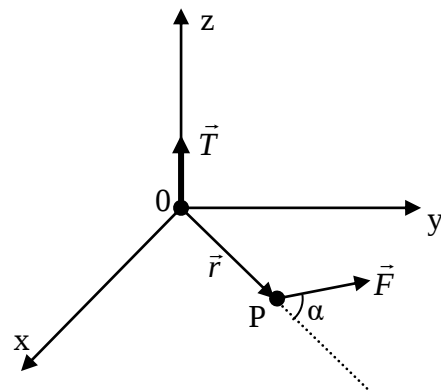
Điểm P đặt lực $\vec{F}$ nằm trong mặt phẳng xy, lực $\vec{F}$ cũng nằm trong mặt phẳng xy thì moment $\vec{T}$ do $\vec{F}$ gây ra tại điểm O trùng với trục z.

Như vậy, trục $\vec{T}$ là trục mà cánh tay đòn r sẽ quay quanh khi bị tác động bởi lực $\vec{F}$.

Gọi α là góc hình thành bởi $\vec{r}$ và $\vec{F}$. Ta thấy moment do lực $\vec{F}$ tạo ra để quay cánh tay đòn r quanh điểm O sẽ lớn nhất nếu $\vec{F}$ thẳng góc với $\vec{r}$ và bằng 0 nếu $\vec{F}$ song song với $\vec{r}$.

Hình 1.4

Moment



1.2.3.2. Moment từ của một cuộn dây.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\vec{T} = (BIl d)\vec{a}_y = BIS\vec{a}_y \quad (1-6)$$

S : diện tích của cuộn dây.

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

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

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

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

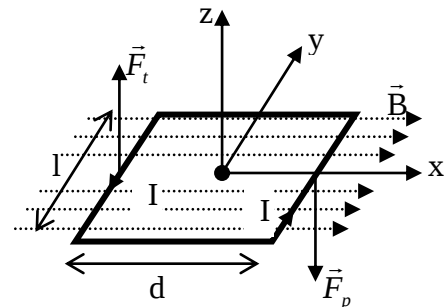
Với moment từ, và từ trường sẽ có một moment tác động lên cuộn dây suy ra từ công thức (1-6).

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

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

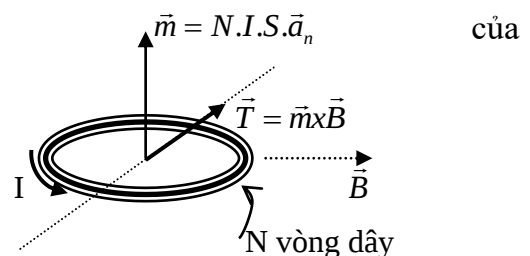
Hình 1.5

Moment



Hình 1.6

Moment từ



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

1.3. Độ tự cảm của một cuộn dây.

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

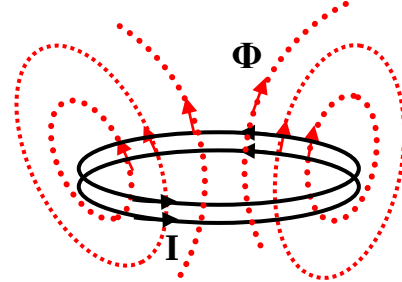
$$\Psi = N \cdot \Phi \quad (\text{Wb} - \text{vòng}) \quad (1-9)$$

Độ tự cảm của cuộn dây được định nghĩa :

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

Hình 1.7

Độ tự cảm một cuộn dây



1.4. Định luật Faraday.

Từ định nghĩa lực Lorentz, Khi một điện tích chuyển động với vận tốc v trong vùng có từ trường B thì lực từ tác động lên điện tích (xem lại 1.2.1):

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

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

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

Như vậy, khi một thanh dẫn mang nhiều điện tích tự do chuyển động trong từ trường $\vec{B}$, điện trường $\vec{E}_m$ sẽ làm cho các điện tích dịch chuyển, và tạo ra một hiệu điện thế hai đầu thanh dẫn. Độ lớn điện thế này tùy thuộc vào hướng của $\vec{E}_m$ hay nói cách khác là tùy thuộc vào vị trí tương đối của thanh dẫn đặt trong từ trường $\vec{B}$.

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

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

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

Định luật Faraday cho thanh dẫn chuyển động .

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

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

Định luật Faraday :

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

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

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

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

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

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

Trong trường hợp dây dẫn chuyển động với vận tốc $\vec{v}$ trong một từ trường đều không đổi theo thời gian, cực tính điện áp cảm ứng trong dây dẫn được xác định theo quy tắc : nếu nối dây dẫn kín mạch thì dòng điện cảm ứng tạo ra sẽ có chiều sao cho lực từ tác động lên dây dẫn chống lại sự chuyển động của dây. (Hình 1.9)

1.5. Mạch từ và bài toán mạch từ.

Mạch từ.

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

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

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

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

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

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

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

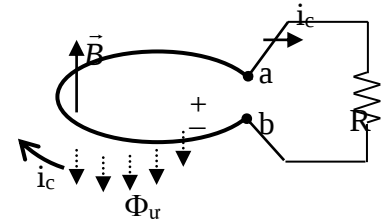
Từ thông xuyên qua lõi là :

$$\Phi_0 = B_0 S$$

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

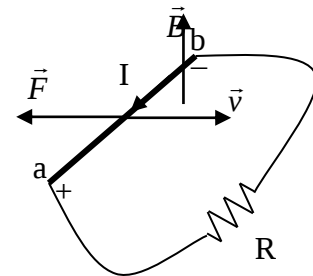
Hình 1.8

Điện áp cảm ứng

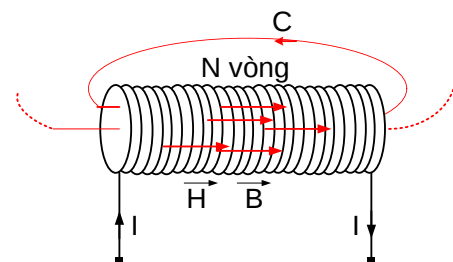


Hình 1.9

Điện áp cảm ứng



Hình 1.10

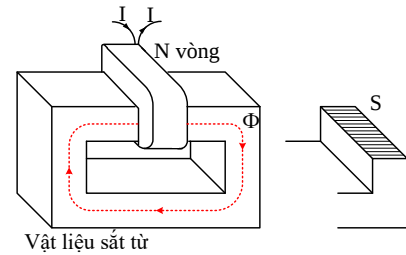


Xét mạch từ có lõi sắt từ (**Hình 1.11**)

Gọi μ_r là độ từ thẩm tương đối của vật liệu, mật độ từ thông trong vật liệu :

$$\mathbf{B} = \mu_r \mu_0 \mathbf{H} = \mu \cdot \mathbf{B}_0$$

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



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

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

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

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

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

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

Phân tích mạch từ là như thế nào ?

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

Định luật mạch từ.

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

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

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

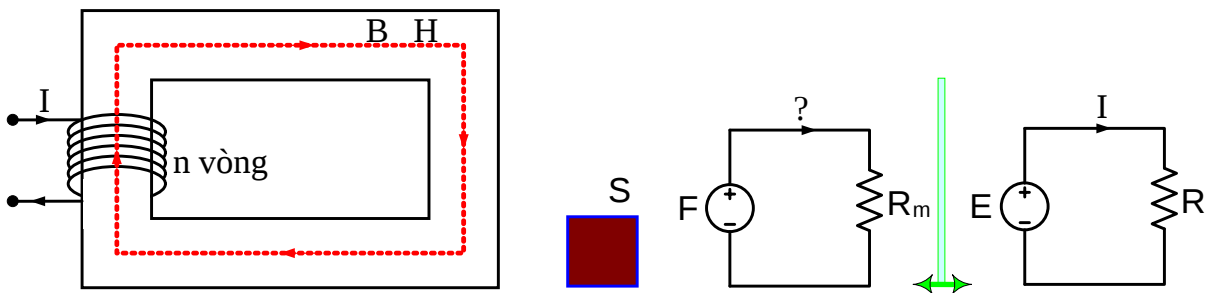
$$\phi = B.S = \mu.H.S = \mu.\frac{N.I}{L}S = \frac{N.I}{L/\mu.S}$$

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

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

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

Hình 1.13

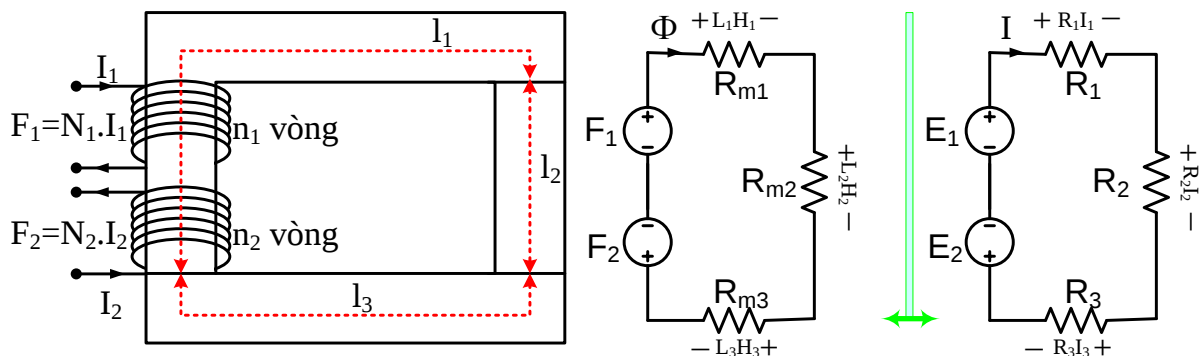


Mạch điện		Mạch từ	
Đại lượng	Chú thích	Đại lượng	Chú thích
$\vec{J} = \sigma \vec{E}$	$\sigma = -\rho \cdot \mu$ [S/m]: điện dẫn suất vật liệu, tỷ lệ thuận với độ linh động âm điện tử tự do và mật độ âm điện tử trong vật liệu	$\vec{B} = \mu \vec{H}$	$\mu = \mu_r \cdot \mu_0$ [H/m] : Độ từ thẩm của vật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

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

Mạch từ nối tiếp.(Hình 1.14)

Hình 1.14



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

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

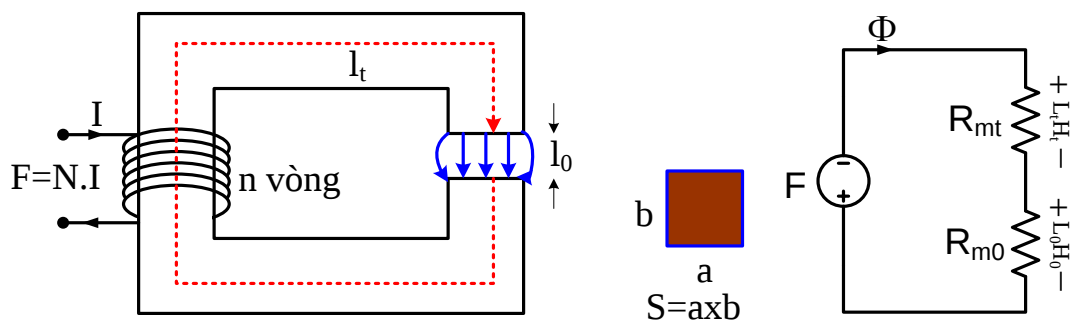
Giả sử không có lượng từ thông tản ra ngoài không khí, như vậy từ thông xuyên qua bất cứ tiết diện nào của lõi từ cũng bằng nhau (tương tự như dòng điện chạy trong các phần tử nối tiếp trong mạch điện). Như vậy ta có :

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

Trong đó : $R_{mi} = \frac{l_i}{\mu_i S_i}$ là từ trở của từng phần i. Từ đó ta có mạch tương đương như trên hình 1.14. Các giá trị $F_i = H_i l_i = R_{mi} \Phi$ được gọi là từ áp trên các phần tử từ thứ i. Công thức $(R_{m1} + R_{m2} + R_{m3})\Phi = F_1 - F_2$ tương tự như định luật Kirchhoff 2 trong mạch điện.

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

Hình 1.15

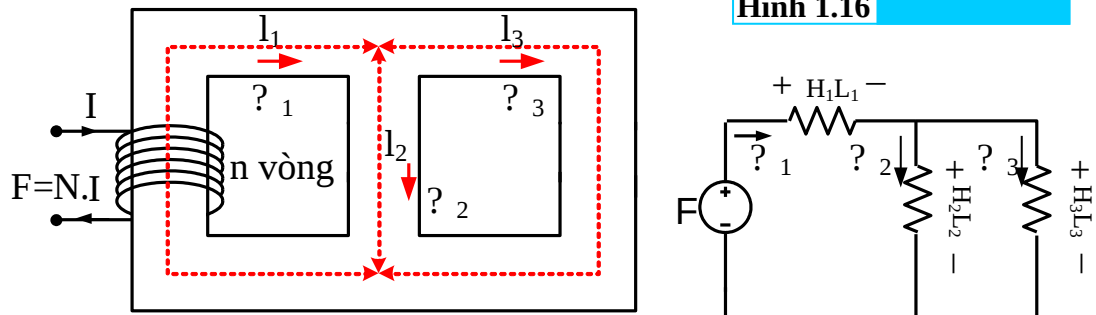


Khe hở không khí được thiết kế càng nhỏ càng tốt, vì từ áp qua khe hở không khí lớn hơn nhiều so với từ áp trong lõi thép.

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

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

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



Mạch từ song song.(Hình 1.16)

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

$$\text{Định luật Kirchhoff từ áp : } F = H_1 L_1 + H_2 L_2 = H_1 L_1 + H_3 L_3$$

$$\text{Định luật Kirchhoff dòng từ thông : } \Phi_1 = \Phi_2 + \Phi_3$$

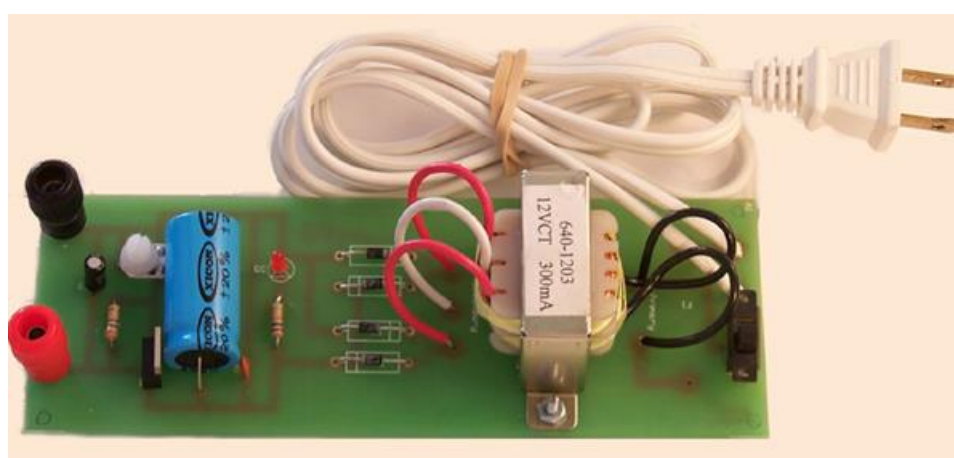
Nếu mạch từ được cấu tạo từ nhiều vật liệu khác nhau, ta phải dùng đến đường cong $B - H$ tương ứng với từng loại vật liệu. Nếu một nhánh có chứa khe hở không khí, từ áp qua nhánh đó vẫn tính như một từ trở nối tiếp vào nhánh

CHƯƠNG 2: MÁY BIẾN ÁP (TRANSFORMER)

2.1. Giới thiệu tổng quan.



Hình : Trạm biến áp



Hình : Máy biến áp một pha

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

Khuynh hướng phát triển hiện nay của máy biến áp là dùng các loại vật liệu có từ tính tốt, tổn hao sắt từ thấp để nâng cao công suất truyền tải của máy biến áp và giảm nhỏ kích thước. Đồng thời dùng vật liệu dẫn điện là dây nhôm thay cho dây đồng để giảm khối lượng trong máy biến áp.

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

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

$U_1 > U_2$: Máy biến áp giảm áp.

$U_1 < U_2$: Máy biến áp tăng áp.

2.2. Cấu tạo.

Máy biến áp bao gồm ba phần chính:

Lõi thép của máy biến áp (Transformer Core)

Cuộn dây quấn sơ cấp (Primary Winding)

Cuộn dây quấn thứ cấp (Secondary Winding)

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

- **Lõi thép:** được tạo thành bởi các lá thép mỏng ghép lại, về hình dáng có hai loại: loại trụ (core type) và loại bọc (shell type)

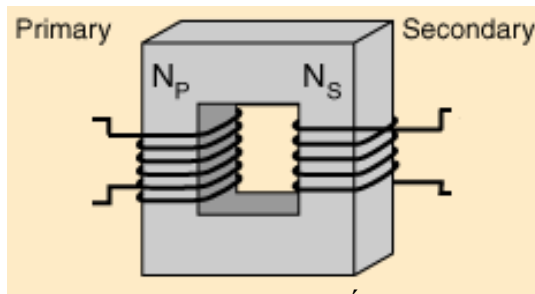
Loại trụ: được tạo bởi các lá thép hình chữ U và chữ I. Một lượng lớn từ trường sinh ra bởi cuộn dây sơ cấp không cắt cuộn dây thứ cấp, hay máy biến áp có một từ thông rò lớn. Để cho từ thông rò ít nhất, các cuộn dây được chia ra với một nửa của mỗi cuộn đặt trên một trụ của lõi thép.

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

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

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

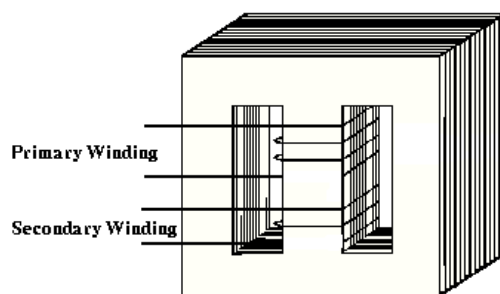
- Dây quấn sơ cấp (Primary Winding)
- Dây quấn thứ cấp (Second Winding)



Hình : Hình dạng máy biến áp một pha loại trụ



Hình : Máy biến áp một pha



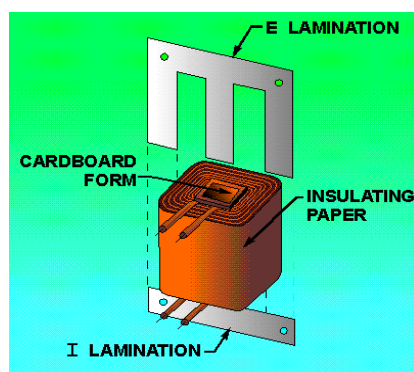
Hình : Hình dạng máy biến áp một pha loại bọc



Hình : Máy biến áp một pha loại bọc

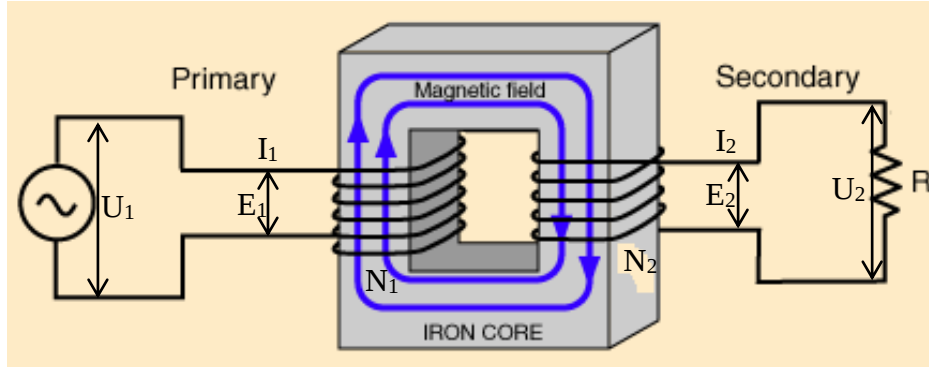
Dây quấn máy biến áp được chế tạo bằng dây đồng hoặc nhôm, có tiết diện hình tròn hoặc hình chữ nhật. Đối với dây quấn có dòng điện lớn, sử dụng các sợi dây dẫn được mắc song song để giảm tổn thất do dòng điện xoáy trong dây dẫn. Bên ngoài dây quấn được bọc cách điện.

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



Hình : Lắp ráp máy biến áp

2.3. Nguyên lý làm việc.



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

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

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

$$U_{20} = e_2$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\bullet E_1 = \frac{2\pi \cdot f \cdot N_1 \Phi_m}{\sqrt{2}} = 4,44fN_1 \Phi_m$$

$$\bullet E_2 = 4,44fN_2 \Phi_m$$

□ **Tỉ số biến áp:**

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

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

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

2.4. Các đại lượng định mức.

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

○ Máy biến áp 1 pha: $S_{\text{đm}} = S_2 = U_{2\text{đm}} \cdot I_{2\text{đm}}$.

○ Máy biến áp 3 pha: $S_{\text{đm}} = S_2 = \sqrt{3} U_{2\text{đm}} I_{2\text{đm}}$.

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

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

○ 1 pha $I_{1\text{đm}} = \frac{S_{\text{đm}}}{U_{1\text{đm}}}$

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

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

$$I_{2\text{đm}} = \frac{S_{\text{đm}}}{U_{2\text{đm}}}$$

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

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

Vd: $Y/\Delta-11(330^\circ)$

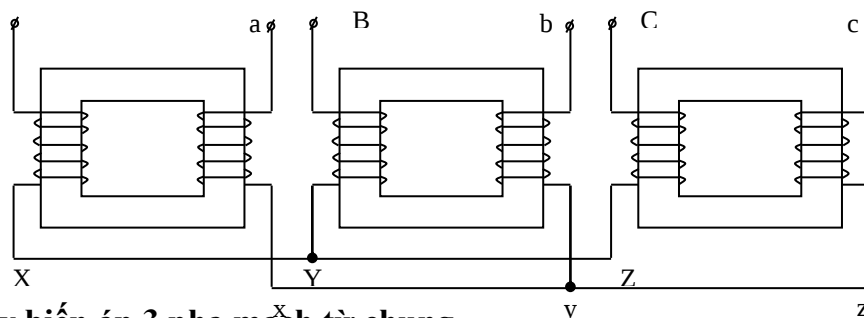
- ☐ $\cos \varphi_2$: hệ số công suất của tải
- ☐ Hiệu suất $\eta\%$ -----

2.5. Máy biến áp 3 pha.

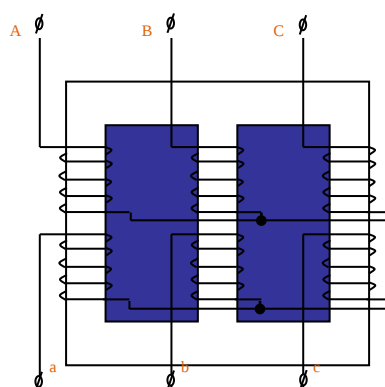
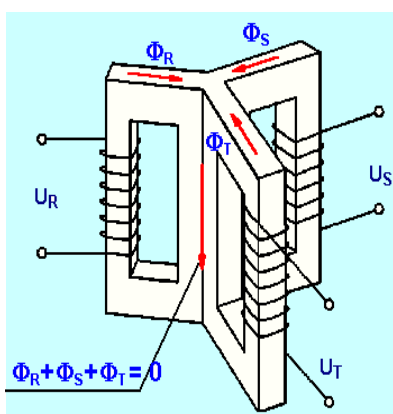
Máy biến áp ba pha đóng vai trò rất quan trọng trong việc truyền tải và phân phối điện năng. Kết cấu lõi thép máy biến áp ba pha có 2 loại, dựa vào sự liên quan hay không liên quan giữa hai mạch từ mà phân ra thành mạch từ riêng và mạch từ chung.

2.5.1 Máy biến áp 3 pha mạch từ riêng:

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



2.5.2 Máy biến áp 3 pha mạch từ chung



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

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

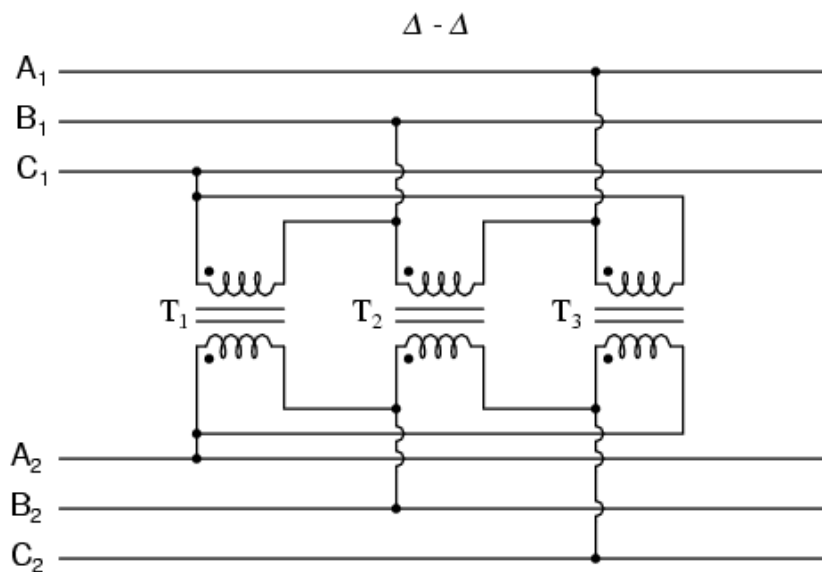
2.5.3 Các kiểu kết nối MBA ba pha.

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

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

Có bốn kiểu đấu dây:

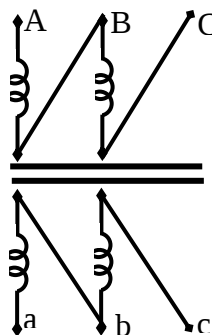
- Sơ cấp đấu tam giác, thứ cấp đấu tam giác (Δ/Δ), sử dụng cho điện áp trung bình như trong công nghiệp.



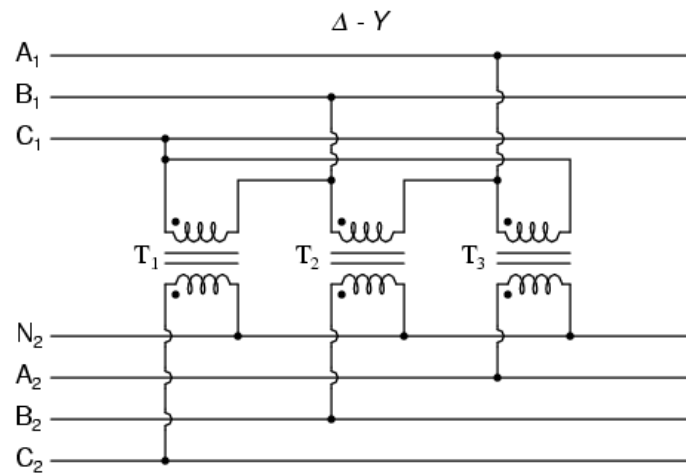
Hình : Nối Δ/Δ

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

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

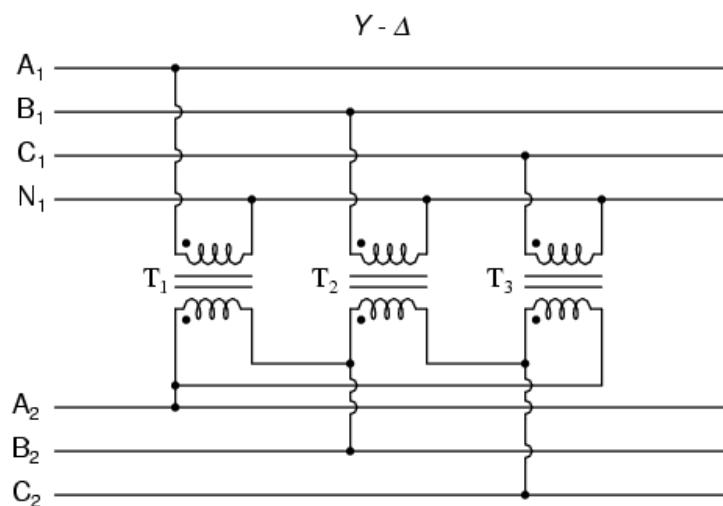


- Sơ cấp đầu tam giác, thứ cấp đầu sao (Δ/Y), sử dụng phổ biến trong công nghiệp và thương mại.



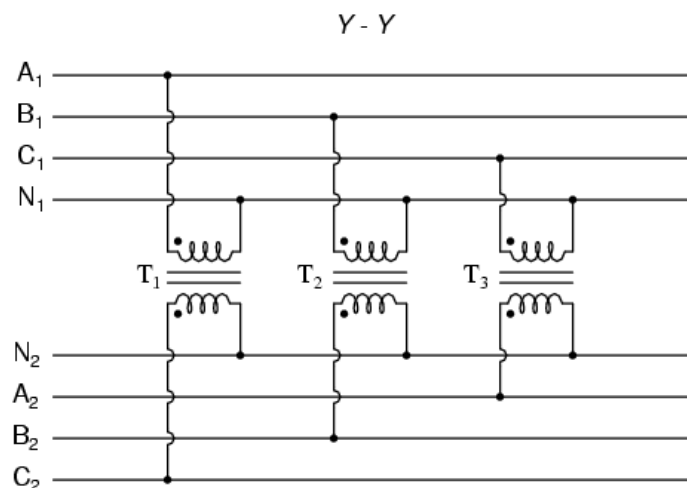
Hình : Nối Δ/Y

- Sơ cấp đầu sao, thứ cấp đầu tam giác (Y/Δ), sử dụng cho giảm áp.



Hình : Nối Δ/Y

- Sơ cấp đầu sao, thứ cấp đầu sao (Y/Y), rất ít được sử dụng vì vấn đề điều hoà và cân bằng.



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

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

2.5.4 Tổ nối dây của máy biến áp ba pha

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

- Chiều quấn dây

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

- Ký hiệu các đầu dây

Cuộn dây sơ cấp:

Đầu đầu : A, B, C

Đầu cuối : X, Y, Z

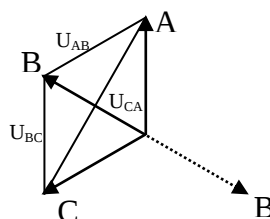
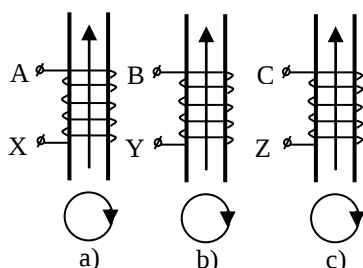
Trung tính : O hoặc N

Cuộn dây thứ cấp :

Đầu đầu : a, b, c

Đầu cuối : x, y, z

Trung tính : o hoặc n



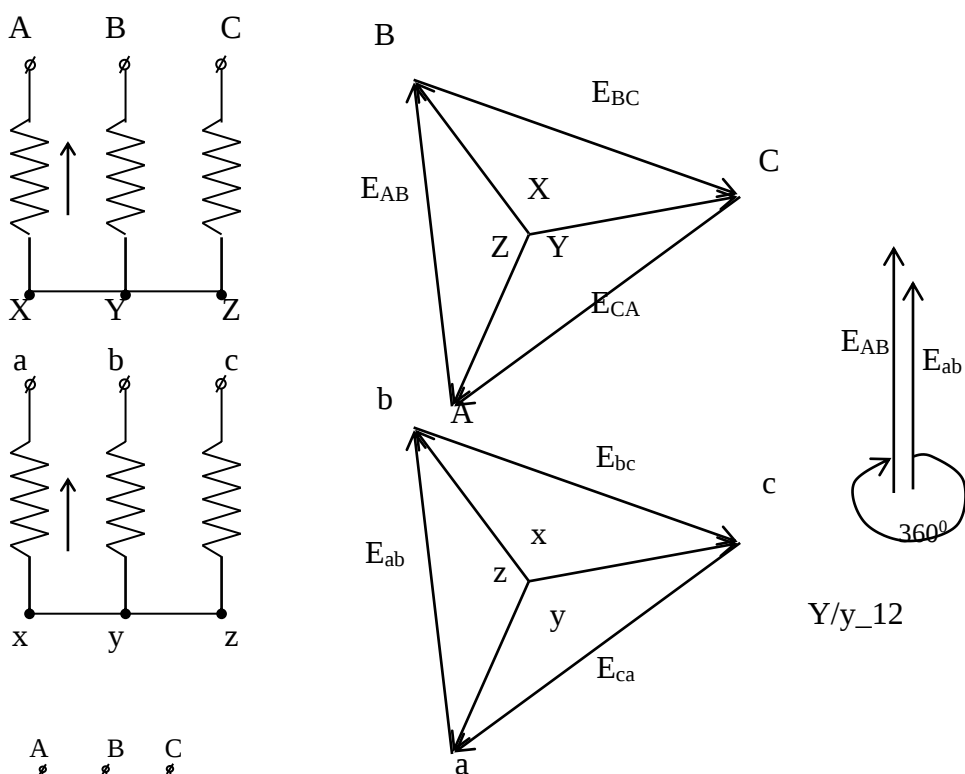
Chiều quấn dây và cực tính của các cuộn dây

- Xác định tổ nối dây:

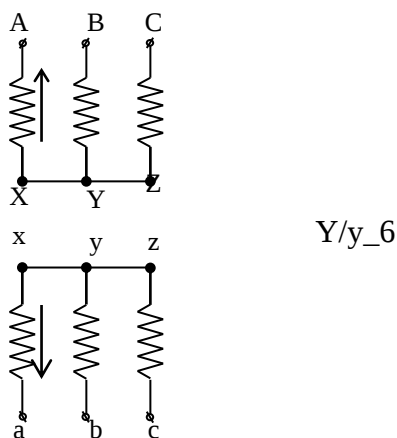
- Kiểu đấu dây → vẽ đồ thị vector sức điện động dây quấn sơ cấp và sức điện động dây quấn thứ cấp.
- Xác định vector điện áp dây sơ cấp và thứ cấp.
- sức điện động dây sơ cấp được biểu thị bằng kim dài của đồng hồ và đặt ở vị trí số 12.
- Căn cứ vào góc lệch pha giữa sức điện động dây sơ cấp và sức điện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

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

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



Ví dụ 2:



2.5.5 Tỉ số biến áp

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

$$K = \frac{U_{1P}}{U_{2P}}$$

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

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

❖ Tổ nối dây: Y/ Δ

$$K = \frac{U_{1p}}{U_{2p}} = \frac{U_{d1}}{\sqrt{3}U_{d2}}$$

❖ Tổ nối dây: Y/Y₀

$$K = \frac{U_{1p}}{U_{2p}} = \frac{U_{d1} / \sqrt{3}}{U_{d2} / \sqrt{3}} = \frac{U_{d1}}{U_{d2}}$$

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

2.6. Quan hệ điện từ trong máy biến áp

2.6.1. Các Phương Trình Cơ Bản Của Máy Biến Áp.

2.6.1.1 Phương trình cân bằng sức điện động.

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

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

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

Ψ_1, Ψ_2 : từ thông móc vòng qua cuộn dây sơ cấp và thứ cấp tương ứng từ thông chính Φ .

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$e_2 + e_{\sigma 2} = u_2 + i_2 r_2$$

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

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

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 - \dot{E}_{\sigma 1} + \dot{I}_1 r_1$$

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 + \dot{E}_{\sigma 2} - \dot{I}_2 r_2$$

Từ biểu thức :

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

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

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

$$e_{\sigma 1} = -I_{1m} \omega L_{\sigma 1} \cos \omega t = E_{\sigma 1m} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) = \sqrt{2} I_{1x_1} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

$$e_{\sigma 2} = -I_{2m} \omega L_{\sigma 2} \cos \omega t = E_{\sigma 2m} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) = \sqrt{2} I_{2x_2} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

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

$$\dot{E}_{\sigma 1} = -j \dot{I}_1 x_1$$

$$\dot{E}_{\sigma 2} = -j \dot{I}_2 x_2$$

$x_1 = \omega L_{\sigma 1}$; $x_2 = \omega L_{\sigma 2}$ là điện kháng tản của dây quấn sơ cấp và dây quấn thứ cấp. Thay vào phương trình cân bằng ta được :

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + j \dot{I}_1 x_1 + \dot{I}_1 r_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 \dot{Z}_1$$

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - j \dot{I}_2 x_2 - \dot{I}_2 r_2 = \dot{E}_2 - \dot{I}_2 \dot{Z}_2$$

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

2.6.1.2 Phương trình cân bằng sức từ động.

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

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

□ Khi máy biến áp làm việc có tải: $i_2 \neq 0$.

Từ thông chính trong máy do sức từ động trên hai cuộn dây sinh ra ($i_1 N_1 + i_2 N_2$).

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

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

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

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

Viết dưới dạng số phức :

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

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

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

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

Từ phương trình cân bằng trên ta thấy, lúc máy biến áp có tải, dòng điện sơ cấp gồm hai thành phần. Thành phần dòng I_0 tạo nên từ thông chính trong lõi thép. Thành phần $(- I_2')$ có tác dụng bù lại tác dụng khử từ của dòng điện thứ cấp. Khi tải tăng, dòng điện thứ cấp I_2 tăng lên, thì thành phần bù $(- I_2')$ cũng tăng lên. Để giữ cho từ

thông trong máy không thay đổi thì dòng điện cấp I_1 cũng tăng lên. Như vậy dây quấn sơ cấp lúc này phải nhận thêm năng lượng từ nguồn để truyền sang cho bên thứ cấp.



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

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

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

$$\frac{\pi}{2}.$$

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

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

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

2.6.2. Mô Hình Toán MBA.

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

Việc quy đổi hay thay thế phải không làm thay đổi các quá trình vật lý xảy ra trong MBA như công suất truyền tải, tổn hao... của MBA. Và để tạo nên một mạch điện thì mạch sơ cấp và thứ cấp phải liên kết được với nhau, do đó các thông số ở mạch thứ cấp phải được quy đổi tương đương về U_2' sơ cấp.

⚡ Sức điện động và điện áp (E_2');

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

Tương tự ta có:

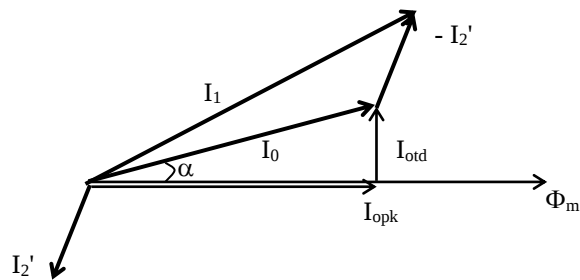
$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow E_1 = k.E_2 \quad U_2' = k.U_2$$

⚡ Dòng điện (I_2')

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

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

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



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

Tương tự : $X_2' = k^2 X_2$

$$Z_2' = k^2 Z_2$$

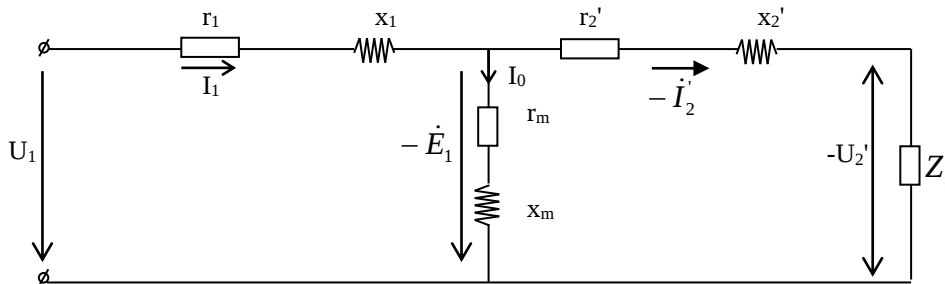
Như vậy sau khi quy đổi, ta có một hệ phương trình mô tả toán học MBA như sau :

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = -E_1 + I_1 \cdot Z_1 \\ \dot{U}_2' = E_2' - I_2' \cdot Z_2' \\ I_1 = I_0 - I_2' \end{cases}$$

2.6.3. Sơ Đồ Tương Đương Của MBA.

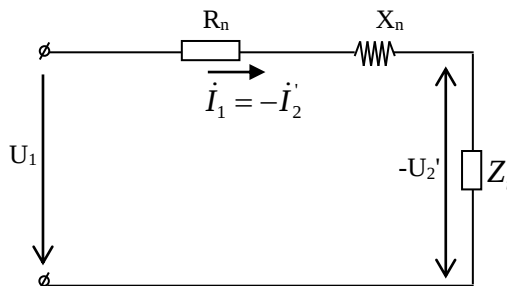
Từ $\begin{cases} \dot{U}_1 = -E_1 + I_1 \cdot Z_1 \\ \dot{U}_2' = E_2' - I_2' \cdot Z_2' \\ I_1 = I_0 - I_2' \end{cases}$

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



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

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



Với

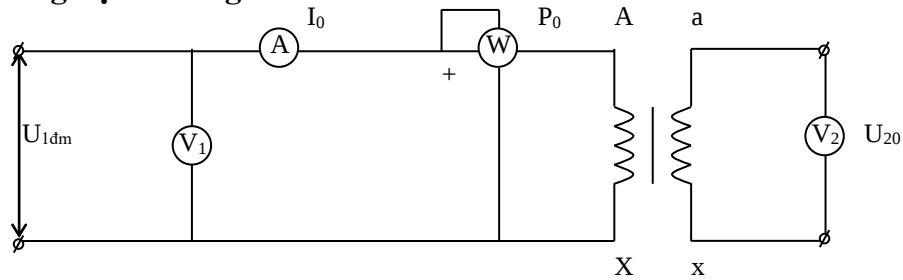
$$X_n = x_1 + x_2'$$

$$Z_n = R_n + jX_n : \text{Tổng trở ngắn mạch của MBA.}$$

$$R_n = r_1 + r_2'$$

Xác Định Các Tham Số MBA.

2.6.3.1. Thí nghiệm không tải:



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

➤ Tổng trở máy biến áp lúc không tải:

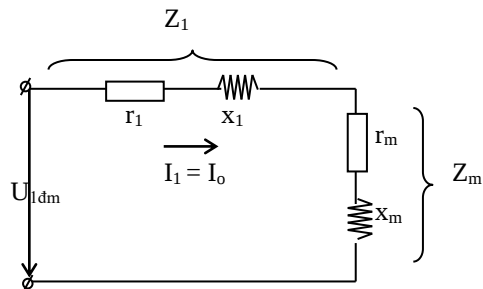
$$Z_0 = \frac{U_{1dm}}{I_0}$$

➤ Điện trở không tải

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

➤ Điện kháng không tải

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



$$Z_0 = Z_1 + Z_m$$

$$r_0 = r_1 + r_m$$

$$x_0 = x_1 + x_m$$

vì

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

Nên

$$Z_0 = Z_m$$

$$r_0 = r_m$$

$$x_0 = x_m$$

➤ Tỷ số biến áp:

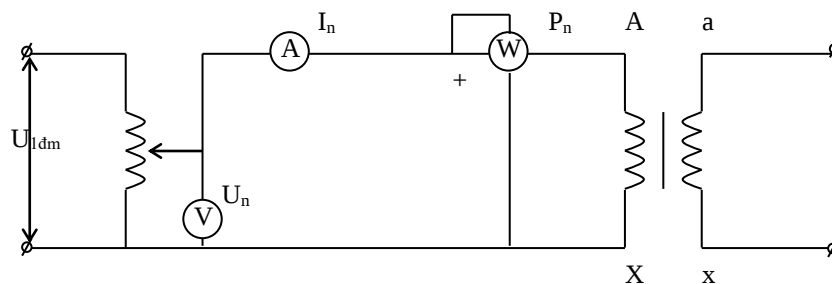
$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{U_{1\text{r}\text{m}}}{U_{20}}$$

➤ Hệ số công suất không tải

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{U_{1\text{r}\text{m}} \cdot I_0}$$

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

2.6.3.2. Thí nghiệm ngắn mạch:



Máy biến áp tự ngẫu

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

- ☐ Đặc điểm khi ngắn mạch:
 - ☐ Dòng ngắn mạch trong máy gấp 10 - 25 lần $I_{1\text{dm}}$ nên thường gây cháy dây quấn.
 - ☐ Điện áp $U_2 \approx 0$, các phụ tải mất điện áp.
- Để bảo vệ máy biến áp khi có ngắn mạch thường dùng hệ thống role bảo vệ tự động các mạch sơ cấp khi có ngắn mạch.

Thí nghiệm:

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

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

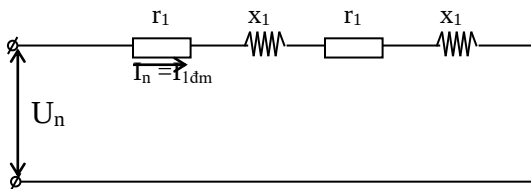
$$Z = \frac{U_n}{I_{1\text{đm}}}$$

□ Điện trở ngắn mạch,

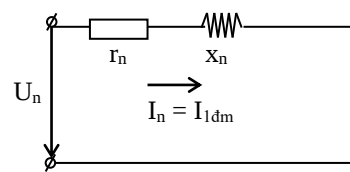
$$r_n = \frac{P_n}{I_n^2} = \frac{P_n}{I_{1\text{đm}}^2},$$

□ Điện kháng ngắn mạch

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



hay



trong đó:

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

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

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

➤ $\cos\varphi_n = \frac{P_n}{U_n I_{1\text{đm}}}$

➤ Điện áp ngắn mạch phần trăm

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

Điện áp ngắn mạch có hai thành phần:

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

(điện áp ngắn mạch tác dụng phần trăm)

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

(điện áp ngắn mạch phản kháng phần trăm)

2.6.3. 3. Độ biến thiên điện áp thứ cấp theo tải

- Độ biến thiên điện áp thứ cấp

$$\Delta U_2 = U_{2\text{nhm}} - U_2$$

- Độ biến thiên điện áp thứ cấp phần trăm

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

Hay

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

Trong đó

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

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

2.6.3.4. Tổn hao và hiệu suất của máy biến áp

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

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

Tổn hao tải phụ thuộc vào dòng điện của tải

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

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

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

- Hiệu suất của máy biến áp:

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

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

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

2.7. MBA làm việc song song.

MBA làm việc song song thỏa mãn yêu cầu sau:

- Cùng tổ đầu dây máy biến áp.
- Cùng tỷ số biến áp.
- Cùng giá trị điện áp ngắn mạch.

Ví dụ :

Một máy biến áp ba pha $S_{dm} = 560$ kVA, $U_1 = 6000$ V, $U_2 = 400$ V, đấu Y/Y, $I_0 = 4,58\%$ $I_{lđm}$, $U_n\% = 4.27$, $P_0 = 1970$ W, $P_n = 7000$ W. Tính:

- 1) Hệ số công suất $\cos \varphi_0$ lúc không tải
- 2) Các tham số của mạch điện tương đương
- 3) Độ thay đổi điện áp $\Delta U\%$ khi máy biến áp làm việc ở tải định mức và hệ số công suất của tải $\cos \varphi_2 = 0.8$ trễ.
- 4) Hiệu suất của máy biến áp ở tải nói trên.

Giải

$$1) \cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} U_{1\text{đm}} I_0}$$

$$I_0 = 4.58\% I_{lđm}$$

$$I_{1\text{đm}} = \frac{S_{\text{đm}}}{\sqrt{3} U_{1\text{đm}}} = \frac{560 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 6 \times 10^3} = 53.9 \text{ A}$$

$$I_0 = 4.58\% \times 53.9 = 0.0458 \times 53.9 = 2.47 \text{ A}$$

$$\cos \varphi_0 = \frac{1970}{\sqrt{3} \times 6000 \times 2.47} = 0.076$$

- 2) Các tham số của mạch điện tương đương:

$$Z_0 = \frac{U_{1P}}{I_{0P}} = \frac{6000 / \sqrt{3}}{2.47} = 1402.51 \Omega$$

$$r_0 = \frac{P_{0P}}{I_{0P}^2} = \frac{1970}{3 \times (2.47)^2} = 107.63 \Omega$$

$$x_0 = \sqrt{Z^2 - r_0^2} = 139837\Omega$$

$$Z_n = \frac{U_n}{I_{1\text{ñm}}}$$

$$U_n \% = \frac{U_n}{U_{1\text{ñmp}}} \times 100$$

$$U_n = \frac{U_n \% \times U_{1\text{ñmp}}}{100}$$

$$U_n = \frac{4.27 \times 6000 / \sqrt{3}}{100} = 147.92V$$

$$Z_n = \frac{147.92}{53.9} = 2.74\Omega$$

$$r_n = \frac{P_{np}}{I_{1\text{ñm}}^2} = \frac{7000}{3 \times (53.9)^2} = 0.8\Omega$$

$$x_n = \sqrt{Z_n^2 - r_n^2} = 2.62\Omega$$

Thöôøng

$$r_1 \approx r_2' \approx \frac{r_n}{2} = 0.4\Omega$$

$$x_1 \approx x_2' \approx \frac{x_n}{2} = 1.31\Omega$$

$$3) \Delta U \% = \beta (U_{nr} \% \times \cos \varphi_2 + U_{nx} \% \times \sin \varphi_2)$$

$$\beta = 1$$

$$U_{nr} \% = \frac{I_{1\text{ñm}} \times r_n}{U_{1\text{pñm}}} \times 100 = \frac{53.9 \times 0.8}{6000 / \sqrt{3}} \times 100 = 1.24\%$$

$$U_{nx} \% = \frac{I_{1\text{ñm}} \times x_n}{U_{1\text{pñm}}} \times 100 = \frac{53.9 \times 2.62}{6000 / \sqrt{3}} \times 100 = 4\%$$

$$\Delta U \% = (0.0124 \times 0.8 + 0.04 \times 0.6) = 0.03$$

$$4) \eta \% = \frac{\beta S_{\text{ñm}} \cos \varphi_2}{\beta S_{\text{ñm}} \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_n} \times 100$$

$$\eta \% = \frac{1 \times 560 \times 10^3 \times 0.8}{1 \times 560 \times 10^3 \times 0.8 + 1970 + 1^2 \times 7000} \times 100 = 98.4\%$$

Bài tập:

Bài 1: Cuộn dây cao áp của một máy biến áp có điện áp định mức là 480 V và có 400 vòng. Cuộn hạ áp có bao nhiêu vòng nếu điện áp định mức là 120 V.

Bài 2: Một máy biến áp 1000 kVA; 24000/2400 V, hoạt động ở 40 V/vòng. Tìm số vòng mỗi cuộn dây và dòng định mức của mỗi cuộn.

Bài 3: Một điện trở 5Ω được nối vào cuộn thứ cấp 120 V của một biến áp hạ áp. Nếu dòng điện cuộn sơ cấp là 6 A thì điện áp cuộn sơ cấp là bao nhiêu?

Bài 4: Một máy biến áp cung cấp một tải 30 A ở 240 V. Nếu điện áp sơ cấp là 2400 V, tính:

- Voltamperes thứ cấp
- Voltamperes sơ cấp
- Dòng điện sơ cấp

Bài 5: Tính công suất đầu ra (kW) của một máy biến áp 5kVA 2400/120 V tải tải có:

- 100% hệ số công suất
- 80% hệ số công suất
- 30% hệ số công suất
- tính dòng điện ngõ ra đầy tải

Bài 6: Tính công suất cần thiết của một máy biến áp để phân phối 1 kW ở 200 V đối với một tải trở.

Bài 7: Tính công suất cần thiết của một máy biến áp hàn để cung cấp 1 kW có hệ số công suất là 0,5, điện áp vào của máy hàn là 200 V.

Bài 8: Các cuộn dây sơ cấp của các máy biến áp một pha được đấu thành hình sao và các cuộn dây thứ cấp được đấu tam giác, điện áp đặt vào mỗi cuộn dây sơ cấp là 2300 V, và điện áp dây thứ cấp là 230 V. Tìm dòng điện dây thứ cấp khi dòng điện dây sơ cấp là 20A.

Bài 9: Một voltmeter, ammeter, và wattmeter được mắc với các máy biến áp đo lường thích hợp ở mạng điện một pha và các số liệu như sau:

- | | |
|-------------------------|-------|
| a. Tỉ số biến dòng | 5:1 |
| b. Tỉ số biến áp | 20:1 |
| c. Số chỉ của voltmeter | 110 V |
| d. Số chỉ của ammeter | 4 A |
| e. Số chỉ của wattmeter | 360 W |

Tìm điện áp, dòng điện, voltamperes, hệ số công suất và công suất của mạch sơ cấp.

Bài 10: Một máy biến áp ba pha có các số liệu như sau: $S = 20 \text{ kVA}$; $U_1/U_2 = 6 / 0.4 \text{ kV}$; $P_n = 0.6 \text{ kW}$; $U_n\% = 5.5$; $P_0 = 0.18 \text{ kW}$; nối Y/yn. Tính:

1. $Z_n; r_n; x_n; \cos\omega_n$
2. $U_n; U_{nr}\%; U_{nx}\%$
3. $\Delta U\%$ khi hệ số tải $\beta = 0.5$ và $\beta = 1$ với $\cos\omega_2 = 0.8$ (tải cảm)
4. Hiệu suất của máy biến áp ở tải nói trên.

Bài 11: Một máy biến áp ba pha có các số liệu như sau: $S = 4000$ kVA; điện áp 22 / 0.4 kV; $I_0 = 4.5\%$ $P_n = 45$ kW; $U_n\% = 5$; $P_0 = 13.2$ kW; nối Y/d. Tính:

1. $Z_n; r_n; x_n; \cos\omega_n$
2. Điện áp thứ cấp U_2 khi hệ số tải $\beta = 0.75$ với $\cos\omega_2 = 0.85$ trễ
3. Hiệu suất của máy biến áp khi $\beta = 1$; $\cos\omega_2 = 0.5$

Bài 12: Một máy biến áp một pha có $r_1 = 0.5835$; $x_1 = 4.4$; $r_2 = 0.037$; $x_2 = 0.42$; $U_{10} = 20210$ V; $U_{20} = 6600$ V; $I_0 = 12.3$ A; $P_0 = 26600$ W. Tính các tham số của mạch điện tương đương.

Bài 13: Một máy biến áp phân phối một pha 2300 V/230 V; 500 kVA được thí nghiệm:

- ☐ không tải: $U_1 = 2300$ V; $I_0 = 9.4$ A; $P_0 = 2250$ W
 - ☐ ngắn mạch: $U_n = 94.5$ V; $I_n = I_{ldm}$; $P_n = 8220$ W
1. Tính các thông số mạch điện tương đương của máy biến áp.
 2. Dòng không tải phần trăm.
 3. Hệ số công suất không tải.
 4. Điện áp ngắn mạch phần trăm.
 5. Hệ số công suất ngắn mạch.
 6. Điện áp ngắn mạch tác dụng và phản kháng phần trăm
 7. Khi $\cos\varphi_2 = 0,8$ trễ. Tính U_2 khi tải bằng nửa tải định mức.
 8. Tính hiệu suất của máy biến áp ở tải nói trên.

Bài 14: Một máy biến áp ba pha đấu Y/d có $S_{dm} = 60$ kVA; $U_{1dm} = 35$ kV; $U_{2dm} = 400$ V; $U_n\% = 4.55$; $P_n = 1200$ W; $I_0\% = 11\%$; $P_0 = 502$ W; hệ số công suất của tải $\cos\varphi_2 = 0.8$ trễ. Tính:

- a. Dòng điện dây sơ cấp và thứ cấp định mức của máy.
- b. Tính r_1 ; r_2 ; x_1 ; x_2 .
- c. Dòng điện không tải.
- d. Hệ số công suất không tải, hệ số ngắn mạch $\cos\varphi_n$.
- e. Độ thay đổi điện áp khi máy biến áp làm việc ở tải định mức.
- f. Hiệu suất khi máy biến áp làm việc ở 80% tải định mức.

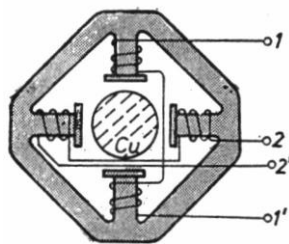
CHƯƠNG 3: MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

3.1. Mở đầu

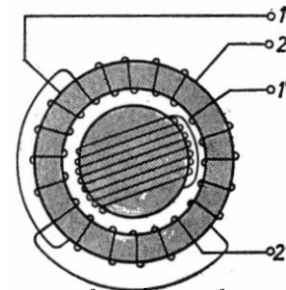
Faraday tìm ra định luật cảm ứng điện từ vào 1831

Maxwell tìm phương trình Maxwell vào khoảng 1860

Máy điện không đồng bộ (hay máy điện cảm ứng) được phát minh bởi hai nhà khoa học Galileo Ferraris (1885) hình 1.1 và Nicola Tesla (1886) hình 1.2



Hình 2.1 Động cơ cảm ứng của Ferraris (1885)



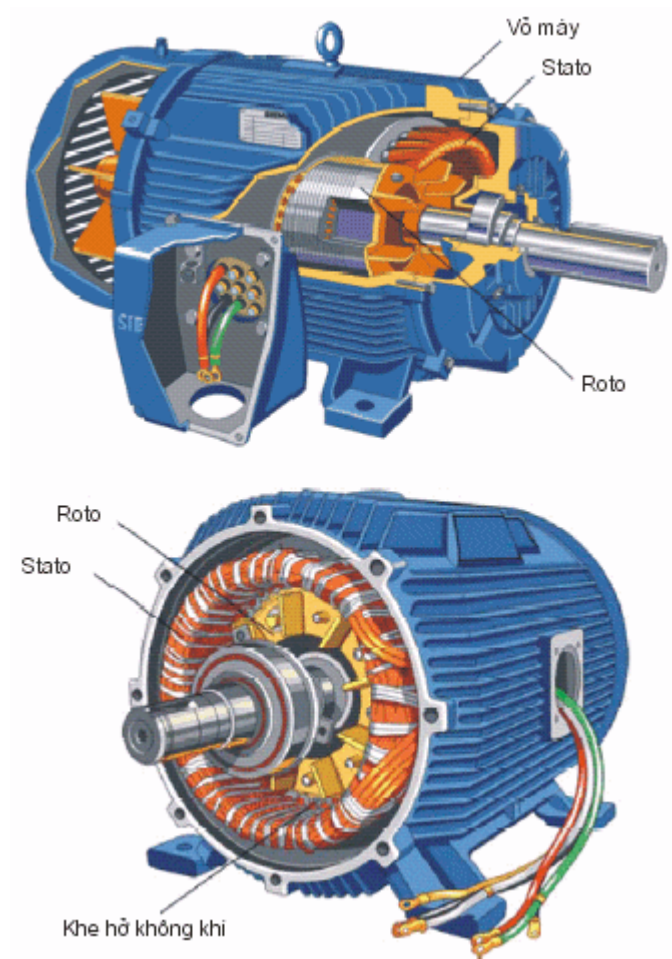
Hình 2.2 Động cơ cảm ứng của Tesla (1886)

Ngày nay hầu hết các máy điện công nghiệp đa số là động cơ cảm ứng 3 pha.

Nên chương này giới thiệu về động cơ cảm ứng 3 pha.

3.2 Cấu tạo động cơ không đồng bộ

Máy điện không đồng bộ gồm 2 bộ phận chính: stator (phần tĩnh) và rotor (phần quay) chúng cách nhau bởi khe hở không khí.



Stator: Gồm vỏ máy, lõi sắt và dây quấn

- Vỏ máy: để cố định lõi sắt và dây quấn chứ không dẫn từ. Vỏ máy thường làm bằng gang. Đối với máy công suất lớn (>1000 kW) dùng thép tấm hàn lại.

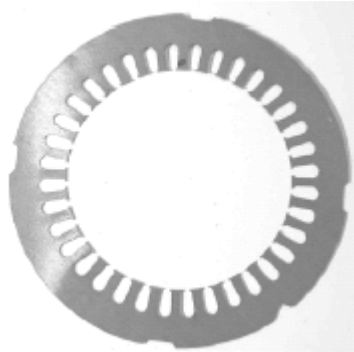
➤



Hình 2.3: Vỏ máy

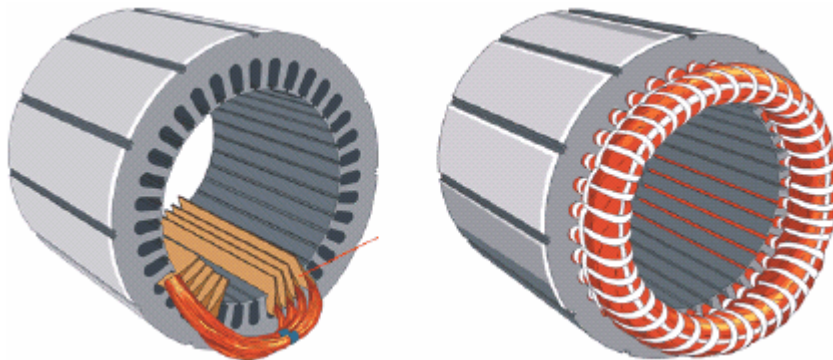
Lõi sắt: để dẫn từ. Vì từ trường đi qua lõi thép là từ trường quay nên để giảm tổn

hạo lõi thép được ghép từ các lá thép kỹ thuật điện dày 0,35 mm hoặc 0,5 mm. Khi đường kính ngoài > 990 mm thì phải dùng những tấm hình rẻ quạt ghép. Để giảm tổn hao do dòng điện xoáy, mỗi lá thép kỹ thuật điện đều phủ sơn cách điện.



Hình 2.4: Lõi sắt stator

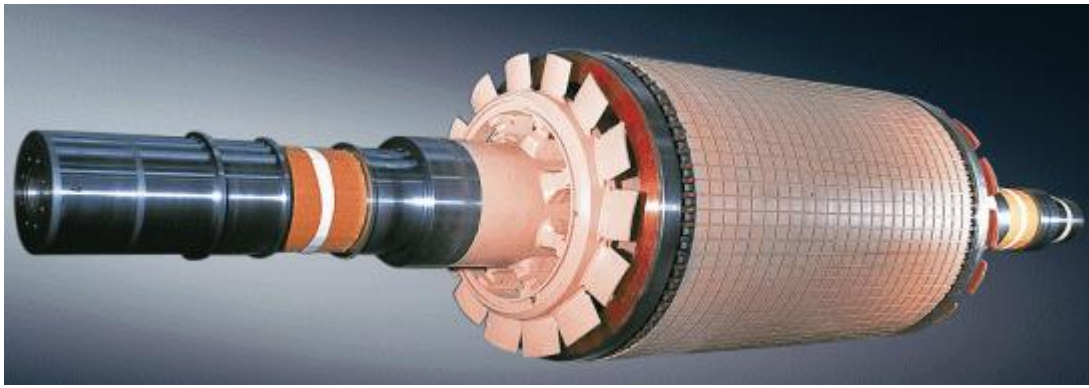
- Dây quấn: Dây quấn stator được đặt vào các rãnh của lõi sắt và cách điện với lõi thép. Kết cấu dây quấn để nhìn cứu.



Hình 2.5: Dây quấn stator

Rotor: lõi sắt và dây quấn.

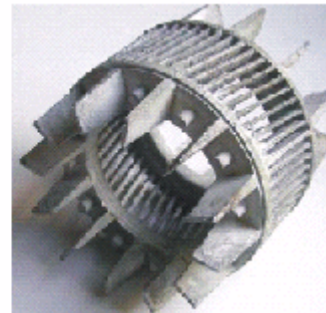
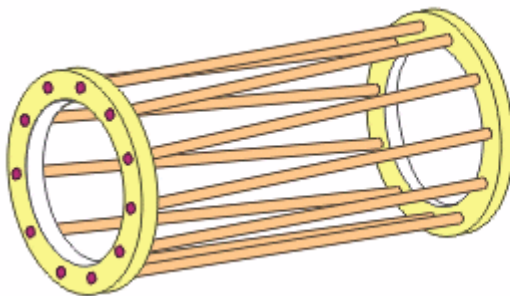
- Lõi sắt: Vì tổn hao trong lõi sắt rotor rất nhỏ nên không cần dùng thép kỹ thuật điện cũng được. Nhưng để lợi dụng thép kỹ thuật điện sau khi dập lá thép stator người ta ép lõi sắt rotor luôn. Lõi sắt rotor được ép trực tiếp lên trục máy hoặc lên giá đỡ rôto. Phía ngoài lá thép có dập rãnh để đặt dây quấn.



Hình 2.6: Rotor

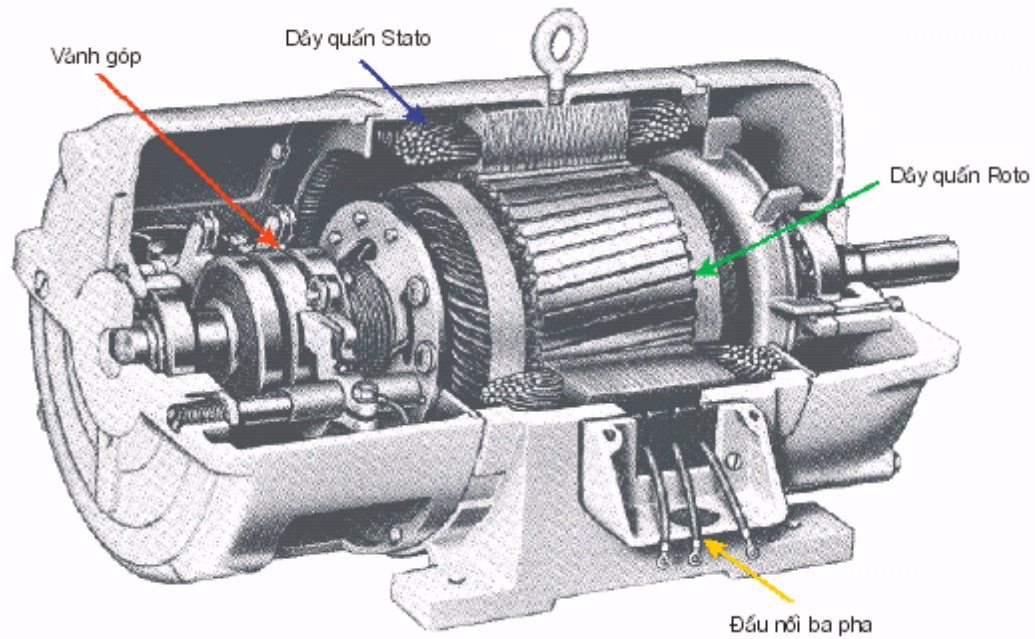
➤ Dây quấn rotor: 2 kiểu:

- Kiểu dây quấn: dây quấn rotor giống dây quấn stator. Trong máy điện cỡ vừa trở lên thường dùng dây quấn sóng 2 lớp để bớt phần đầu nối. Trong máy cỡ nhỏ thường dùng đồng tâm 1 lớp. Dây quấn rotor được đấu hình sao 3 đầu lại nối với 3 vành trượt đồng cố định ở đầu trục và nối với mạch ngoài qua cơ cấu chổi than.
- Kiểu lồng sóc: trong mỗi rãnh roto đặt một thanh dẫn bằng đồng hoặc nhôm dài thì ra khỏi lõi sắt và được nối tắt ở 2 đầu nhờ 2 vành ngắn mạch cũng bằng đồng hoặc nhôm tạo thành một cái lồng trụ gọi là lồng sóc.



Hình 2.7: Rotor lồng sóc

Dây quấn kiểu lồng sóc không cần cách điện với lõi sắt



Hình 2.8: Bên trong của máy điện không đồng bộ
Phân loại

- ☐ Theo kết cấu vỏ: kiểu hở, kiểu bảo vệ, kiểu kín, kiểu chống nổ.
- ☐ Theo kết cấu rotor: kiểu dây quấn rotor kiểu lồng sóc.
- ☐ Theo số pha trên dây quấn stato: 1 pha, 2 pha, 3 pha.

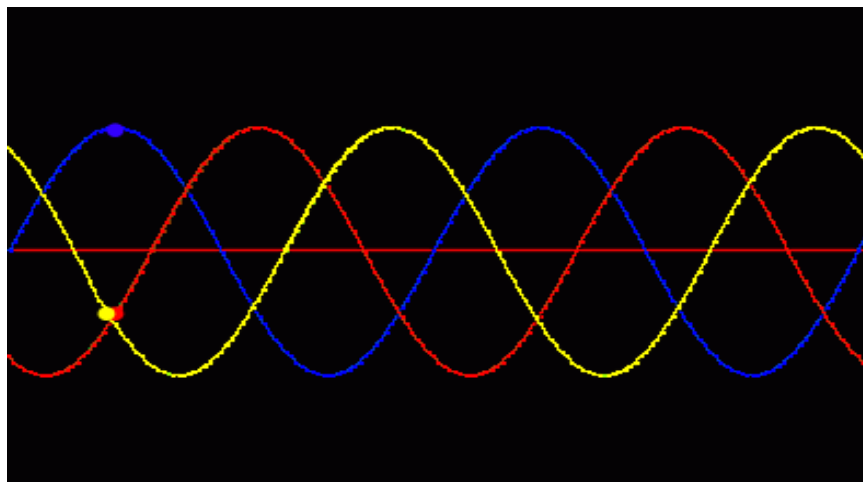
3.3 Khái niệm về từ trường quay

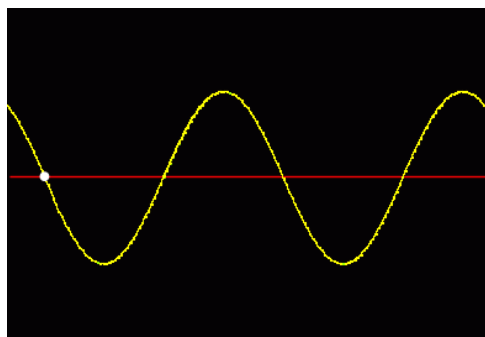
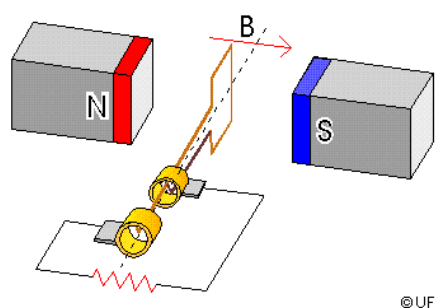
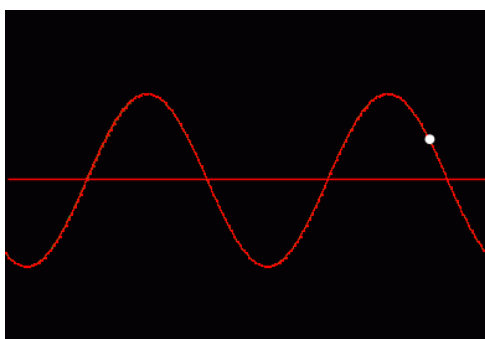
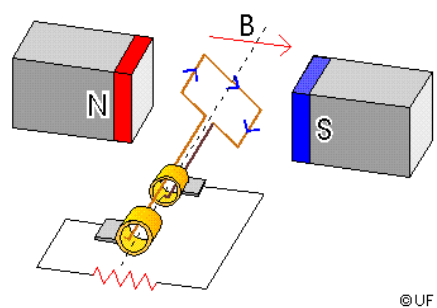
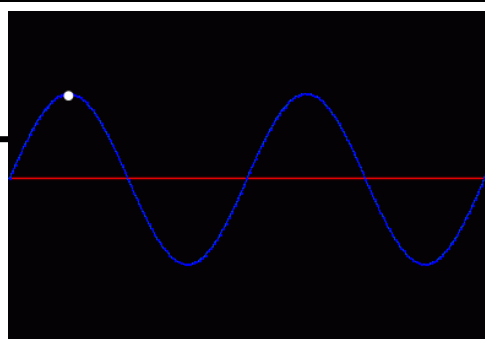
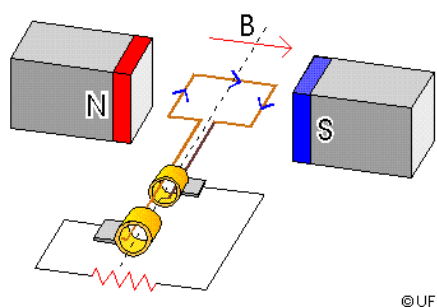
Dòng điện tức thời trên dây quấn mỗi pha (abc) có biểu thức

$$i_a = I_m \cos \omega t$$

$$i_b = I_m \cos(\omega t - 120^\circ)$$

$$i_c = I_m \cos(\omega t + 120^\circ)$$





3.4 Điện áp cảm ứng

Giá trị hiệu dụng của điện áp cảm ứng trên một pha của dây quấn rotor có biểu thức như sau

$$E_2 = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f_1 N_2 \phi k_{\omega 2}$$

$$E_2 = 4,44 f_1 N_2 \phi k_{\omega 2}$$

Giá trị hiệu dụng của điện áp cảm ứng trên một pha của dây quấn stator có biểu thức như sau

$$E_1 = 4,44 f_1 N_1 \phi k_{\omega 1}$$

Lập tỉ số

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1 k_{\omega 1}}{N_2 k_{\omega 2}}$$

với $k_{\omega 1}; k_{\omega 2}$ lần lượt là hệ số dây quấn của dây quấn stator; rotor.

$N_1; N_2$ lần lượt là số vòng của dây quấn stator; rotor.

Trường hợp đặc biệt

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

3.5 Khái niệm về sự trượt rotor

Khi rotor đứng yên

Tốc độ đồng bộ hay tốc độ từ trường (cũng có thể gọi tốc độ stator) có biểu thức

$$n_s = \frac{60 f_1}{p}$$

$$n_{slip} = n_s - n_m$$

Độ trượt (đơn vị tương đối)

$$s = \frac{n_s - n_m}{n_s}$$

Độ trượt (đơn vị phần trăm)

$$s = \frac{n_s - n_m}{n_s} \times 100$$

Hay độ trượt được tính theo vận tốc góc

$$s = \frac{\omega_s - \omega_m}{\omega_s} \times 100$$

Và vận tốc của động cơ có biểu thức

$$n_m = (1 - s)n_s \quad \text{rpm}$$

hay

$$\omega_m = (1 - s)\omega_s \quad \text{rad/s}$$

3.6 Ảnh hưởng của sự trượt lên tần số và biên độ của điện áp cảm ứng của rotor

Khi động cơ quay (rotor quay), tần số của điện áp cảm ứng trong rotor không bằng với tần số của rotor.

$$f_2 = \frac{pn_{slip}}{60}$$

$$f_2 = \frac{p(n_s - n_m)}{60}$$

$$f_2 = \frac{psn_s}{60}$$

$$f_2 = s \frac{pn_s}{60}$$

$$f_2 = sf_1$$

hay

$$f_r = sf_1$$

$$E_r = 4,44 f_2 N_2 \phi k_{\omega 2}$$

hoặc

$$E_r = 4,44 sf_1 N_2 \phi k_{\omega 2}$$

hoặc

$$E_r = sE_2$$

3.7 Mạch điện tương đương của một động cơ cảm ứng 3 pha

3.7.1 Mô hình mạch điện stator

$$V_1 = E_1 + I_1(R_1 + jX_1)$$

3.7.2 Mô hình mạch điện rotor

$$I_2 = \frac{sE_2}{R_2 + jsX_2}$$

$$P_{2,Cu} = 3I_2^2 R_2$$

$$I_2 = \frac{E_2}{(R_2 / s) + jX_2}$$

R_c =điện trở mạch từ

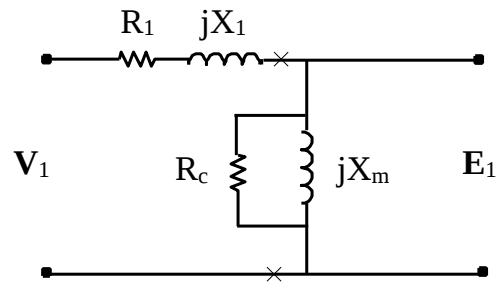
X_m =điện kháng mạch từ

V_1 = điện áp trên một pha dây quấn stator

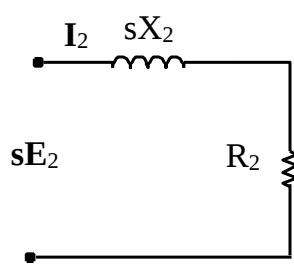
E_1 =điện áp cảm ứng trên một pha dây quấn stator

I_1 =dòng điện pha stator

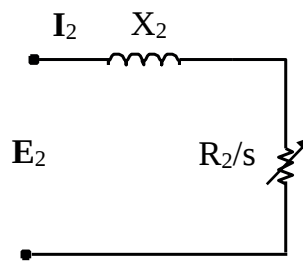
R_1 =điện trở stator trên một pha dây quấn



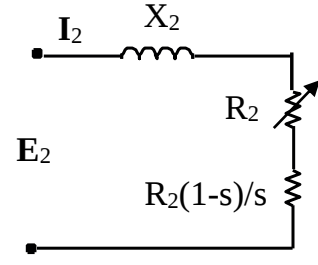
(a) mạch tương đương một pha



(b) mạch rotor



(c) mạch rotor



(d) mạch rotor để hiệu chỉnh

$$P_2 = 3I_2^2 \frac{R_2}{s} = \frac{P_{2,Cu}}{s}$$

$$P = P_g = 3I_2^2 \frac{R_2}{s} = 3I_2^2 \left[R_2 + \frac{R_2}{s}(1-s) \right]$$

$$P_d = P_{mech} = 3I_2^2 \frac{R_2}{s}(1-s)$$

hoặc

$$P_d = P_{mech} = (1-s)P_g$$

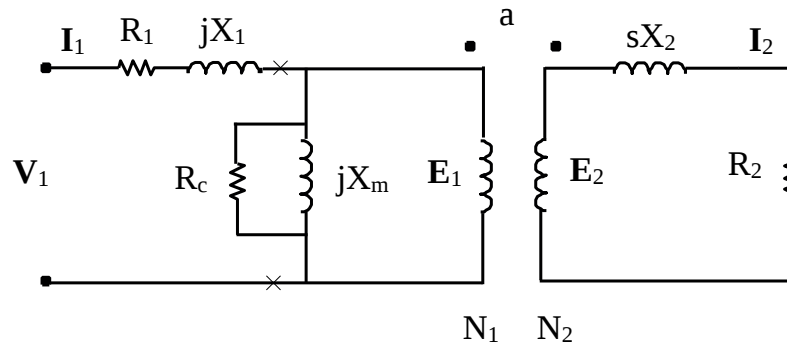
hoặc

$$P_d = P_{mech} = \frac{1-s}{s} P_{2,Cu}$$

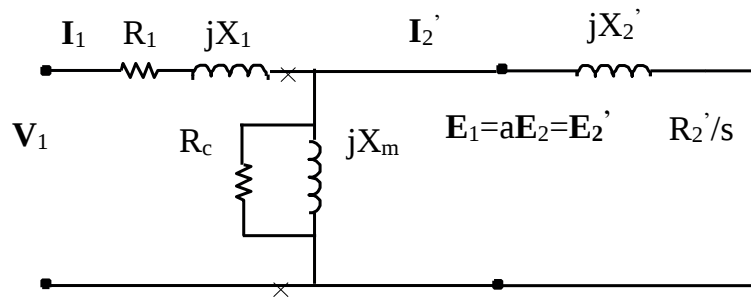
trong đó

$$P_{2,Cu} = 3I_2^2 R_2 = sP_g$$

3.7.3 Mạch điện tương hoàn chỉnh



(a) mạch tương đương của một động cơ cảm ứng

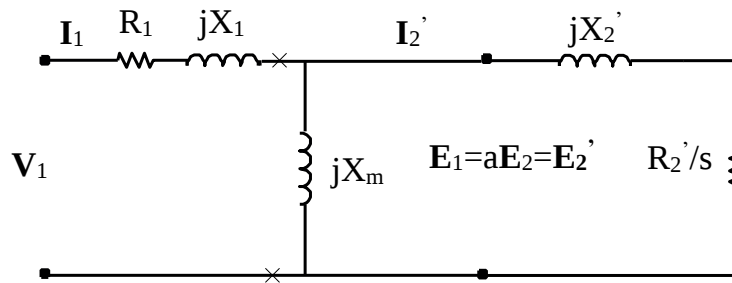


(b) mạch tương đương chính xác

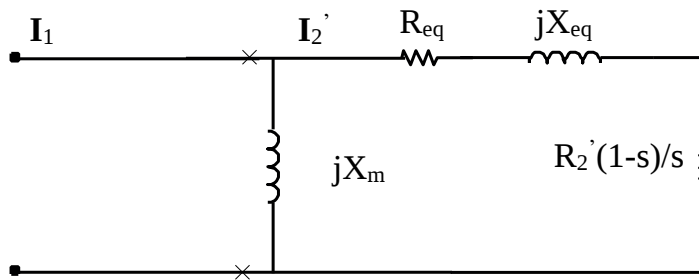
Các đại lượng được quy đổi *phẩy đã quy đổi, không phẩy giá trị ban đầu*

$$\begin{aligned} E_1 &= aE_2 = E_2' \\ R_2' &= a^2 R_2 \\ X_2' &= a^2 X_2 \\ R_2' \frac{1-s}{s} &= a^2 R_2 \frac{1-s}{s} \end{aligned}$$

3.7.4. Mạch điện tương đương gần đúng



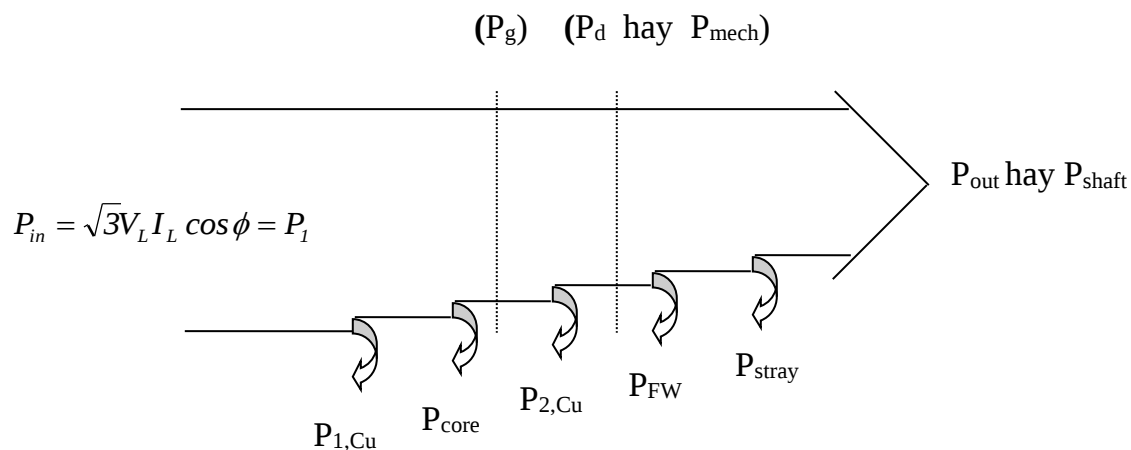
(a)(IEEE, tác giả Steinmetz)



(b) mạch điện xấp xỉ

$$\begin{aligned} R_{eq} &= R_1 + R_2' \\ X_{eq} &= X_1 + X_2' \end{aligned}$$

3.8 Quá trình chuyển hóa năng lượng trong máy điện không đồng bộ.



$P_{1,Cu}$ = Công suất tổn hao đồng trên dây quấn stator

P_{core} = Công suất tổn hao thép

$P_{2,Cu}$ = Công suất tổn hao đồng rotor

P_{FW} = Công suất tổn hao ma sát

P_{stray} = Công suất tổn hao thép

Công suất điện cấp vào động cơ (cấp vào dây quấn stator)

$$P_{in} = P_1 = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta$$

Công suất tổn hao đồng trên dây quấn stator

$$P_{1,Cu} = 3 I_1^2 R_1$$

Công suất tổn hao thép

$$P_{core} = \frac{3 E_1^2}{R_C}$$

Công suất điện từ

$$P_g = P_{in} - P_{1,Cu} - P_{core}$$

hoặc

$$P_g = 3 I_2^2 \frac{R_2}{s}$$

Công suất tổn hao đồng của dây quấn rotor

$$P_{2,Cu} = 3 I_2^2 R_2 = s P_g$$

Công suất cơ

$$P_d = P_{mech} = P_g - P_{2,Cu}$$

hoặc

$$P_d = P_{mech} = P_g (1 - s)$$

hoặc

$$P_d = P_{mech} = \frac{1 - s}{s} P_{2,Cu}$$

Công suất trên trục động cơ

$$P_{out} = P_{shaft} = P_d - P_{FW} - P_{stray}$$

Moment trên trục động cơ

$$T_{out} = \frac{P_{out}}{\omega_m}$$

Hiệu suất của một động cơ cảm ứng

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{loss}}$$

Với P_{loss} : tổng tổn hao của máy.

3.9 Khởi động của các động cơ cảm ứng

Quá trình mở máy của động cơ là quá trình kể từ lúc đóng mạch đặt điện áp vào động cơ (động cơ còn đứng yên $n = 0$) tới lúc động cơ làm việc với tốc độ quay ổn định. ($n = 0 \rightarrow n_{dm}$)

Trong quá trình mở máy động cơ điện, moment mở máy là đặc tính chủ yếu nhất trong những đặc tính mở máy của động cơ điện. Để cho máy quay được thì M_{mm} phải lớn hơn moment tải tĩnh và moment ma sát tĩnh.

$$M_{dl} = M_D - M_C \quad \left\{ \begin{array}{l} M_D : \text{moment động cơ} \\ M_C : \text{moment tải} \\ M_{dl} : \text{moment động lực} \end{array} \right.$$

➤ Khi mở máy: $s = 1$

$$I_{mm} = \frac{U_1}{\sqrt{(r_1 + r'_2)^2 + (x_1 + x'_2)^2}} = (4 \div 7) I_{\tilde{n}m}$$

$$M_{mm} = \frac{m_1 \cdot p \cdot U_1^2 \cdot r'_2}{2\pi f_1 [(r_1 + r'_2)^2 + (x_1 + x'_2)^2]}$$

Dòng điện mở máy quá lớn không những làm cho bản thân máy bị nóng mà còn gây sụt áp lớn trên lưới điện ảnh hưởng tới thiết bị khác làm việc trên cùng lưới điện. Do vậy phải hạn chế dòng mở máy.

➤ Yêu cầu khi mở máy:

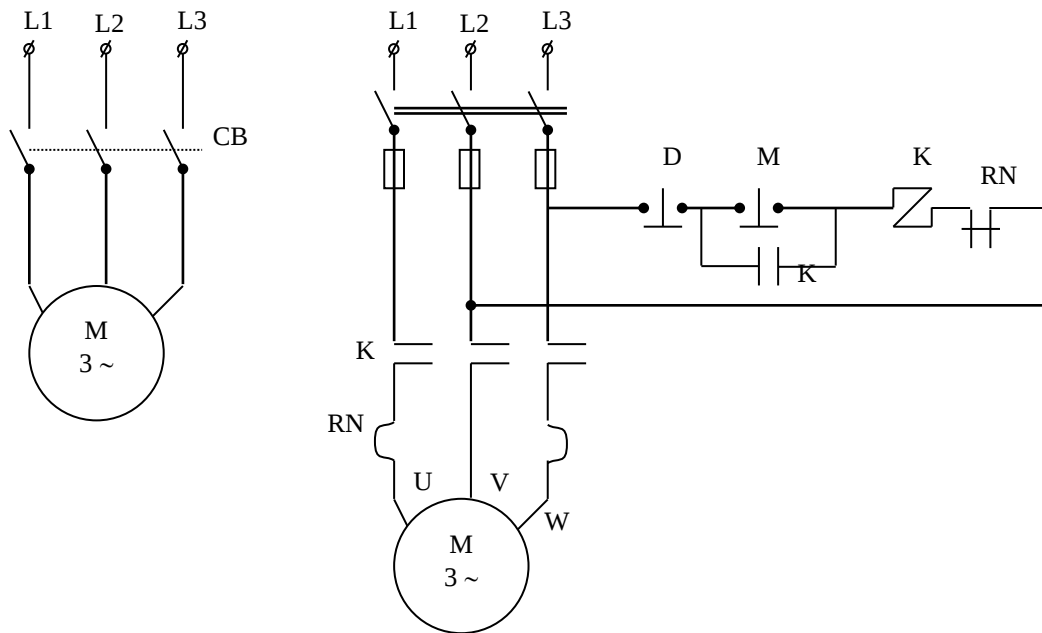
- Dòng điện mở máy phải hạn chế đến mức thấp nhất.
- Moment mở máy phải đủ lớn để đảm bảo $M_{dl} > 0$ để tiến hành tăng tốc.
- Thời gian mở máy ngắn.
- Tổn hao trong quá trình mở máy phải được hạn chế ở mức thấp nhất.
- Thiết bị và phương pháp mở máy phải đơn giản – vận hành chắc chắn.

3.9.1 Động cơ rotor lồng sóc:

3.9.1.1 Phương pháp mở máy trực tiếp:

Đây là phương pháp mở máy đơn giản

Dùng trong trường hợp công suất của nguồn cung cấp lớn hơn nhiều so với công suất của động cơ hoặc mở máy không tải.



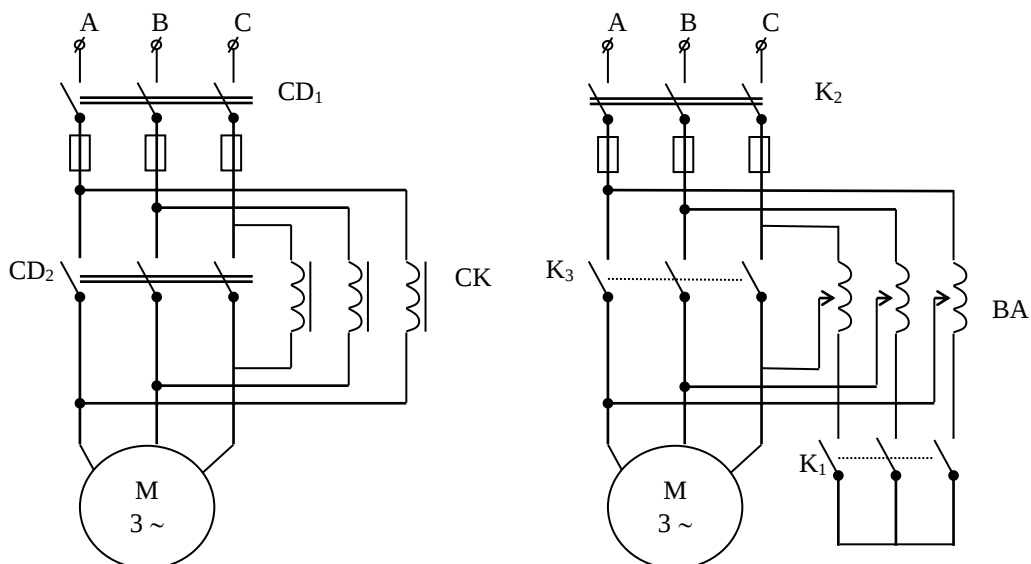
Lúc mới đóng điện dòng mở máy lớn, tốc độ động cơ tăng dần thì dòng mở máy giảm xuống. Khi tốc độ ổn định thì dòng điện ở lại trị số bình thường.

3.9.1.2 Khởi động bằng cách giảm điện áp (khởi động gián tiếp qua điện trở, cuộn kháng, biến áp, đổi nối sao – tam giác) :

Mục đích của các phương pháp này là giảm dòng mở máy. Nhưng vì M_{mm} tỉ lệ với U^2 nên khi U giảm thì M_{mm} giảm khá nhiều. U giảm k lần thì M_{mm} giảm k^2 lần.

➤ Dùng cuộn kháng nối với mạch điện stator:

Mở máy: đóng CD1, động cơ được khởi động qua cuộn kháng. Khi mở máy xong đóng CD2, điện kháng bị nối ngắn mạch, dòng mở máy giảm k lần, M_{mm} giảm k^2 lần.



➤ **Dùng biến áp tự ngẫu:**

Dòng mở máy giảm k^2 lần, M_{mm} giảm k^2 lần.

Thứ tự đóng mạch biến áp :

- ☐ Đóng k_1 để nối sao các cuộn MBA.
- ☐ Đóng k_2 động cơ được cung cấp điện áp đã hạ áp. Thay đổi vị trí con chạy để cho lúc mở máy điện áp đặt vào động cơ nhỏ sau đó tăng dần lên (70-80)% U_{dm} .
- ☐ Sau khi động cơ quay ổn định, ngắt k_1 đóng k_3 đưa U_{dm} vào động cơ.

➤ **Dùng phương pháp đổi nối Y - Δ :**

Phương pháp này chỉ dùng cho động cơ khi làm việc bình thường, dây quấn stator đầu hình Δ , điện áp pha bằng điện áp dây của lưới .

Gọi Z_f : tổng trở pha.

U_l : điện áp của lưới điện.

Khi mở máy đầu Y : $U_l = \sqrt{3} U_{fY}$, $I_{fY} = I_{dY}$

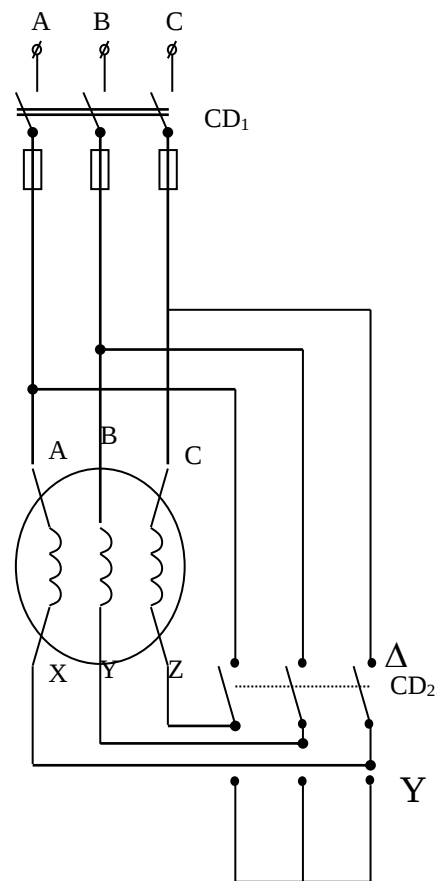
$$I_{dY} = I_{fY} = \frac{U_l}{\sqrt{3}Z_f}$$

Khi mở máy đầu Δ : $U_l = U_{fY}$, $I_{d\Delta} = \sqrt{3} I_{f\Delta} = \sqrt{3} \frac{U_l}{Z_f}$

$$\text{Do vậy } \frac{I_{dY}}{I_{d\Delta}} = \frac{U_l}{\sqrt{3}Z_f} \cdot \frac{Z_f}{\sqrt{3}U_l} = \frac{1}{3} \Rightarrow I_{dY} = \frac{I_{d\Delta}}{3}.$$

Vậy : dòng giảm đi 3 lần , áp giảm $\sqrt{3}$, M_{mm} giảm $(\sqrt{3})^2 = 3$ lần.

Đây là phương pháp đơn giản nên được dùng nhiều .



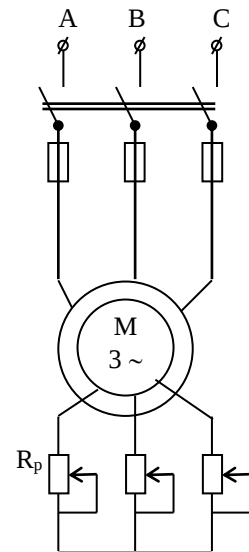
3.9.2 Động cơ rotor dây quấn:

$$I_{mm} = \frac{U_{U\bar{U}}}{\sqrt{(r_1 + r'_2 + R'_p)^2 + (X_1 + X'_2)^2}}$$

$$M_{mm} = \frac{m_1 P U_1^2 (r'_2 + R'_p)}{2\pi f_1 [(r_1 + r'_2 + R'_p)^2 + (X_1 + X'_2)^2]}$$

Giảm I_{mm} nhưng M_{mm} tăng lên. Đó là ưu điểm lớn của động cơ rotor dây quấn so với rotor lồng sóc.

Vì vậy những tải cần moment mở máy lớn thì dùng động cơ rotor dây quấn.



3.10 Điều chỉnh tốc độ động cơ không đồng bộ ba pha

Tốc độ quay của động cơ không đồng bộ được xác định bằng biểu thức :

$$n = (1 - s) n_1 = (1 - s) \frac{60f_1}{P}$$

Vậy muốn thay đổi tốc độ động cơ không đồng bộ ta điều chỉnh 1 trong 3 yếu tố : s, f, p.

3.10.1 Thay đổi số cực từ:

- Trên rãnh stator đặt nhiều bộ dây có số đôi cực khác nhau (độc lập) bộ này làm việc thì bộ kia hở mạch.
- Chế tạo một bộ dây có 2 tốc độ (đổi nối các đầu dây) tỉ số biến tốc là 2:1.

Động cơ không đồng bộ muốn tạo ra moment quay trên rotor thì số cực của rotor và của stator phải bằng nhau. Vậy khi thay đổi p ở trên stator ta phải thay đổi p trên rotor. Điều này khó thực hiện đối với động cơ rotor dây quấn. Ở động cơ không đồng bộ rotor lồng sóc có khả năng đặt biệt khi cuộn stator chưa đóng điện áp vào thì rotor là khối lồng sóc chưa cực nhưng khi cuộn stator được đóng U và tạo ra dòng điện thì cuộn rotor sẽ tự động hình thành số đôi cực hoàn toàn phù hợp số đôi cực stator.

Tùy theo tính chất của tải mà chọn kiểu đấu cho phù hợp:

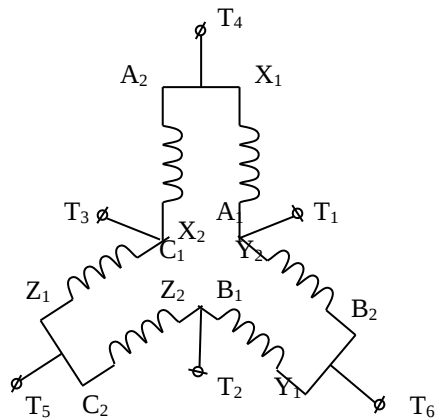
- ☐ Tải nâng hạ hàng phải đấu kiểu : $M = \text{const.}$
- ☐ Máy công cụ thì đấu kiểu : $P = \text{const.}$
- ☐ Động cơ bơm, quạt gió, chân vịt tàu thủy $M, P \neq \text{const.}$

3.10.1.1M

=

const:

3.10.1.2



- ☐ Tốc độ cao: (YY)

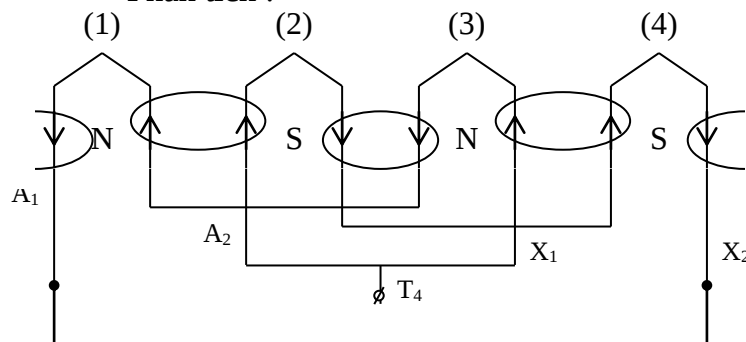
Nguồn T_4, T_5, T_6 .

Nối tắt $T_1 - T_2 - T_3$.

- ☐ Tốc độ thấp: (Δ)

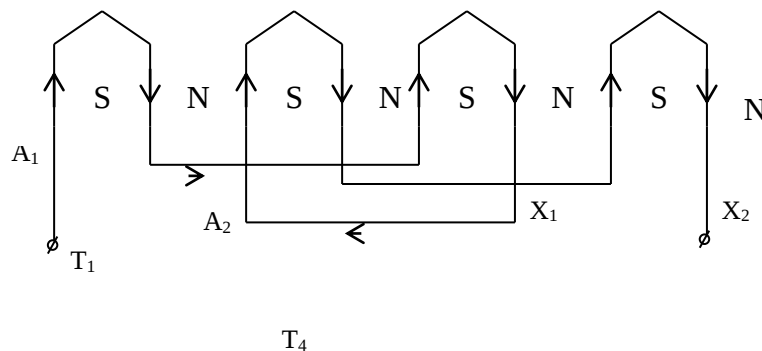
Nguồn T_1, T_2, T_3 .

Phân tích :



$$2 p_1 = 4$$

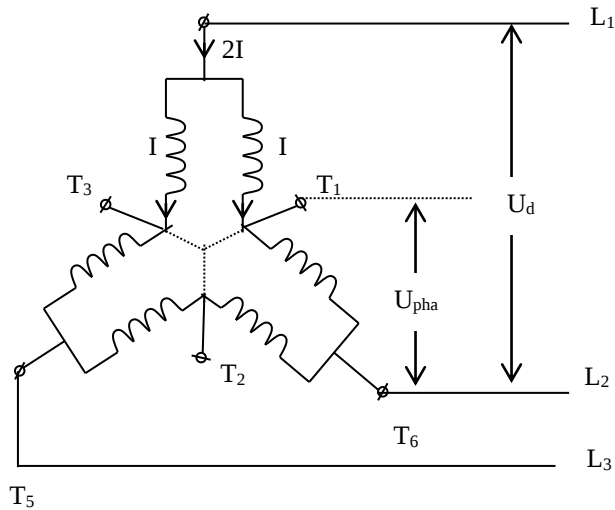
$$n_{11} = \frac{60f}{p_1} = 1500 \text{ v/ph.}$$



$$2 p_2 = 8$$

$$n_{21} = \frac{60f}{p_2} = 750 \text{ v/ph.}$$

Chứng minh :



Đặt :

U_d : điện áp dây nguồn cung cấp cho động cơ

I : dòng điện cho phép đi qua dây dẫn của mỗi pha dây quấn

η_{th} : hiệu suất động cơ vận hành tại tốc độ thấp (ứng với $2p_2$)

η_c : hiệu suất động cơ vận hành tại tốc độ cao (ứng với $2p_1$)

$\cos\varphi_{th}$: hệ số công suất động cơ tại tốc độ thấp.

$\cos\varphi_c$: hệ số công suất động cơ tại tốc độ cao.

➤ Khi vận hành tốc độ cao: đấu YY nên:

□ Điện áp mỗi pha dây quấn: $U_{pha} = \frac{U_d}{\sqrt{3}}$

□ Dòng điện mỗi pha (một pha có 2 nhánh) là $2I$

Công suất động cơ trên trục động cơ khi vận hành tốc độ cao là:

$$P_c = 3 \left(\frac{U_d}{\sqrt{3}} \right) \cdot (2I) \cdot \eta_c \cdot \cos\varphi_c = 2\sqrt{3} U_d I \eta_c \cdot \cos\varphi_c$$

➤ Khi vận hành tốc độ thấp đấu Δ :

□ Điện áp mỗi pha dây quấn là: $U_{pha} = U_d$

□ Dòng điện qua mỗi pha là: I

$$P_{th} = 3 \cdot U_d \cdot I \cdot \eta_{th} \cdot \cos\varphi_{th}$$

Tỉ số:

$$\frac{P_{th}}{P_c} = \frac{3 U_d I \eta_{th} \cos\varphi_{th}}{2\sqrt{3} U_d I \eta_c \cos\varphi_c} = 0,866 \left(\frac{\eta_{th} \cdot \cos\varphi_{th}}{\eta_c \cdot \cos\varphi_c} \right)$$

$$\boxed{\frac{P_{th}}{P_c} = 0,866 \left(\frac{\eta_{th} \cdot \cos\varphi_{th}}{\eta_c \cdot \cos\varphi_c} \right)}$$

- Gọi M_c là moment động cơ ở tốc độ cao.
 M_{th} là moment động cơ ở tốc độ thấp.

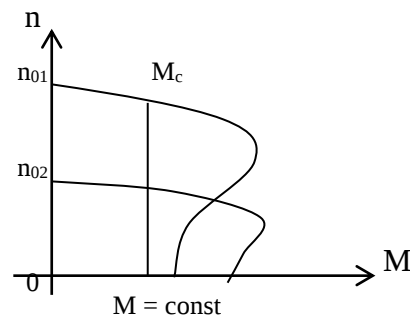
Ta có:
$$M_c = \frac{P_c}{2\pi n_c}$$

$$M_{th} = \frac{P_{th}}{2\pi n_{th}}$$

Trong đó: $n_c = 2.n_{th}$

Vậy:
$$\frac{M_{th}}{M_c} = \frac{P_{th}}{P_c} \cdot \frac{n_c}{n_{th}} = 2 \frac{P_{th}}{P_c}$$

$$\boxed{\frac{M_{th}}{M_c} = \sqrt{3} \left(\frac{\eta_{th} \cdot \cos \varphi_{th}}{\eta_c \cdot \cos \varphi_c} \right)}$$



- Theo một số tài liệu thiết kế:

$$\frac{\eta_{th} \cdot \cos \varphi_{th}}{\eta_c \cdot \cos \varphi_c} = 0,7$$

$$\frac{P_{th}}{P_c} \approx 0,6 \quad \& \quad \frac{M_{th}}{M_c} \approx 1,2$$

Tóm lại: với sơ đồ YY nhanh, Δ chậm :

- ☐ Tại tốc độ thấp công suất đạt khoảng 0,6 lần công suất khi vận hành tốc độ cao.
- ☐ Tại tốc độ thấp M_{th} đạt 1,2 lần M_c (xem gần như không đổi)

3.10.1.3 Trường hợp $P = const$:

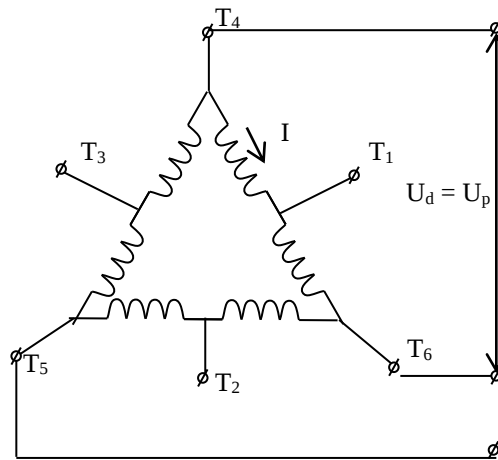
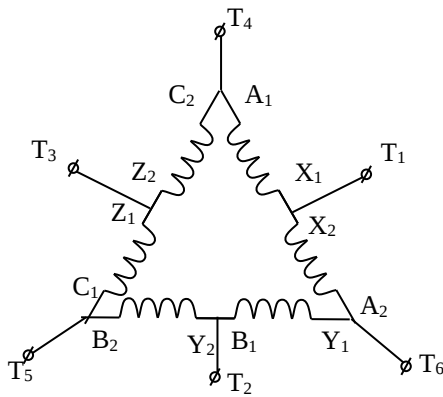
- Tốc độ cao: Δ.

Nguồn T₄, T₅, T₆

- Tốc độ thấp: YY:

Nguồn T₁, T₂, T₃

Nối tắt T₄ – T₅ – T₆.



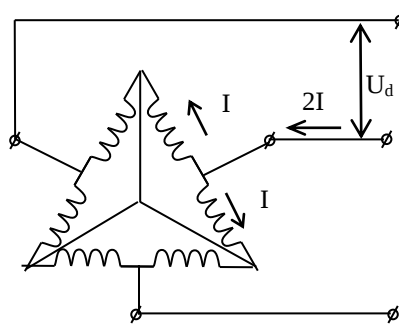
➤ Khi đấu Δ :

$$U_{\text{pha}} = U_d \quad , \text{ dòng điện qua mỗi pha là } I.$$

Công suất trên trục động cơ ở tốc độ cao:

$$P_c = 3 U_d I \cos \varphi_c \eta_c$$

➤ Khi đấu YY:



$$U_{\text{ph}} = \frac{U_d}{\sqrt{3}} \quad ; \text{ dòng điện mỗi pha } 2I$$

$$P_{\text{th}} = 3 \left(\frac{U_d}{\sqrt{3}} \right) (2I) \cos \varphi_{\text{th}} \eta_{\text{th}}$$

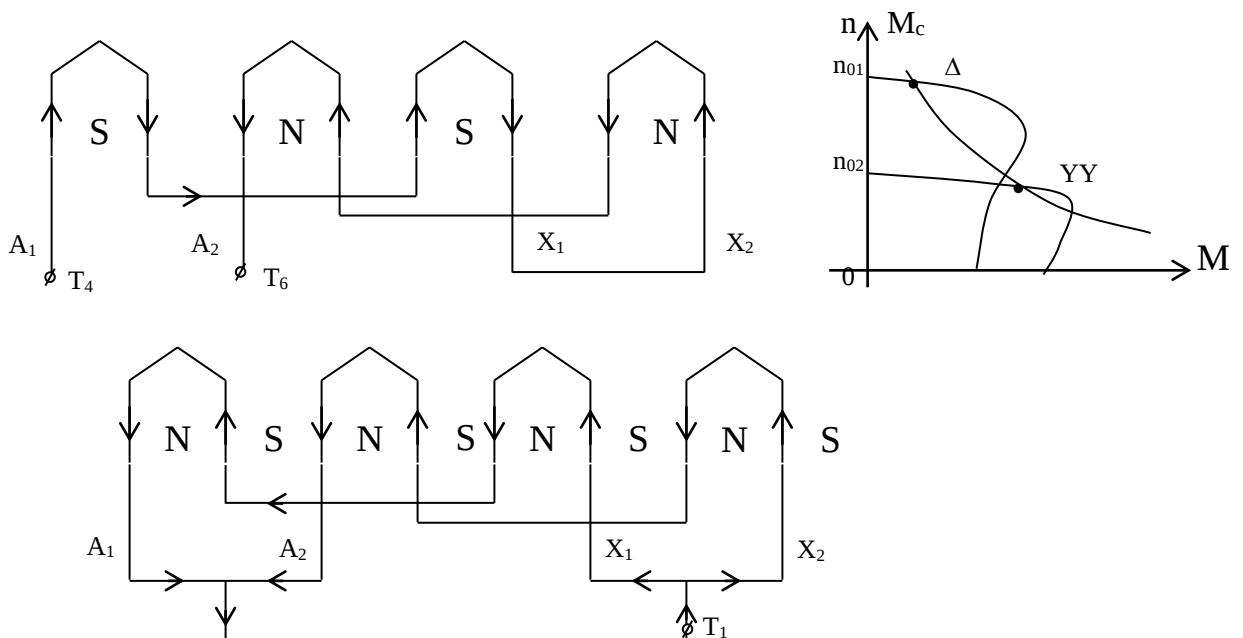
$$= 2\sqrt{3} U_d I \cos \varphi_{\text{th}} \eta_{\text{th}}$$

$$\frac{P_{\text{th}}}{P_c} = \frac{2\sqrt{3} U_d I \cos \varphi_{\text{th}} \eta_{\text{th}}}{3 U_d I \cos \varphi_c \eta_c} = 1,15 \cdot 0,7 = 0,8$$

$$\text{Tương tự: } \frac{M_{\text{th}}}{M_c} = 2 \frac{P_{\text{th}}}{P_c} = 0,8 \cdot 2 \approx 1,6$$

Kết luận: $P_{\text{th}} = 0,8 P_c$ & xem như không đổi.

$$M_{\text{th}} = 1,6 M_c$$



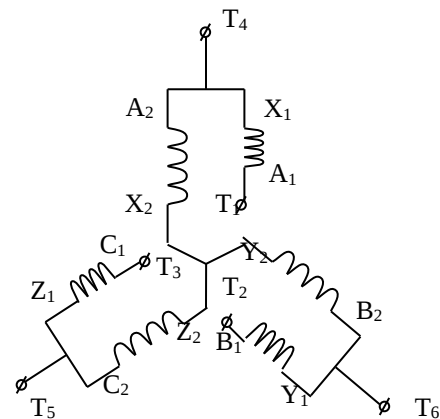
3.10.1.4 Trường hợp $P, M \neq \text{const.}$

- Tốc độ cao: YY.

Nguồn: T₄, T₅, T₆

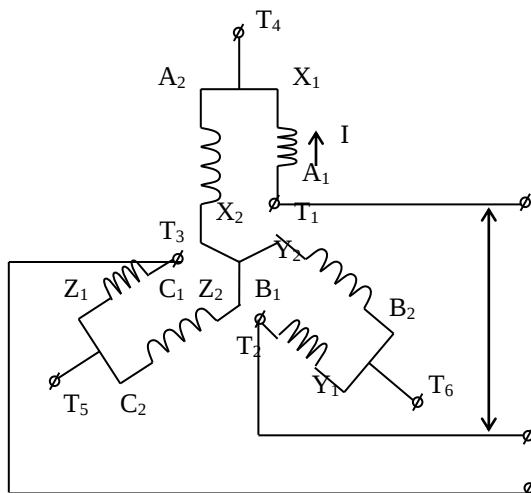
Nối tắt: T₁ – T₂ – T₃.

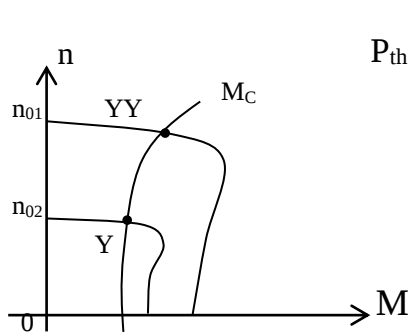
- Tốc độ thấp: Y



Nguồn: T₁-T₂-T₃.

$$U_p = \frac{U_d}{\sqrt{3}} \quad ; \text{ dòng điện mỗi pha } I$$





$$P_{th} = 3 \left(\frac{U_d}{\sqrt{3}} \right) (2I) \cos \varphi_{th} \eta_{th} = 2 \sqrt{3} U_d I \cos \varphi_{th} \eta_{th}$$

$$P_c = 3 \left(\frac{U_d}{\sqrt{3}} \right) (2I) \cos \varphi_c \eta_c = 2 \sqrt{3} \cos \varphi_c \eta_c$$

$$\Rightarrow \frac{P_{th}}{P_c} = \frac{\sqrt{3} \cos \varphi_{th} \eta_{th}}{2 \sqrt{3} \cos \varphi_c \eta_c} = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35$$

$$\Rightarrow \frac{M_{th}}{M_c} = 2 \frac{P_{th}}{P_c} = 2 \cdot 0,35 = 0,7$$

Kết luận: $P_{th} = 0,35 P_c$

$M_{th} = 0,7 M_c$

➤ *Vẽ sơ đồ dây quấn động cơ 3 pha hai tốc độ*

Cần biết: - Tổng số rãnh Z stator

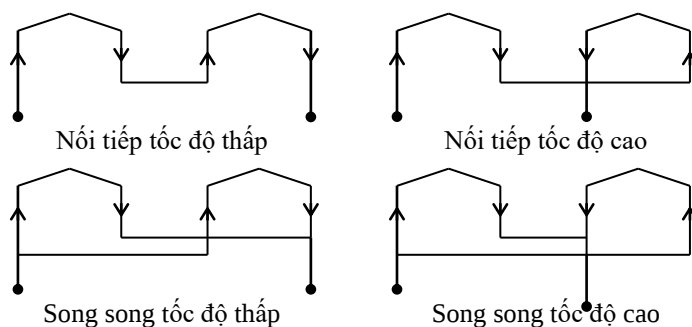
- Số cực $2p_1$ (tốc độ cao); $2p_2$ (tốc độ thấp): $2p_1 = \frac{1}{2} 2p_2$

Tính: - Bước dây quấn:

$$y = \frac{Z}{2p_2}$$

- Số rãnh/pha/ τ :

$$q = \frac{Z}{3(2p_1)}$$



3.10.2 Thay đổi tần số:

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

☐ Máy phát đồng bộ n_1 tức là f

☐ Dùng biến tần: ngày nay được sử dụng nhiều.

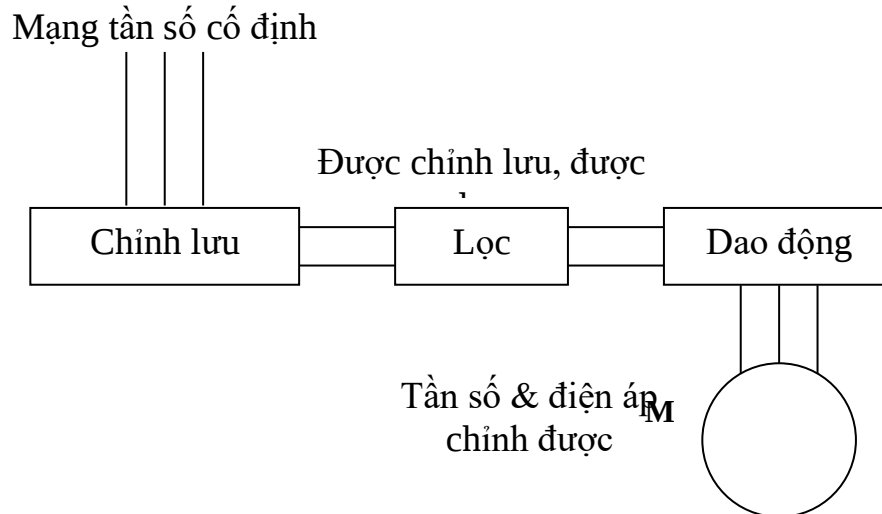
➤ Yêu cầu bộ biến tần:

☐ Bộ biến tần phải chỉnh được điện áp & nguồn nuôi động cơ KĐB.

- Làm sao đạt được moment động cơ không đổi bất chấp tốc độ động cơ $\Rightarrow$ cần giữ cho Φ không đổi $\Rightarrow$ tỉ số $\frac{U}{f}$ = hằng số.

Ta có: $M = C \cdot \Phi \cdot I \cdot \cos\varphi = \text{const} \Leftrightarrow \Phi = \text{const}$.

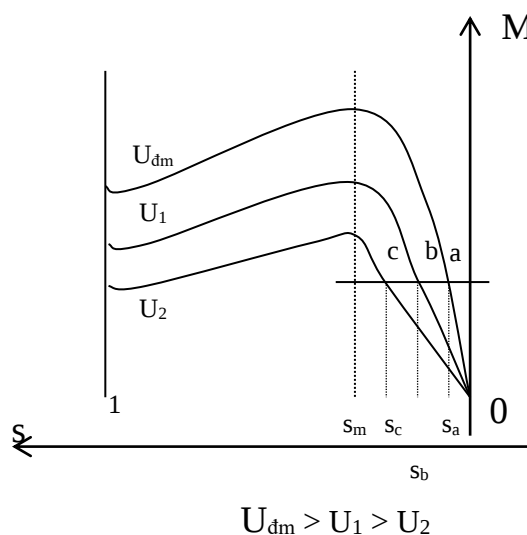
➤ Nguyên lý bộ biến tần:



Lưới nguồn xoay chiều 50Hz (1 pha hay 3 pha) được chỉnh lưu, san phẳng, sau đó được tách thành 2: biến tần số và điện áp 3 kiểu biến tần:

- Bộ dao động dùng nguồn dòng (CSI). Động cơ vận hành êm, không sử dụng cho nhiều động cơ đấu song song.
- Bộ điều biên xung (PAM). Cho nhiều động cơ đấu song song, nhưng gây ồn. Bộ điều rộng xung (PWM). Em , công suất hạn chế.

3.10.2 Phương pháp thay đổi điện áp:



Điện áp giảm k lần thì M giảm k^2 lần. Nếu $M_{\text{tải}}$ không đổi thì tốc độ giảm, hệ số trượt tăng từ $S_a \rightarrow S_b \rightarrow S_c$.

Do moment giảm nhiều nên giảm rõ rệt khả năng quá tải của động cơ, nếu điện áp thấp đến mức moment lớn nhất thấp hơn moment phụ tải $\rightarrow$ động cơ không quay.

Ngày nay người ta dùng bộ chỉnh nấc điện áp (dùng Thyristor) để thay đổi điện áp nguồn nuôi cho động cơ.

$$0 < n < n_{dm}$$

$$n_{dm} < n < n_{max}$$

3.10.3 Phương pháp thay đổi điện trở phụ trên mạch rotor:

$$\frac{r'_2}{s} = \frac{r'_2 + r'_p}{s'} \quad \rightarrow n' = n_1 (1 - s')$$

Với moment tải nhất định, R_p càng lớn thì hệ số trượt ở điểm làm việc càng lớn $\rightarrow$ tốc độ quay giảm xuống.

Phương pháp này gây tổn hao trong biến trở nên làm giảm hiệu suất động cơ, tuy vậy, nó khá đơn giản, vận tốc được điều chỉnh liên tục nên được dùng nhiều trong các động cơ có công suất trung bình

$$\text{Ta có :} \quad P_{dt} = m_1 I_2'^2 \frac{r'_2}{s} \quad \Rightarrow s = \frac{m_1 I_2'^2 r'_2}{P_{dt}} = \frac{m_1 I_2'^2 r'_2}{M_{dt} \omega}$$

BÀI TẬP**Bài 1**

Các tham số mỗi pha của mạch tương đương của một động cơ cảm ứng ba pha, 4 cực, được mắc hình Y; điện áp 400 V; 60 Hz là: $R_1 = 2 \Omega$; $R'_2 = 0.2 \Omega$; $X_1 = 0.5 \Omega$; $X'_2 = 0.2 \Omega$; $X_m = 20 \Omega$

Nếu tổng tổn hao cơ và sắt tại vận tốc 1755 rpm là 800 W. Hãy tính:

1. Dòng điện vào
2. Công suất vào
3. Công suất ra
4. Hiệu suất.

Bài 2

Một động cơ không đồng bộ ba pha bốn cực được cấp điện từ nguồn 50 Hz.

1. Tính vận tốc đồng bộ
2. Trên nhãn động cơ có ghi vận tốc định mức là 1425 vòng/phút. Tính hệ số trượt định mức
3. Giả sử tải của động cơ giảm xuống và hệ số trượt còn 0.02. tính vận tốc mới của động cơ.
4. Tính vận tốc trượt trong hai câu: 2 và 3.

Bài 3

Một động cơ không đồng bộ ba pha rotor dây quấn, 220 V, 50 Hz, 4 cực, có dây quấn stator đấu tam giác và dây quấn rotor đấu sao. Giả sử số vòng dây rotor bằng 40% số vòng dây stator và hai hệ số dây quấn bằng nhau. Khi vận tốc rotor bằng 1425 vòng/phút, hãy tính:

5. Hệ số trượt.
6. Sức điện động cảm ứng trong mỗi pha rotor khi rotor đứng yên
7. Sức điện động cảm ứng trong mỗi pha rotor khi rotor quay

8. Điện áp giữa hai chổi than khi rotor đứng yên
9. Tần số của điện áp và dòng điện trong rotor.

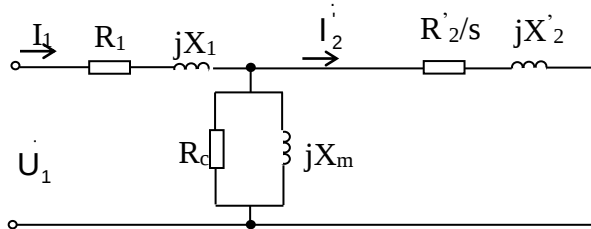
Bài 4

Các thông số định mức của động cơ: 460V; 60 Hz; bốn cực; $s = 0.022$; $P = 14$ hp

$R_1 = 0.641 \Omega$; $R'_2 = 0.332 \Omega$; $X_1 = 1.106 \Omega$; $X'_2 = 0.464 \Omega$; $X_m = 26.3 \Omega$

Bỏ qua tổn hao lõi thép ($R_c = 0$). Tính:

1. Tốc độ
2. Dòng điện stator
3. Hệ số công suất
4. Momen ngõ ra.



Bài 5

Một động cơ không đồng bộ ba pha đấu sao nối vào lưới $U_d = 380V$. biết $R_n = 0.122 \Omega$;

$X_n = 0.4 \Omega$; $f = 50$ Hz.

1. Tính dòng điện mở máy
2. Dùng điện kháng mở máy $I_{mmDK} = 300$ A. tính điện cảm L của cuộn điện kháng mở máy.

Bài 6

Một động cơ điện không đồng bộ ba pha $P_{dm} = 45$ kW; $f = 50$ Hz; Y/Δ 380/220V;

$\frac{I_{mm}}{I_{\hat{n}m}} = 6$; $\frac{M_{mm}}{M_{\hat{n}m}} = 2.7$; $\cos\phi_{dm} = 0.86$; $\eta_{dm} = 0.91$; $n_{dm} = 1460$ vòng/ phút. Động cơ làm việc

với lưới điện 380V.

1. Tính I_{dm} ; M_{dm} ; I_{mm} ; M_{mm}
2. Để mở máy với tải có momen cản ban đầu $M_c = 0.45M_{dm}$, người ta dùng biến áp tự ngẫu để $I_{mmBA} = 100A$. xác định hệ số biến áp k, và động cơ có thể mở máy được không?
3. Cũng với tải trên, dùng điện kháng mở máy với $I_{mmDK} = 200A$. Xác định điện áp đặt lên động cơ lúc mở máy và động cơ có thể mở máy được không?

Bài 7

Một động cơ không đồng bộ ba pha, đấu sao, có các số liệu sau :

Công suất định mức 25 ngựa, bốn cực, điện áp định mức 220 V, dòng điện định mức 64A, tần số 50Hz, tốc độ định mức 1410 vòng/phút. Khi đây tải thì công suất đầu vào là 20,8Kw, tính :

- 1/ Hệ số trượt
- 2/ Hệ số công suất.
- 3/ Momen
- 4/ Hiệu suất .

Bài 8

Động cơ không đồng bộ ba pha có công suất định mức là 7 HP (1HP = 750W); Y/Δ 380V/220V; 50Hz; bốn cực; tốc độ định mức là 1430 vòng/phút; $\cos \varphi_{dm} = 0,8$; vận hành ở lưới điện 220V. Tổng tổn hao của động cơ là 1050W. Tỷ số $\frac{M_{mm}}{M_{\hat{n}m}} = 1,3$ (M_{mm} : momen

khi mở máy trực tiếp) Tính:

- 1/ Hệ số trượt định mức
- 2/ Hiệu suất của động cơ
- 3/ Dòng điện định mức của động cơ
- 4/ Momen mở máy khi mở máy bằng phương pháp đổi nối Y-Δ.

Bài 9

Động cơ không đồng bộ ba pha có các thông số định mức sau: dòng điện 29A; Y/Δ 380V/220V; tần số 50Hz; bốn cực; $\cos \varphi = 0,853$; $\eta\% = 86\%$; $s = 0,0333$; điện áp lưới 380V;. Tính:

- 1/ Tốc độ trên trục động cơ.
- 2/ Công suất điện động cơ tiêu thụ.
- 3/ Công suất đầu ra của động cơ.
- 4/ Tổng tổn hao của động cơ.
- 5/ Momen quay của động cơ.

Bài 10

Động cơ không đồng bộ ba pha rotor dây quấn, bốn cực; hệ số quy đổi sức điện động và dòng điện $k_e = k_i = 2$. điện trở và điện kháng pha rotor lúc đứng yên $R_2 = 0,2 \Omega$; $X_2 = 3,6 \Omega$; Y/Δ 380V/220V; $f = 50 \text{ Hz}$.

Động cơ đóng vào lưới điện $U_d = 380V$, xác định cách đấu dây động cơ. Cho rằng sức điện động pha stator gần bằng điện áp đặt vào, tổn hao đồng trong dây quấn stator bằng tổn hao đồng trong dây quấn rotor, tổn hao sắt từ $\Delta P_{st} = 145 \text{ W}$, tổn hao ma sát và phụ $\Delta P_{msf} = 145 \text{ W}$; hệ số trượt $s = 0,05$.

Tính dòng điện rotor, công suất cơ hữu ích, hiệu suất của động cơ điện
Với lưới điện $U_d = 380 \text{ V}$ động cơ đấu sao.

$$E_{1p} = \frac{U_d}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220V$$

Sức điện động pha rôto lúc đứng yên.

$$E_2 = \frac{E_{1p}}{k_e} = \frac{220}{2} = 110V$$

Dòng điện pha rôto lúc quay:

$$I_2 \frac{sE_2}{\sqrt{R_2^2 + (sX_2)^2}} = \frac{0,05.110}{\sqrt{0,2^2 + (0,05.3,6)^2}} = 20,43A$$

Dòng điện pha stato

$$I_1 = \frac{I_2}{k_i} = \frac{20,43}{2} = 10,21A$$

Công suất điện từ:

$$P_{dt} = \frac{3R_2 I_2^2}{s} = \frac{3.0,2(20,43)^2}{0,05} = 5008W$$

Tổn hao đồng ở stato và rôto:

$$\Delta P_{d1} = \Delta P_{d2} = 3R_2 I_2^2 = 3.0,2.(20,43)^2 = 250,4W$$

Công suất cơ (toàn bộ):

$$P_{co} = P_{dt} - \Delta P_{d2} = 5008 - 250,4 = 4757,6W$$

Công suất cơ hữu ích trên trục:

$$P_2 = P_{co} - \Delta P_{msf} = 4757,6 - 145 = 4612,6W$$

Công suất điện cung cấp cho động cơ:

$$P_1 = P_2 + \Delta P_{msf} + \Delta P_{d2} + \Delta P_{st} + \Delta P_{d1} = 4612,6 + 145 + 250,4 + 145 + 250,4 = 5403,4W$$

Hiệu suất động cơ điện:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{4612,6}{5403,4} = 0,85$$

Bài 11

Động cơ cảm ứng ba pha, 60 Hz, 6 cực, tiêu thụ công suất 48 kW với vận tốc 1140 rpm. Tổn hao đồng stator là 1.4 kW, tổn hao lõi thép là 1.6 kW, tổn hao cơ rotor là 1 kW. Tính hiệu suất của động cơ. (87%)

Bài 12

Một động cơ cảm ứng ba pha rotor dây quấn $E_2 = 157$ V; $p = 4$; $f = 50$ Hz; $n_{dm} = 728$ vòng / phút; $R_2 = 0.105$; $X_2 = 0.525$. Tính momen điện từ của động cơ.

Giải

$$P_{dt} = \frac{3R_2 I_2^2}{s} = \frac{3 \times 0.105 \times (42.9)^2}{0.029} = 20002W$$

Trong đó:

$$I_2 = \frac{sE_2}{\sqrt{R_2^2 + (sX_2)^2}} = 42.9A$$

$$M_{nt} = \frac{P_{nt}}{2\pi n_1} = \frac{20002}{2 \times 3.14 \times \frac{750}{60}} = 254.8Nm$$

Chương 4: MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

4.1. Khái quát chung và phân loại máy điện đồng bộ.

Máy điện đồng bộ là loại máy điện xoay chiều mà tốc độ quay rotor bằng tốc độ từ trường quay (n_1) trong máy.

Hầu hết nguồn điện chính của lưới điện quốc gia đều được máy phát điện đồng bộ phát ra. Trong đó, động cơ sơ cấp là các tuabin hơi, tuabin khí hoặc tuabin nước, ... Điện áp của máy phát thường từ 13 kv đến 28kv, công suất có thể đến 1000 MVA. Hệ thống điện năng bao gồm một số nhà máy điện liên kết thành lưới điện và làm việc song song. Ở các lưới điện công suất nhỏ, máy phát điện đồng bộ được kéo bởi động cơ diezen, có thể làm việc đơn lẻ hoặc hai ba máy làm việc song song.

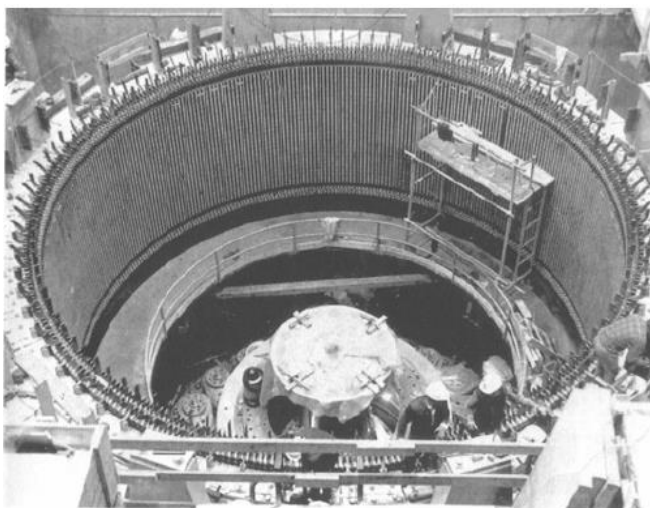
Máy điện đồng bộ có tính thuận nghịch, nghĩa là nó có thể làm việc như động cơ: nhận điện năng từ lưới để biến thành cơ năng. Động cơ điện đồng bộ được sử dụng trong truyền động điện công suất lớn,...

Một chế độ làm việc quan trọng khác của máy là chế độ máy bù đồng bộ, lúc đó nó là một động cơ đồng bộ không tải để cung cấp hoặc tiêu thụ công suất phản kháng, nhằm mục đích cải thiện hệ số công suất của lưới điện.

4.2. Cấu tạo, nguyên lý làm việc máy điện đồng bộ.

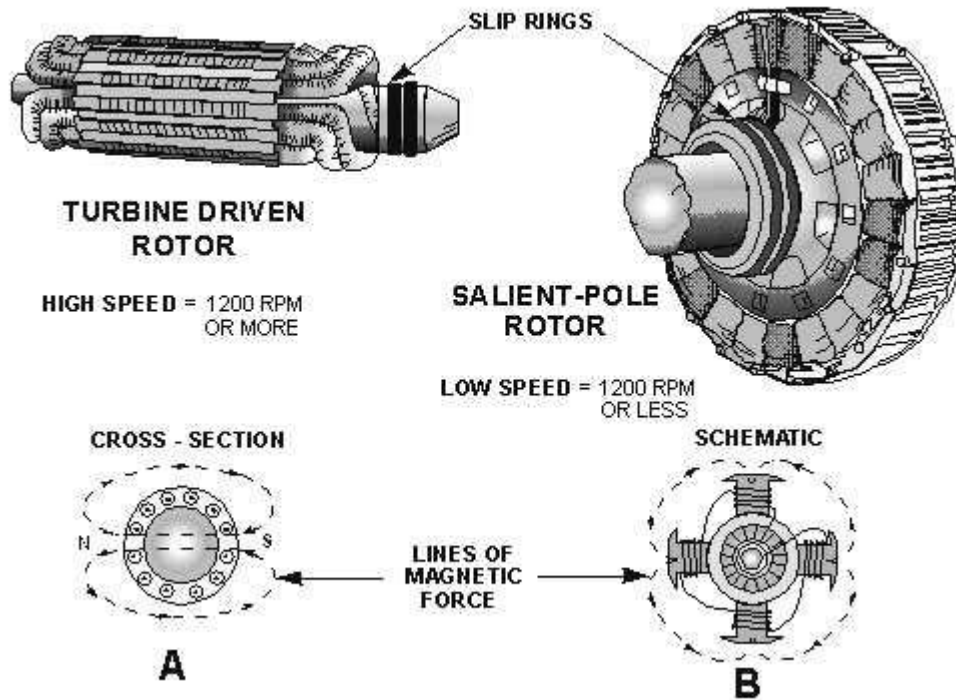
4.2.1 Stator:

Stator của máy điện đồng bộ giống như stator của máy điện không đồng bộ, gồm có lõi thép và dây quấn. Lõi thép làm bằng vật liệu sắt từ tốt, nghĩa là có từ trở nhỏ và điện trở suất lớn. Loại vận tốc chậm có chiều dài dọc trục ngắn, loại vận tốc nhanh chiều dài dọc trục lớn gấp đường kính nhiều lần. Ngoài ra trong stator còn có hệ thống làm mát.



Stator of a 3-phase, 500 MVA, 0.95 power factor, 15 kV, 60 Hz, 200 r/min generator. Internal diameter: 9250 mm; effective axial length of iron stacking: 2350mm; 378 slots.

4.2.2 Rotor:



Là một nam châm điện gồm lõi thép và dây quấn kích từ dùng để tạo ra từ trường cho máy, nguồn kích thích vào dây quấn kích thích là nguồn điện một chiều. Đối với máy nhỏ rotor là nam châm vĩnh cửu.

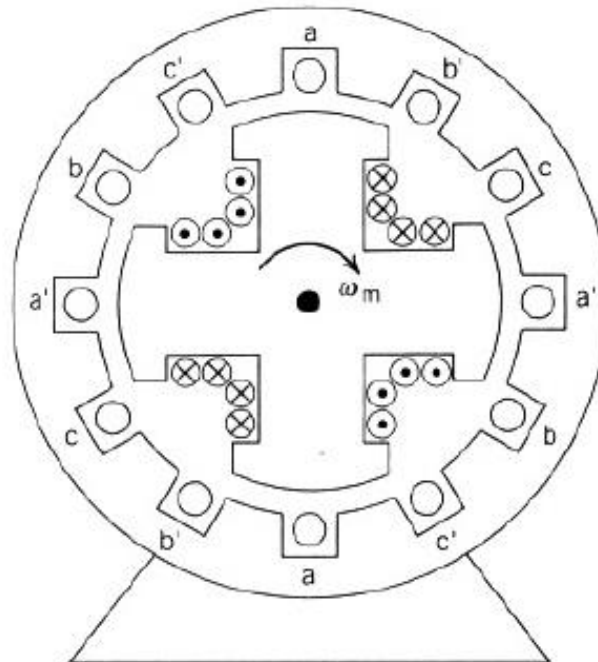
Rotor máy điện đồng bộ có hai kiểu là rotor cực lồi và rotor cực ẩn.

4.2.2.1 Rotor cực lồi:

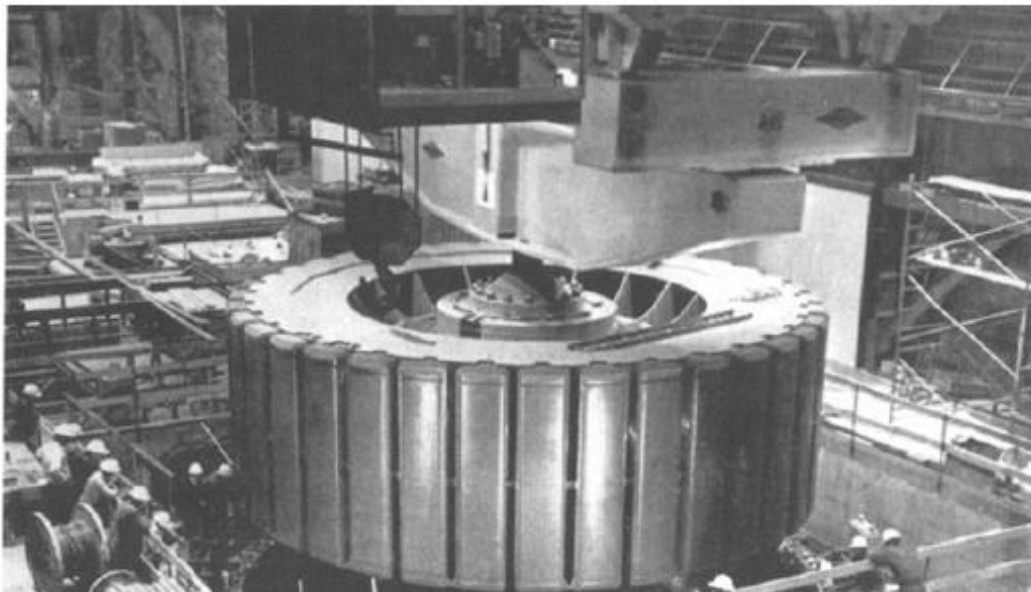
Dạng của mặt cực được thiết kế sao cho khe không khí không đều, mục đích để từ cảm trong khe không khí có phân bố hình sin và do đó sức điện động cũng có hình sin. Dây quấn trên các cực từ, hai đầu của nó được nối với hai vành trượt, qua hai chổi than tới nguồn điện một chiều.

Loại rotor cực lồi được dùng trong máy đồng bộ có tốc độ quay thấp, (được kéo bởi tuabin vận tốc chậm như tuabin thủy điện)

Salient Pole Rotor



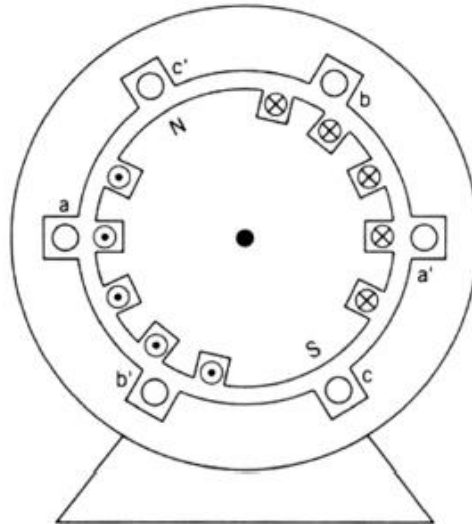
A four-pole synchronous machine.



36 pole – rotor is being lowered into the stator. The 2400A dc exciting current is supplied by a 330 V, electronic rectifier

Khe không khí đều, lõi thép là một khối thép hình trụ, mặt ngoài phay thành rãnh để đặt dây quấn kích thích, rotor cực ẩn có độ bền cơ khí cao, dây quấn kích thích vững chắc. Vì vậy thường được sử dụng ở những máy điện đồng bộ có tốc độ từ 1500v/phút trở lên, công suất lớn (1000 – 1500 MVA)

Hai đầu của dây quấn kích từ được nối với hai vành trượt đặt ở hai đầu trục thông qua hai chổi than để nối với dòng kích từ 1 chiều.



4.2.3 Bộ kích từ:

Nguồn cung cấp dòng điện một chiều cho dây quấn kích thích (dòng một chiều dùng để tạo ra từ thông không đổi theo thời gian). Bộ nguồn kích thích có các dạng sau: **Máy phát 1 chiều:**

Đa số là máy phát điện một chiều kích thích song song, có công suất khoảng 0,3÷2% công suất máy điện đồng bộ, máy phát này được gắn ở đầu trục của máy đồng bộ.

Bộ kích từ dùng chỉnh lưu:

Điện áp 3 pha của máy phát đồng bộ (ban đầu được sinh ra do từ dư) được chỉnh lưu thành một chiều, xong đưa đến dây quấn kích từ qua hệ thống chổi than, vành trượt.

Một số ít các máy điện công suất nhỏ thì phần quay lại đóng vai trò phản ứng, phần tĩnh đóng vai trò phản cảm.

4.2.4 Nguyên lý làm việc:

Khi động cơ sơ cấp quay, kéo rotor máy phát đồng bộ và máy phát một chiều quay theo tốc độ định mức, máy phát kích thích thành lập được điện áp và cung cấp dòng điện một chiều vào dây quấn phần cảm máy đồng bộ, phần cảm trở thành nam châm điện. Do rotor (phần cảm) quay nên từ trường phần cảm cắt các thanh dẫn dây quấn phần ứng (stator) làm cảm ứng trong dây quấn sức điện động hình sin. Nếu phần cảm máy phát có p đôi cực từ, tốc độ quay rotor là n thì tần số sức điện động cảm ứng là:

$$f = \frac{pn}{60}$$

trị số hiệu dụng sức điện động cảm ứng trong mỗi pha dây quấn phần ứng là:

$$E_0 = 4,44.f.k_{dq}.w_1.\Phi_0.$$

Trong đó: w_1 : số vòng dây 1 pha stator

K_{dq} : hệ số dây quấn stator

Φ_0 : từ thông dưới mỗi cực từ rotor.

Dây quấn 3 pha stator có trục lệch nhau trong không gian một góc 120° điện, cho nên sức điện động các pha lệch nhau 1 góc 120° .

$$e_A = E_0 \sqrt{2} \sin \omega t$$

$$e_B = E_0 \sqrt{2} \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$e_C = E_0 \sqrt{2} \sin(\omega t - 240^\circ)$$

các sức điện động này có thể ghép hình Y hoặc Δ .

Khi phản ứng cung cấp điện cho tải, dòng điện 3 pha chạy trong dây quấn phản ứng sẽ sinh ra từ trường quay với tốc độ:

$$n_1 = \frac{60f}{p}$$

Ta thấy tốc độ từ trường quay n_1 bằng tốc độ quay rotor $n \rightarrow$ gọi là máy phát điện đồng bộ.

4.3. Các phương trình và sơ đồ thay thế máy điện đồng bộ.

4.3.1 Phản ứng phản ứng.

Khi máy điện đồng bộ chạy không tải chỉ có dòng kích từ chạy qua dây quấn rotor, không có dòng chạy qua dây quấn stator, trong máy chỉ có từ thông chính (Φ_0) do phản cảm gây ra, từ thông này cắt dây quấn stator cảm ứng ra sức điện động E chậm pha so với từ thông Φ_0 góc 90° .

Khi máy mang tải, dòng điện tải qua dây quấn phản ứng gây nên từ trường gọi là từ trường phản ứng (Φ_v) và tương tự từ trường thứ cấp máy biến áp và máy điện không đồng bộ. Tuy vậy, từ trường thứ cấp của 2 loại máy trên làm thay đổi từ trường trong máy. Ngược lại, từ trường phản ứng máy điện đồng bộ không làm biến thiên dòng điện 1 chiều vào dây quấn phản cảm (rotor), do đó nó sẽ có tác dụng làm thay đổi về trị số và sự phân bố từ trường trong máy. Tác dụng của từ trường phản ứng lên từ trường chính (từ trường phản cảm) gọi là phản ứng phản ứng.

Trong máy điện đồng bộ phản ứng phản ứng phụ thuộc vào tính chất của tải

- Tải thuần trở:

Khi tải thuần trở, sức điện động E và dòng tải I cùng pha. Dòng điện I sinh ra từ trường phản ứng và cùng pha với dòng điện. Từ trường phản ứng theo hướng ngang trục, làm méo từ trường từ, gọi là phản ứng phản ứng ngang trục, từ thông tổng bị giảm chút ít khiến sức điện động cũng giảm theo.

- Tải cảm (L):

Sức điện động E vượt trước dòng điện I một $+90^\circ$. Dòng điện I sinh ra từ trường phản ứng Φ_{tr} cùng phương nhưng ngược chiều với Φ_0 , từ thông tổng hợp giảm và sức điện động giảm theo. Phản ứng phản ứng dọc trục khử từ.

- Tải dung (C):

Sức điện động chậm pha sau dòng điện một 90° . Dòng điện I sinh ra từ trường phản ứng Φ_{tr} cùng phương cùng chiều với Φ_0 , từ trường tổng hợp tăng và điện động tăng theo. Phản ứng phản ứng là dọc trục trợ.

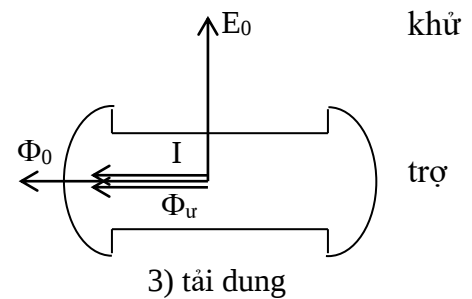
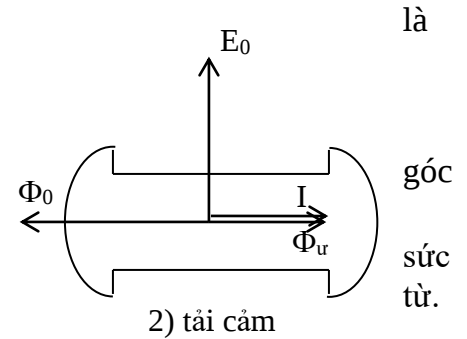
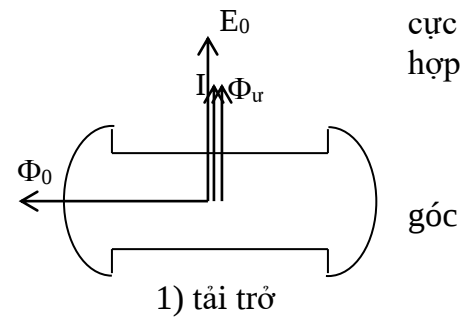
- Tải hỗn hợp:

Tải R, L ($0 < \varphi < \frac{\pi}{2}$) : phản ứng phản ứng ngang trục từ.

Tải R, C ($0 < \varphi < \frac{\pi}{2}$) : phản ứng phản ứng ngang trục từ.

Đây là trường hợp thường gặp trong thực tế và trong máy có cả hai phản ứng dọc và ngang. Hậu quả cùng tùy thuộc giá trị và dấu của góc hệ số công suất φ của tải.

Các tải trong thực tế hầu hết mang tính cảm kháng, do đó phản ứng phản ứng thường có tác dụng khử từ, làm từ trường trong máy giảm, gây ra sụt áp trên cực máy phát.



cuối

4.3.2 Phương trình cân bằng điện áp phần ứng máy phát.

4.3.2.1 Cực ấn:

Gọi U : điện áp hai đầu cực của máy phát.

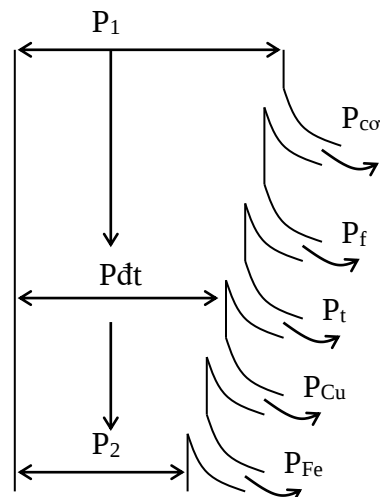
$$U = E_0 - I(r_{tr} + jx_{đb})$$

4.3.2.2 Cực lùi:

$$U = E_0 - jI_d x_d - jI_q x_q - I r_{tr}$$

4.4. Quá trình biến đổi năng lượng của máy điện đồng bộ.

4.4.1 Máy phát:



+ Công suất cơ do máy phát nhận từ động cơ sơ cấp:

$$P_1 = M\omega$$

+ Tổn hao cơ (P_{co}): do ma sát, quạt gió, không phụ thuộc tải vì vận tốc không đổi.

+ Tổn hao phụ (P_f): do dòng xoáy trong dây dẫn phản ứng & do tổn hao lõi vì từ trường bị xoắn dạng.

+ Tổn hao kích từ P_t (dây quấn kích từ).

$$P_t = U_t I_t = I_t^2 r_t.$$

+ Tổn hao dây đồng trong dây quấn phản ứng:

$$P_{cu} = m I^2 r_{tr} \quad m: \text{số pha.}$$

+ P_{Fe} : tổn hao sắt từ do dòng xoáy & từ trễ trong mạch từ.

$$\Rightarrow \eta\% = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 = \left(\frac{P_1 - \Sigma P}{P_1} \right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{\Sigma P}{P_1} \right) \cdot 100$$

$$\Sigma P = P_{\text{cơ}} + P_f + P_t + P_{\text{Cu}} + P_{\text{Fe}}$$

4.4.2 Động cơ:

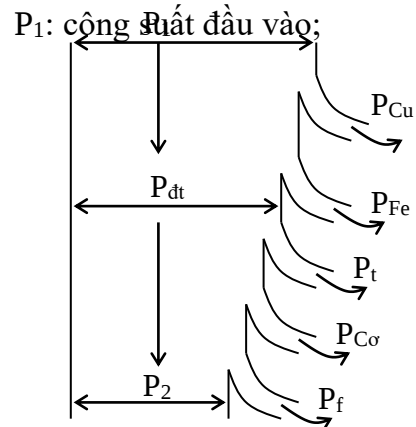
□

$$P_1 = \sqrt{3} U_d I_d \cos \varphi$$

□

P_2 : công suất cơ đầu ra

$$P_2 = M\omega$$



4.5. Các chế độ làm việc của máy điện đồng bộ.

4.5.1 Máy phát điện đồng bộ làm việc ở tải không đối xứng

Trong khi cung cấp điện có thể xảy ra trường hợp tải của các pha không bằng nhau,... và như vậy máy phát điện đồng bộ sẽ làm việc với tải không đối xứng, trong máy điện đồng bộ sẽ sinh ra một số hiện tượng bất lợi như điện áp không đối xứng, các sóng điều hòa sđđ và dòng điện bậc cao xuất hiện làm tổn hao tăng lên, rotor máy nóng và máy rung,...

Các tham số của máy phát điện khi làm việc ở tải không đối xứng:

4.5.1.1 Tổng trở thứ tự thuận: $Z_1 = r_1 + jx_1$:

Dòng điện thứ tự thuận sinh ra trong máy điện đồng bộ 3 pha sức từ động quay có sóng cơ bản quay đồng bộ với rotor giống như trường hợp làm việc ở tải đối xứng.

4.5.1.2 Tổng trở thứ tự ngược: $Z_2 = r_2 + jx_2$.

Hệ thống dòng điện thứ tự ngược sinh ra sức từ động quay ngược chiều quay rotor với tốc độ đồng bộ.

4.5.1.3 Tổng trở thứ tự không: $Z_0 = r_0 + jx_0$.

Ảnh hưởng của tải không đối xứng đối với máy phát điện đồng bộ:

Khi làm việc với tải không đối xứng, trong máy phát điện chỉ có các dòng điện thứ tự thuận và ngược còn dòng điện thứ tự không có trị số rất nhỏ hoặc không tồn tại vì dây quấn phản ứng thường nối hình sao có điểm trung tính nối đất hoặc không nối đất.

Điện áp không đối xứng:

Khi làm việc ở tải không đối xứng, dòng điện thứ tự sẽ gây nên những điện áp rơi $I_2 Z_2$, hậu quả là điện áp ở đầu máy phát điện sẽ không đối xứng, nghĩa là trị số sẽ không khác nhau và góc lệch pha với nhau khác 120° . Tình trạng đó ảnh hưởng xấu đến hộ dùng điện không đồng bộ và động cơ điện đồng bộ.

Nếu trong máy có đặt dây quấn cảm hoặc rotor và cực từ bằng thép nguyên khối thì Z_2 có trị số nhỏ nên điện áp không đối xứng ít hơn (do dòng điện cảm ứng trong dây quấn cảm và thép rotor nguyên khối tương đối lớn sẽ sinh ra từ thông làm giảm bớt từ trường quay ngược khiến cho Z_2 nhỏ hơn, kết quả là điện áp được cải thiện).

Tổn hao và rotor nóng:

Khi tải không đối xứng, từ trường ngược sinh ra dòng điện ở rotor gây thêm tổn hao ở rotor, rotor bị nóng hơn và hiệu suất của máy giảm.

Hiện tượng máy rung:

Do tác dụng giữa từ trường của cực từ với từ trường quay ngược của stator cũng như từ trường quay thuận stator với từ trường do dòng điện cảm ứng rotor sinh ra (dòng điện này do từ trường ngược sinh ra) $\rightarrow$ tạo ra moment quay có dấu thay đổi và có lực đập mạnh $\rightarrow$ rung mạnh và ồn.

Kết luận: Các hiện tượng điện áp mất đối xứng, rotor phát nóng dữ dội và máy rung càng nghiêm trọng nếu mức độ không đối xứng của tải càng nhiều. Để hạn chế các hiện tượng trên, thường cho phép máy phát điện làm việc lâu dài với tải không đối xứng nếu dòng điện các pha không vượt quá định mức và sự chênh lệch dòng điện giữa các pha không quá 10% dòng định mức đối với máy phát điện tuabin hơi và 20% đối với máy phát điện tuabin nước.

4.5.2 Máy phát điện đồng bộ làm việc song song.

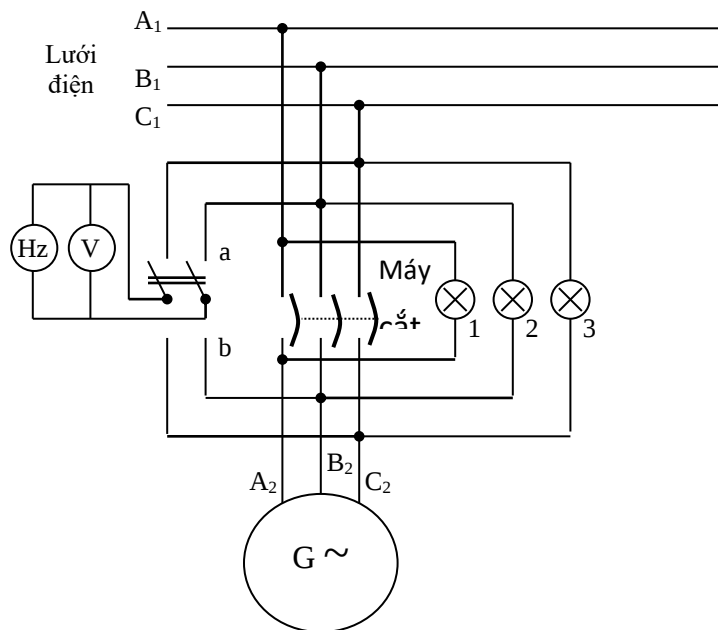
Trong mỗi nhà máy điện, các máy phát điện thường làm việc song song và cùng đấu lên một lưới điện chung. Điều đó làm cho việc vận hành các máy phát được kinh tế vì có thể tận dụng được công suất của chúng. Hơn nữa, việc cung cấp điện cho phụ tải cũng sẽ được đảm bảo liên tục.

Hòa đồng bộ các máy phát:**➤ Điều kiện hòa đồng bộ:**

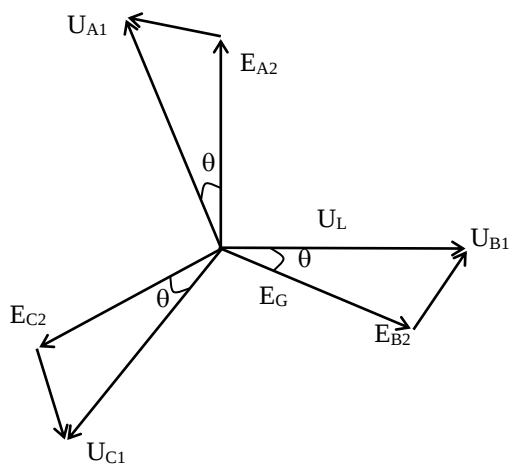
- ☐ Tần số của máy phát phải bằng tần số lưới điện, nghĩa là máy phải được quay đúng vận tốc đồng bộ $f_G = f_L$
- ☐ Sức điện động của máy phát phải bằng điện áp của hệ thống lưới điện: máy phải được kích từ sao cho $E_G = U_L$.
- ☐ Thứ tự pha của các sức điện động () của máy phát phải cùng thứ tự pha của lưới ()

- Sức điện động của máy phát và điện áp của lưới phải trùng pha nhau, nghĩa là góc pha θ giữa $\vec{E}$ & $\vec{U}$ phải bằng 0.

Khi các điều kiện trên được thỏa, điện áp 2 đầu máy cắt bằng 0, ta đóng máy cắt để hòa.



Hòa đồng bộ MÁY PHÁT bằng phương pháp đèn đèn



➤ **Hòa đồng bộ chính xác:**

• **Ánh sáng đèn:**

Gọi: U_{A1}, U_{B2}, U_{C1} : điện áp pha của lưới.

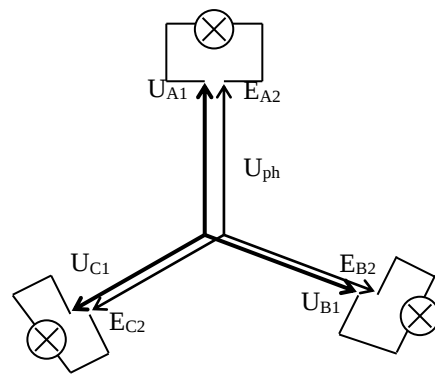
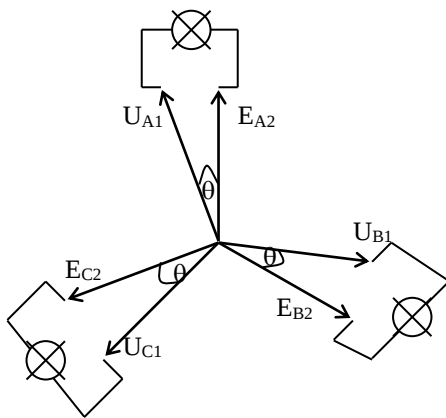
E_{A1}, E_{B2}, E_{C1} : sđđ pha của máy phát.

Ta có :

$$\dot{U}_{\tilde{n}1} = \dot{U}_{A1} - \dot{E}_{A2}$$

$$\dot{U}_{\tilde{n}2} = \dot{U}_{B1} - \dot{E}_{B2}$$

$$\dot{U}_{\tilde{n}3} = \dot{U}_{C1} - \dot{E}_{C2}$$



Đầu tiên quay máy phát đồng bộ lên tới tốc độ đồng bộ và điều chỉnh kích thích để tăng dần điện áp máy phát. Ta có thể kiểm tra trị số của sđđ và tần số máy phát bằng V và Hz (đóng cầu dao sang a, sang b). sau đó theo dõi sự sáng tối của các đèn để điều chỉnh tần số và thứ tự pha.

Khi điện áp lưới và máy phát chưa trùng pha thì vectơ điện áp đặt lên các đèn có độ lớn đúng bằng khoảng cách giữa 2 đầu mút các vecơ biểu diễn điện áp lưới và máy phát, các đèn sẽ sáng. Khi điện áp lưới và máy phát trùng pha thì điện áp đặt lên các đèn bằng 0, đèn tối. Nếu tần số máy phát và lưới không bằng nhau thì các vectơ điện áp lưới và máy phát sẽ quay với các tốc độ góc khác nhau, góc θ sẽ thay đổi từ $0 \div 180^\circ$, điện áp đặt lên các đèn sẽ thay đổi từ 0 đến 2 lần điện áp pha ($0 \leq \Delta U_d \leq 2U_{ph}$) và 3 ngọn đèn sẽ cùng sáng, tối. Nếu $f_L \neq f_G$ nhiều thì các đèn chớp, tắt càng nhanh. Ta điều chỉnh tần số của máy phát sao cho xảy ra càng chậm càng tốt cho đến khi cả 3 đều tắt hẳn trong khoảng từ $(3 \div 5)$ giây, sau đó đóng máy cắt vào lưới điện.

Chọn đèn: $\theta = 0^\circ \div 180^\circ \rightarrow 0 \leq U_d \leq 2U_{ph} \Rightarrow$ chọn đèn = $2U_{ph}$.

Khi mắc dây theo sơ đồ nối tối má ánh sáng lại là ánh sáng quay khi ta điều chỉnh f_G để đạt 4 yêu cầu trên thì sẽ có 1 đèn tối & 2 đèn sáng như nhau, trường hợp này cần phải trao đổi 2 trong 3 pha của máy phát.

4.6. Máy điện đồng bộ làm việc chế độ động cơ.

4.6.1 So sánh với động cơ không đồng bộ:

Động cơ không đồng bộ:

Cấu tạo đơn giản, làm việc chắc chắn, bảo trì dễ dàng, giá thành hạ, thay đổi tốc độ bằng nhiều phương pháp.

Moment động cơ không đồng bộ thay đổi nhiều khi điện áp thay đổi (tỉ lệ U^2), hiệu suất thấp hơn động cơ đồng bộ.

Động cơ đồng bộ:

Động cơ điện đồng bộ do được kích thích bằng dòng điện một chiều nên có thể làm việc với $\cos\varphi = 1$ và không cần lấy công suất phản kháng từ lưới điện, kết quả là hệ số công suất của lưới điện được nâng cao, làm giảm được điện áp rơi & tổn hao công suất trên đường dây.

Động cơ đồng bộ ít chịu ảnh hưởng đối với sự thay đổi điện áp của lưới điện (moment tỉ lệ

$$\text{với } U: M_{nt} = \frac{P_{nt}}{\omega} = m \frac{UE_0}{\omega X_{nb}} \sin\theta \quad \text{với } \omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi f}{p}.$$

→ Khi áp lưới bị sụt, khả năng giữ tải của động cơ điện đồng bộ lớn hơn, nếu tăng kích thích, động cơ đồng bộ có thể làm việc an toàn và cải thiện được điều kiện làm việc của cả lưới điện.

Hiệu suất cao hơn động cơ không đồng bộ.

Cấu tạo phức tạp, giá thành cao (do có máy kích từ), mở máy phức tạp hơn & việc thay đổi tốc độ chỉ có thể thực hiện bằng cách thay đổi tần số nguồn điện.

4.6.2 Mở máy động cơ điện đồng bộ:

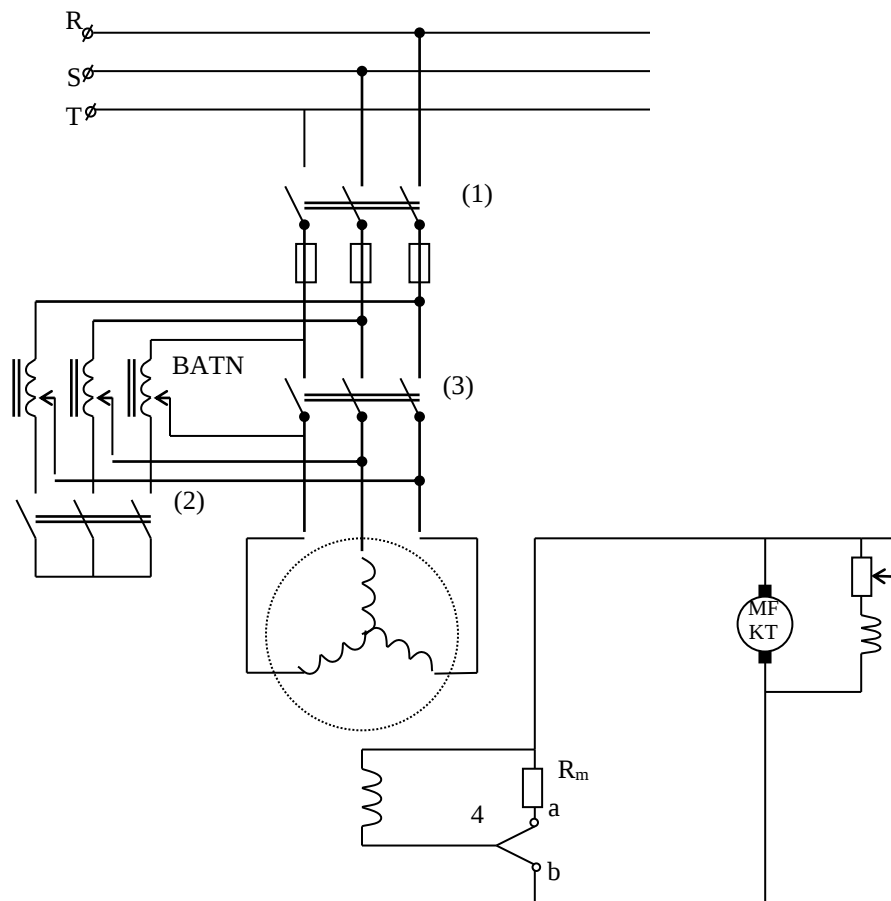
4.6.2.1 Mở máy theo phương pháp không đồng bộ:

Để có thể tự mở máy được, các động cơ đồng bộ đều có cấu tạo thêm một dây quấn gọi là dây quấn mở máy. Dây quấn mở máy gồm các thanh dẫn đặt trên mặt các cực từ rotor cực lồi, hai đầu nối với hai vòng ngắn mạch. (tương tự như rotor lồng sóc máy điện không đồng bộ).

Quá trình mở máy gồm hai giai đoạn:

Giai đoạn mở máy không đồng bộ: dây quấn stator (phần ứng) đóng vào lưới điện xoay chiều 3 pha, dây quấn kích thích nối với điện trở r_m lớn gấp 10÷12 lần điện trở bản thân dây quấn kích từ. Tốc độ động cơ tăng đến gần tốc độ đồng bộ n_1 của từ trường quay. Động cơ được mở máy như một động cơ không đồng bộ lồng sóc.

Khi quay rotor đã quay đến $n \approx n_1 \rightarrow$ tiến hành **giai đoạn 2:** đóng cầu dao 4 sang phía b để nối cuộn dây kích thích với nguồn 1 chiều. Rotor động cơ sẽ được kéo vào tốc độ đồng bộ.



Trong giai đoạn mở máy không đồng bộ, dây quấn kích thích không được để hở mạch mà phải nối qua điện trở r_m vì từ trường quay phần ứng có thể cảm ứng trong dây quấn kích thích sức điện động lớn, nếu để hở mạch sẽ nguy hiểm cho cách điện của dây quấn.

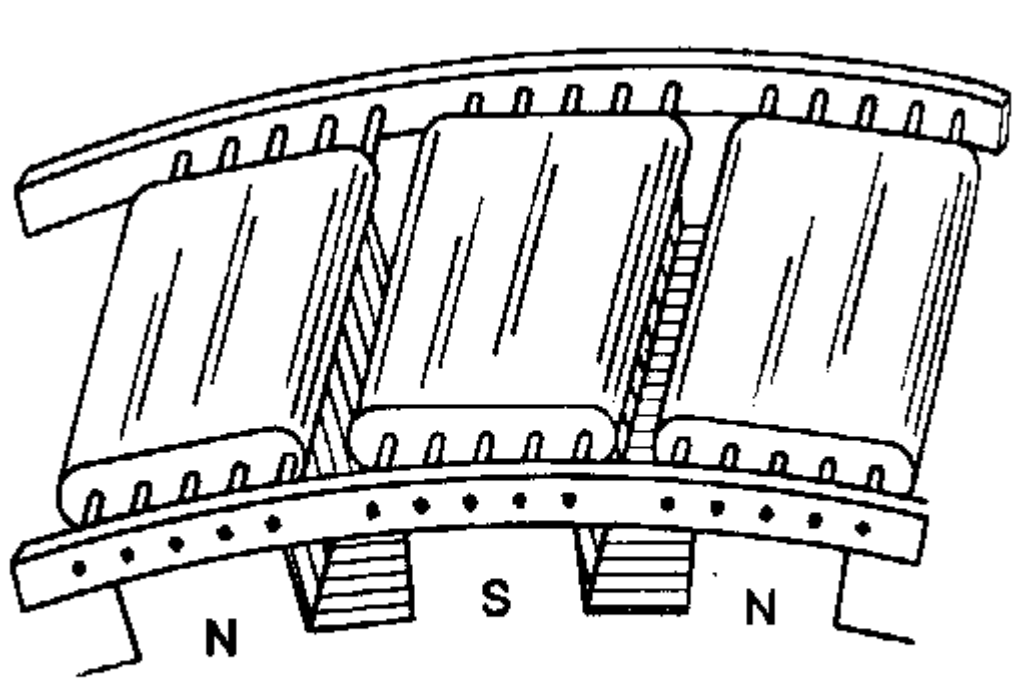
Để giảm dòng điện khi mở máy động cơ, người ta thường dùng máy tự biến áp để hạ điện áp đặt vào dây quấn phần ứng khi mới mở máy.

4.6.2.2 Mở máy theo phương pháp hoà đồng bộ:

Khi động cơ đồng bộ quay không tải, nó cũng tiêu thụ 1 ít công suất để bù vào các tổn hao. Công suất này rất nhỏ nên thành phần $I \cos \phi$ rất nhỏ. Nếu động cơ làm việc thừa kích từ với I khá lớn thì I sớm gần 90° so với U , nghĩa là động cơ gần giống tụ điện & được dùng để nâng cao hệ số công suất của lưới điện. Trong các nhà máy sử dụng nhiều động cơ không đồng bộ, chúng sẽ tiêu thụ công suất phản kháng. Khi đấu song song 1 động cơ đồng bộ làm việc không tải & quá kích từ, nó sẽ phát ra công suất phản kháng & đem lại các điều lợi như sau:

- ☐ Điện áp không bị sụt nhiều.
- ☐ Tăng được khả năng cung cấp của máy biến áp & đường dây.
- ☐ Giảm được giá điện.

Động cơ đồng bộ làm việc như trên gọi là máy bù đồng bộ. Máy bù đồng bộ thường có cấu tạo theo kiểu cực lõi.



Dây quấn mở máy của rotor động cơ đồng bộ

Bài tập :

Bài 1 : Một máy phát điện đồng bộ ba pha cực ắc công suất 1750 kVA; điện áp 2300V; bỏ qua điện trở phản ứng; điện kháng đồng bộ là 2.65Ω / pha; đấu sao; tải có $\cos\varphi = 0,8$ trễ. Tính :

1/ sức điện động pha của máy phát.

2/ phần trăm thay đổi điện áp.

Bài 2 : Một động cơ đồng bộ ba pha cực ắc 1270V, đấu tam giác, có điện kháng đồng bộ $2,6 \Omega$ / pha, điện trở phản ứng không đáng kể, bỏ qua các tổn hao, công suất vào là 820 kW, dòng kích từ được điều chỉnh sao cho sức điện động bằng 1617 V. Tính :

1/ Góc momen (góc tạo bởi U và E)

2/ Dòng điện dây.

Bài 3 : Một máy phát điện đồng bộ ba pha cực ắc công suất 500 kVA; điện áp 2400V; bỏ qua điện trở phản ứng; điện kháng đồng bộ là 4Ω / pha; đấu sao; tải có $\cos\varphi = 0,866$ trễ. Tính :

1/ sức điện động pha của máy phát.

2/ phần trăm thay đổi điện áp.

Bài 4 : Một máy phát điện đồng bộ ba pha cực ắc công suất 1250 kVA; điện áp 4160V; $2p = 10$; 50Hz; điện trở phản ứng là 0.126Ω / pha; điện kháng đồng bộ là 3Ω / pha; đấu sao; tải có $\cos\varphi = 0.8$ trễ. Tính :

1/ sức điện động pha của máy phát.

2/ phần trăm thay đổi điện áp.

Bài 5 : Một máy phát điện đồng bộ ba pha cực ắc công suất 1750 kVA; điện áp 2300V; bỏ qua điện trở phản ứng; điện kháng đồng bộ là $2,65 \Omega$ / pha; đấu sao; tải có $\cos\varphi = 0,8$ trễ. Tính :

1/ sức điện động pha của máy phát.

2/ phần trăm thay đổi điện áp.

Bài 6: Một động cơ đồng bộ ba pha cực ắc 1270V, đấu tam giác, có điện kháng đồng bộ $2,6 \Omega$ / pha, điện trở phản ứng không đáng kể, bỏ qua các tổn hao, công suất vào là 820 kW, dòng kích từ được điều chỉnh sao cho sức điện động bằng 1617 V. Tính :

1/ Góc momen (góc tạo bởi U và E)

2/ Dòng điện dây.

Bài 7: Một máy phát điện đồng bộ ba pha cực ắc công suất 40 kVA; điện áp 208V; bỏ qua điện trở phản ứng; điện kháng đồng bộ là $0,45 \Omega$ / pha; đấu sao; tải có $\cos\varphi = 0,8$ trễ. Tính :

1/ sức điện động pha của máy phát.

2/ phần trăm thay đổi điện áp.

Bài 8 : Một máy phát điện đồng bộ ba pha cực ắc công suất 1500 kVA; điện áp 2300V; bỏ qua điện trở phản ứng; điện kháng đồng bộ là $1,95 \Omega$ / pha; đấu sao; tải có $\cos\varphi = 0,8$ trễ. Tính :

- 1/ sức điện động pha của máy phát.
- 2/ phần trăm thay đổi điện áp.

Bài 9 : Một máy phát điện đồng bộ ba pha cực ắc công suất 500 kVA; điện áp 2400V; bỏ qua điện trở phản ứng; điện kháng đồng bộ là 4Ω / pha; đấu sao; tải có $\cos\varphi = 0,866$ trễ. Tính :

- 1/ sức điện động pha của máy phát.
- 2/ phần trăm thay đổi điện áp.

Bài 10 : Một máy phát điện đồng bộ ba pha cực ắc công suất 1250 kVA; điện áp 4160V; $2p = 10$; 50Hz; điện trở phản ứng là $0,126 \Omega$ / pha; điện kháng đồng bộ là 3Ω / pha; đấu sao; tải có $\cos\varphi = 0,8$ trễ. Tính :

- 1/ sức điện động pha của máy phát.
- 2/ phần trăm thay đổi điện áp.

Bi 11: Máy phát đồng bộ cực từ ắc ba pha $S_{dm} = 20KVA$, $U_{dm} = 220V$, $\cos\varphi = 0,85$. Điện trở ở đầu cực là không đáng kể, điện kháng đồng bộ là $X_{db} = 0,5 \Omega$ /pha. Nối Y, điện áp kích từ là 110VDC, dòng kích từ 10A, $\Delta P_{Fe} = 700W$, $\Delta P_{ma\ st, \text{ quạt gió...}} = 600W$. Xác định:

- 1/ Sức điện động pha trên dây quấn phản ứng.
- 2/ Độ thay đổi điện áp %.
- 3/ Hiệu suất của máy phát ở chế độ định mức.

Bi 12: Máy phát điện đồng bộ ba pha, $S_{dm} = 110MVA$, $\cos\varphi_{dm} = 0,8$, $U_{dm} = 66KV$, $\eta = 90\%$, nối Y, $f = 60Hz$, $n_{dm} = 3600v/ \text{ph}$.

- 1/ Số cực của máy pht.
- 2/ Công suất máy phát cấp cho tải.
- 3/ Tính dòng điện định mức của máy phát.
- 4/ Công suất cơ cần cung cấp cho máy phát.
- 5/ Moment cơ cần cung cấp cho máy phát.

CHƯƠNG 5: MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

5.1. Khái quát chung.

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

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

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

5.2. Cấu tạo

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

5.2.1. Phần tĩnh (stator) hay phần cảm :

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

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

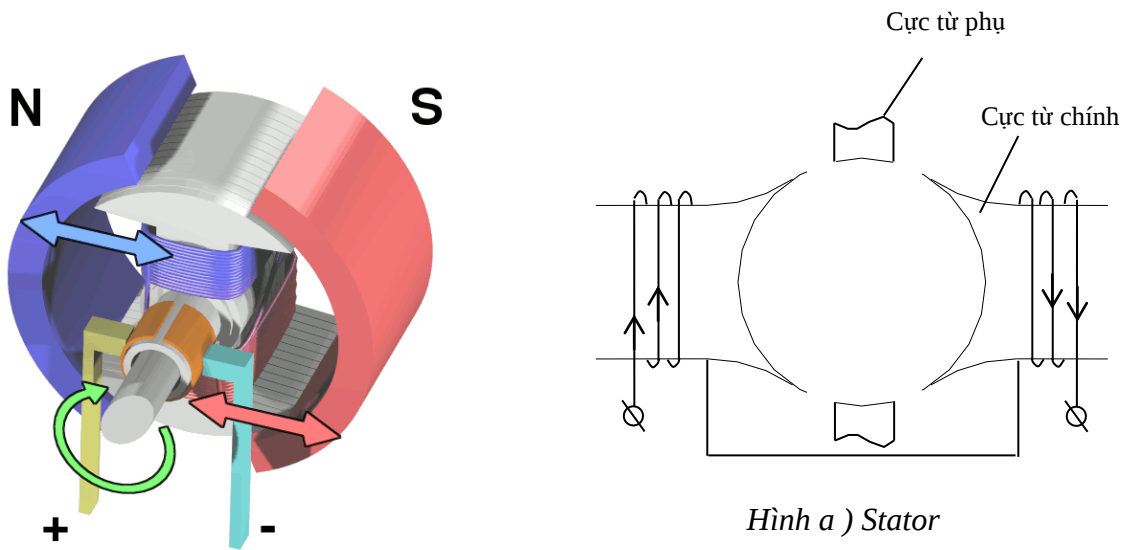
+ **Cực từ phụ:** các cực từ phụ được đặt xen kẽ giữa các cực từ chính để hạn chế tia lửa điện và cải thiện đổi chiều.

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

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

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

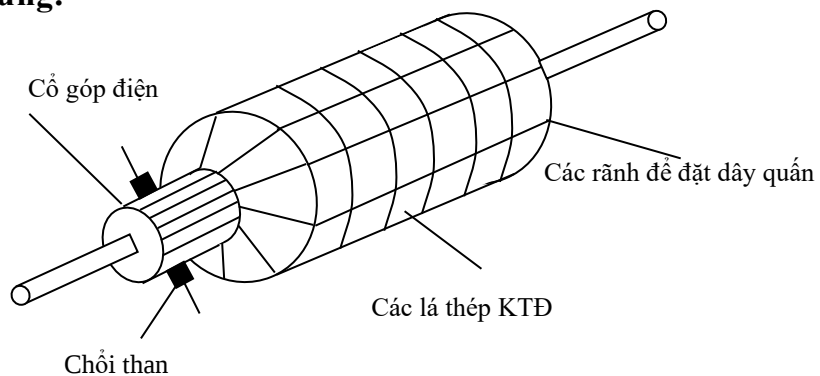
+ **Các bộ phận khác:** nắp máy và cơ cấu chổi than (gồm: chổi than đặt trong hộp chổi than, giá chổi than)



5.2.2. Phần quay (Rotor) hay phần ứng:

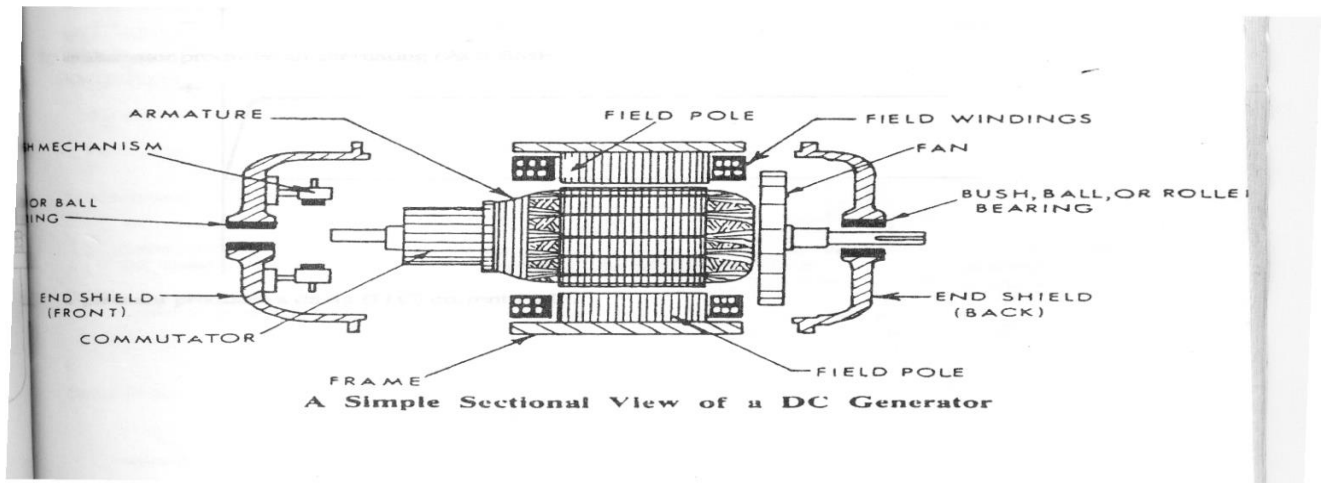
Phần ứng gồm trục, lõi thép, dây quấn phần ứng, cổ góp.

+ **Lõi sắt phần ứng:**



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

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



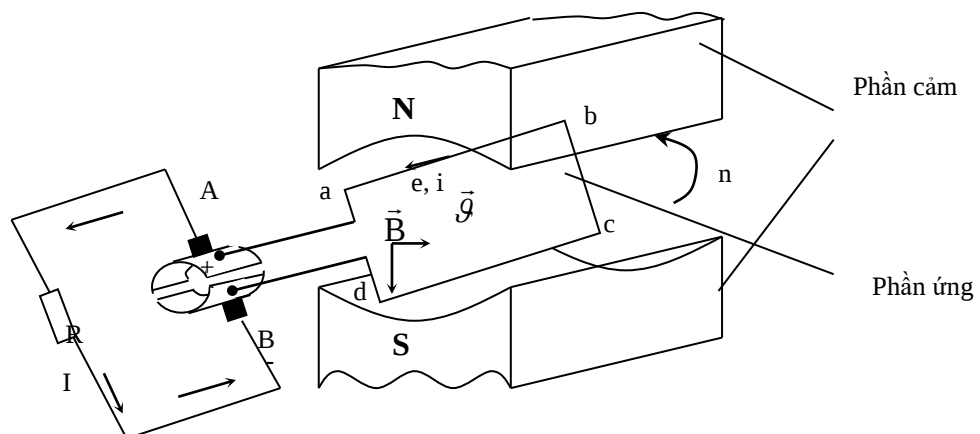
+ **Cổ góp (vành đổi chiều):** cổ góp gồm các phiến góp làm bằng đồng, giữa các phiến góp cách điện với nhau bởi mica và cổ góp cũng được cách điện với trục rotor bằng ống phíp. Nhiệm vụ của cổ góp điện là chỉnh lưu sức điện động xoay chiều thành sức điện động một chiều trên các chổi than, chổi than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

+ **Các bộ phận khác:**

- ☐ Cánh quạt: làm nguội máy
- ☐ Trục máy:

5.3. Nguyên lý làm việc.

5.3.1. Nguyên lý làm việc của máy phát điện một chiều.



Nguyên lý làm việc của máy phát điện một chiều:

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

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

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

B : từ cảm – Mật độ từ thông.

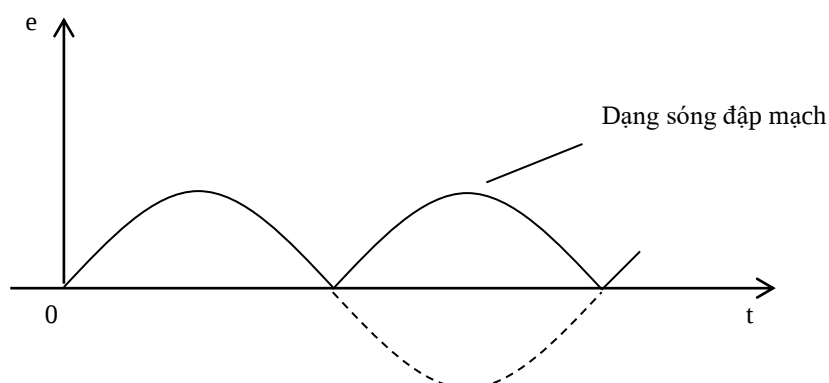
L : chiều dài cạnh tác dụng của thanh dẫn ab+cd

v : tốc độ dài của thanh dẫn.

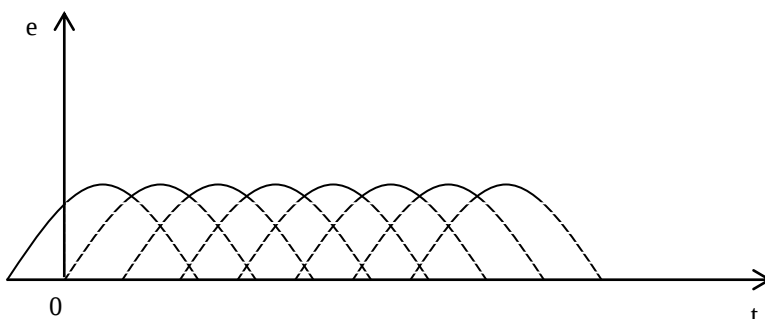
α : là góc nhỏ giữa vận tốc v và từ cảm B.

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

Dạng sóng trên hai đầu chổi than:



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



5.3.2. Nguyên lý làm việc của động cơ điện một chiều.

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

5.4. Từ trường lúc có tải của máy điện một chiều

5.4.1. Đại cương:

Khi không tải từ thông Φ trong máy do dây quấn kích từ gây nên.

Khi có tải từ thông Φ trong máy không những do dây quấn kích từ gây nên mà còn có từ thông phần ứng (Φ_r) do cuộn dây phần ứng gây nên. Để triệt tiêu tia lửa điện còn có từ thông cực từ phụ Φ_f và từ thông dây quấn bù Φ_b . Tất cả các từ thông đó tác dụng với nhau để tạo thành từ thông khe hở làm thay đổi từ trường lúc không tải của máy.

5.4.2. Từ trường trong dây quấn phần ứng:

5.4.2.1 Sự phân bố của từ trường trên bề mặt phần ứng :

Gọi N : Tổng số thanh dẫn của phần ứng.

$2a$: Số mạch nhánh song song.

i_r : Dòng điện trong 1 thanh dẫn.

I_r : Dòng điện phần ứng.

$$i_o = \frac{I_o}{2a}$$

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

D_r : đường kính ngoài phần ứng.

Ta có: $F_r = A \cdot \tau$ τ : bước cực (m)

$$\Rightarrow \uparrow i_r \rightarrow A \uparrow \rightarrow I_r \uparrow \rightarrow F_r \uparrow$$

5.4.2.2 Phản ứng phần ứng trong máy điện một chiều:

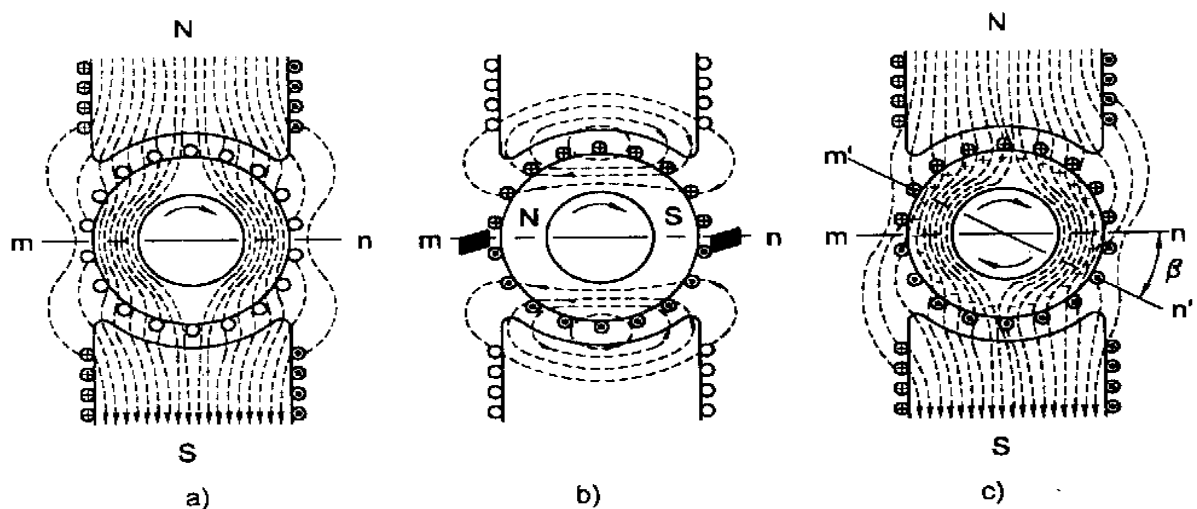
- Khi máy điện 1 chiều chạy không tải, trong máy chỉ có từ trường của các cực từ chính sinh ra gọi là từ trường chính hay từ trường phần cảm. Lúc này đường trung tính vật lý mm' trùng với đường trung tính hình học nn' .

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

- Đường trung tính vật lý: là đường xuyên qua phần ứng tại 2 điểm có từ trường bằng 0 ($B = 0$).
- Khi máy mang tải, dòng điện trong dây quấn phần ứng sinh ra từ trường phản ứng.

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

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

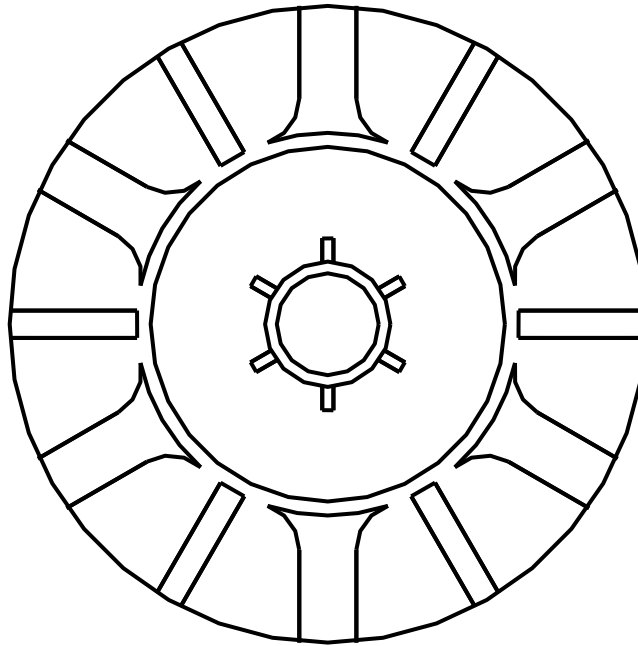


Từ trường máy điện một chiều

5.4.2. Từ trường cực từ phụ:

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

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



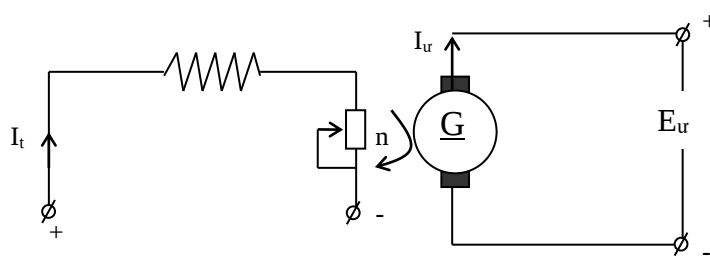
5.4.3. Từ trường dây quấn bù:

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

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

5.5. Quan hệ điện từ trong máy điện DC.

5.5.1. Sức điện động cảm ứng của dây quấn phần ứng:



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

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

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

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

Φ : từ thông trung bình dưới một cực từ (Wb).

τ : Bước cực từ.

L : Chiều dài thanh dẫn.

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

$2p$: số cực phần cảm.

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

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

Gọi: N : tổng số thanh dẫn.

$2a$: số mạch nhánh song song.

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

E_{ur} : sức điện động của một mạch nhánh song song.

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

$$E_{ur} = C_E \cdot \Phi \cdot n$$

Sức điện động phản ứng tỉ lệ với từ thông dưới một cực từ và tốc độ quay phản ứng. Nghĩa là muốn thay đổi E_{ur} thì phải tác động lên Φ hoặc n .

5.5.2. Moment điện từ :

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

$$f = B_{tb} \cdot i_{ur} \cdot l$$

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

i_{ur} : dòng điện qua thanh dẫn.

$$i_{\phi} = \frac{I_{\phi}}{2a}$$

l : chiều dài tác dụng của thanh dẫn.

I_{ur} : dòng điện phản ứng.

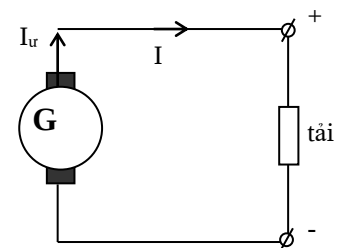
Moment điện từ tác dụng lên dây quấn phản ứng:

$$M_{dt} = f \cdot r \cdot N = B_{tb} \cdot N \cdot \frac{I_{\phi}}{2a} \cdot l \cdot \frac{D_{\phi}}{2}$$

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

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

$$\Rightarrow M_{nt} = \frac{\Phi}{\tau \cdot l} \cdot N \cdot \frac{I_{\phi}}{2a} \cdot l \cdot \frac{2p \tau}{2\pi} = \frac{pN}{2\pi a} \cdot \Phi \cdot I_{\phi}$$



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

$$M_{dt} = C_M \cdot \Phi \cdot I_{ur}$$

- Moment điện từ của máy điện một chiều được tạo nên do sự tác động tương hỗ giữa từ trường phần cảm và từ trường dòng điện trong thanh dẫn phản ứng. Momen này tác dụng lên phần ứng.
- Ở chế độ máy phát, M_{dt} ngược chiều với moment quay của động cơ sơ cấp tác dụng lên rotor, nên có tác dụng như một moment cản.
- Ở chế độ động cơ, M_{dt} đóng vai trò moment quay, chiều quay của máy cùng chiều quay của moment. Công suất điện từ đã chuyển công suất điện $E_{ur} \cdot I_{ur}$ thành công suất cơ $M_{dt} \cdot \omega$

5.5.3. Công suất điện từ:

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

ω : vận tốc góc của rotor

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

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

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

$$P_{dt} = E_{ur} \cdot I_{ur}$$

5.5.4. Quá trình năng lượng và các phương trình cân bằng:

5.5.4.1. Các loại tổn hao.

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

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

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

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

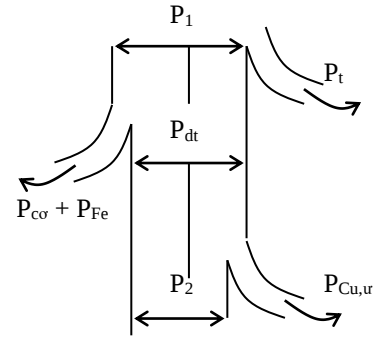
5.5.4.2. Giản đồ năng lượng và phương trình cân bằng

Máy phát điện:

P_1 : công suất cơ đầu vào.

P_t : tổn hao kích từ.

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



Giản đồ năng lượng của máy phát một chiều

$P_{co} + P_{Fe}$: tổn hao cơ + tổn hao sắt từ

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

$P_{Cu,ur}$: tổn hao đồng trên dây quấn phản ứng

P_2 : công suất điện đầu ra.

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

Từ giản đồ: $P_2 = P_{dt} - P_{Cu,ur}$

chia 2 vế I_r : $UI_r = E_r I_r - I_r^2 \cdot R_o$

$$U = E_r - I_r \cdot R_r \quad \text{hay} \quad E_r = U + I_r \cdot R_r$$

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

E_r : đóng vai trò nguồn điện, cùng chiều I_r

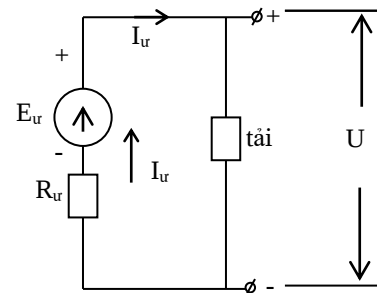
M_1 : moment cơ đầu vào

M_{dt} : moment điện từ

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

Sơ đồ mạch tương đương.

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



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

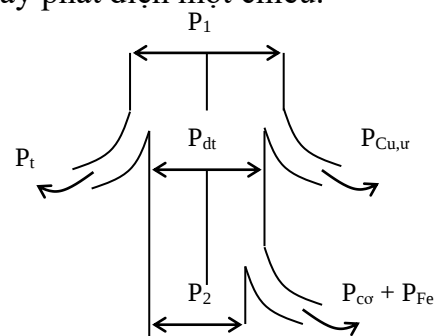
Đối với động cơ điện

P_1 : công suất điện đầu vào.

P_2 : công suất cơ đầu ra.

$P_1 = P_{dt} + P_t + P_{Cu,ur}$

$U(I_r + I_t) = E_r \cdot I_r + UI_t + I_r^2 R_o$



Giản đồ năng lượng của ĐC một chiều

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

$$U = E_{ur} + I_{ur}R_{ur}$$

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

E_{ur} đóng vai trò sức phản điện, ngược chiều I_{ur}

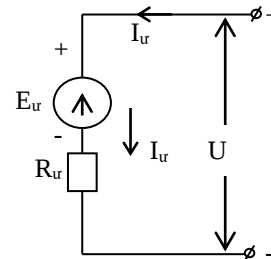
M_2 : moment cơ đầu ra

M_{dt} : moment điện từ

M_0 : moment không tải.

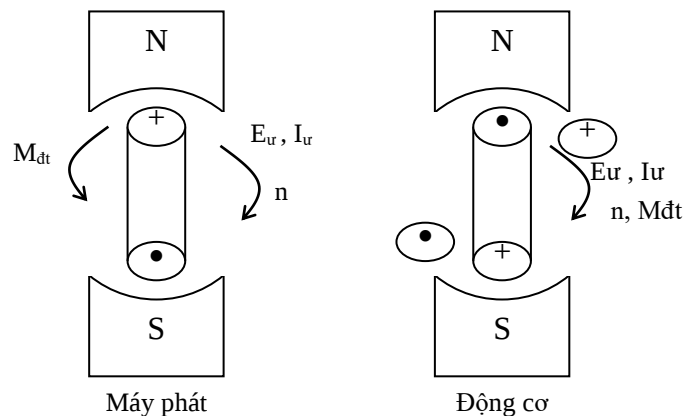
Ta có sơ đồ mạch tương đương.

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



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

5.5.5. Tính thuận nghịch trong máy điện một chiều:



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

Chế độ máy phát : E_{ur} , I_{ur} cùng chiều

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

Chế độ động cơ : E_{ur} , I_{ur} ngược chiều

M_{dt} cùng chiều n

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

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

5.5.6. Ví dụ :

Ví dụ 1:

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

Giải

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

Ta có :

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

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

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

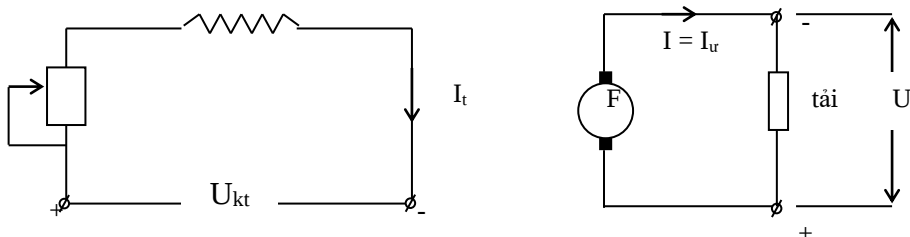
Ví dụ 2:

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

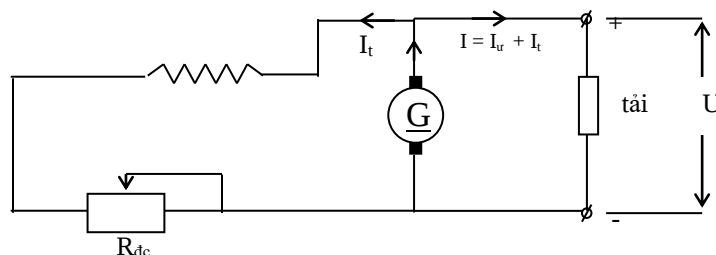
5.6. Máy phát điện một chiều.(DC Generator)

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

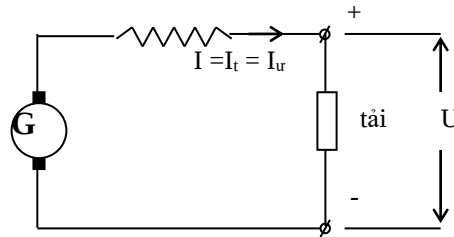
+ **Máy phát điện một chiều kích từ độc lập (Separated Generator)**



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

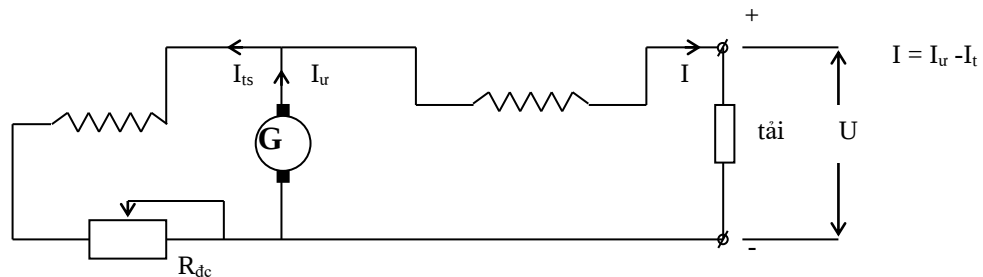


- ☐ **Kích từ nối tiếp: (Series Generator)** cuộn dây kích từ nối tiếp phần ứng.



- ☐

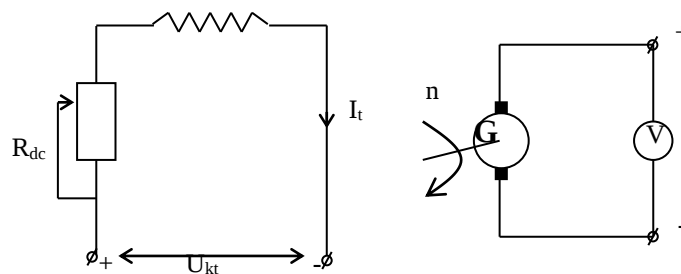
- ☐ **Kích từ hỗn hợp: (Compound Generator)**



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

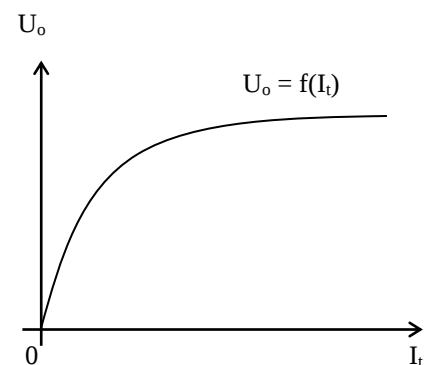
5.6.1. Đặc tính không tải: $U_0 = f(I_t) = E_r$; $I = 0$; $n = \text{const}$.

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

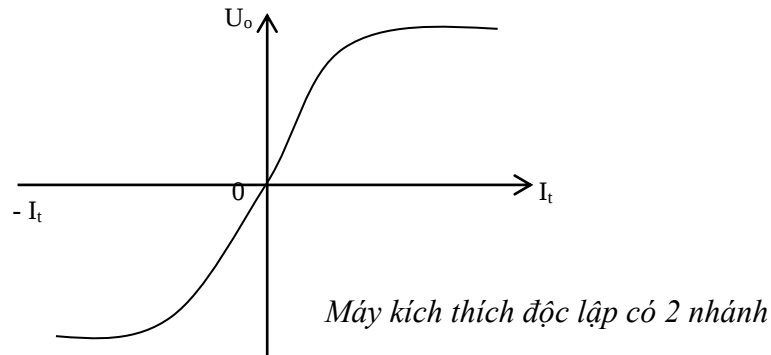


I_t (A)	0	$\longrightarrow$	I_{to}
U_o (V)	0	$\longrightarrow$	U_o

(bỏ qua từ dư)

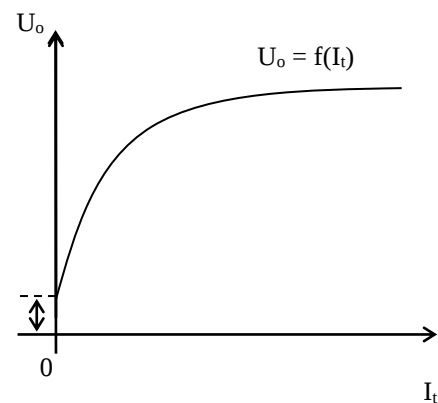


Đường cong từ hóa của Máy Điện một chiều

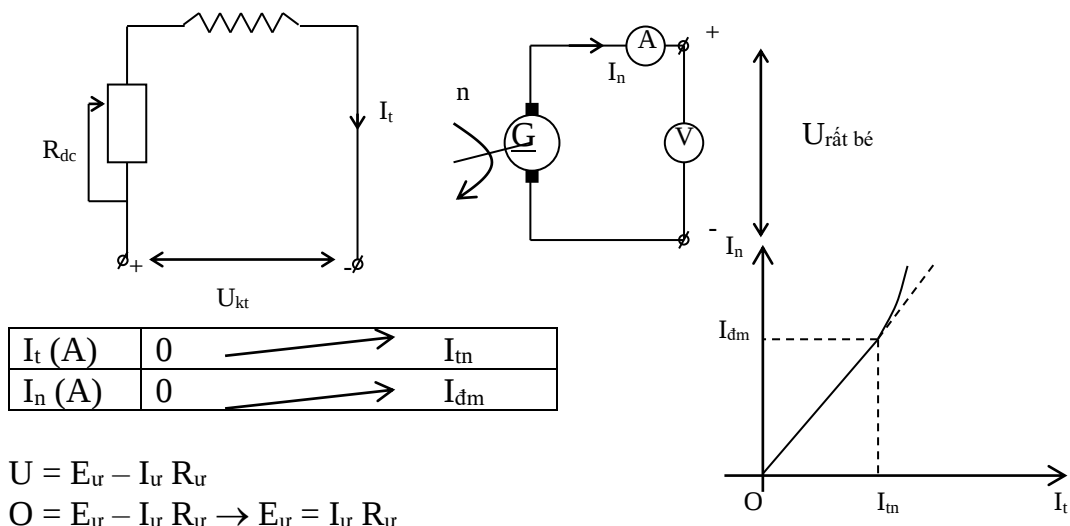


✓ **Khi không bỏ qua từ dư:**

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

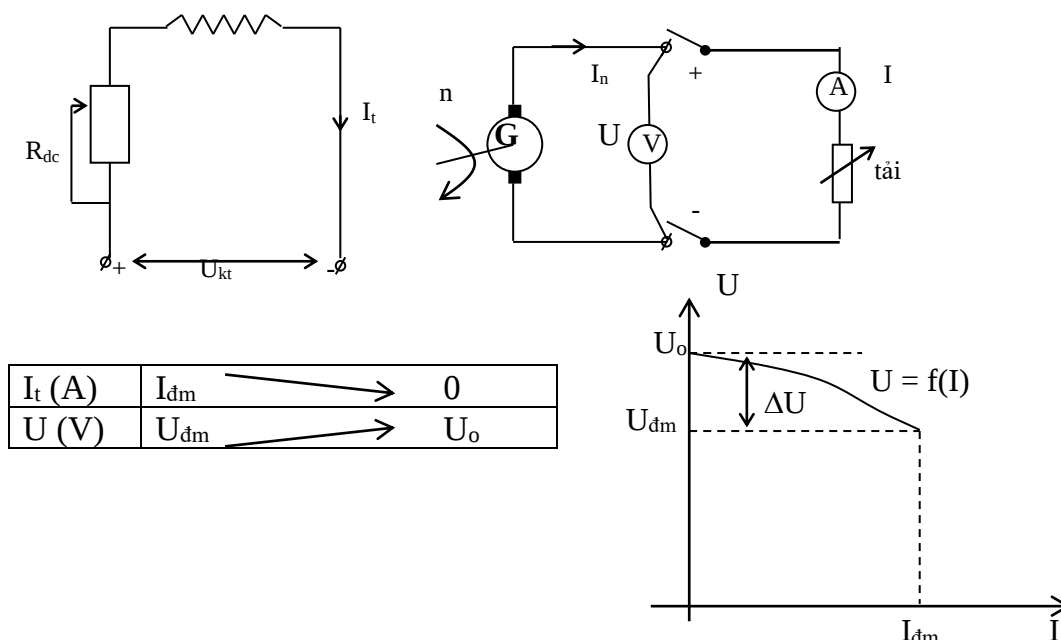


5.6.2. Đặc tính ngắn mạch: $I_n = f(I_t)$ khi $U = 0$, $n = \text{const.}$



5.6.3. Đặc tính của máy phát điện một chiều kích từ độc lập:

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



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

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

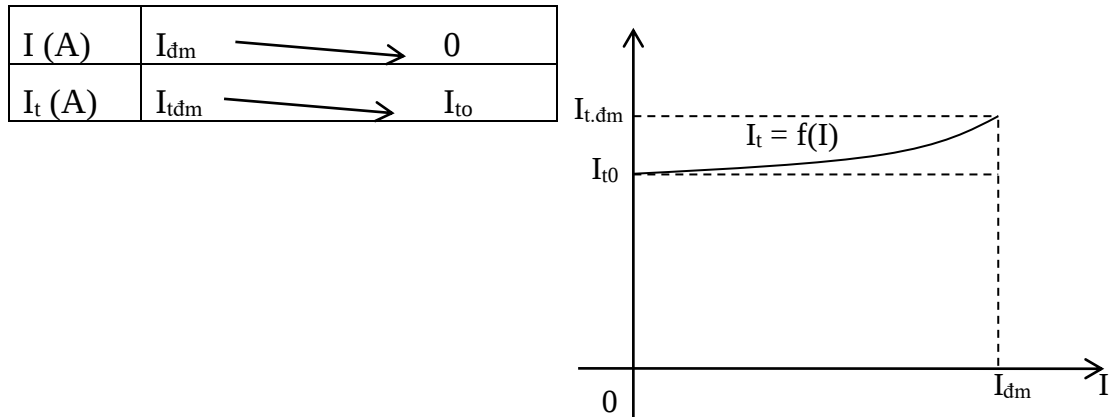
Ta thấy, khi I tăng, điện áp rơi trên dây quấn phần ứng tăng ($I_r R_r$), mặt khác do tác dụng khử từ của phản ứng phần ứng nên sức điện động E giảm. Kết quả là điện áp U máy phát điện giảm xuống.

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

$$\Delta U_{dm}\% = \frac{U_0 - U_{dm}}{U_{dm}} \cdot 100 \quad \left(\text{khi mang tải } U \downarrow (5 \div 15)\% U_{dm} \text{ so với lúc không tải} \right)$$

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

5.6.3. 2 Đặc tính điều chỉnh: $I_t = f(I)$ khi $U = \text{const}$, $n = \text{const}$



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

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

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

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

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

5.6.4.1 Điều kiện để tự kích từ:

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

5.6.4.2 Quá trình thành lập điện áp:

- **Máy phát kích từ song song** : quay rotor máy phát tới tốc độ định mức, do cực từ có từ dư nên trong dây quấn phần ứng sẽ cảm ứng một sức điện động nhỏ gọi là $E_{du} = (2 \div 3)\% U_{dm}$; E_{ur} dư tạo ra dòng điện nhỏ chạy trong dây quấn kích từ. Dòng điện này sẽ sinh ra từ trường, nếu giữa dây quấn kích từ và dây quấn phần ứng được nối đúng thì từ trường này sẽ cùng chiều với từ dư, từ trường tổng trong máy sẽ tăng lên làm cho sức điện động cảm ứng tăng. Khi sức điện động tăng, dòng điện do nó sinh ra chạy trong dây quấn kích từ lại tăng và từ trường

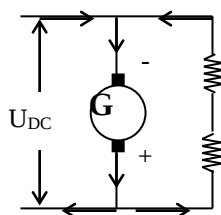
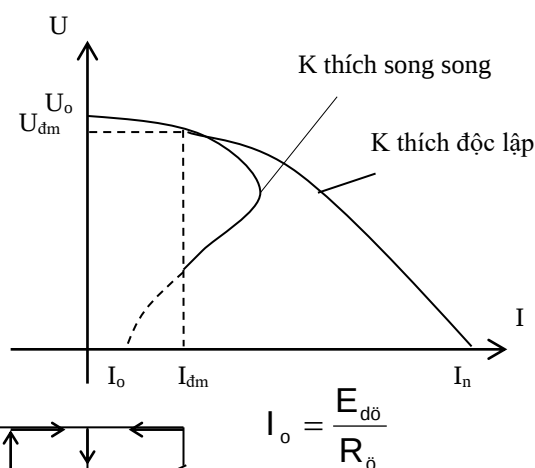
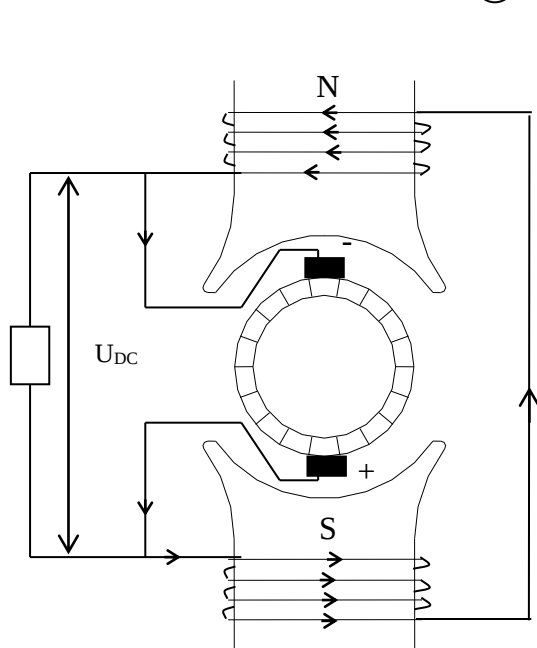
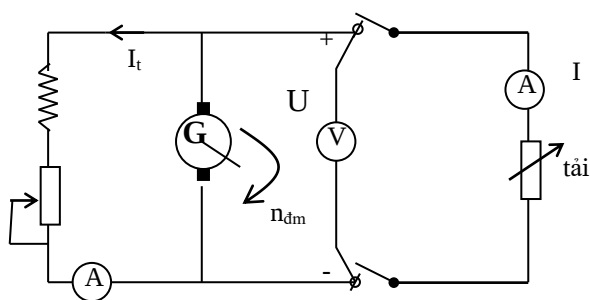
trong máy lại tăng, kết quả là sức điện động cảm ứng ở đầu cực máy phát lại tăng lên. Quá trình cứ thế tiếp diễn, sức điện động ở đầu cực máy phát tăng theo đường đặc tính không tải có dạng như đường cong từ hóa của mạch từ.

- **Máy phát một chiều kích từ nối tiếp:** vì dây quấn kích từ được nối tiếp với tải ($I_t = I_r = I$) nên ngoài các điều kiện về tự kích nói trên, để thành lập được điện áp, mạch ngoài của máy phát một chiều kích từ nối tiếp phải khép mạch qua một điện trở.
- **Máy phát một chiều kích từ hỗn hợp:** khi mở máy cuộn kích từ nối tiếp chưa có tác dụng vì dòng điện $I = I_t = 0$. Quá trình thành lập điện áp xảy ra như ở máy phát kích từ song song. Khi máy mang tải, dòng tải chạy qua dây quấn kích từ tạo nên từ trường phụ, tùy theo cách đấu cuộn kích từ nối tiếp mà từ trường phụ có tác dụng trợ từ hoặc khử từ ảnh hưởng đến đặc tính làm việc của máy.

5.6.5. Đặc tính của máy phát một chiều kích thích song song:

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

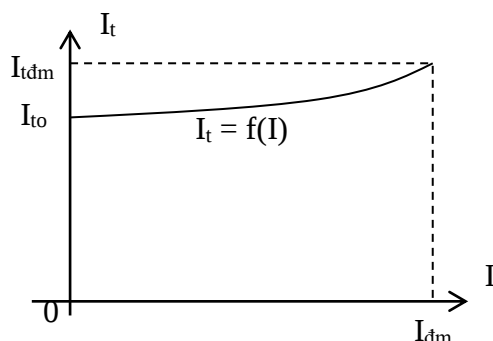
I (A)	I_{dm}	$\rightarrow$	0
U (V)	U_{dm}	$\rightarrow$	U_o



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

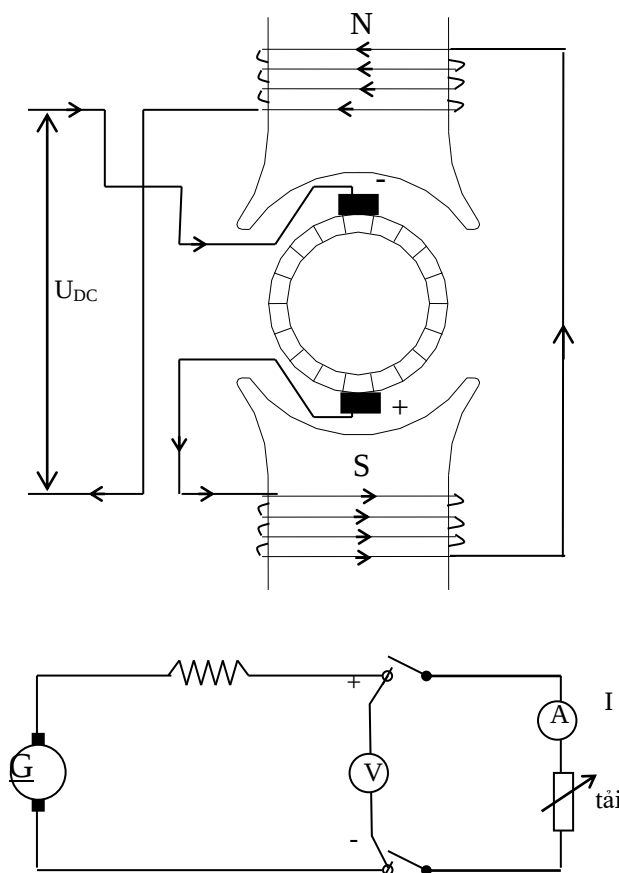
5.6.5.2 Đặc tính điều chỉnh: $I_t = f(I)$ khi $U = \text{const}$, $n = \text{const}$.

$I \text{ (A)}$	I_{dm}	$\rightarrow$	0
$I_t \text{ (A)}$	$I_{t dm}$	$\rightarrow$	I_{to}

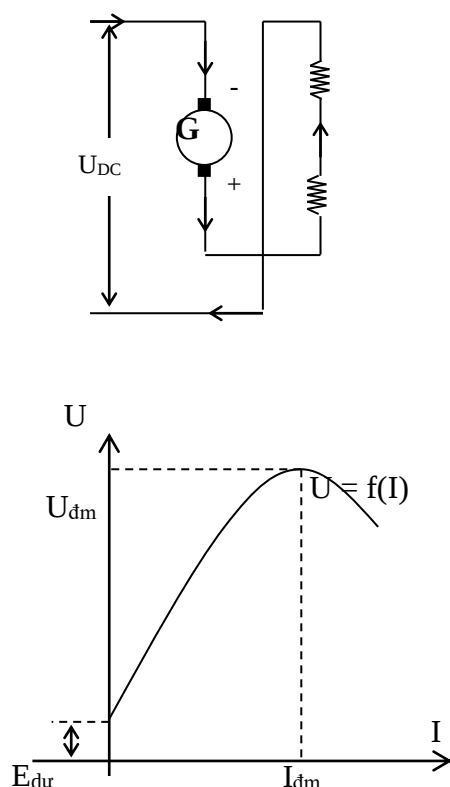


Giống như đặc tính điều chỉnh của máy phát kích từ không độc lập. Ở máy phát kích thích song song khi tăng tải, điện áp sụt nhiều hơn nên mức độ tăng dòng điện kích thích phải nhiều hơn, do đó đặc tính điều chỉnh sẽ dốc hơn.

5.6.6. Đặc tính của máy phát một chiều kích thích nối tiếp:



Đặc tính ngoài:



Đặc tính ngoài máy phát kích thích nối tiếp.

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

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

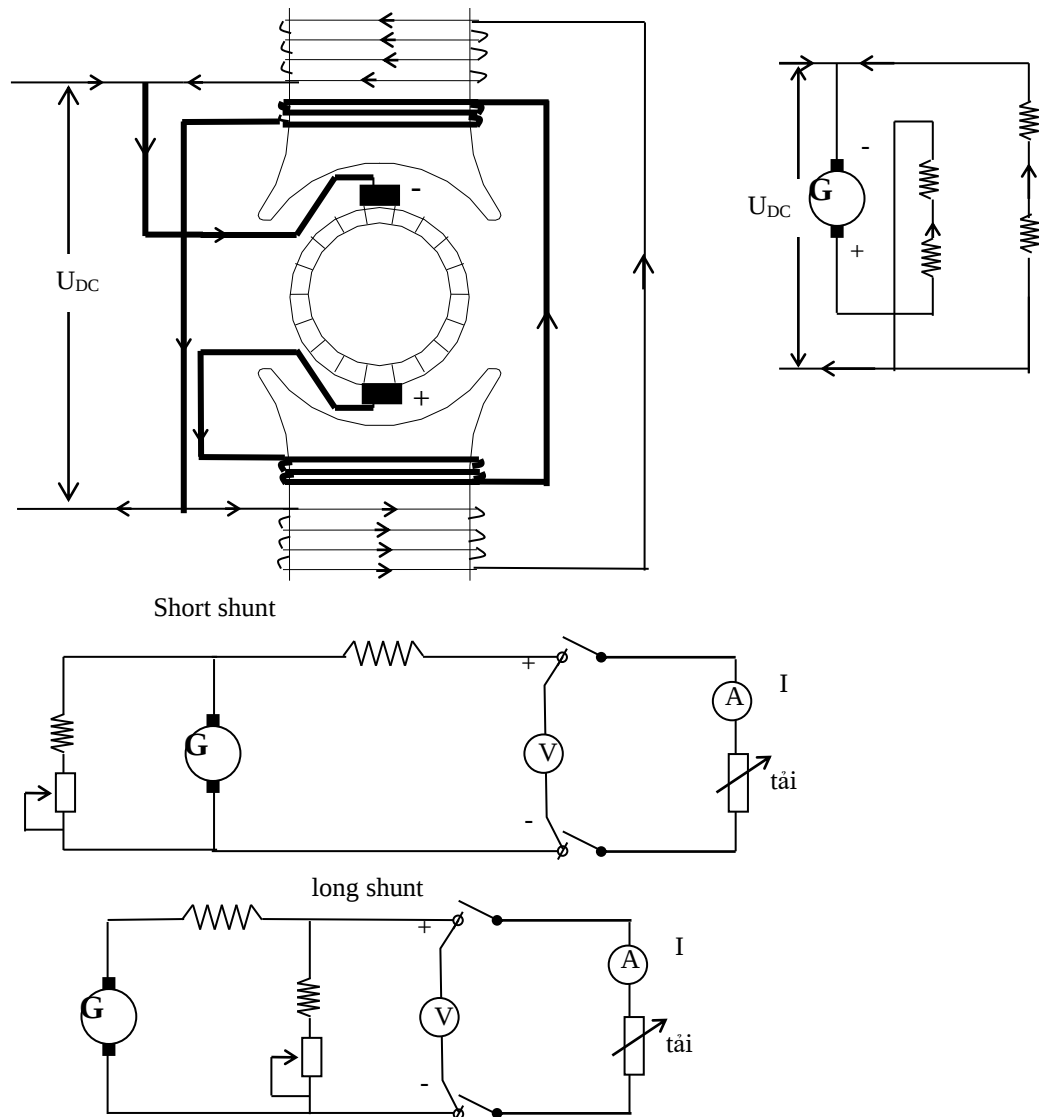
Máy chỉ được kích thích khi có tải

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

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

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

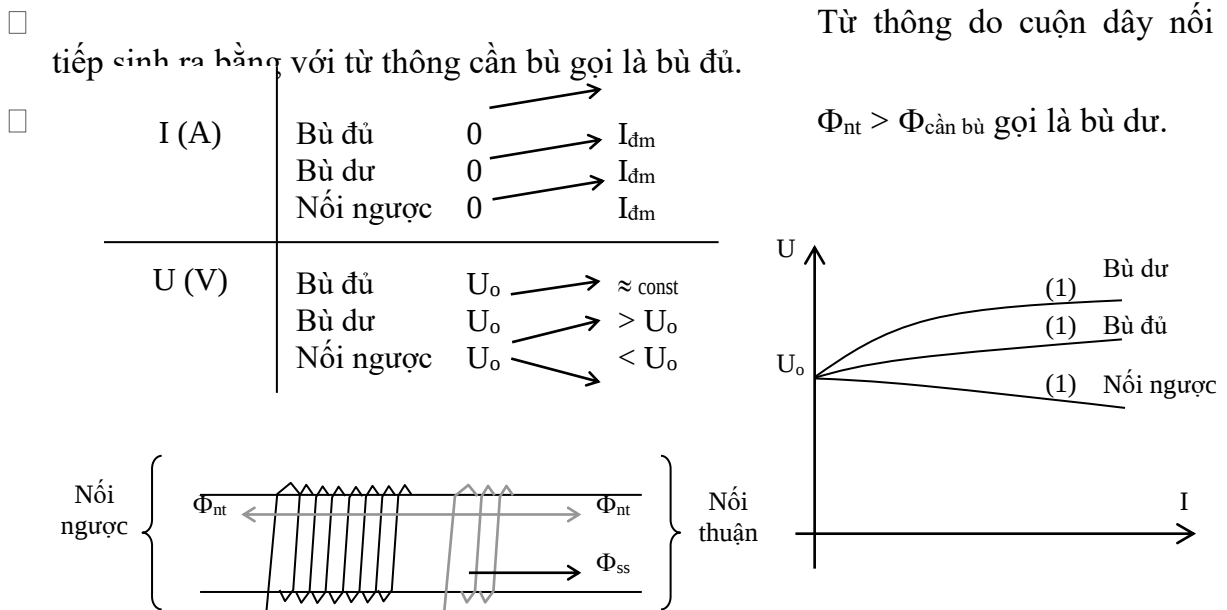
5.6.7. Đặc tính của máy phát một chiều kích thích hỗn hợp:



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

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

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



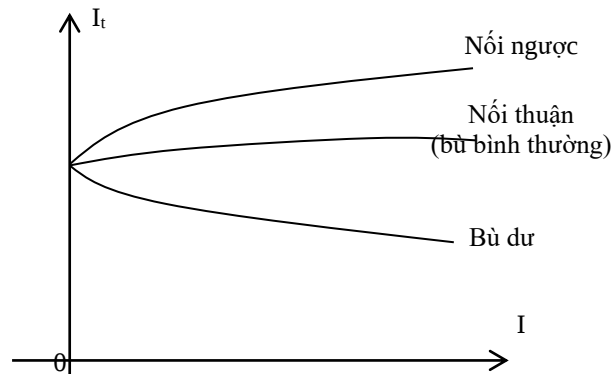
Khi nối thuận, điện áp đầu cực được giữ hầu như không đổi.

Bù thừa, điện áp tăng khi tải tăng.

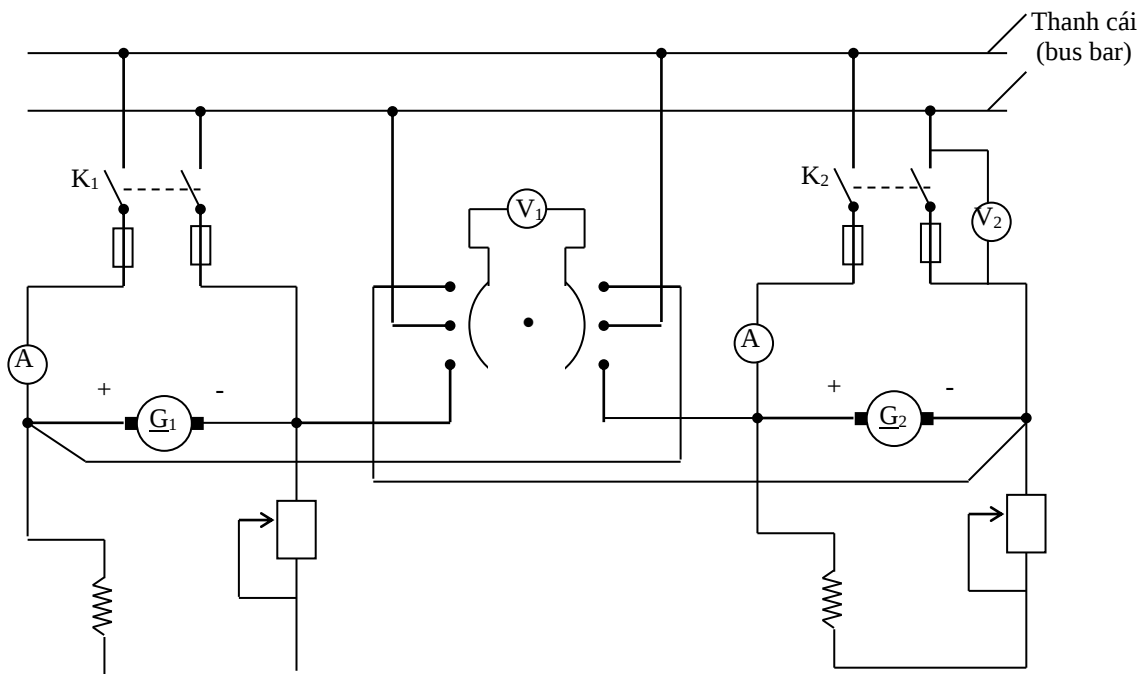
Khi nối ngược, dòng tải tăng, từ trường phụ thuộc làm giảm từ trường kích từ nên điện áp đầu cực máy phát giảm rất nhanh. Do đó, máy phát kích từ hỗn hợp được sử dụng trong những trường hợp máy phải làm việc ở điều kiện bị ngắn mạch thường xuyên như máy hàn hồ quang.

5.6.7.2 Đặc tính điều chỉnh:

$$I_t = f(I)$$



5.6.8. Máy phát điện một chiều làm việc song song:



Điều kiện làm việc song song:

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

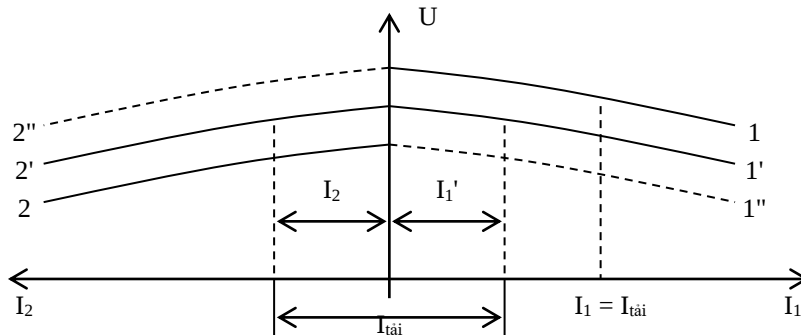
- ☐ Cực tính của $\underline{G}_2$ cùng cực tính $\underline{G}_1$ (nối đúng cực vào thanh góp).
- ☐ E_2 thực tế phải bằng U (sức điện động của $\underline{G}_2$ phải bằng điện áp U của thanh góp).

Quay $\underline{G}_2$ với n_{dm} , khi chưa kích thích $\underline{G}_2$ và giả sử $E_{dư2} = 0$ thì vôn kế V_2 chỉ một giá trị U nào đó. Sau đó tăng dần I_{t2} (dòng kích từ của $\underline{G}_2$), nếu cực tính $\underline{G}_2$ cùng cực tính $\underline{G}_1$ thì vôn kế V_2 sẽ chỉ trị số giảm dần cho đến khi vôn kế V_2 chỉ giá trị 0. Lúc đó $E_{u2} = U \rightarrow$ đóng K_2 , đưa $\underline{G}_2$ làm việc song song $\underline{G}_1$. $I_{u2} = \frac{E_{o2} - U}{R_{o2}} = 0$, rất thuận lợi

không gây tia lửa điện, nhưng $\underline{G}_2$ chưa tham gia cấp điện cho phụ tải ($I_1 = I$; $I_2 = 0$).

Muốn cho G_2 nhận tải phải tăng $E_2 > U$ ($\uparrow I_{t2}$), vì dòng điện tổng I bên ngoài không đổi nên muốn giữ U của mạng điện không đổi thì cùng với việc $\uparrow E_2$ phải đồng thời giảm E_1 ($\downarrow I_{t1}$) ($1 \rightarrow 1'$; $2 \rightarrow 2'$)

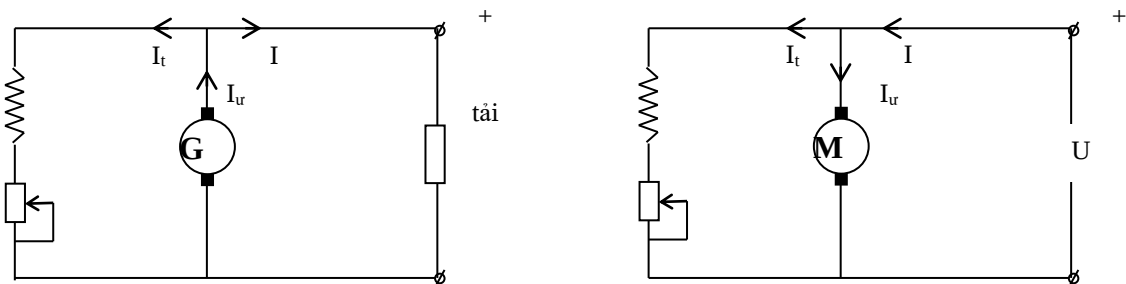
Muốn cắt máy F_1 thì $\uparrow I_{t2}$, $\downarrow I_{t1}$ sao cho $I_1 = 0$, $I_2 = I_{t\text{ải}} \rightarrow$ ngắt K_1



5.7. Động cơ điện một chiều.(D.C Motor)

5.7.1. Đại cương:

Phân loại: phân loại theo cách kích từ.
 Động cơ một chiều kích thích độc lập.
 Động cơ một chiều kích thích nối tiếp.
 Động cơ một chiều kích thích song song.
 Động cơ một chiều kích thích hỗn hợp.

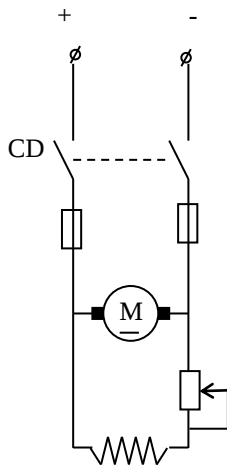


5.7.2. Mở máy động cơ điện một chiều: $n = 0 \rightarrow n_{dm}$.

Yêu cầu:

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

5.7.2.1. Mở máy trực tiếp:



Phương trình cân bằng sđđ động cơ một chiều:

$$U = E_{ur} + I_{ur} R_{ur}$$

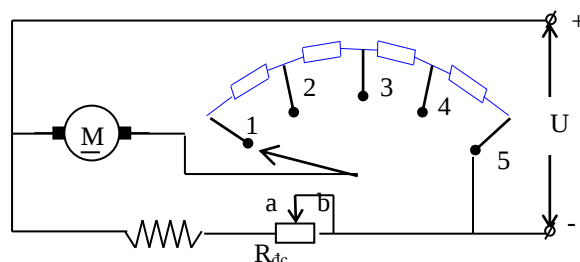
$$\Rightarrow I_{ur} = \frac{U - E_{\phi}}{R_{\phi}} \approx I_{mm}$$

Khi mở máy $n = 0$, $E_{ur} = 0 \rightarrow I_{mm} = \frac{U}{R_{\phi}}$ rất lớn (ở những

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

5.7.2.2. Mở máy bằng biến trở:

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



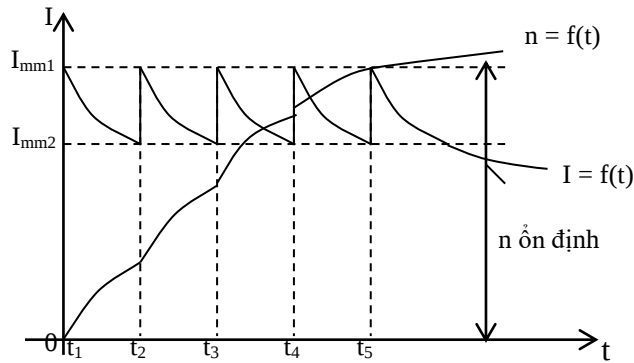
Khi bắt đầu mở máy, tay gạt đặt ở vị trí số 1, toàn bộ các điện trở phụ được nối tiếp với dây quấn phần ứng, đồng thời con chạy của biến trở mạch kích từ ở vị trí a ($R_{dc} = 0$) nên dây quấn kích từ được nối trực tiếp với điện áp nguồn, từ trường kích từ đạt giá trị cực đại ($\Phi = \Phi_{max}$). Tại thời điểm t_1 , dòng đạt giá trị I_{mm1} là giới hạn trên. Khi n tăng, sđđ $E_{ur} \uparrow$, do sự xuất hiện và tăng lên của $E \rightarrow I_{mm} \downarrow$, khiến n tăng chậm hơn. Khi I_{mm} giảm đến trị số $(1,1 \div 1,3) I_{dm}$ ta gạt đến vị trí 2. Ở vị trí này, 1 cặp điện trở bị loại bỏ nên $I_{mm} \uparrow$ đến giới hạn trên của nó (I_{mm1}) kéo theo moment, n và E_{ur} tăng. Sau đó I_{mm} , M lại giảm theo qui luật trên. Lần lượt chuyển tay gạt đến vị trí 3, 4, 5. Tại vị trí 5 thì toàn bộ điện trở mở máy loại khỏi phần ứng và tốc độ động cơ đạt tốc độ ổn định.

I_{mm2} phải tạo ra moment động lực dương.

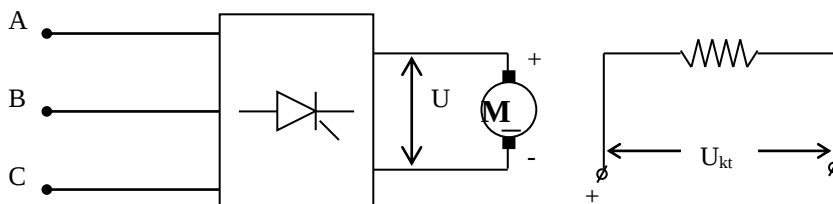
$$M_{nl} = J \frac{d\omega}{dt} = (M_N - M_C) > 0$$

M_D : moment của động cơ

M_C : moment cản



5.7.2.3. Hạ điện áp đặt vào phần ứng:



$$I_{mm} = \frac{U_1}{R_{\sigma}}$$

$$\text{vôùi } U_1 < U_{\text{đm}}$$

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

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

Momen mở máy phải đủ lớn

5.7.3. Đảo chiều quay động cơ một chiều :

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

5.7.4. Điều khiển tốc độ của động cơ điện một chiều:

$$U = C_E \phi n + I_{\sigma} R_{\sigma}$$

$$n = \frac{U - I_{\sigma} R_{\sigma}}{C_E \phi}$$

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

Điều khiển Φ

Điều khiển điện áp đặt vào phần ứng

Điều khiển R_{σ}

➤ **Điều khiển từ thông.**

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

➤ **Điều khiển điện trở mạch phản ứng.**

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

➤ **Điều khiển điện áp.**

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

5.7.4.1 Động cơ kích từ song song:

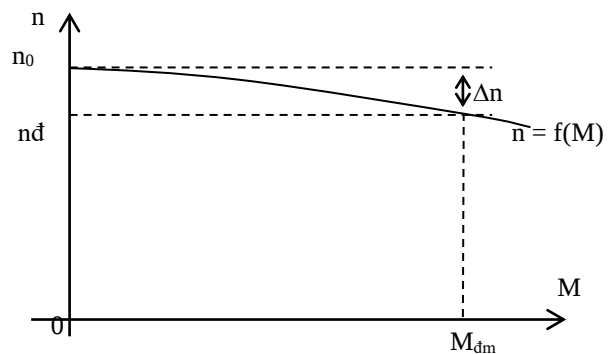
➤ **Đặc tính cơ và tốc độ tự nhiên: (mạch phản ứng không có điện trở phụ)**

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

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

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

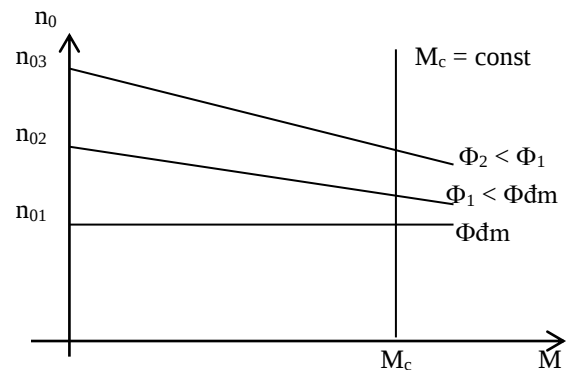
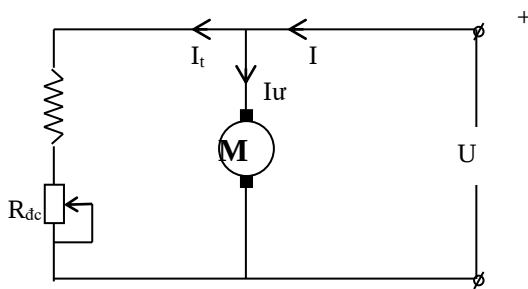
k: hằng số



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

➤ **Điều chỉnh tốc độ :**

- Phương pháp thay đổi Φ (tốc độ lớn hơn tốc độ định mức)



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

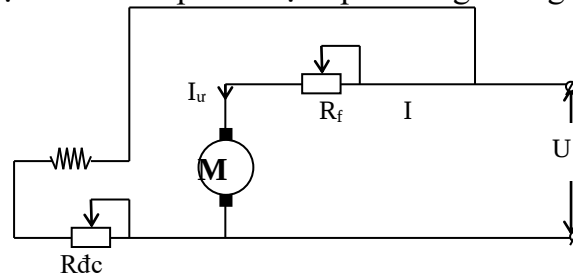
$$\text{Khi } R_{đc} \uparrow \rightarrow I_{kt} \downarrow \rightarrow \Phi \downarrow \rightarrow E_u = C_u \cdot \Phi \cdot n \downarrow \rightarrow I_o = \frac{U - E_o}{R_o} \uparrow \rightarrow M \uparrow > M_{cân} \rightarrow n \uparrow \rightarrow$$

$E_u \uparrow \rightarrow I_u \downarrow$. Quá trình tiếp diễn đến lúc động cơ làm việc ổn định. ($M_{dt} = C_M \cdot \Phi \cdot I_u$)

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

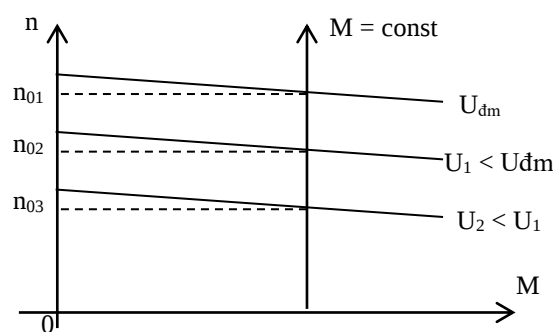
- Phương pháp thay đổi điện trở mạch phản ứng (thấp hơn tốc độ định mức) :

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



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

- Phương pháp thay đổi điện áp:



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

Khi $U \downarrow$, $n_0 \downarrow$ độ dốc phụ thuộc R_u .

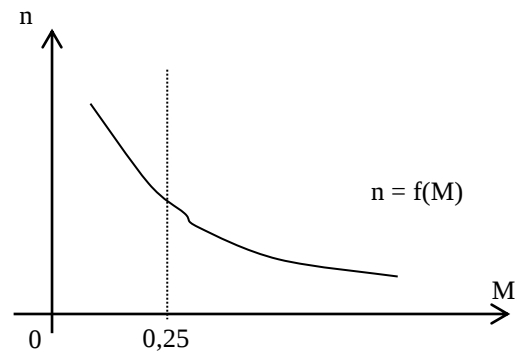
5.7.4.2. Động cơ kích từ nối tiếp:

➤ Đặc tính cơ :

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

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

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



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

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

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

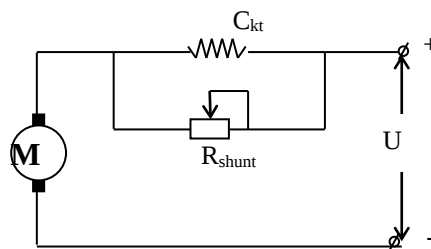
$\rightarrow$ động cơ kích từ nối tiếp rất ưu việt trong những nơi cần điều kiện mở máy nặng nề và cần tốc độ thay đổi trong vùng rộng.

➤ Điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi từ thông Φ :

Thay đổi Φ bằng những phương pháp sau:

- Mắc song song dây quấn kích thích bằng một điện trở.
- Mắc shunt dây quấn phản ứng bằng một điện trở.
- Thay đổi điện áp.

➤ Mắc shunt dây quấn kích thích: $\Phi \downarrow \rightarrow n \uparrow$, điều chỉnh $\Phi < \Phi_{dm}$ và tốc độ thay đổi trong vùng trên vùng định mức.

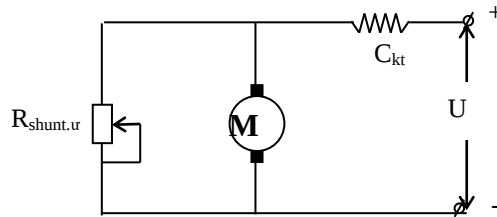


➤ Mắc điện trở song song phản ứng :

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

Điều chỉnh tốc độ dưới tốc độ định mức.

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



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

5.7.4.3. Động cơ một chiều kích từ hỗn hợp:

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

Bài tập:

Bài 1 Động cơ một chiều kích từ song song 230V; 15HP; tốc độ 1750v/ph; dòng điện định mức 56,2 A ; điện trở phần ứng là 0,280Ω ; điện trở cuộn kích từ 137 Ω. Tính :

- 1/ Momen định mức.
- 2/ Dòng mở máy khi động cơ được mở máy trực tiếp.
- 3/ Điện trở mở máy cần mắc nối tiếp trên mạch phần ứng để giới hạn dòng mở máy sao cho dòng mở máy bằng 1,5 lần dòng điện định mức của phần ứng.

Bài 2 Động cơ một chiều kích từ song song 240V; có dòng định mức là 100A; điện trở phần ứng là 0,5Ω ; điện trở cuộn kích từ 120 Ω. Tổng tổn hao sắt và cơ là 500W. Tính :

- 1/ Tổn hao đồng kích từ
- 2/ Tổn hao đồng phần ứng
- 3/ Công suất định mức.
- 3/ Hiệu suất.

Bài 3 Một động cơ điện một chiều kích thích song song công suất định mức $P_{dm} = 5,5 \text{ kW}$, $U_{dm} = 110 \text{ V}$, $I_{dm} = 58 \text{ A}$ (tổng dòng điện đưa vào bao gồm dòng điện phần ứng I_r và kích từ I_t), $n_{dm} = 1470 \text{ vòng/phút}$. Điện trở phần ứng $R_r = 0,15 \Omega$, điện trở mạch kích từ $r_t = 137 \Omega$, điện áp giáng trên chổi than $2 \Delta U_{tx} = 2 \text{ V}$.
Hỏi sức điện động phần ứng, dòng điện phần ứng và momen điện từ ?

Bài 4 Một động cơ kích từ song song được nối với nguồn 200V. Dòng điện đầy tải là 10A. Và điện trở cuộn kích từ là 100Ω , điện trở phản ứng là $0,5\Omega$ và hiệu suất là 80%. Tính :

- 1/ Dòng điện phản ứng.
- 2/ Điện áp rơi trên phản ứng
- 3/ Sức phản điện được sinh ra trên phản ứng
- 4/ Công suất ra của động cơ.

Bài 5 Một máy phát điện một chiều kích từ song song có các số liệu định mức sau : $P_{dm} = 18kW$, $U_{dm} = 230V$, $n = 2000v/phút$, điện trở phản ứng $R_{ur} = 0,04\Omega$, $R_{kt} = 115\Omega$. Tính :

- 1/ dòng điện kích từ
- 2/ Dòng điện định mức
- 3/ Dòng điện phản ứng
- 4/ Sức điện động phản ứng
- 5/ Khi tổn hao mạch từ và ma sát chiếm 4,33% P_{dm} . Xác định hiệu suất.

Bài 6 Tổn hao sắt và cơ khí của một động cơ một chiều kích từ song song 240 V là 865 W; điện trở cuộn kích từ là 92Ω và điện trở phản ứng là 0.12Ω ; dòng điện định mức là 140 A. Tìm:

1. Tổn hao đồng kích từ
2. Tổn hao đồng phản ứng
3. Công suất định mức
4. Hiệu suất

Bài 7 Một máy phát một chiều kích từ song song 20 kW, 220 V có điện trở phản ứng là 0.07Ω và điện trở cuộn kích từ song song là 200Ω . Xác định công suất điện từ.

Bài 8 Một máy phát một chiều kích từ độc lập 100 kW cung cấp 50kW cho tải ở điện áp 125 V. Nếu cắt tải và giữ nguyên vận tốc, điện áp là 137 V. Tính điện trở phản ứng.

Bài 9 Bộ động cơ – máy phát một chiều có các thông số sau:

Động cơ:	200 V	290 A	44.76 kW
Máy phát:	400 V	96 A	

Tính:

1. hiệu suất của động cơ
2. hiệu suất của máy phát

3. hiệu suất toàn bộ

Bài 10 Một máy phát kích từ độc lập 5 kW; 125 V có điện trở phần ứng là 0.2Ω .
Tính điện áp không tải và suy ra phần trăm thay đổi điện áp.

Một động cơ một chiều kích từ song song 240 V sinh ra một momen là 20 Nm khi dòng điện phần ứng là 12 A. giá trị từ thông thì cố định. Tính momen sinh ra khi dòng điện phần ứng là 20 A.

Bài 11 Khi sinh ra một momen 18 Nm thì một động cơ một chiều kích từ song song 240 V tiêu thụ một dòng điện từ nguồn cấp là 10 A. Dòng kích từ là 1.5 A. Tính dòng điện motor lấy từ nguồn khi nó sinh ra một momen là 60 Nm. Giả sử từ thông không đổi giá trị.

Bài 12 Một động cơ điện một chiều lấy từ lưới 20 A khi sinh ra một momen 60 Nm. Dòng điện cuộn kích từ song song là 5 A. Dòng lấy từ nguồn là bao nhiêu khi cần một momen là 100 Nm. Giả sử từ thông không đổi.

Bài 13 Một động cơ 2.238 kW có hiệu suất là 75% và dòng điện dây là 14.92 A. Tính điện áp đầu cực của động cơ.

Bài 14 Tính hiệu suất motor có công suất đầu vào là 3.5 kW. Tổng tổn hao đồng, cơ khí và lõi thép là 750W

Bài 15 Một động cơ một chiều 240 V có công suất định mức 3 hp, hiệu suất 80%. Tính dòng điện động cơ lấy từ lưới.