

1

CƠ SỞ ĐIỆN TỪ TRONG LÝ THUYẾT MÁY ĐIỆN.

1.1. Khái quát chung.

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

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

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

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

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

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

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

1.2. Các định luật điện từ:

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

1.2.1. Lực Lorentz.

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

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

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

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

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

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

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 :

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

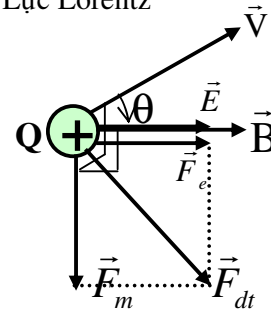
Như vậy khi một hạt mang điện tích, dịch chuyển trong trường điện từ thì sẽ có lực tác động lên điện tích đó, lực đó gọi là lực Lorentz.

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

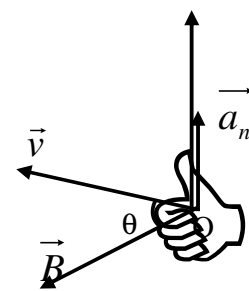
Hình 1.1

Lực Lorentz



Hình 1.2

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



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

Lực từ tác động lên phần tử dòng dQ :

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

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

ta có : $dQ = I \cdot dt$

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

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

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

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

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

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

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

Độ lớn lực từ :

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

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

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

I.2.3.a. Moment.

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

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

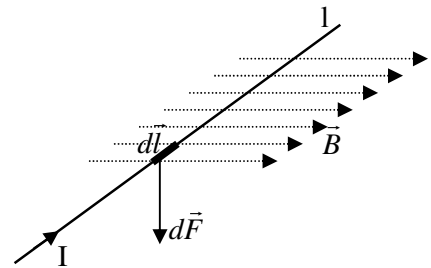
$$(1-5)$$

Điểm P đặt lực \vec{F} nằm trong mặt phẳng xy , lực \vec{F} cùng 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

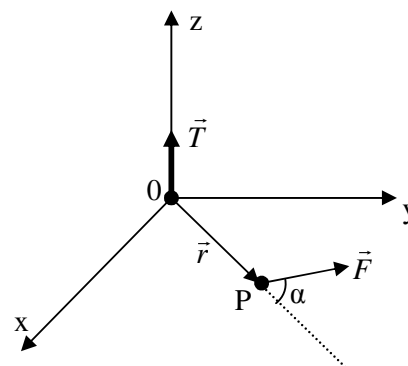
Hình 1.3

Lực từ tác động lên dây dẫn



Hình 1.4

Moment



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

I.2.3.b. Moment từ của một cuộn dây.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

S : diện tích của cuộn dây.

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

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

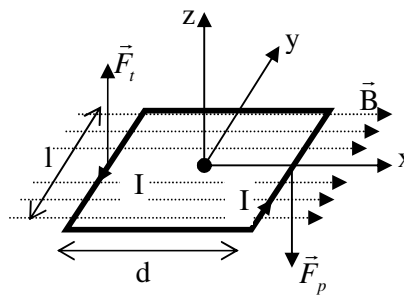
$$\vec{m} = N.I.S.\vec{a}_n \tag{1-7}$$

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

Với moment từ, và từ trường sẽ có

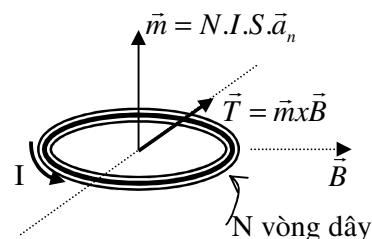
Hình 1.5

Moment



Hình 1.6

Moment từ



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

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

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

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

I.3. Độ tự cảm của một cuộn dây.

Xét cuộn dây có N vòng, mang dòng điện I có chiều như hình vẽ (Hình 1.7). 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

:

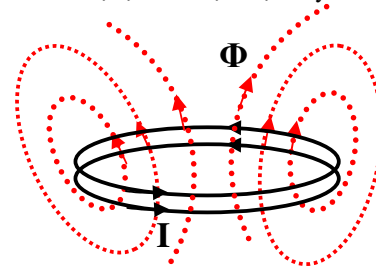
$$\Psi = N \cdot \Phi \quad (\text{Wb} - \text{vòng}) \quad (1-9)$$

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



I.4. Định luật Faraday.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Định luật Faraday cho thanh dẫn chuyển động .

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

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

Định luật Faraday :

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

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

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

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

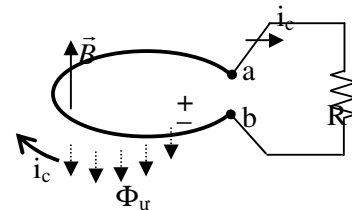
Điện áp V trong cuộn dây gọi là điện áp tự cảm ứng của cuộn dây.

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

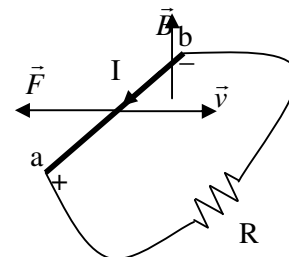
Hình 1.8

Điện áp cảm ứng



Hình 1.9

Điện áp cảm ứng



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

I.5. Mạch từ và bài toán mạch từ.

Mạch từ.

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

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

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

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

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

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

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

Từ thông xuyên qua lõi là :

$$\Phi_0 = B_0 S$$

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

Xét mạch từ có lõi sắt từ (Hình 1.11)

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

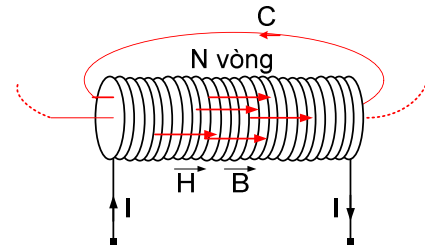
$$B = \mu_r \mu_0 H = \mu \cdot B_0$$

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

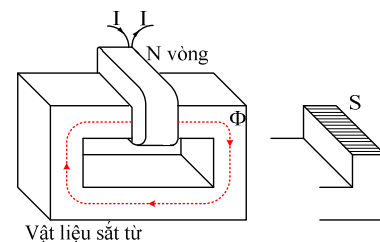
Hình 1.12a,b sau là đường cong từ hoá (quan hệ $B - H$) của vật liệu sắt từ, đường cong từ hoá cho phép xác định độ từ thẩm của vật liệu.

Hình 1.12:

Hình 1.10



Hình 1.11



Đường cong B – H.

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

Cách nào đo được B ?

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

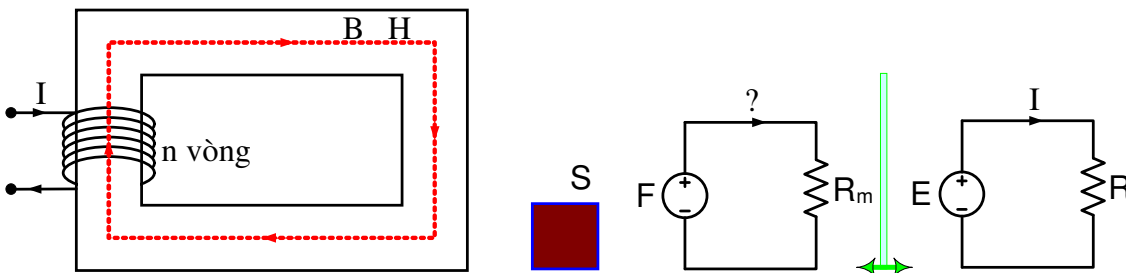
$$\mu_r = \frac{B}{\mu_0 H}$$

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

Bằng phương pháp này, xây dựng đặc tuyến biểu diễn mối quan hệ giữa 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 ?

Hình 1.13



Định luật mạch từ.

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

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

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

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

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

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

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

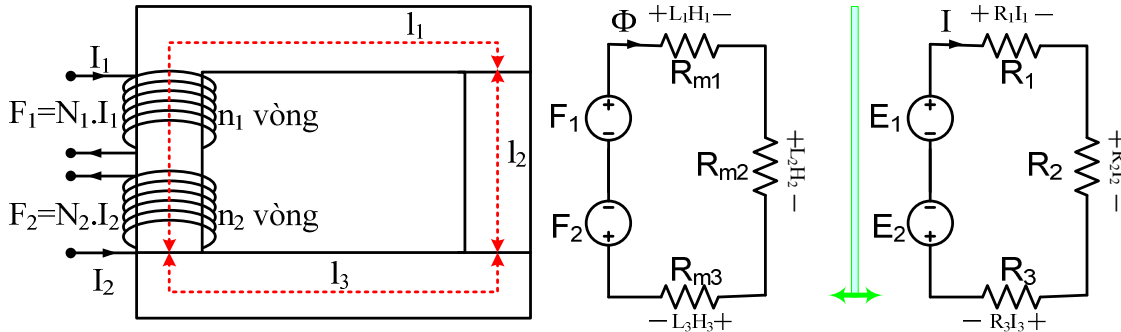
Bảng so sánh sự tương tự mạch điện và mạch từ :

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

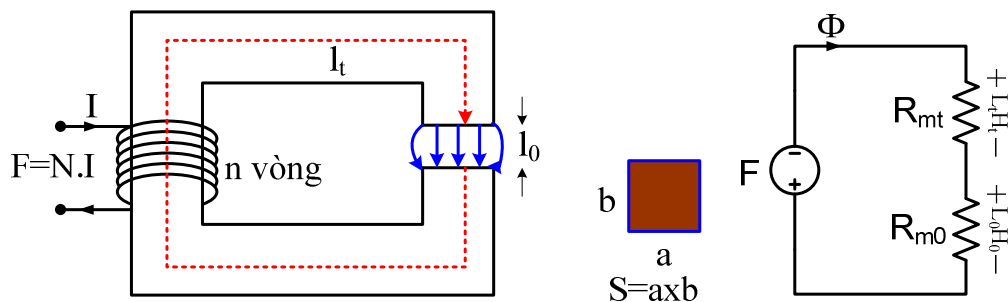
$$(R_{m1} + R_{m2} + R_{m3}) \Phi = F_1 - F_2$$

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 Kirchoff 2 trong mạch điện.

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

Hình 1.15



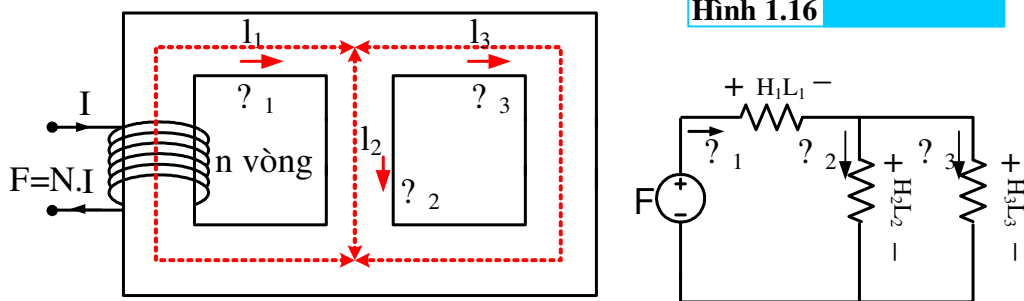
Khe hở không khí được thiết kế càng nhỏ càng tốt, vì từ áp qua khe hở không khí lớn hơn nhiều so với từ áp trong lõi thép.

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 :

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

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

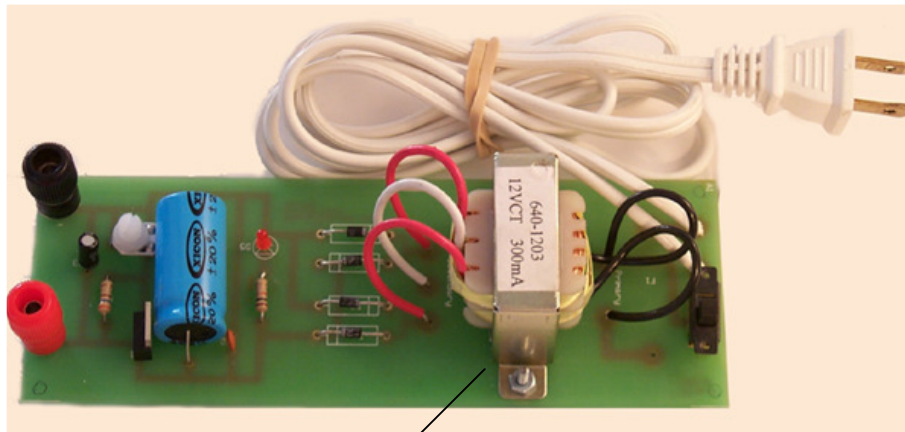
Nếu mạch từ được cấu tạo từ nhiều vật liệu khác nhau, ta phải dùng đến đường cong B – H tương ứng với từng loại vật liệu. Nếu một nhánh có chứa khe hở không khí, từ áp qua nhánh đó vẫn tính như một từ trở nối tiếp vào nhánh

Chương 2 MÁY BIẾN ÁP (Transformer)

2.1. GIỚI THIỆU TỔNG QUAN.



Hình : Trạm biến áp



Hình : Máy biến áp một pha

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

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

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

2.2. ĐỊNH NGHĨA.

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

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

$U_1 > U_2$: Máy biến áp giảm áp.

$U_1 < U_2$: Máy biến áp tăng áp.

2.3. CẤU TẠO.

Máy biến áp bao gồm ba phần chính:

Lõi thép của máy biến áp (Transformer Core)

Cuộn dây quấn sơ cấp (Primary Winding)

Cuộn dây quấn thứ cấp (Secondary Winding)

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

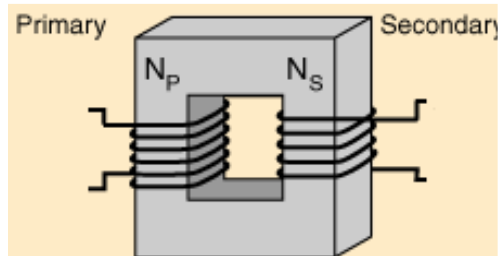
- **Lõi thép:** được tạo thành bởi các lá thép mỏng ghép lại, về hình dáng có hai loại: loại trụ (core type) và loại bọc (shell type)
 - Loại trụ: được tạo bởi các lá thép hình chữ U và chữ I. Một lượng lớn từ trường sinh ra bởi cuộn dây sơ cấp không cắt cuộn dây thứ cấp, hay máy biến áp có một từ thông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

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

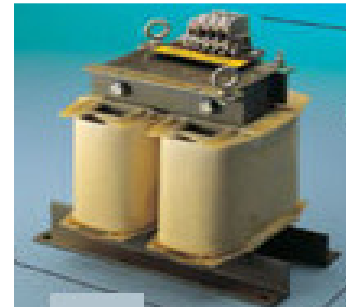
- Loại bọc: được tạo bởi các lá thép hình chữ E và chữ I. Lõi thép loại này bao bọc các cuộn dây quấn, hình thành một mạch từ có hiệu suất rất cao, được sử dụng rộng rãi.

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

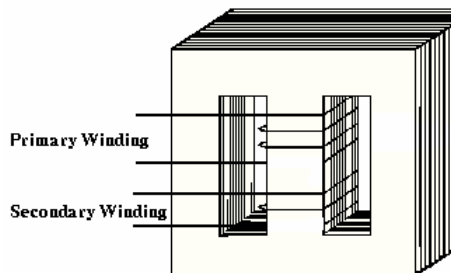
- **Dây quấn sơ cấp** (Primary Winding)
- **Dây quấn thứ cấp** (Second Winding)



Hình : Hình dạng máy biến áp một pha loại trụ



Hình : Máy biến áp một pha loại trụ

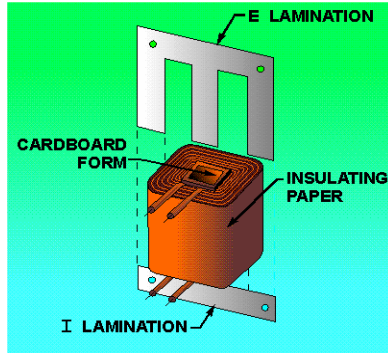


Hình : Hình dạng máy biến áp một pha loại bọc



Hình : Máy biến áp một pha loại bọc

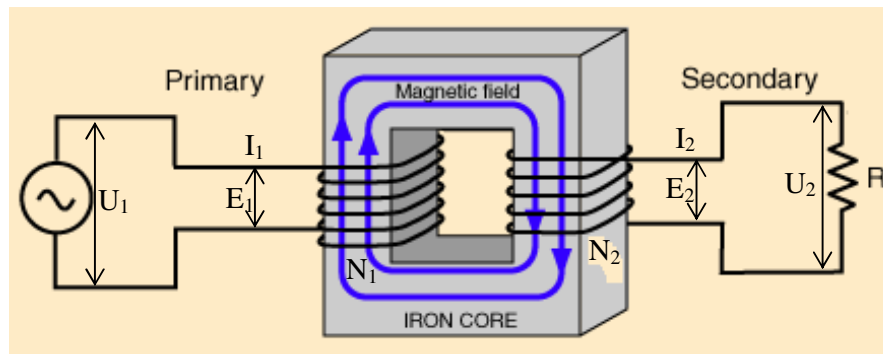
Dây quấn máy biến áp được chế tạo bằng dây đồng hoặc nhôm, có tiết diện hình tròn hoặc hình chữ nhật. Đối với dây quấn có dòng điện lớn, sử dụng các sợi dây dẫn được mắc song song để giảm tổn thất do dòng điện xoáy trong dây dẫn. Bên ngoài dây quấn được bọc cách điện.



Hình : Lắp ráp máy biến áp

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

2.4. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC:



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

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

Đặt điện áp xoay chiều u_1 vào dây quấn sơ cấp trong đó sẽ có dòng i_1 , dòng i_1 sẽ tạo ra từ thông xoay chiều 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_L , trong dây quấn thứ cấp sẽ có dòng i_2

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- *Tỉ số biến áp:*

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

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

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

2.5. CÁC ĐẠI LƯỢNG ĐỊNH MỨC:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Vd: Y/ Δ -11(330°)

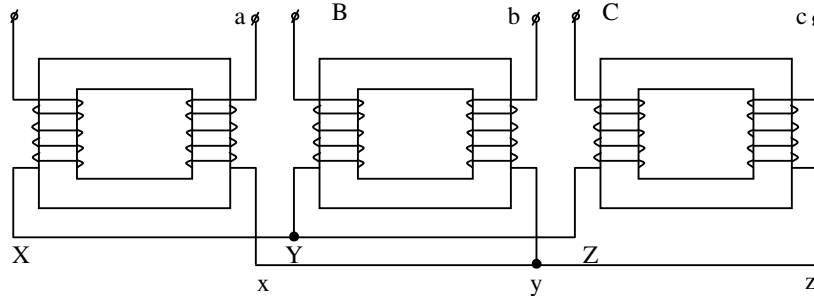
- $\cos \varphi_2$: hệ số công suất của tải
- Hiệu suất $\eta\%$ -----

2.6. MÁY BIẾN ÁP 3 PHA:

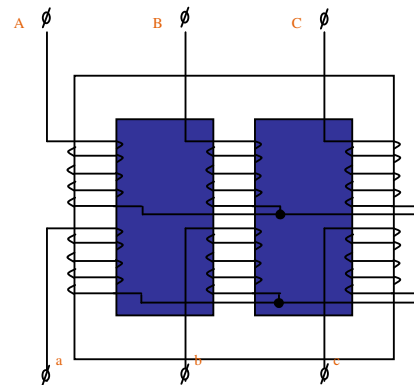
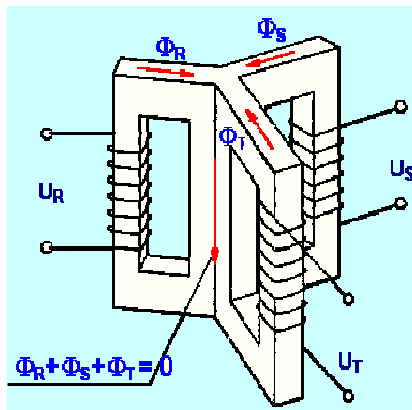
Máy biến áp ba pha đóng vai trò rất quan trọng trong việc truyền tải và phân phối điện năng. Kết cấu lõi thép máy biến áp ba pha có 2 loại, dựa vào sự liên quan hay không liên quan giữa hai mạch từ mà phân ra thành mạch từ riêng và mạch từ chung.

2.6.1 Máy biến áp 3 pha mạch từ riêng:

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



2.6.2 Máy biến áp 3 pha mạch từ chung



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

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

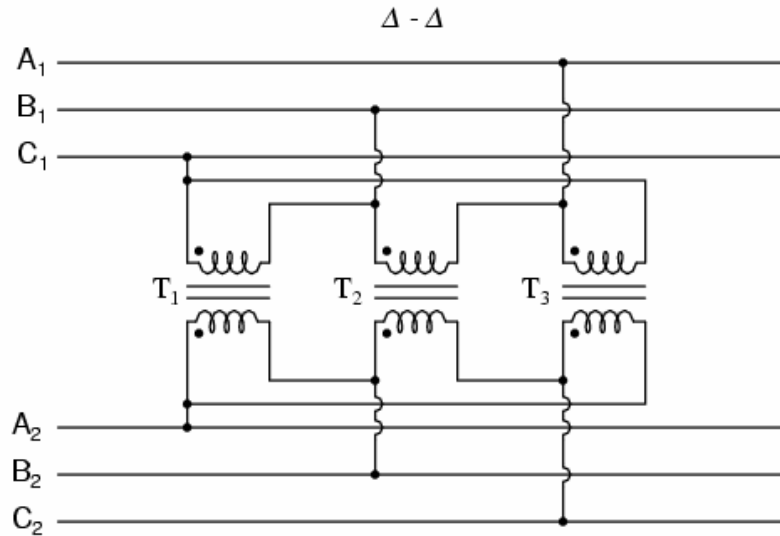
2.7. CÁC KIỂU KẾT NỐI BA PHA

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

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

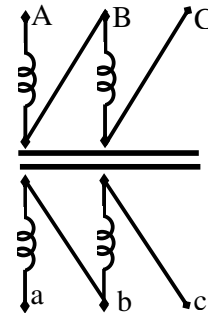
Có bốn kiểu đấu dây:

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



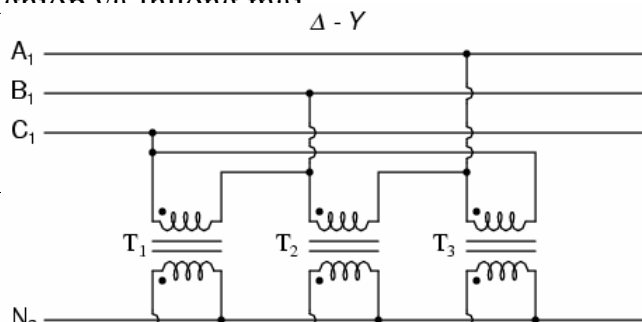
Hình : Nối Δ/Δ

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.



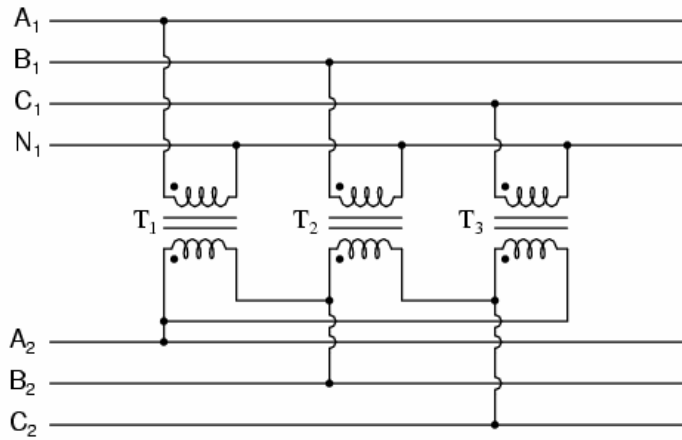
Ví dụ: Công suất mỗi máy biến áp một pha là 25kVA, tổng công suất của ba máy là 75kVA. Nếu một máy được tháo ra và vận hành theo kiểu đấu tam giác hở thì công suất còn lại là $75\text{kVA} \times 58\% = 43.5\text{kV}$

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



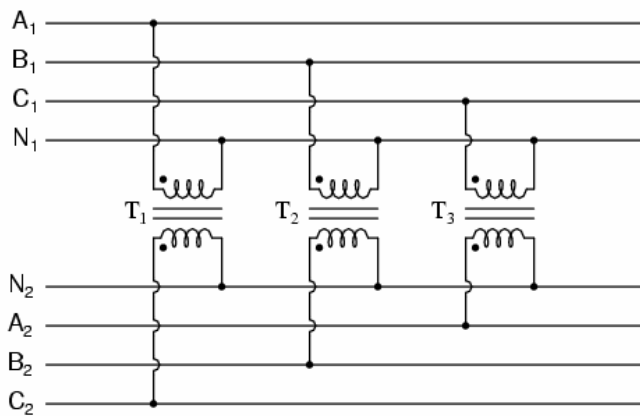
Hình :Nối ΔY

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



Hình :Nối ΔY

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



Trong các máy biến áp truyền tải điện năng, phía cao áp thường đấu Y và phía hạ áp thường đấu 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. Ở các máy biến áp phân phối thường phía hạ áp đấu Y_0 để cung cấp cho phụ tải hỗn hợp: vừa cần điện áp dây, vừa cần điện áp pha.

2.8. TỔ NỐI DÂY CỦA MÁY BIẾN ÁP BA PHA

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

• Chiều quấn dây

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

• Ký hiệu các đầu dây

Cuộn dây sơ cấp:

Đầu đầu : A, B, C

Đầu cuối : X, Y, Z

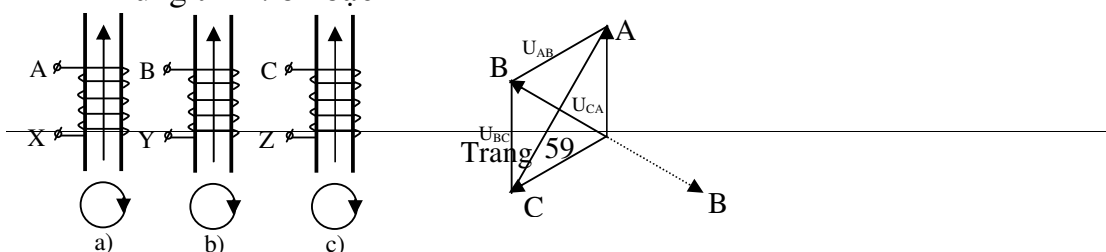
Trung tính : O hoặc N

Cuộn dây thứ cấp :

Đầu đầu : a, b, c

Đầu cuối : x, y, z

Trung tính : o hoặc n

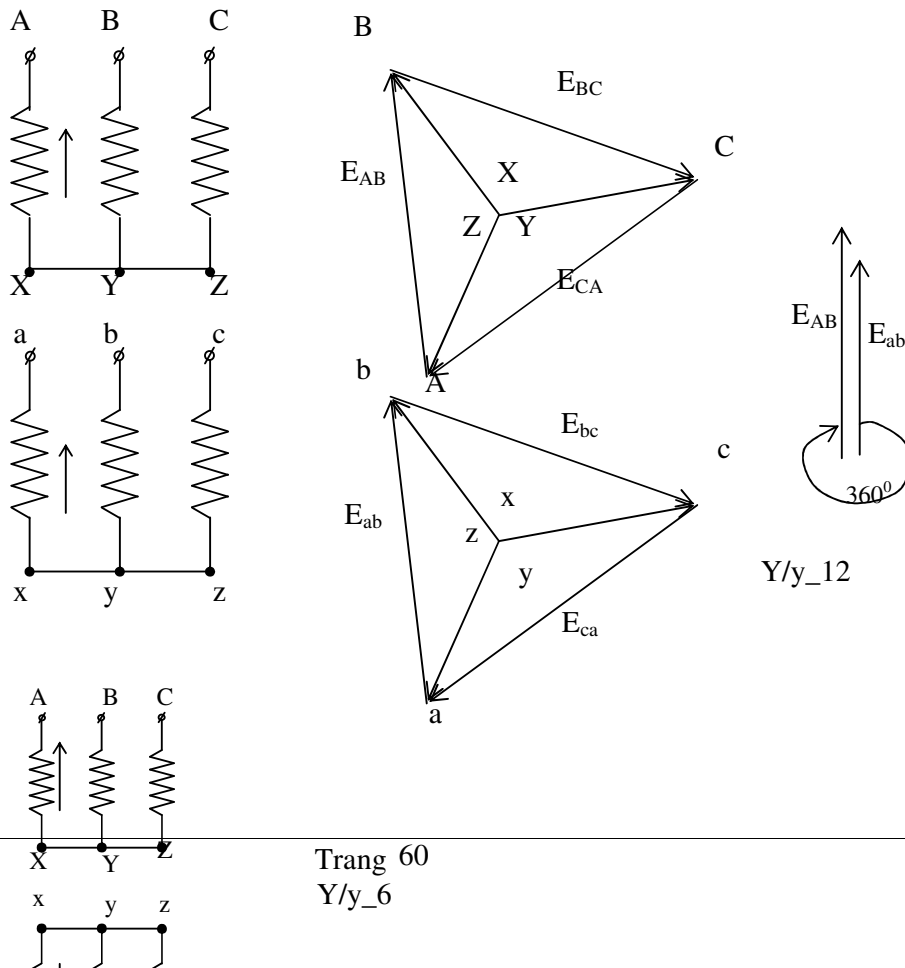


❖ **Xác định tổ nối dây:**

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

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

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



Ví dụ 2:

2.9. TỈ SỐ BIẾN ÁP:

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

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

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

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

✓ Tổ nối dây: Y/ Δ

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

✓ Tổ nối dây: Y/ Y_0

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

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

2.10. QUAN HỆ ĐIỆN TỬ TRONG MÁY BIẾN ÁP.

2.10.1 Các Phương Trình Cơ Bản Của Máy Biến Áp.

b) Phương trình cân bằng sức điện động.

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

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

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

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:

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

Từ biểu thức :

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

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

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

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

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

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

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

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

b) Phương trình cân bằng sức từ động.

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

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

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

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

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

Điện áp U_1 được nối với lưới điện, do đó có thể xem như không thay đổi. Do đó sức điện động E và từ thông 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 :

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

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

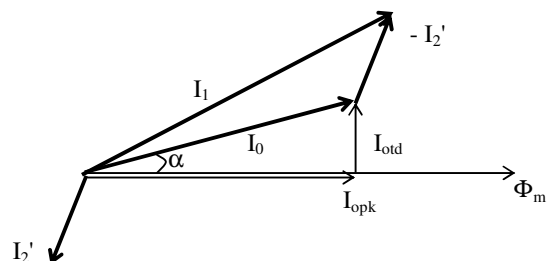
$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 - \dot{I}_2'$$

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

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

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

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



như sau:

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

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

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

Tuy nhiên do quan hệ $B(H)$ trong mạch từ là không tuyến tính, có đoạn từ hoá lõi thép, và có hiện tượng tổn hao do từ trễ do đó từ quan hệ $\phi(t)$ và $\phi(i_0)$ có thể xác định được i_0 và kết quả là $i_0(t)$ bị lệch pha so với $\phi(t)$ một góc 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.

2.10.2 Mô Hình Toán MBA.

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

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

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

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

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

Tương tự ta có : $U_2' = k.U_2$

✚ Dòng điện (I_2')

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

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

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

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

Tương tự: $X_2' = k^2 X_2$

$Z_2' = k^2 Z_2$

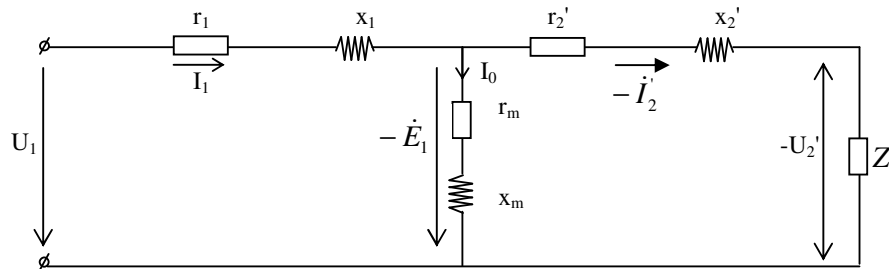
Như vậy sau khi quy đổi, ta có một hệ phương trình mô tả toán học MBA như sau :

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

2.11. Sơ Đồ Tương Đương Của MBA.

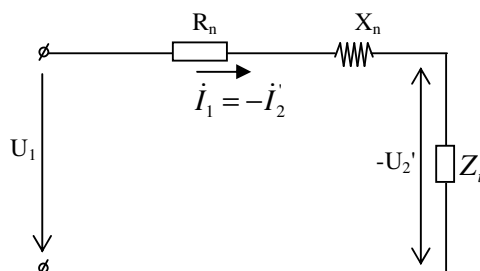
Từ $\begin{cases} \dot{U}_1 = -E_1 + I_1 \cdot Z_1 \\ \dot{U}_2' = E_2' - \dot{I}_2 \cdot Z_2' \\ I_1 = I_0 - I_2' \end{cases}$

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 đương gần đúng :



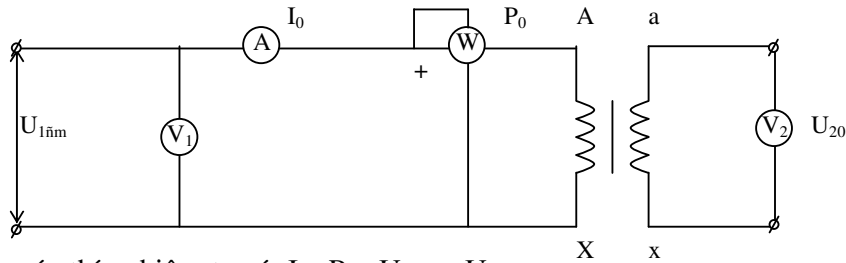
Với $R_n = r_1 + r_2'$

$X_n = x_1 + x_2'$

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

2.12. Xác Định Các Tham Số MBA.

Thí nghiệm không tải:



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

- Tổng trở máy biến áp lúc không tải:

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

- Điện trở không tải

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

- Điện kháng không tải

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

$$Z_0 = Z_1 + Z_m$$

$$r_0 = r_1 + r_m$$

$$x_0 = x_1 + x_m$$

vì

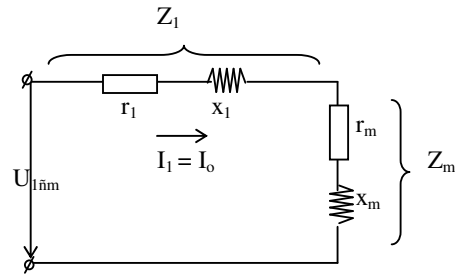
$$\begin{cases} Z_1 \ll Z_m \\ r_1 \ll r_m \\ x_1 \ll x_m \end{cases}$$

Nên

$$Z_0 = Z_m$$

$$r_0 = r_m$$

$$x_0 = x_m$$



- Tỷ số biến áp:

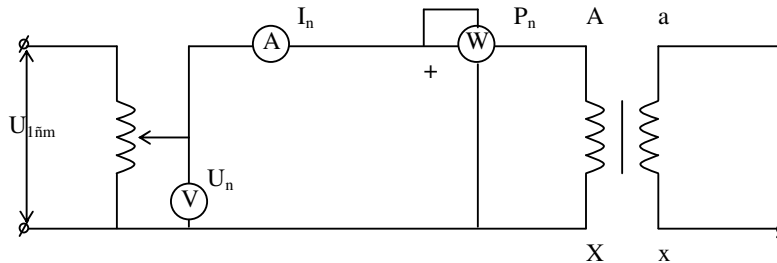
$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{U_{1dm}}{U_{20}}$$

- Hệ số công suất không tải

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

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

Thí nghiệm ngắn mạch:



Máy biến áp tự ngẫu

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

* Đặc điểm khi ngắn mạch:

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

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

Thí nghiệm:

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

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

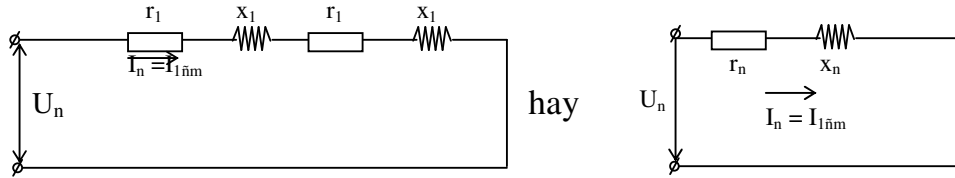
$$Z = \frac{U_n}{I_{1dm}}$$

- Điện trở ngắn mạch,

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

- Điện kháng ngắn mạch

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



trong đó:

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

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

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

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

- Điện áp ngắn mạch phần trăm

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

Điện áp ngắn mạch có hai thành phần:

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

(điện áp ngắn mạch tác dụng phần trăm)

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

(điện áp ngắn mạch phản kháng phần trăm)

ĐỘ BIẾN THIÊN ĐIỆN ÁP THỨ CẤP THEO TẢI

- Độ biến thiên điện áp thứ cấp

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

- Độ biến thiên điện áp thứ cấp phần trăm

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

Hay

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

Trong đó

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

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

TỔN HAO VÀ HIỆU SUẤT CỦA MÁY BIẾN ÁP

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

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

Tổn hao tải phụ thuộc vào dòng điện của tải

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

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

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

- Hiệu suất của máy biến áp:

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

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

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

2.13. MBA làm việc song song.

5

Máy Điện DC.

V.1. Khái quát .

V.2. Cấu tạo

V.3. Nguyên lý làm việc.

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

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

V.6. Máy phát DC.

V.7. Động cơ DC.

V.8. Sơ đồ dây quấn máy điện DC.

V.1. Khái quát

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

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

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

V.2. Cấu tạo

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

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

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

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

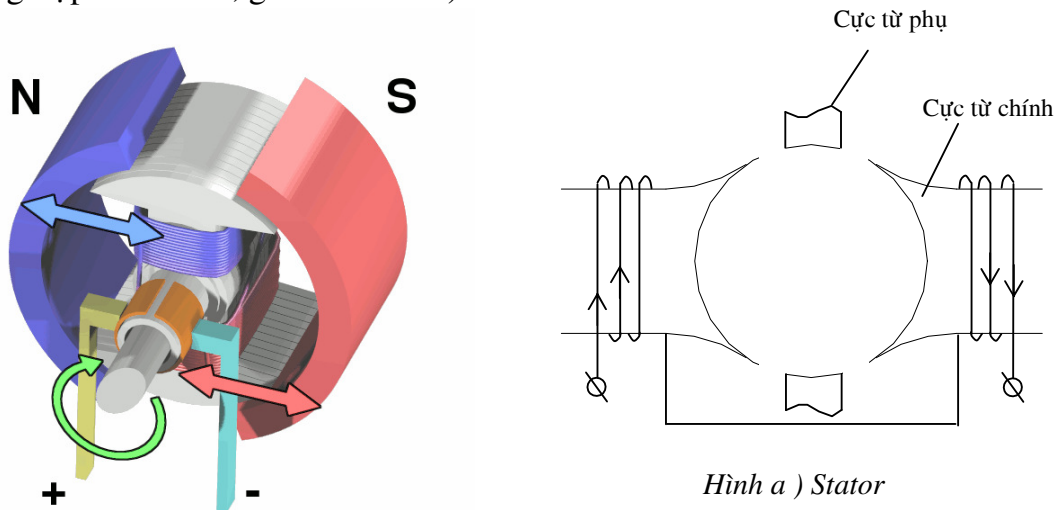
+ **Cực từ phụ:** các cực từ phụ được đặt xen kẽ giữa các cực từ chính để hạn chế tia lửa điện và cải thiện đổi chiều.

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

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

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

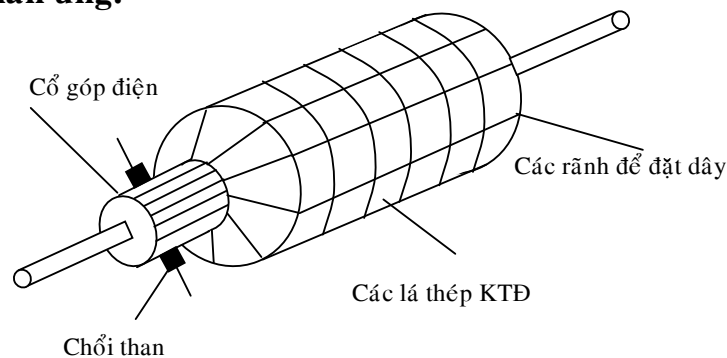
+ **Các bộ phận khác**: nắp máy và cơ cấu chổi than (gồm: chổi than đặt trong hộp chổi than, giá chổi than)



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

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

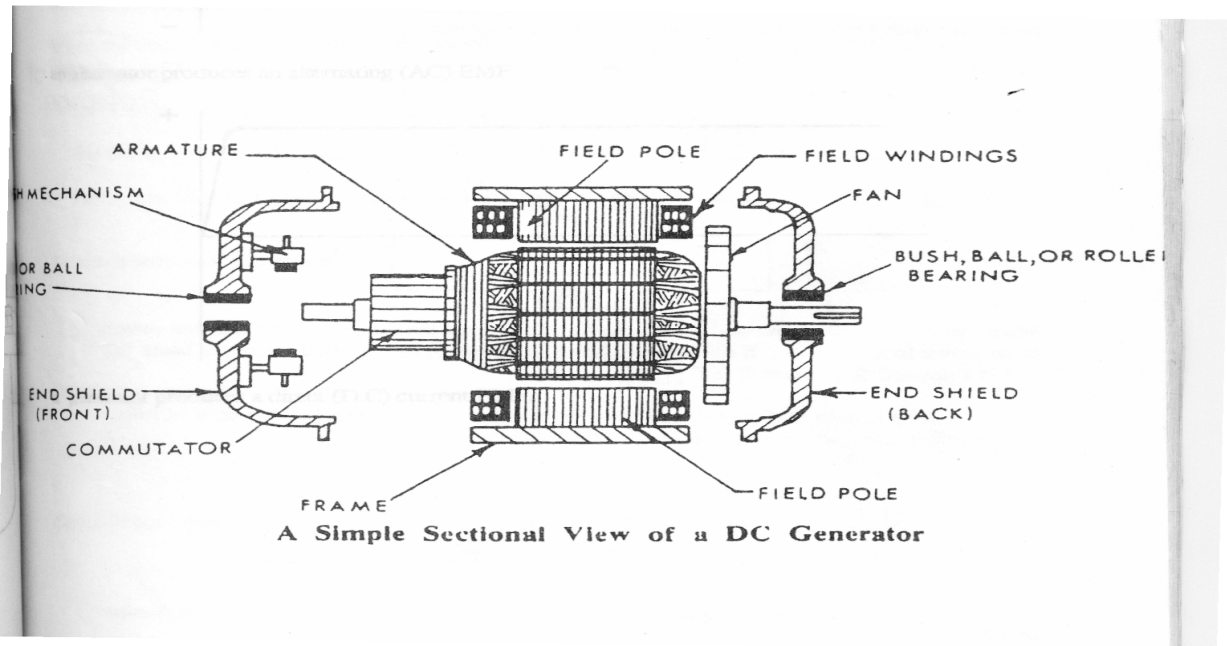
+ **Lõi sắt phần ứng**:



Hình b) Rotor

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

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



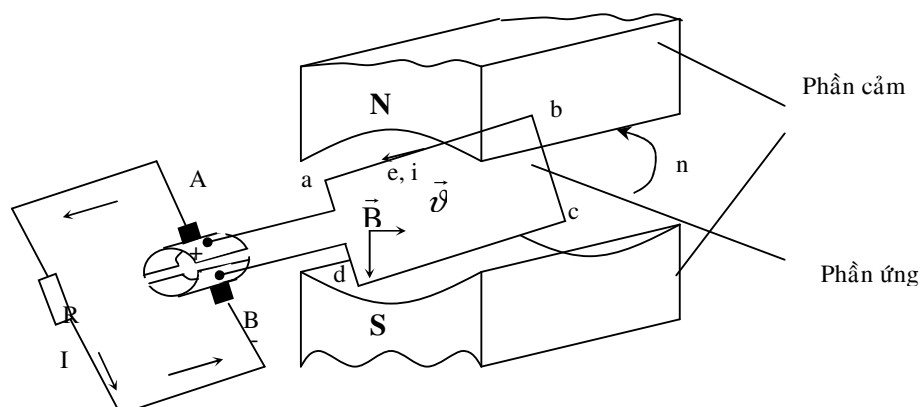
+ **Cổ góp (vành đổi chiều):** cổ góp gồm các phiến góp làm bằng đồng, giữa các phiến góp cách điện với nhau bởi mica và cổ góp cũng được cách điện với trục rotor bằng ống phíp. Nhiệm vụ của cổ góp điện là chỉnh lưu sức điện động xoay chiều thành sức điện động một chiều trên các chổi than, chổi than 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:

V.3. Nguyên lý làm việc.

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



Nguyên lý làm việc của máy phát điện một chiều:

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

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

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

B : từ cảm – Mật độ từ thông.

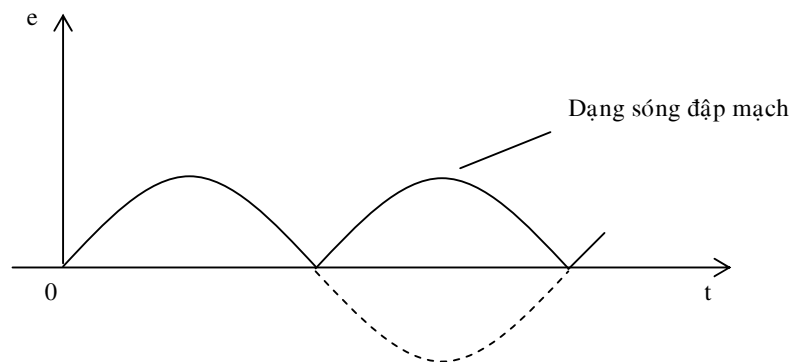
L : chiều dài cạnh tác dụng của thanh dẫn ab+cd

v : tốc độ dài của thanh dẫn.

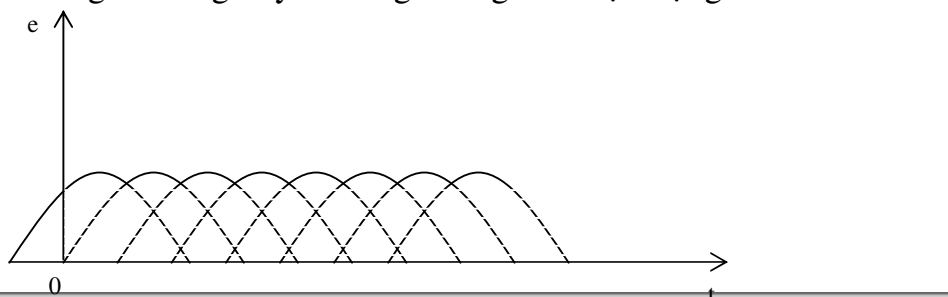
α : là góc nhỏ giữa vận tốc v và từ cảm B.

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 180⁰ 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.



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

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

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

Khi không tải từ thông 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 ($\Phi_{\text{ư}}$) 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.

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

Gọi N : Tổng số thanh dẫn của phần ứng.

$2a$: Số mạch nhánh song song.

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

$I_{\text{ư}}$: Dòng điện phần ứng.

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

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

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

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

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

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

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

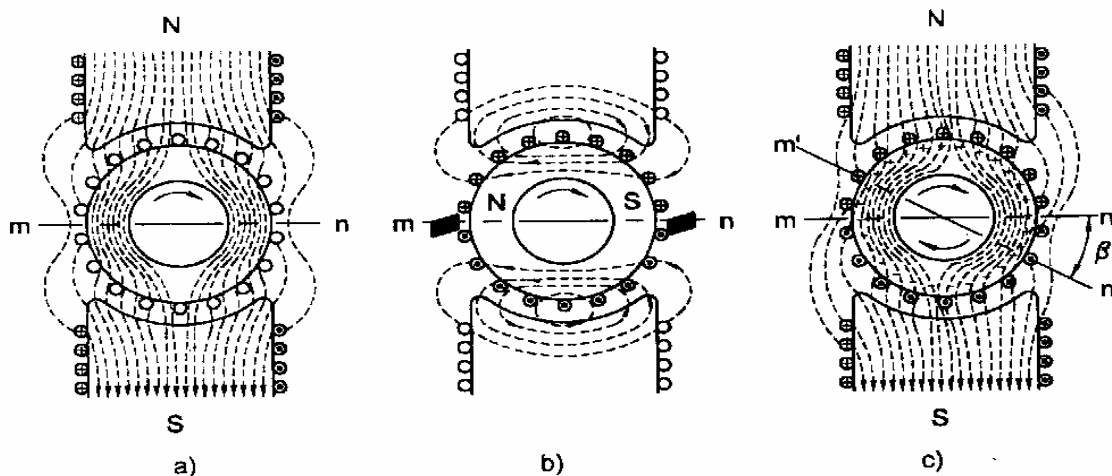
+ Đường trung tính hình học: là đường thẳng thẳng góc với trục cực từ N-S

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

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

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

Khi mạch từ của máy chưa bão hoà thì tác dụng trợ từ và khử từ bằng nhau, nên từ trường tổng không đổi. Khi mạch từ bão hoà thì tác dụng trợ từ ít hơn. Khử từ, nên từ trường tổng trong máy giảm, do đó sđđ cảm ứng trong các thanh dẫn sẽ giảm. Đồng thời phản ứng phần ứng làm cho từ trường tại 2 điểm trên đường trung tính hình học khác 0, hay nói cách khác là phản ứng phần ứng làm cho đường trung tính vật lý lệch khỏi trung tính hình học một góc 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

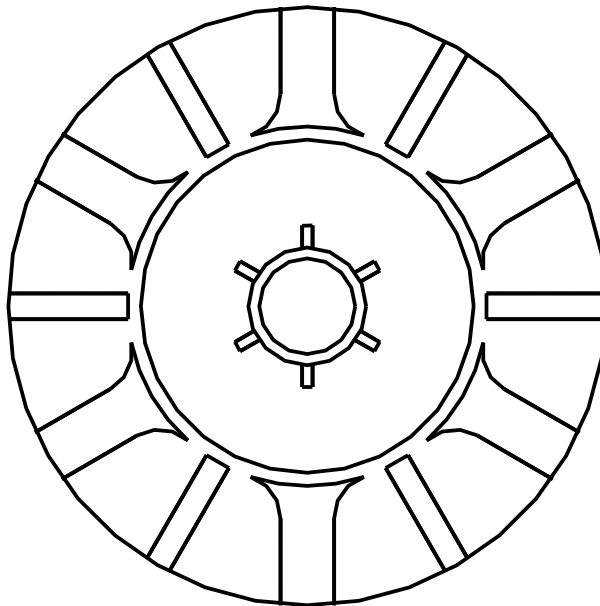


Từ trường máy điện một chiều

V.4.2. Từ trường cực từ phụ:

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

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



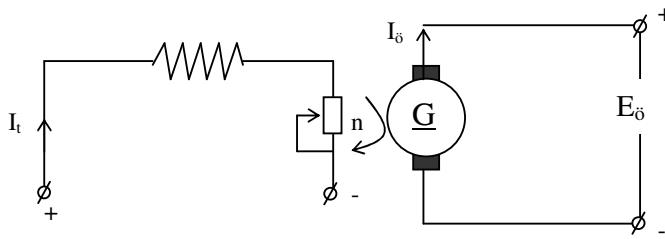
V.4.3. Từ trường dây quấn bù:

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

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

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

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



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

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

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

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

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.

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

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

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

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

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

V.5.2. Moment điện từ :

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

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

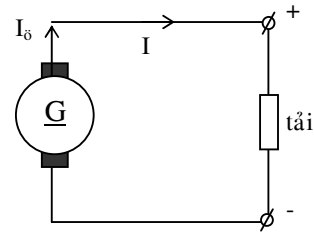
B_{tb} : từ cảm trung bình trong khe hở.

i_u : dòng điện qua thanh dẫn.

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

l : chiều dài tác dụng của thanh dẫn.

I_u : dòng điện phần ứng.



Moment điện từ tác dụng lên dây quấn phần ứng:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

V.5.3. Công suất điện từ:

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

ω : vận tốc góc của rotor

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

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

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

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

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

a. Các loại tổn hao.

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

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

✚ **Tổn hao đồng** : 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.

b. Giảm đồ năng lượng và phương trình cân bằng

✚ **Máy phát điện:**

P_1 : công suất cơ đầu vào.

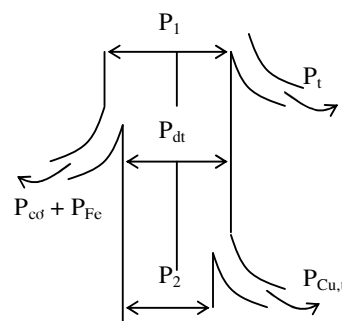
P_1 : tổn hao kích từ.

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

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

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

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



Giản đồ năng lượng của máy phát một chiều

P_2 : công suất điện đầu ra.

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

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

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

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

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

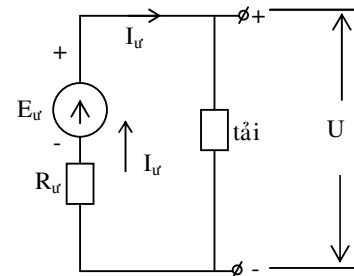
E_{tr} : đóng vai trò nguồn điện, cùng chiều I_{tr}

M_1 : moment cơ đầu vào

M_{dt} : moment điện từ

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

Sơ đồ mạch tương đương.



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

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

⚡ Đối với động cơ điện

P_1 : công suất điện đầu vào.

P_2 : công suất cơ đầu ra.

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

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

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

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

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

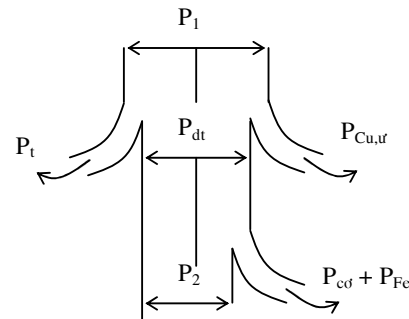
E_{tr} đóng vai trò sức phản điện, ngược chiều I_{tr}

M_2 : moment cơ đầu ra

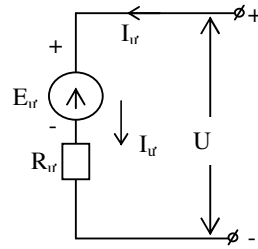
M_{dt} : moment điện từ

M_0 : moment không tải.

Ta có sơ đồ mạch tương đương.



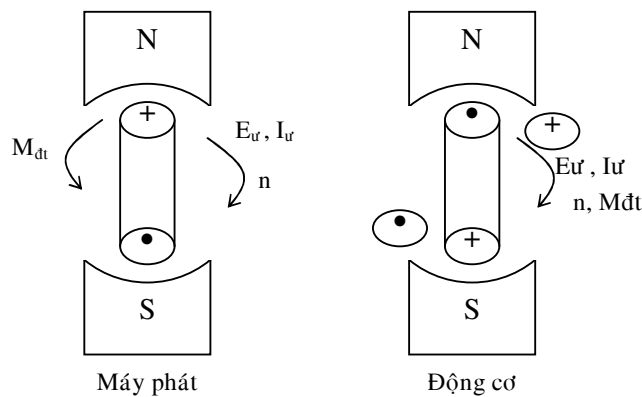
Giản đồ năng lượng của DC một chiều



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

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

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



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

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

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

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

M_{dt} cùng chiều n

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

Nếu giảm từ thông (Φ) và tốc độ (n) để giảm E_{tr} kết quả là $E_{\text{tr}} < U \rightarrow I_{\text{tr}} < 0 \rightarrow$ (đổi chiều), E_{tr} và I_{tr} ngược chiều nhau. Do chiều Φ không đổi $\rightarrow M_{\text{dt}}$ 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.

V.5.6. Ví dụ :**Ví dụ 1:**

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

Giải

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

Ta có :

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

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

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

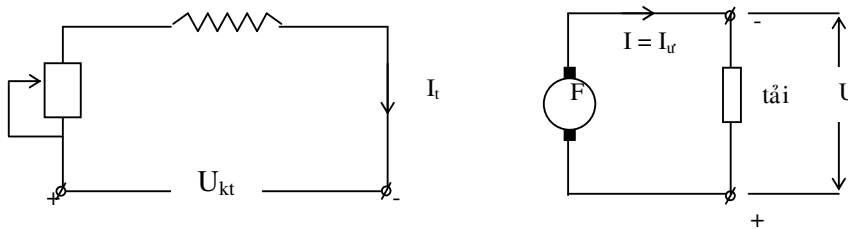
Ví dụ 2:

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

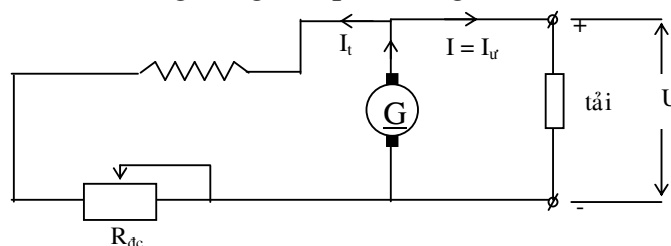
V.6. Máy phát điện một chiều.(D.C Generator)

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

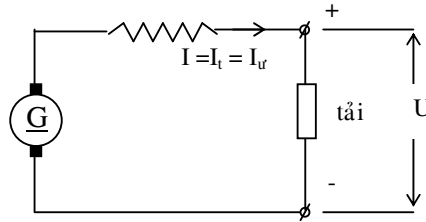
+ **Máy phát điện một chiều kích từ độc lập (Separated Generator)**



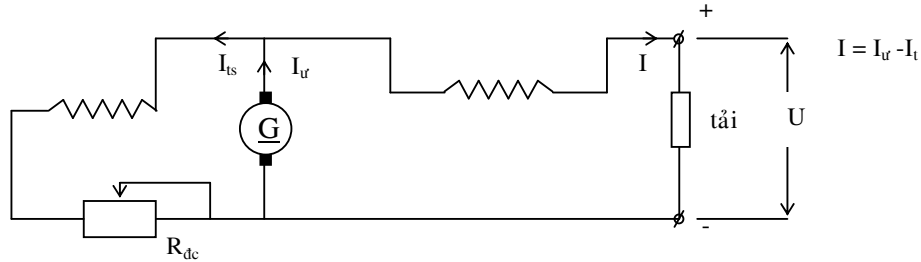
+ **Máy phát điện một chiều kích từ song song: (Shunt Generator)** cuộn dây kích từ đấu song song với phần ứng



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



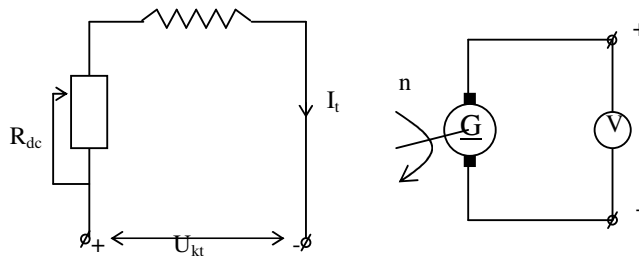
+ **Kích từ hỗn hợp: (Compound Generator)**



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

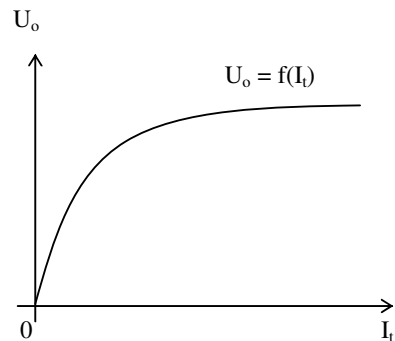
V.6.1. Đặc tính không tải: $U_0 = f(I_t) = E_u ; I = 0 ; n = \text{const.}$

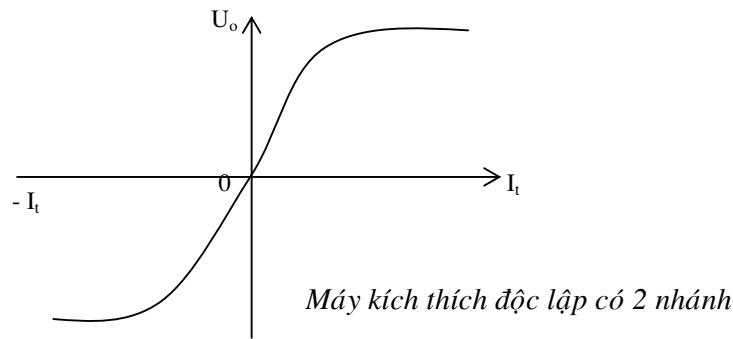
Là đặc tính biểu thị mối quan hệ giữa điện áp không tải và dòng kích từ khi dòng tải bằng 0 và tốc độ không đổi.



I_t (A)	0	→	I_{t0}
U_0 (V)	0	→	U_0

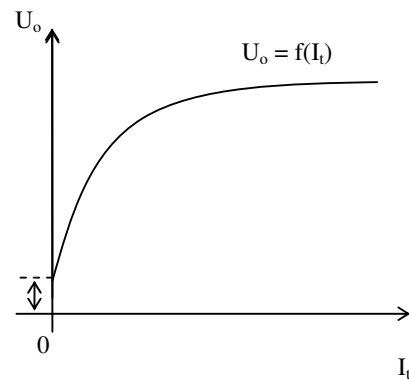
(bỏ qua từ dư)



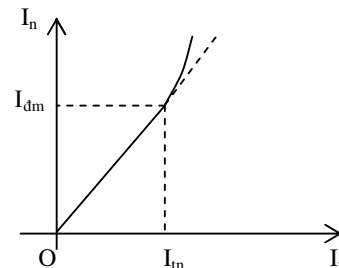
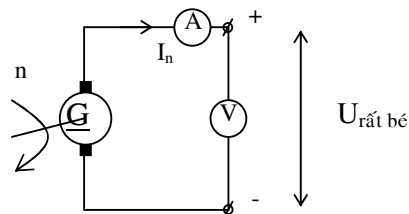
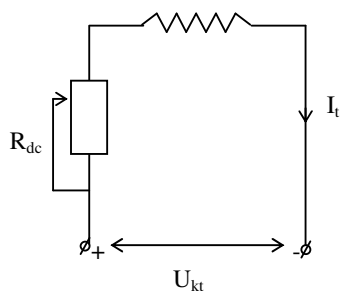


- Khi không bỏ qua từ dư:

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



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



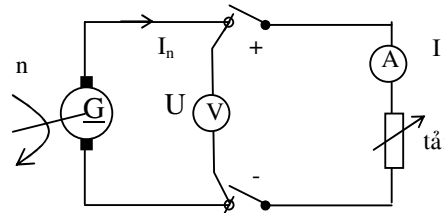
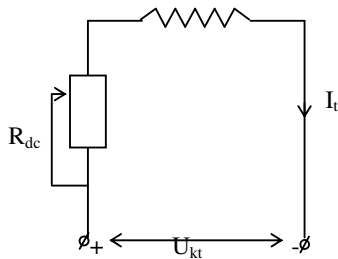
I_t (A)	0	\longrightarrow	I_{tn}
I_n (A)	0	\longrightarrow	I_{dm}

$$U = E_u - I_u R_u$$

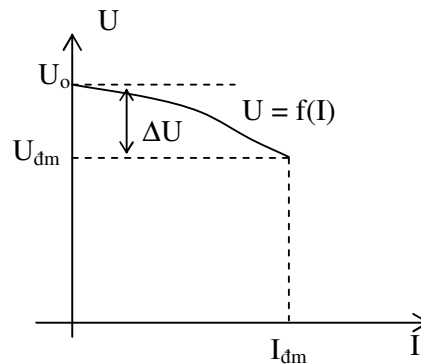
$$0 = E_u - I_u R_u \rightarrow E_u = I_u R_u$$

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

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



I_t (A)	I_{dm}	\rightarrow	0
U (V)	U_{dm}	\rightarrow	U_o



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

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

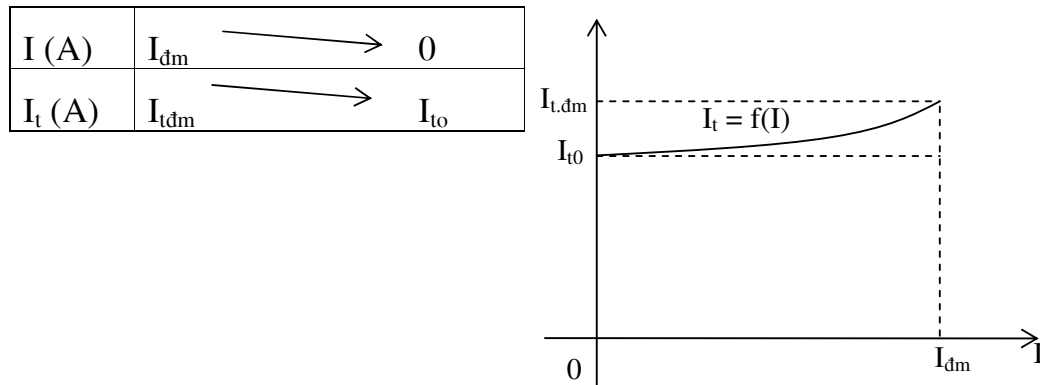
Ta thấy, khi I tăng, điện áp rơi trên dây quấn phần ứng tăng ($I_r R_r$), mặt khác do tác dụng khử từ của phản ứng phần ứng nên sức điện động E giảm. Kết quả là điện áp U máy phát điện giảm xuống.

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

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

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

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



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

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

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

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

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

a) **Điều kiện để tự kích từ:**

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

b) **Quá trình thành lập điện áp:**

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

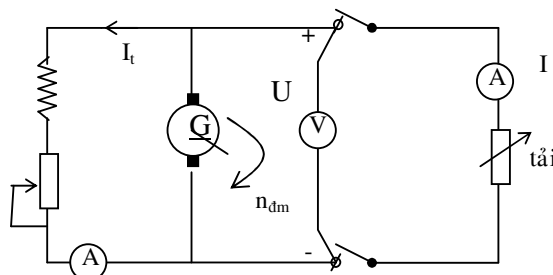
➤ **Máy phát một chiều kích từ nối tiếp:** vì dây quấn kích từ được nối tiếp với tải ($I_t = I_r = I$) nên ngoài các điều kiện về tự kích nói trên, để thành lập được điện áp, mạch ngoài của máy phát một chiều kích từ nối tiếp phải khép mạch qua một điện trở.

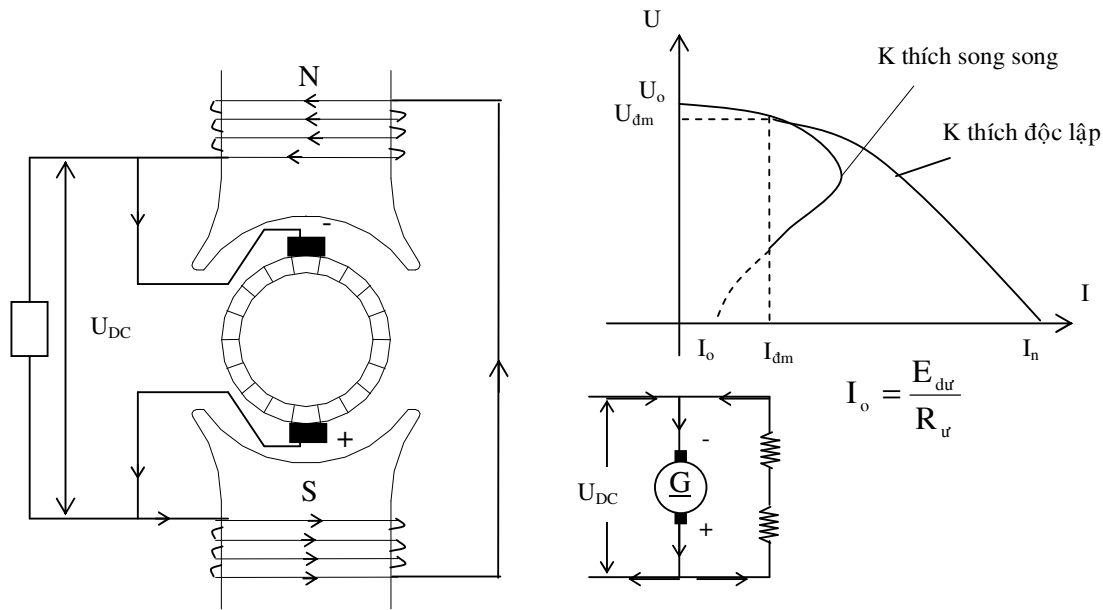
➤ **Máy phát một chiều kích từ hỗn hợp:** khi mở máy cuộn kích từ nối tiếp chưa có tác dụng vì dòng điện $I = I_t = 0$. Quá trình thành lập điện áp xảy ra như ở máy phát kích từ song song. Khi máy mang tải, dòng tải chạy qua dây quấn kích từ tạo nên từ trường phụ, tùy theo cách đấu cuộn kích từ nối tiếp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

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

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

I (A)	I_{dm}	→	0
U (V)	U_{dm}	→	U_o

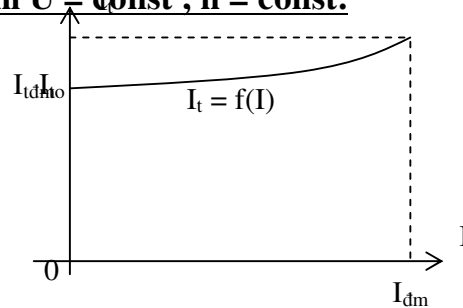




Khi dòng điện tải tăng, điện áp giảm nhiều so hơn với kích từ độc lập vì ngoài ảnh hưởng của phản ứng phần ứng và điện áp rơi trên dây quấn phần ứng, sức điện động còn giảm vì khi điện áp ở đầu cực máy phát giảm dòng kích từ sẽ giảm theo. Ngoài ra, nếu tiếp tục tăng tải thì dòng điện tải không tăng mà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

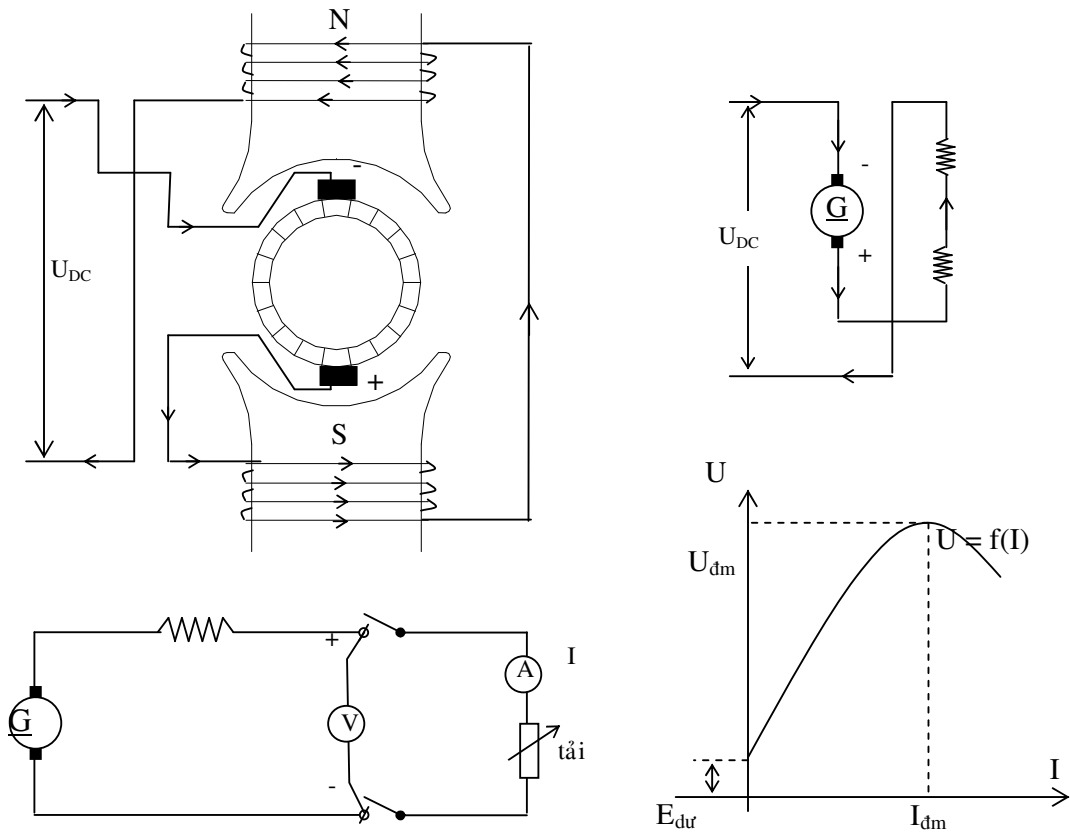
b) Đặc tính điều chỉnh: $I_t = f(I)$ khi $U = const, n = const.$

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



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

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



Đặc tính ngoài máy phát kích thích nối tiếp.

Đặc tính ngoài:

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

I (A)	0	$I_{đm}$
U (V)	$E_{đr}$	$U_{đm}$

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

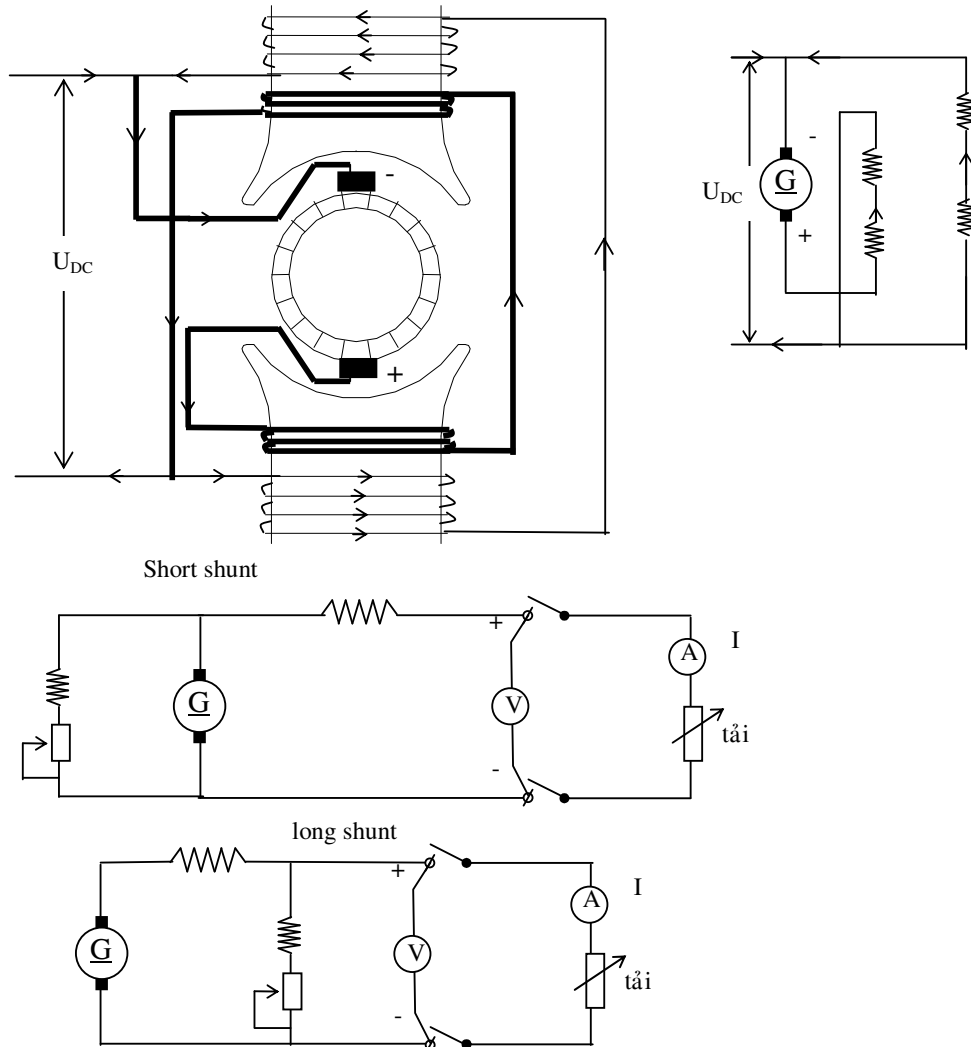
Máy chỉ được kích thích khi có tải

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

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

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

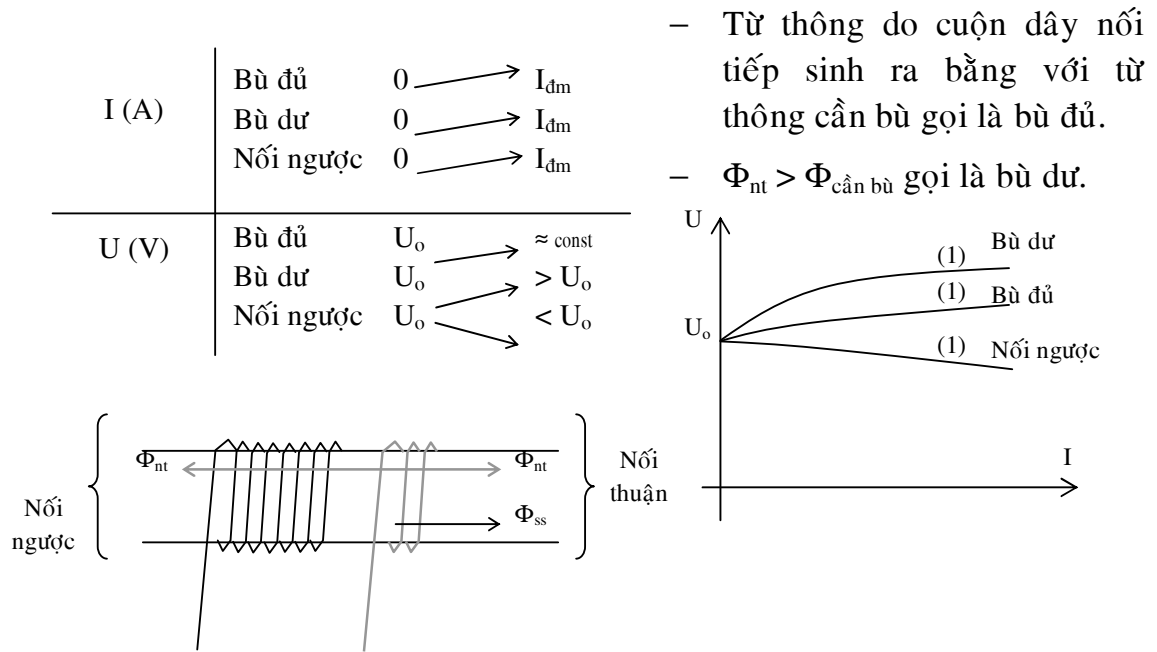
II.6.7. Đặc tính của máy phát một chiều kích thích hỗn hợp:



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

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

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



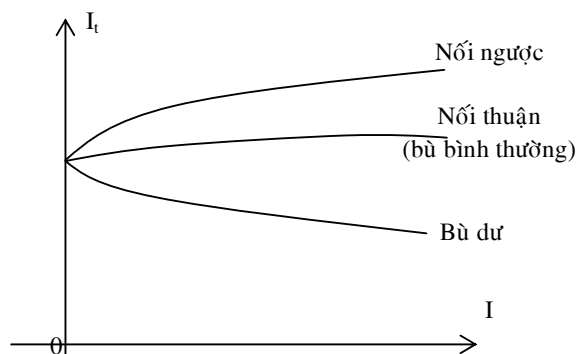
Khi nối thuận, điện áp đầu cực được giữ hầu như không đổi.

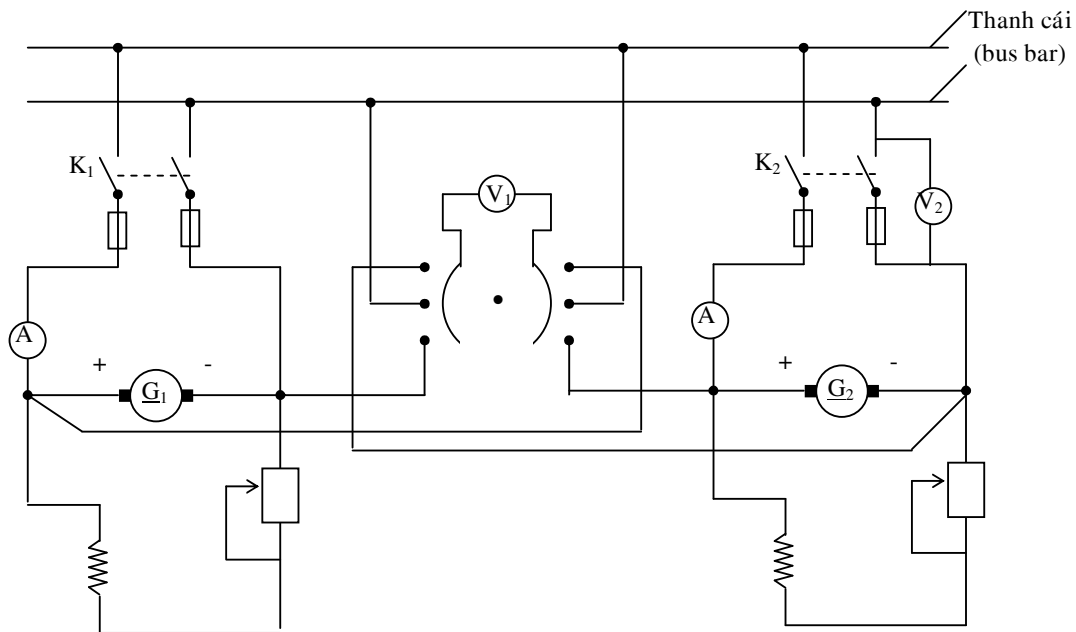
Bù thừa, điện áp tăng khi tải tăng.

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

b) Đặc tính điều chỉnh:

$$I_t = f(I)$$



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

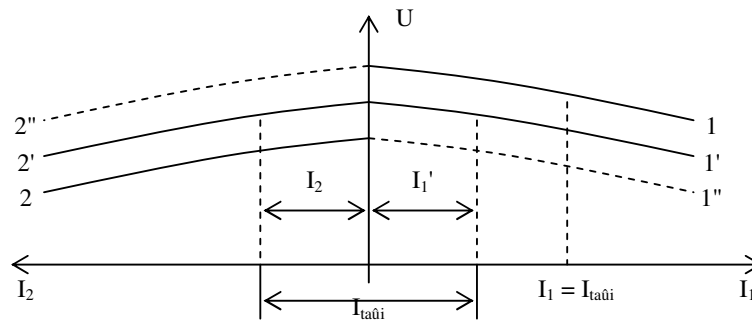
Giả sử \underline{G}_1 đang làm việc với thanh cái có điện áp U . Muốn ghép \underline{G}_2 vào làm việc song song \underline{G}_1 thì phải thỏa:

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

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

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

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



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

II.7.1. Đại cương:

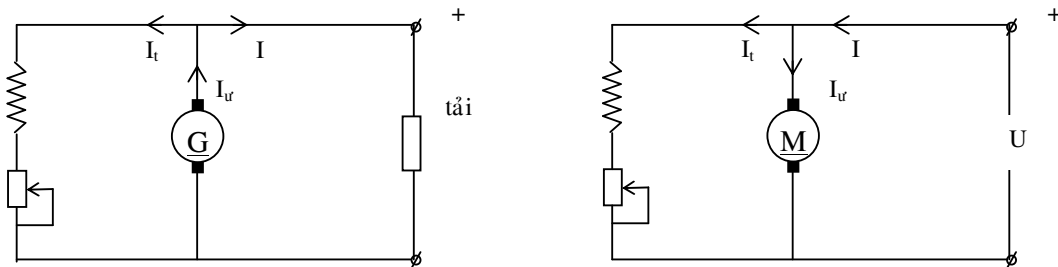
Phân loại: phân loại theo cách kích từ.

Động cơ một chiều kích thích độc lập.

Động cơ một chiều kích thích nối tiếp.

Động cơ một chiều kích thích song song.

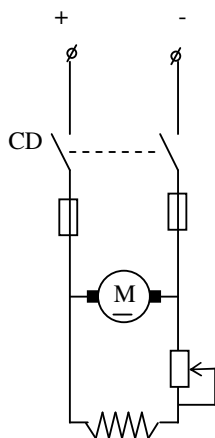
Động cơ một chiều kích thích hỗn hợp.



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

Yêu cầu:

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

a) Mở máy trực tiếp:

Phương trình cân bằng sđđ động cơ một chiều:

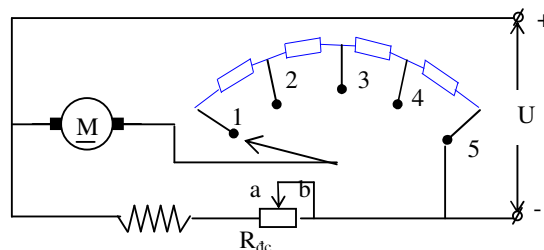
$$U = E_{\text{ư}} + I_{\text{ư}} R_{\text{ư}}$$

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

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

b) Mở máy bằng biến trở:

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



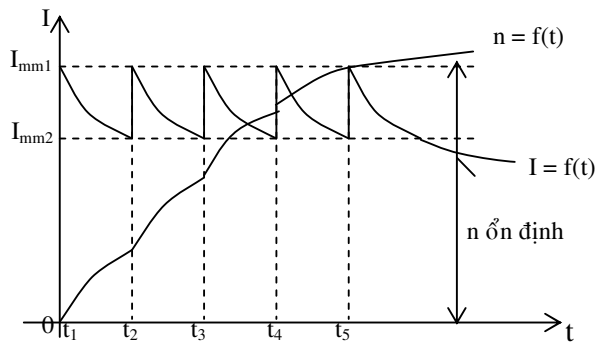
Khi bắt đầu mở máy, tay gạt đặt ở vị trí số 1, toàn bộ các điện trở phụ được nối tiếp với dây quấn phần ứng, đồng thời con chạy của biến trở mạch kích từ ở vị trí a ($R_{\text{dc}} = 0$) nên dây quấn kích từ được nối trực tiếp với điện áp nguồn, từ trường kích từ đạt giá trị cực đại ($\Phi = \Phi_{\text{max}}$). Tại thời điểm t_1 , dòng đạt giá trị I_{mm1} là giới hạn trên. Khi n tăng, sđđ $E_{\text{ư}} \uparrow$, do sự xuất hiện và tăng lên của $E \rightarrow I_{\text{mm}} \downarrow$, khiến n tăng chậm hơn. Khi I_{mm} giảm đến trị số $(1,1 \div 1,3) I_{\text{dm}}$ ta gạt đến vị trí 2. Ở vị trí này, 1 cặp điện trở bị loại bỏ nên $I_{\text{mm}} \uparrow$ đến giới hạn trên của nó (I_{mm1}) kéo theo moment, n và $E_{\text{ư}}$ 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.

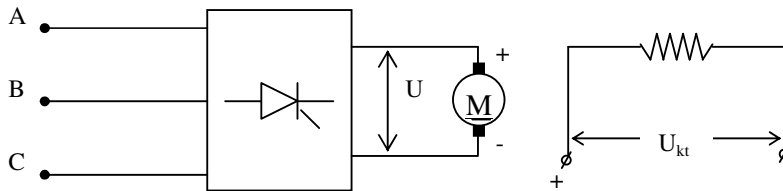
$$M_{dl} = J \cdot \frac{d\omega}{dt} = (M_D - M_C) > 0$$

M_D : moment của động cơ

M_C : moment cản



c) Hạ điện áp đặt vào phần ứng:



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

với $U_1 < U_{dm}$

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

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

Momen mở máy phải đủ lớn

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

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

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

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

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

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

Điều khiển Φ

Điều khiển điện áp đặt vào phần ứng

Điều khiển R_r

● **Điều khiển từ thông.**

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

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

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

● **Điều khiển điện áp.**

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

a) **Động cơ kích từ song song:**

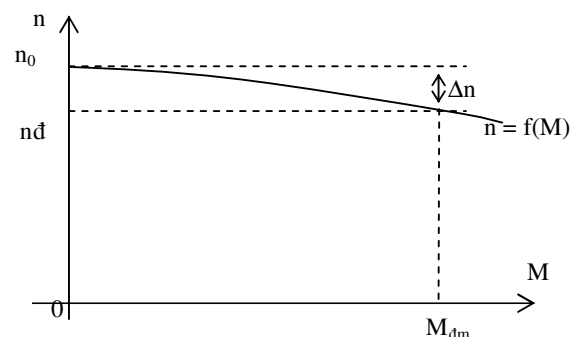
➤ **Đặc tính cơ và tốc độ tự nhiên:** (mạch phần ứng không có điện trở phụ)

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

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

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

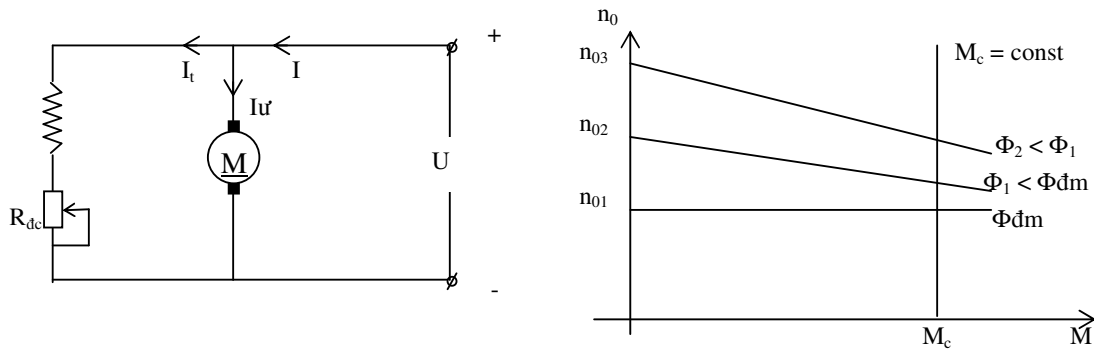
k: hằng số



Do R_r nhỏ nên khi tải thay đổi từ $0 \rightarrow$ định mức tốc độ giảm rất ít \rightarrow đặc tính cơ rất cứng \rightarrow 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)



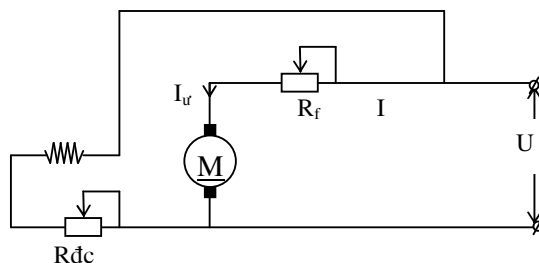
Thay đổi R_{dc} để thay đổi dòng kích thích dẫn đến thay đổi từ thông Φ . Đây là phương pháp điều chỉnh rất kinh tế vì I_{kt} nhỏ, chỉ bằng $(3 - 5)\% I_{đm}$ nên tổn hao trên R_{dc} rất nhỏ. Tốc độ quay của động cơ có thể điều chỉnh được bằng phẳng trong một phạm vi rộng.

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

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

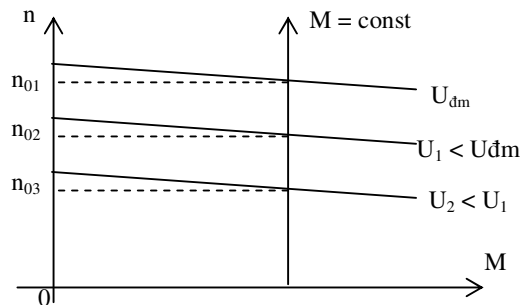
- Phương pháp thay đổi điện trở mạch phản ứng (thấp hơn tốc độ định mức) :

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 được tốc độ định mức vì không thể nâng cao điện áp hơn điện áp định mức của động cơ.

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

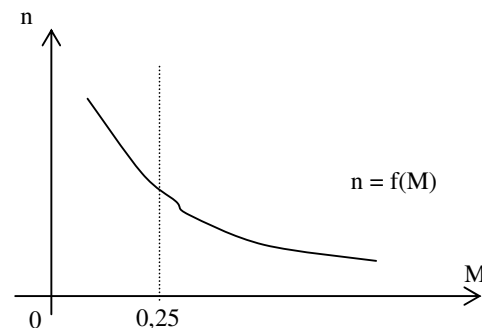
b) Động cơ kích từ nối tiếp:

➤ Đặc tính cơ:

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

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

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



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

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

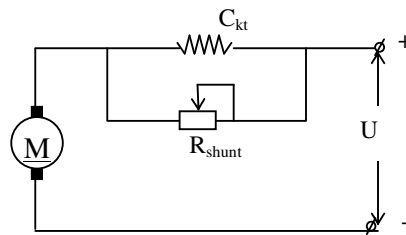
Khi không tải ($I = 0$, $M = 0$) tốc độ động cơ rất lớn \rightarrow không để DC nối tiếp làm việc không tải. Thông thường cho phép động cơ làm việc tối thiểu $P_2 = (0,2 \div 0,25)P_{\text{dm}}$.

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

➤ Điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi từ thông Φ :

Thay đổi Φ bằng những phương pháp sau:

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

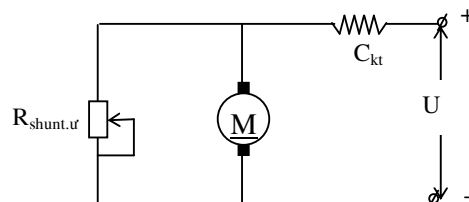


- Mắc điện trở song song phần ứng :

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



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

c) Động cơ một chiều kích từ hỗn hợp:

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

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

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

V.8. Sơ đồ dây quấn máy điện DC.

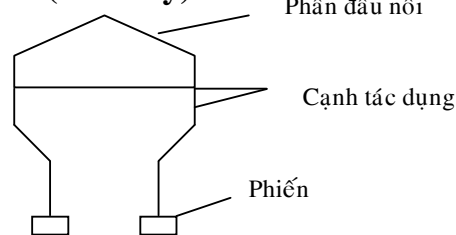
V.8.1. Định nghĩa các đại lượng:

❖ Phân loại:

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

❖ Phần tử:

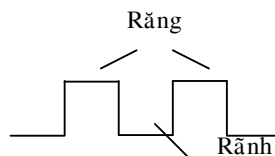
(bối dây)



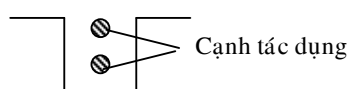
Phần tử có thể có một vòng dây hoặc có thể có nhiều vòng dây.

❖ Rãnh thực – rãnh nguyên tố:

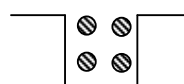
- **Rãnh thực:** là rãnh nằm giữa 2 răng kề nhau.



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



$u = 1$



$u = 2$

1 rãnh nguyên tố

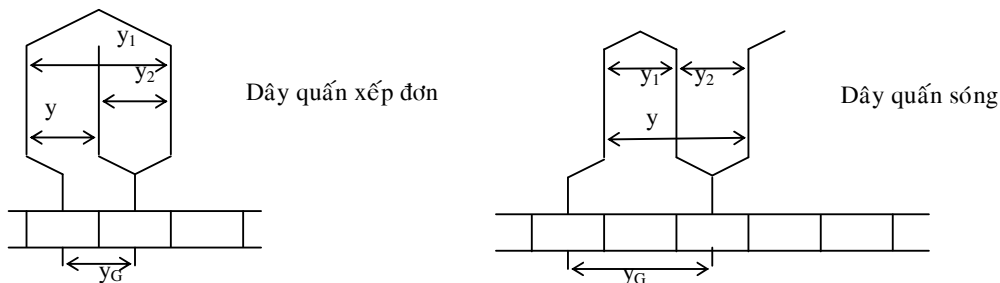
2 rãnh nguyên tố (có 4 cạnh tác dụng)

Gọi S là số phần tử

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

G: số phiến góp

❖ Các bước dây :



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

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

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

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

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

y_G : được tính bằng số phiến góp

$y = y_G$ (cả 2 kiểu dây quấn)

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

- Tính các bước dây:

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

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

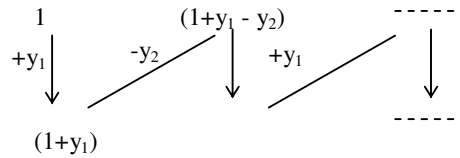
$y = y_G = 1$ (quấn phải \rightarrow thường dùng) $y_G = -1$ (quấn trái)

$$y_2 = y_1 - y$$

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

Cạnh nằm trên gọi là lớp trên

Cạnh nằm dưới gọi là lớp dưới



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

- + Nếu số thứ tự là 0 hay âm :

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

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

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

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

b) Ví dụ:

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

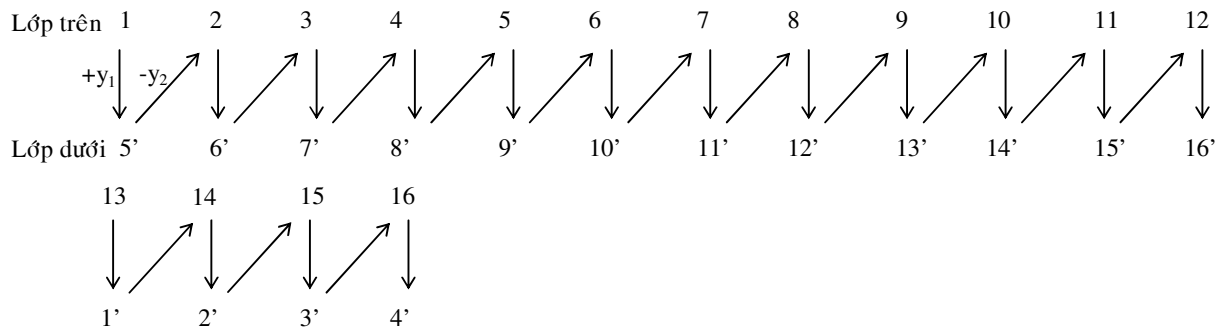
Giải

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

$$y = y_G = 1$$

$$y_2 = y_1 - y = 3$$

- Sơ đồ nối các phần tử :



Số đôi mạch nhánh:

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

$$2a = 2p = \text{số đường chổi}$$

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

Đa giác sức điện động:

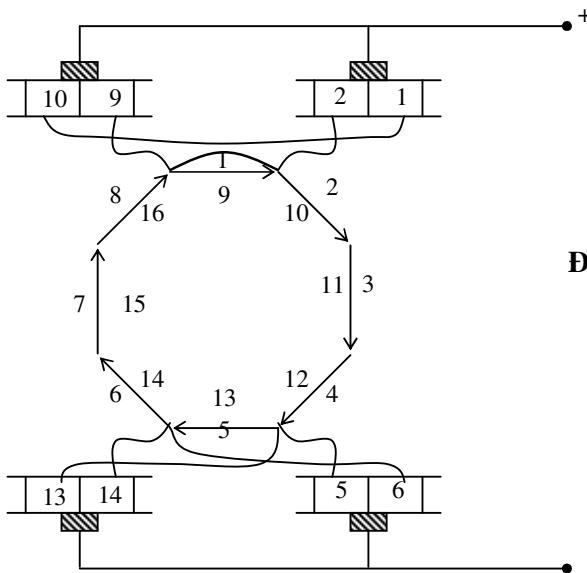
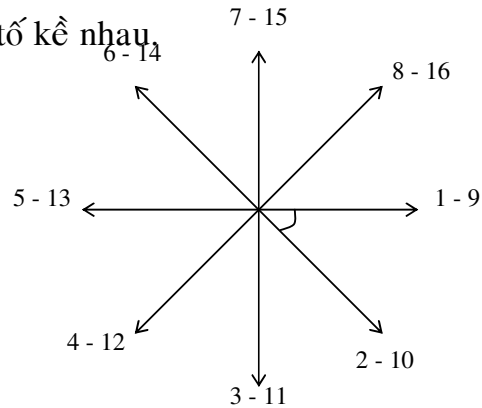
Gọi: α_d : góc điện giữa 2 rãnh nguyên tố kề nhau.

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

p: số đôi cực

Theo thí dụ trên:

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



Đa giác sđđ của dây quấn xếp đơn.

2 đa giác sđđ trùng nhau.

V.8.3. Dây quấn xếp phức tạp :

• **Tính các bước dây :**

m : bậc dây quấn

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

+ Dây quấn xếp đôi : $m = 2$

+ Dây quấn xếp ba : $m = 3$

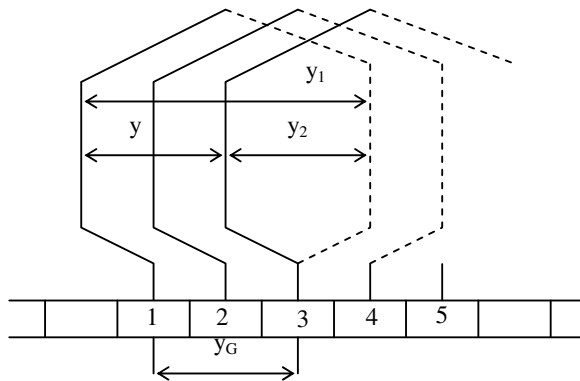
$y = y_G = m$; $m = 2, 3...$

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

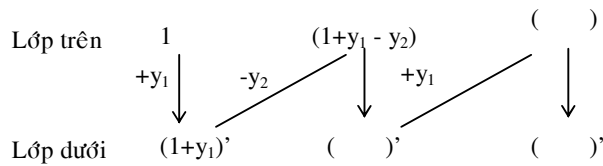
$$y_2 = y_1 - y$$

+ Phần tử I nối với phần tử thứ III.

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



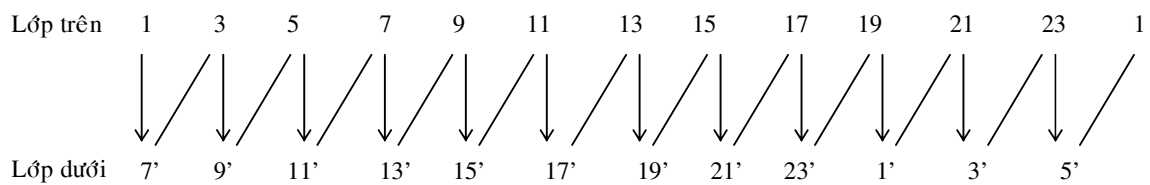
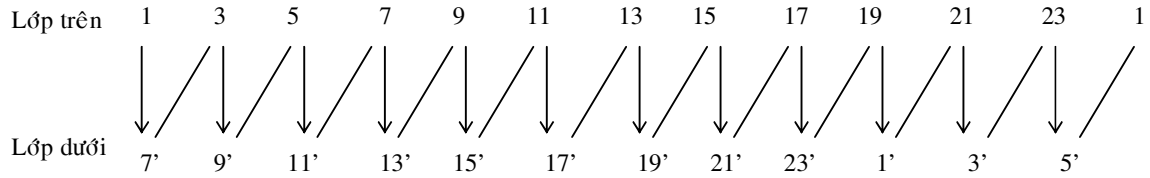
• **Sơ đồ nối các phần tử:**



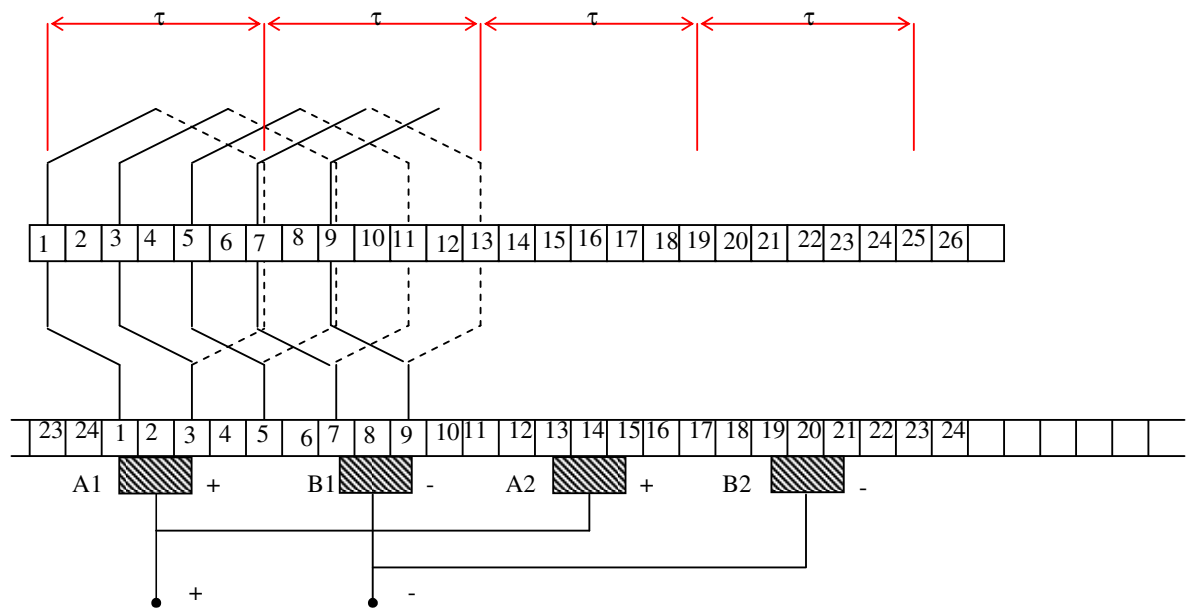
Sơ đồ khai triển

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

Sơ đồ nối các phần tử:



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



- Số mạch nhánh song song:

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

- Đa giác sức điện động:

$$\alpha_{\text{điện}} = \frac{p \cdot 360}{Z_{nt}} = \frac{2 \cdot 360}{24} = 30^\circ$$

V.8.4. Dây quấn sóng đơn:

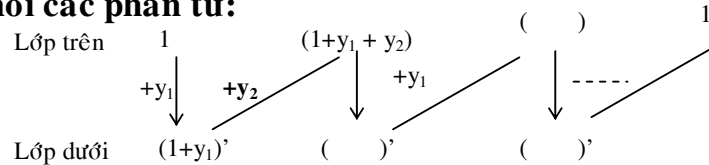
- Tính các bước dây :

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

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

$$y_2 = y - y_1$$

- Sơ đồ nối các phần tử:



Ví dụ:

Vẽ sơ đồ khai triển dây quấn sóng đơn có:

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

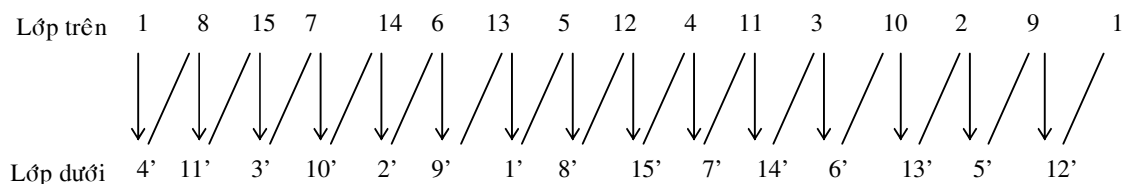
Giải

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

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

$$y_2 = y - y_1 = 4$$

- + Sơ đồ nối các phần tử :



- Số mạch nhánh song song:

$$2a = 2$$

V.8.5. Dây quấn sóng phức tạp:

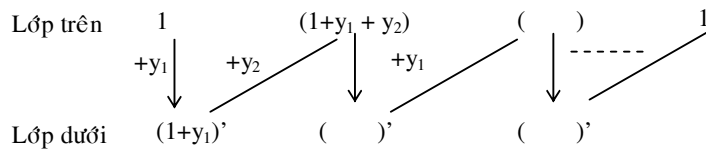
- **Tính các bước dây :**

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

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

$$y_2 = y - y_1$$

- **Sơ đồ nối các phần tử:**



Ví dụ:

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

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

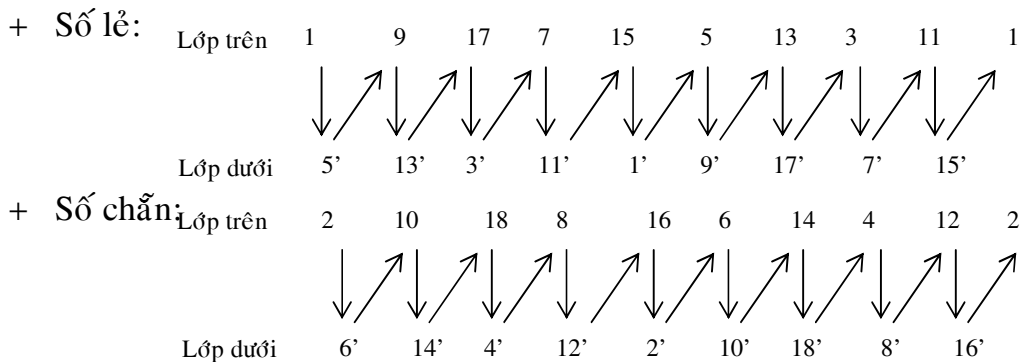
Giải

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

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

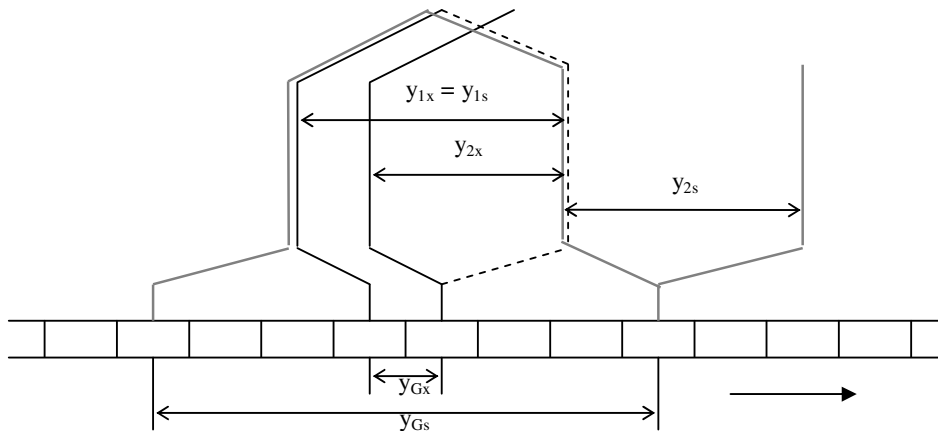
$$y_2 = y - y_1 = 4$$

Sơ đồ nối các phần tử :



- Số mạch nhánh song song:

$$2a = 2m$$

V.8.6. Dây quấn hỗn hợp:

Điều kiện của dây quấn hỗn hợp:

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

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

$$2a_x = 2a_s$$

$$2m_{xp} = 2m_s$$

$$m_{xp} = m_s$$

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

Khi $p = 1$ xếp đơn - sóng đơn

$p = 2$ xếp đơn - sóng đôi

$p = 3$ xếp đơn - sóng ba

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

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

Giải

Xếp đơn sóng 3

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

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

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

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

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

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

V.8.7. Dây cân bằng điện thế:

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

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

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

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

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