

CHƯƠNG 1

TÍNH TOÁN DÂY QUẦN MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ 3 PHA

§1.1 Dây quần stato động cơ không đồng bộ 3 pha có q nguyên

1.1.1 Một số qui ước các ký hiệu và định nghĩa các thuật ngữ như sau

_ Bước cực từ (τ) : Bước cực từ là chiều rộng của 1 cực từ trong khoảng không gian của stato, đơn vị đo là rãnh.

$$\tau = \frac{Z}{2p}$$

_ Góc lệch α_{hh} và α_d : là các đại lượng dùng để xác định vị trí đặt bộ dây quần của từng pha trong stato cũng như dùng chúng để xác định sơ đồ hình tia sđđ rãnh trong việc xác định vùng pha của dây quần và xác định hệ số dây quần cho bộ dây quần.

$$\alpha_{hh} = \frac{360^\circ}{Z}$$

$$\alpha_{hh} = p \alpha_d$$

$$\alpha_{hh} = \frac{p360^\circ}{Z} = \frac{180^\circ}{\tau}$$

_ Số rãnh mỗi pha phân phối dưới mỗi bước cực từ (q) :

Trong mỗi bước cực từ (σ) số rãnh của mỗi pha được phân bố đều :

$$q = \frac{\tau}{m}$$

Hay :

$$q = \frac{Z}{2pm}$$

_ Bối dây : là một cuộn dây quần được tạo nên bởi nhiều vòng dây quần cùng một chiều nối tiếp nhau.

_ Cạnh tác dụng : một bối dây có 2 cạnh lồng vào 2 rãnh khác nhau, ta gọi mỗi cạnh của bối dây được lồng vào rãnh là cạnh tác dụng.

_ Cạnh tác dụng trên và cạnh tác dụng dưới :

Trong bộ dây quần động cơ 3 pha, tại mỗi rãnh ta có thể có :

+ Trong một rãnh chỉ chứa một cạnh tác dụng, bộ dây quần trong trường hợp này gọi là dây quần 1 lớp.

+ Trong một rãnh chứa 2 cạnh tác dụng của 2 bối dây độc lập nhau, bộ dây quần lúc này là dây quần 2 lớp.

Khi thực hiện lối quần dây 2 lớp sẽ có 1 cạnh tác dụng nằm trên và 1 cạnh tác dụng nằm dưới, người ta thường ký hiệu sau :

+ Cạnh tác dụng trên là cạnh tác dụng nằm ở phần trên rãnh, ký hiệu cho cạnh tác dụng này là nét vẽ liên tục.

+ Cạnh tác dụng dưới là cạnh tác dụng nằm ở đáy rãnh, ký hiệu cho cạnh tác dụng này là nét vẽ gián đoạn.

_ Vùng pha : là khoảng không gian thường được tính theo đơn vị đo là góc điện, vùng là góc mở dưới mỗi bước cực từ tính theo sự trải dây quấn của từng pha dưới mỗi bước cực từ.

Vùng pha của dây quấn dưới mỗi bước cực từ, được tính như sau :

$$\gamma = q \cdot \alpha$$

_ Bước bôi dây (y) : Khi lồng dây cho 1 bôi dây vào 2 rãnh phân biệt, khoảng cách giữa 2 rãnh chứa 2 cạnh tác dụng của bôi dây được gọi là bước bôi dây, ký hiệu là y.

$$y = \beta \tau$$

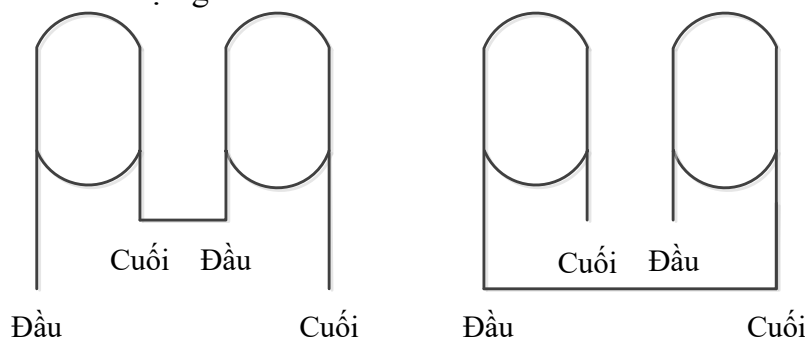
+ $\beta = 1 \rightarrow y = \tau$: bước bôi dây là bước đủ

+ $\beta < 1 \rightarrow y < \tau$: bước bôi dây là bước ngắn.

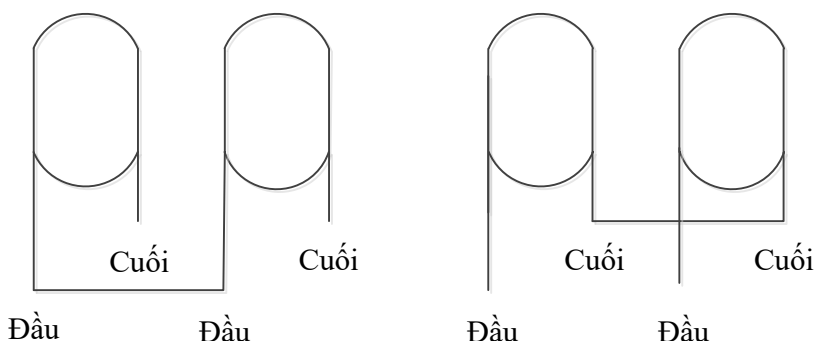
+ $\beta > 1 \rightarrow y > \tau$: bước bôi dây là bước dài.

_ Phương pháp đầu nối tiếp các nhóm bôi dây thuộc 1 pha:

+ Khi tổng số nhóm bôi dây của 1 pha bằng số đôi cực p, các nhóm bôi dây được đầu nối tiếp nhau bằng cách đầu cực giả.



+ Khi tổng số nhóm bôi dây của 1 pha bằng số cực p, các nhóm bôi dây được đầu nối tiếp nhau bằng cách đầu cực thật.



1.1.2 Dây quấn một lớp dạng tập trung :

1. Dây quấn đồng khuôn một lớp dạng tập trung

a) Đặc điểm chính :

_ Các bôi dây có cùng kích thước.

_ Bước bôi dây là bước đủ.

_ Số nhóm bôi dây / 1 pha = $p \Leftrightarrow$ các nhóm bôi cùng 1 pha đầu cực giả.

_ Các bôi dây được lồng theo kiểu xếp ngói.

b) Ví dụ: Vẽ sơ đồ trải dây quấn một lớp dạng đồng khuôn tập trung của một động cơ KĐB 3 pha có số rãnh stato $Z = 36$ rãnh, số cực $2p = 4$.

Giải

Bước cực từ: $\tau = \frac{Z}{2p} = \frac{36}{4} = 9 \text{ rãnh / cực}$

Góc lệch điện: $\alpha_d = \frac{180^\circ}{\tau} = \frac{180^\circ}{9} = 20^\circ$

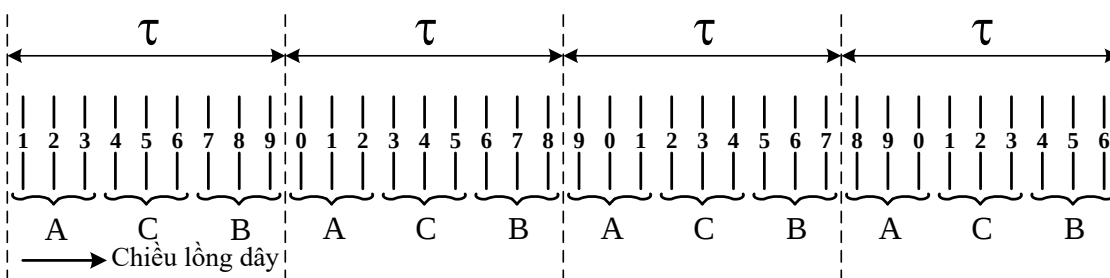
Số rãnh 1 pha phân bố dưới một bước cực: $q = \frac{\tau}{m} = \frac{9}{3} = 3 \text{ rãnh / cực}$

Bước bố dây: $y = \tau = 9$ rãnh.

Khoảng các đầu vào (hoặc đầu ra) của 2 pha liên tiếp: $y_d = \frac{120^\circ}{\alpha_d} = \frac{120^\circ}{20^\circ} = 6 \text{ rãnh}$

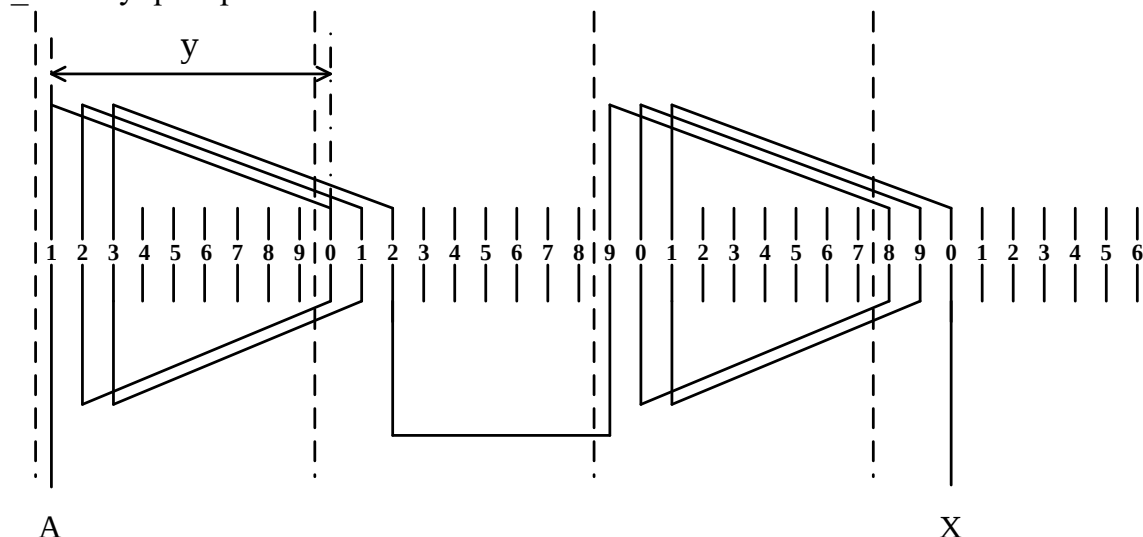
Trình tự vẽ sơ đồ trải dây quấn:

+ Vẽ các rãnh stato, đánh số thứ tự rãnh và phân chia cực từ theo bước cực. Chọn chiều lòng dây và phân bố các rãnh của mỗi pha theo thứ tự **A-C-B** trên mỗi cực.

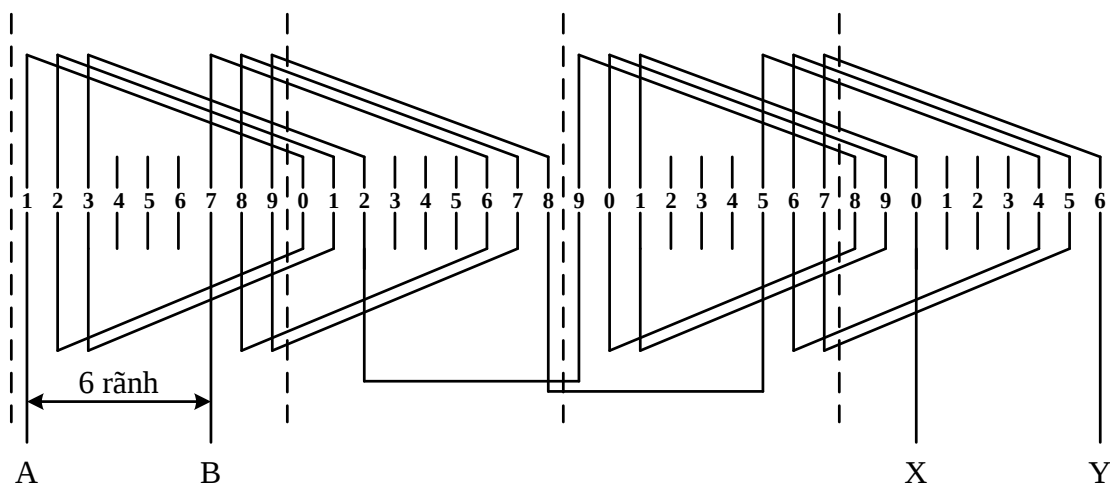


+ Căn cứ vào chiều lòng dây và bước bố dây $y \Rightarrow$ vẽ bố dây và kết nối thành nhóm bố dưới một đôi cực từ, với đầu đầu thuộc cạnh đầu, đầu cuối thuộc cạnh cuối nhóm bố. Sau đó nối tiếp các nhóm bố của một pha.

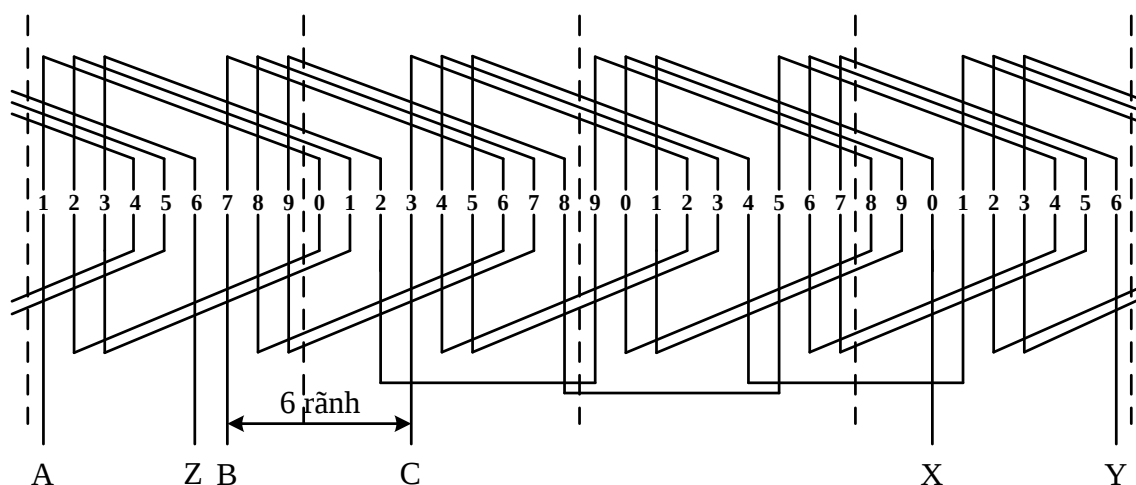
Vẽ dây quấn pha A



_ Vẽ dây quấn pha B. Đầu vào dây quấn pha B cách đầu vào dây quấn A $y_d = 6$ rãnh.



_ Vẽ dây quấn pha C. Đầu vào dây quấn pha C cách đầu vào dây quấn B $y_d = 6$ rãnh.



2. Dây quấn đồng tâm một lớp dạng tập trung

a) Đặc điểm của nhóm bôi dây đồng tâm:

_ Các bôi dây trong cùng nhóm có kích thước khác nhau. Bôi dây nhỏ sắp xếp nằm lọt lòng bôi dây lớn. $\Rightarrow$ Các bôi dây trong cùng một nhóm bôi có chung một tâm trục (trục trung tâm).

_ Bước bôi dây của 2 bôi dây kề nhau trong cùng nhóm bôi thì hơn, kém nhau 2 rãnh.

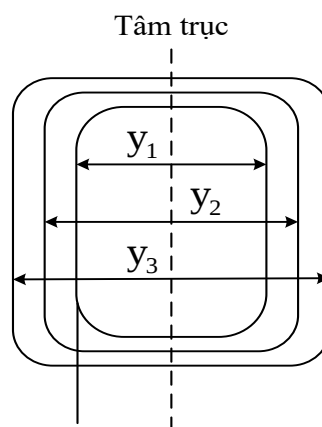
$$y_1 = 2q + 1 \quad \text{rãnh}$$

$$y_2 = y_1 + 2 \quad \text{rãnh}$$

$$y_3 = y_2 + 2 \quad \text{rãnh}$$

.....

$$y_n = y_{n-1} + 2 \quad \text{rãnh}$$



Đầu đầu hoặc đầu cuối của nhóm bôi có thể chọn đặt ở bôi nhỏ nhất hay bôi lớn nhất. Trong bài này ta chọn đầu đầu thuộc bôi nhỏ nhất, đầu cuối thuộc bôi lớn nhất.

b) Đặc điểm dây quấn một lớp dạng đồng tâm tập trung:

_ Các nhóm bôi dây có số bôi dây bằng nhau và bằng q , các bôi dây tương ứng của các nhóm có kích thước như nhau.

_ Số nhóm bôi dây của 1 pha bằng số đôi cực từ $p \Rightarrow$ các nhóm bôi dây của 1 pha nối tiếp nhau theo lối cực giả.

_ Các nhóm bôi dây được sắp theo kiểu mặt phẳng hoặc kiểu xếp ngói.

c) Vẽ sơ đồ dây quấn

Ví dụ: Vẽ sơ đồ trái dây quấn một lớp dạng đồng tâm tập trung của một động cơ KĐB 3 pha có số rãnh stato $Z = 36$ rãnh, số cực $2p = 4$.

Giải

$$\text{Bước cực từ: } \tau = \frac{Z}{2p} = \frac{36}{4} = 9 \text{ rãnh / cực}$$

$$\text{Góc lệch điện: } \alpha_d = \frac{180^\circ}{\tau} = \frac{180^\circ}{9} = 20^\circ$$

$$\text{Số rãnh 1 pha phân bố dưới một bước cực: } q = \frac{\tau}{m} = \frac{9}{3} = 3 \text{ rãnh / cực}$$

$$\text{Bước bôi dây: } y_1 = 2q + 1 = 2 \cdot 3 + 1 = 7 \text{ rãnh.}$$

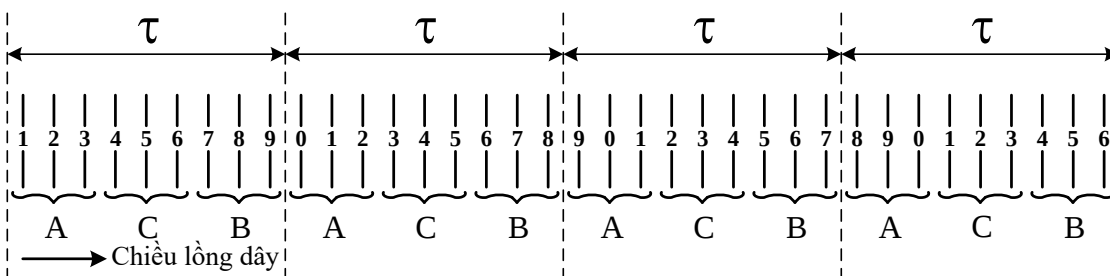
$$y_2 = y_1 + 2 = 7 + 2 = 9 \text{ rãnh.}$$

$$y_3 = y_2 + 2 = 9 + 2 = 11 \text{ rãnh}$$

$$\text{Khoảng các đầu vào (hoặc đầu ra) của 2 pha liên tiếp: } y_d = \frac{120^\circ}{\alpha_d} = \frac{120^\circ}{20^\circ} = 6 \text{ rãnh}$$

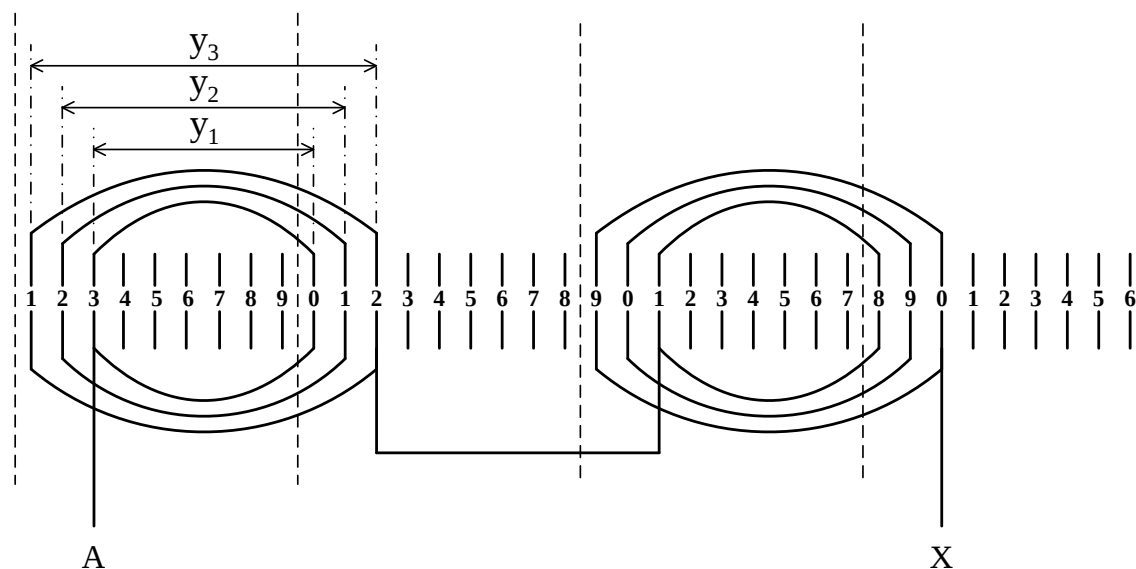
Trình tự vẽ sơ đồ trái dây quấn:

+ Vẽ các rãnh stato : vẽ các đoạn thẳng song song, ứng với mỗi đoạn là số thứ tự rãnh và phân chia cực từ theo bước cực. Chọn chiều lồng dây và phân bố các rãnh của mỗi pha theo thứ tự **A- C-B** trên mỗi cực.

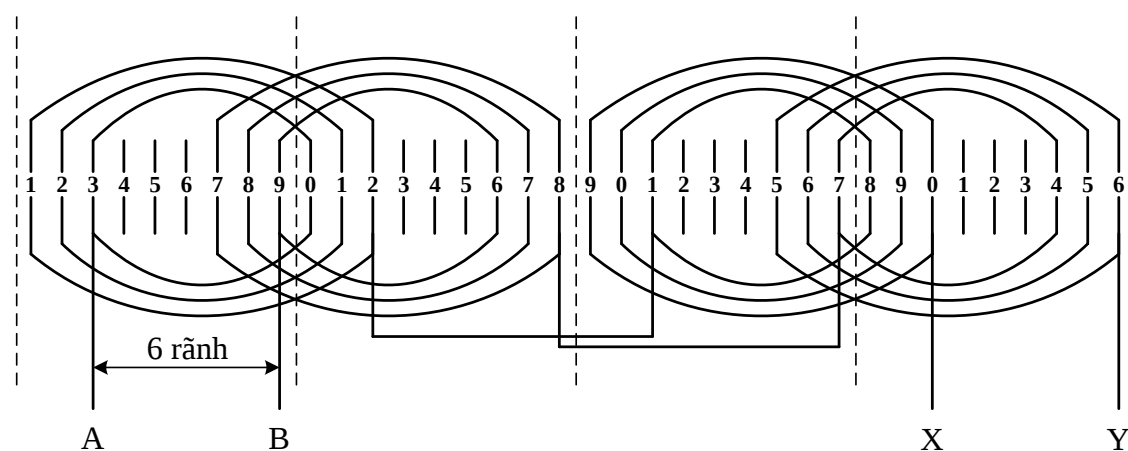


+ Căn cứ vào chiều lồng dây và bước bôi dây $y \Rightarrow$ vẽ bôi dây và kết nối thành nhóm bôi dưới một đôi cực từ, với đầu đầu thuộc cạnh đầu bôi nhỏ, đầu cuối thuộc cạnh cuối bôi lớn nhất của nhóm bôi. Sau đó nối tiếp các nhóm bôi của một pha.

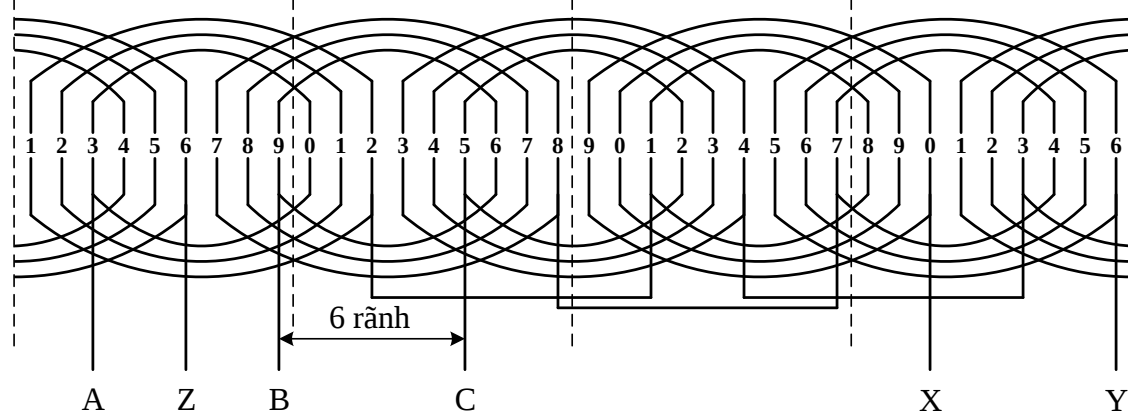
_ Vẽ dây quấn pha A



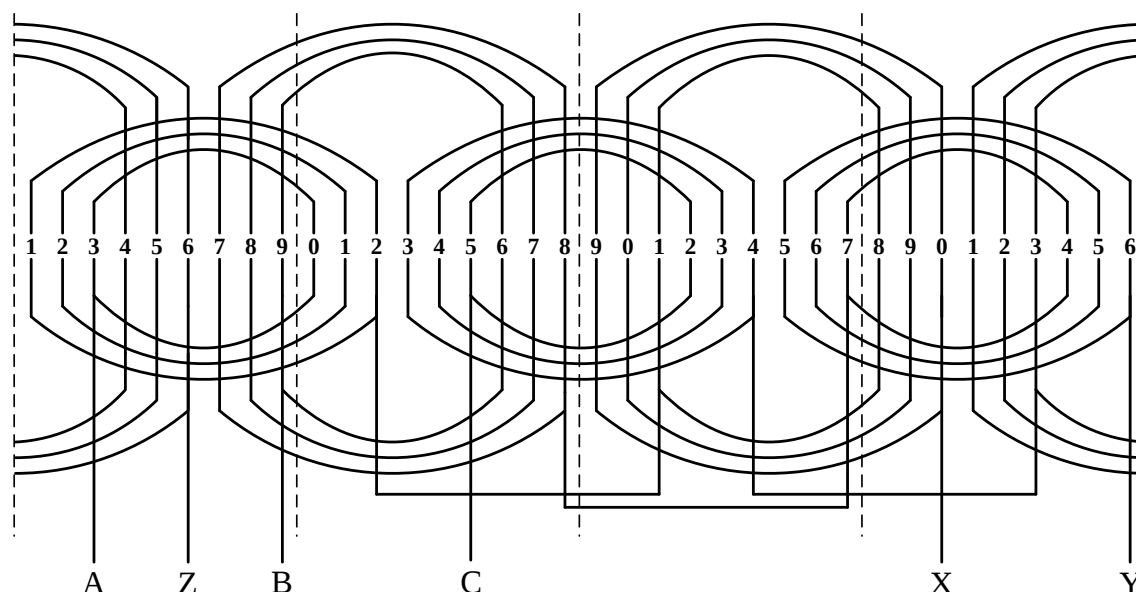
_ Vẽ dây quấn pha B. Đầu vào dây quấn pha B cách đầu vào dây quấn A $y_d = 6$ rãnh.



Vẽ dây quấn pha C. Đầu vào dây quấn pha C cách đầu vào dây quấn B $y_d = 6$ rãnh.



sơ đồ dây quấn một lớp đồng tâm tập trung sắp xếp theo kiểu xếp ngồi



Sơ đồ dây quấn đồng tâm tập trung sắp xếp theo kiểu mặt phẳng (tham khảo)

1.1.2 Dây quấn một lớp dạng phân tán :

1. Đặc điểm :

_ Nhóm bối dây phân bố trên 1 đôi (cặp) cực từ được chia thành 2 nhóm bối dây nhỏ:

+ Nếu q nguyên chẵn : mỗi nhóm chứa $(q/2)$ bối dây.

+ Nếu q nguyên lẻ : một nhóm chứa $(q+1)/2$ bối dây và nhóm còn lại chứa $(q-1)/2$ bối.

_ Số nhóm bối dây / 1 pha = $2p \Leftrightarrow$ các nhóm bối cùng 1 pha đầu cực thật.

2. Dây quấn đồng khuôn một lớp dạng phân tán đơn giản

Ví dụ: Vẽ sơ đồ trải dây quấn một lớp dạng đồng khuôn phân tán của một động cơ KĐB 3 pha có số rãnh stato $Z = 36$ rãnh, số cực $2p = 4$.

Giải

$$\text{Bước cực từ: } \tau = \frac{Z}{2p} = \frac{36}{4} = 9 \text{ rãnh / cực}$$

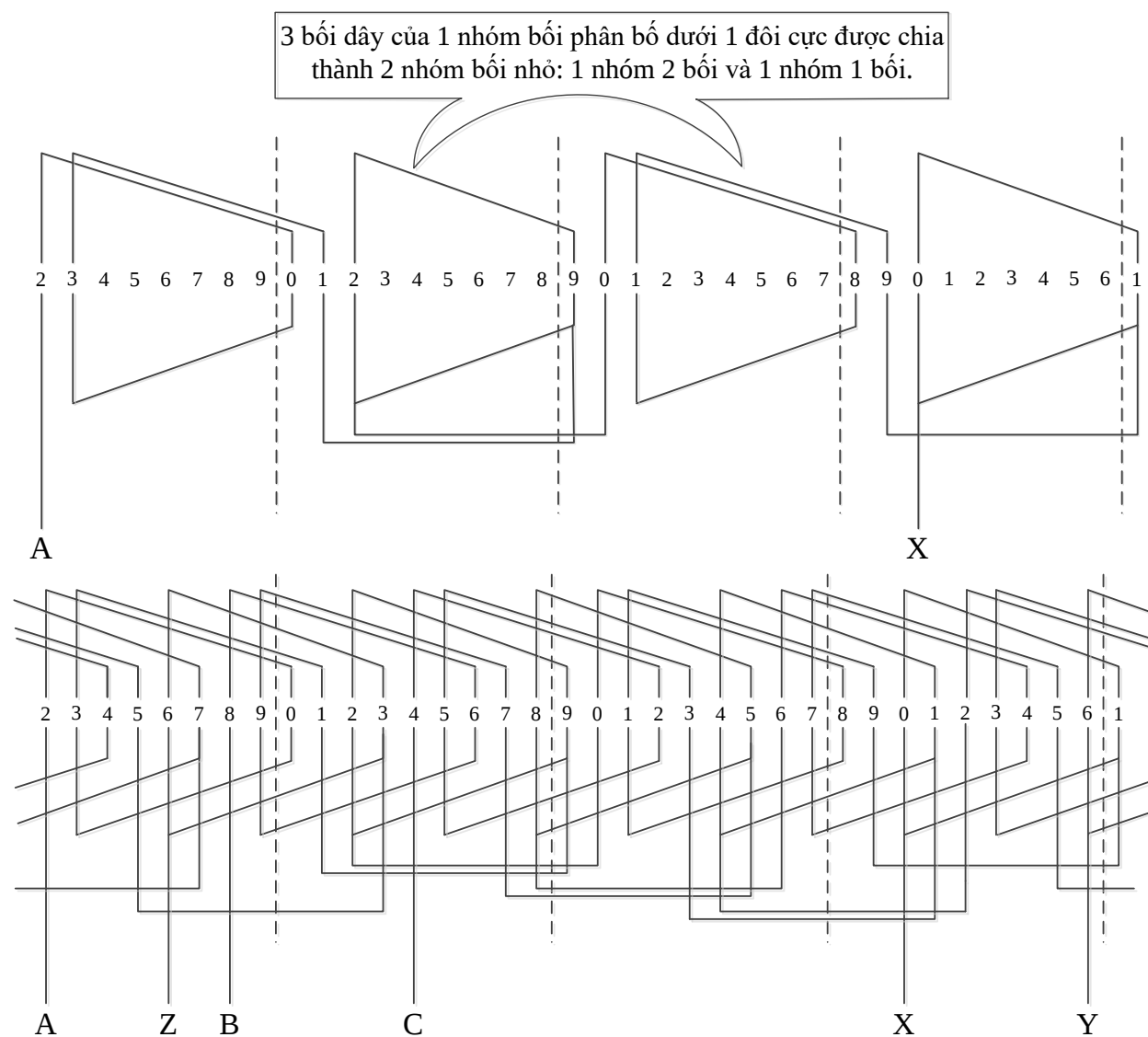
$$\text{Góc lệch điện: } \alpha_d = \frac{180^\circ}{\tau} = \frac{180^\circ}{9} = 20^\circ$$

$$\text{Số rãnh 1 pha phân bố dưới một bước cực: } q = \frac{\tau}{m} = \frac{9}{3} = 3 \text{ rãnh / cực}$$

Vì $q = 3$ lẻ nên nhóm 1 có 2 bối, nhóm 2 có 1 bối

$$\text{Khoảng các đầu vào (hoặc đầu ra) của 2 pha liên tiếp: } y_d = \frac{120^\circ}{\alpha_d} = \frac{120^\circ}{20^\circ} = 6 \text{ rãnh}$$

Trước hết, vẽ dây quấn pha A

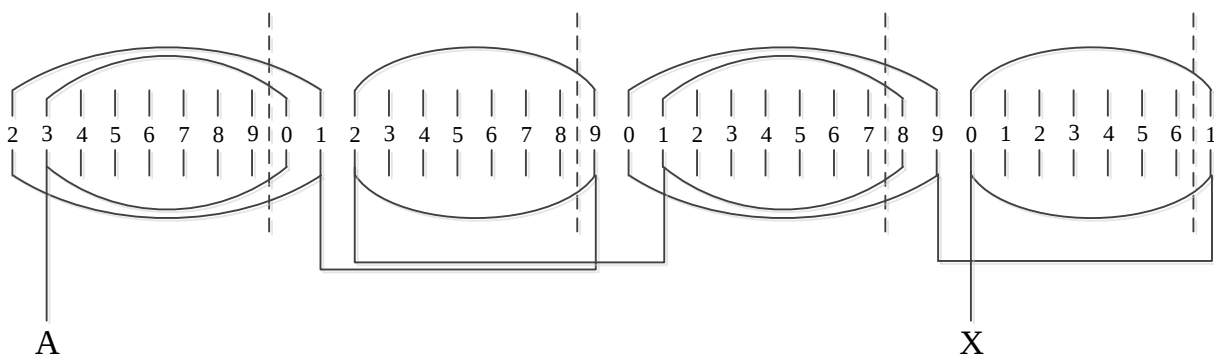


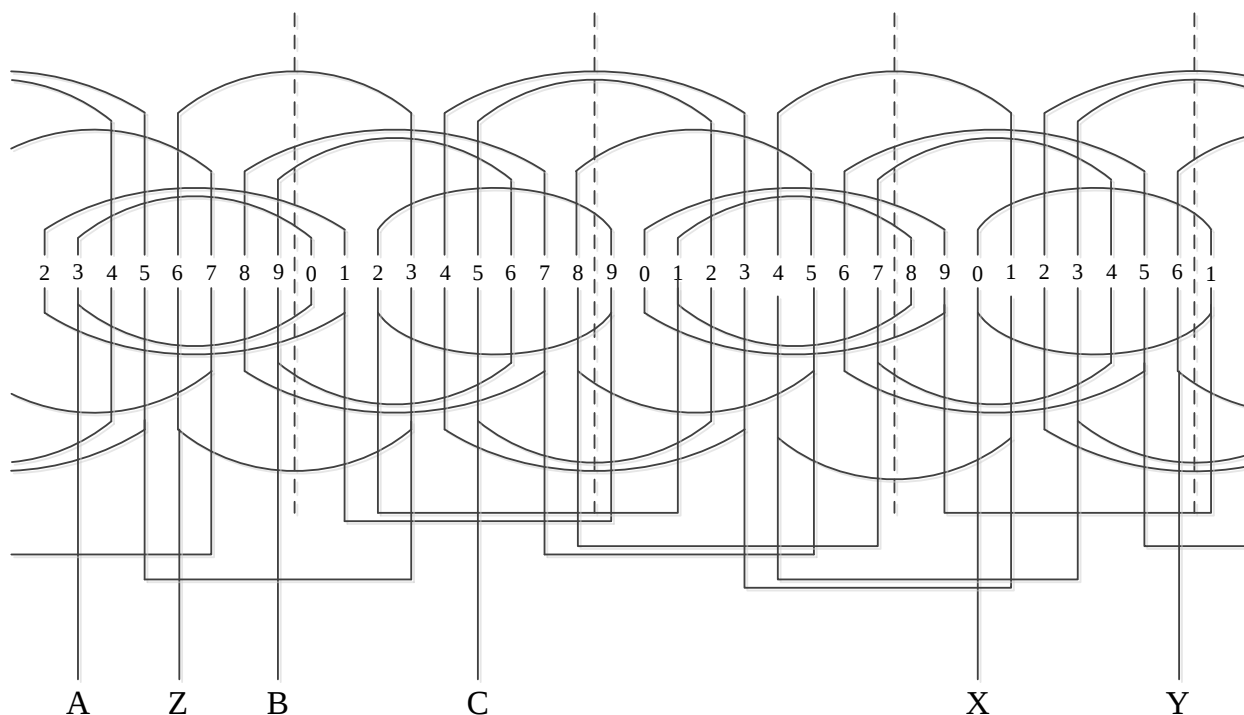
3. Dây quấn đồng tâm dạng phân tán đơn giản

Ví dụ: Vẽ sơ đồ trải dây quấn một lớp dạng đồng tâm phân tán của một động cơ KĐB 3 pha có số rãnh stato $Z = 36$ rãnh, số cực $2p = 4$.

Giải

Nội dung tính toán tương tự như ví dụ mục trên





1.2 Dây quấn stato động cơ không đồng bộ 3 pha có q là phân số

Dây quấn với q là phân số thường dùng cho các máy điện xoay chiều tốc độ thấp. Giá trị q được viết dưới dạng $q = a \frac{b}{c} = \frac{a \cdot c + b}{c}$, trong đó $\frac{b}{c}$ là phân số tối giản. Dây quấn với q phân số có thể là dây quấn một lớp hoặc hai lớp.

Việc dựng sơ đồ dây quấn một lớp với q phân số có thể thực hiện theo trình tự sau:

Bước 1: Xác định số liệu yêu cầu về sơ đồ dây quấn.

Bước 2: Xác định những thông số chính để vẽ sơ đồ.

- _ Bước cực từ τ .
- _ Góc lệch điện giữa 2 rãnh liên tiếp α_d .
- _ Số rãnh của một pha dưới một cực từ q.

$$q = \frac{\tau}{m} = \frac{Z}{m \cdot 2p} = a \frac{b}{c} = \frac{a+b}{c} = \frac{d}{c}$$

Với $\frac{b}{c}$ là phân số tối giản.

Mỗi pha có: _ b nhóm bôi với (a+1) bôi/nhóm.

_ (c - b) nhóm bôi a bôi/nhóm.

Tổng số nhóm bôi bằng c.m và tổng số bôi dây bằng d bôi.

Bước 3: Xác định vị trí mỗi nhóm bôi của mỗi pha và các rãnh mỗi pha

Trong sơ đồ dây quấn, các nhóm bôi dây được sắp xếp trình tự theo dạng (a+1) - (a) hoặc (a) - (a+1) và lặp lại kế tiếp nhau 3 lần như sau:

$$\underbrace{(a+1).....(a+1)}_{b \text{ nhóm}} \underbrace{(a).....(a)}_{(c-b) \text{ nhóm}} \underbrace{(a+1).....(a+1)}_{b \text{ nhóm}} \underbrace{(a).....(a)}_{(c-b) \text{ nhóm}} \underbrace{(a+1).....(a+1)}_{b \text{ nhóm}} \underbrace{(a).....(a)}_{(c-b) \text{ nhóm}}$$

Hoặc:

$$\underbrace{(a).....(a)}_{(c-b) \text{ nhóm}} \underbrace{(a+1).....(a+1)}_{b \text{ nhóm}} \underbrace{(a).....(a)}_{(c-b) \text{ nhóm}} \underbrace{(a+1).....(a+1)}_{b \text{ nhóm}} \underbrace{(a).....(a)}_{(c-b) \text{ nhóm}} \underbrace{(a+1).....(a+1)}_{b \text{ nhóm}}$$

Mỗi nhóm tương ứng với mỗi pha, các nhóm sắp đặt theo thứ tự pha là A-B-C.

Lập sơ đồ nhóm bối dây, xác định vị trí mỗi nhóm bối của mỗi pha và các rãnh mỗi pha.

Bước 4: Vẽ sơ đồ dây quấn.

Lưu ý: Đối với trường hợp q phân số, đầu vào 2 pha liên tiếp lệch 120^0 hoặc 240^0 còn tùy thuộc vào dạng sơ đồ dây quấn xây dựng.

Khoảng cách đầu vào 2 pha liên tiếp lệch 120^0 hoặc 240^0 : $y_d = \frac{120^0}{\alpha_d}$ hoặc $y_d = \frac{240^0}{\alpha_d}$

Ví dụ: Dựng sơ đồ khai triển dây quấn stato 1 lớp kiểu đồng tâm cho động cơ không đồng bộ 3 pha có $Z = 18$ rãnh, $2p = 4$.

Giải

Bước 1: Xác định số liệu yêu cầu về sơ đồ dây quấn.

Bước 2: Xác định những thông số chính để vẽ sơ đồ.

Bước cực từ τ : $\tau = \frac{Z}{2p} = \frac{18}{4} = \frac{9}{2}$ rãnh

Số rãnh mỗi pha phân bố dưới một cặp cực q: $q = \frac{\tau}{m} = \frac{9}{3 \cdot 2} = \frac{3}{2} = 1\frac{1}{2}$

rãnh/pha/cực.

Góc lệch điện giữa 2 rãnh liên tiếp α_d : $\alpha_d = \frac{180^0}{\tau} = \frac{180^0 \cdot 2}{9} = 40^0$

Mỗi pha gồm: $\underline{\quad}$ 1 nhóm bối có 2 bối/nhóm.

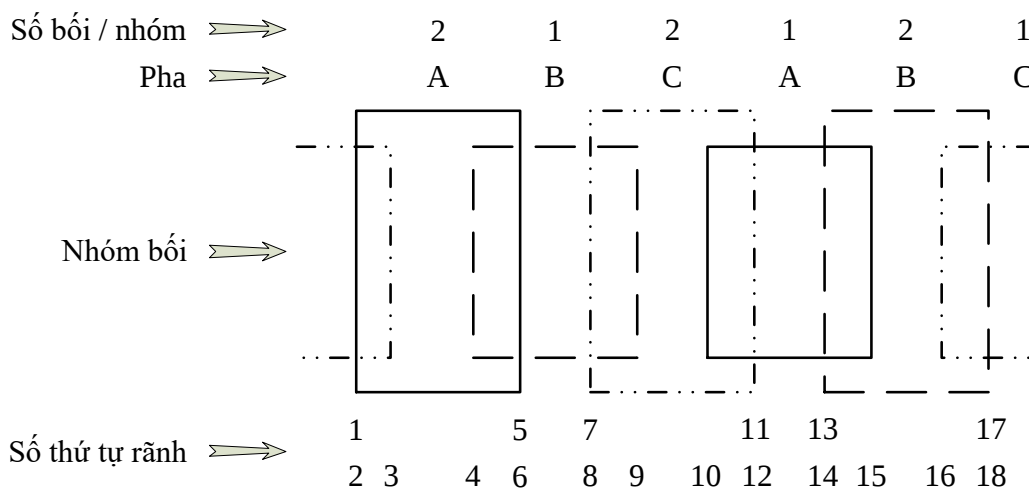
$\underline{\quad}$ 1 nhóm bối có 1 bối/nhóm

Tổng số nhóm bối là 6 nhóm bối và tổng số bối bằng 9 bối.

Bước 3: Xác định vị trí mỗi nhóm bối của mỗi pha và các rãnh mỗi pha

Các nhóm bối dây được sắp xếp trình tự theo dạng: **2 1 – 2 1 – 2 1**

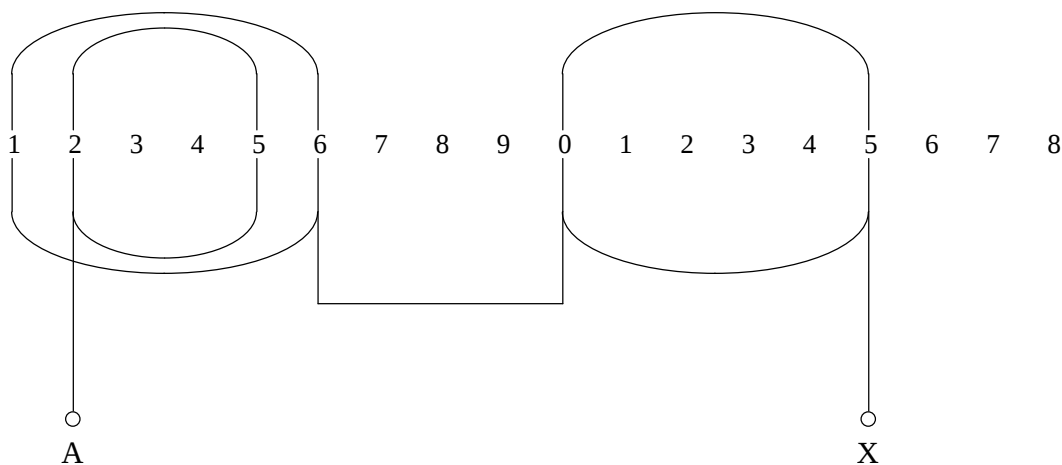
Lập sơ đồ nhóm bối dây, xác định vị trí mỗi nhóm bối của mỗi pha và các rãnh mỗi pha.



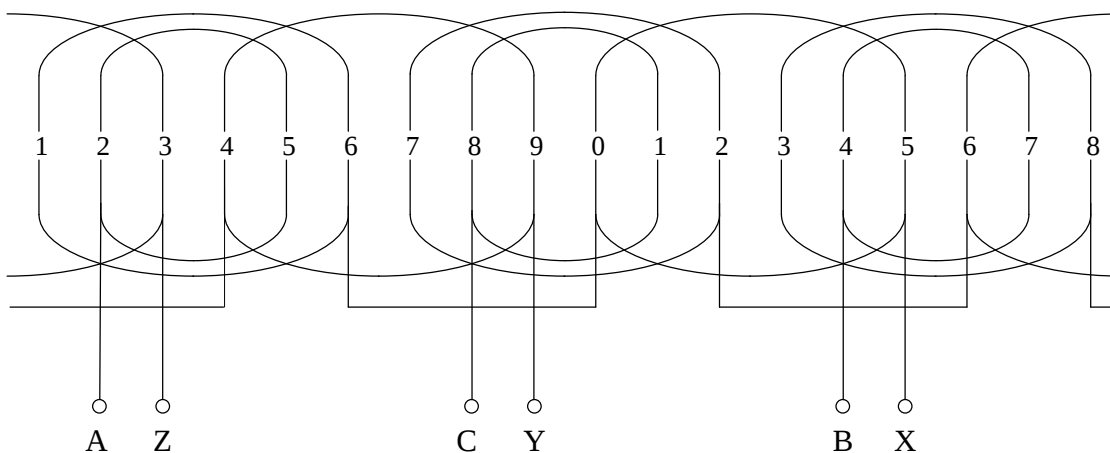
Vị trí các rãnh mỗi pha:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8
A	A	C'	B	A'	A'	C	C	B'	A	C'	C'	B	B	A'	C	B'	B'

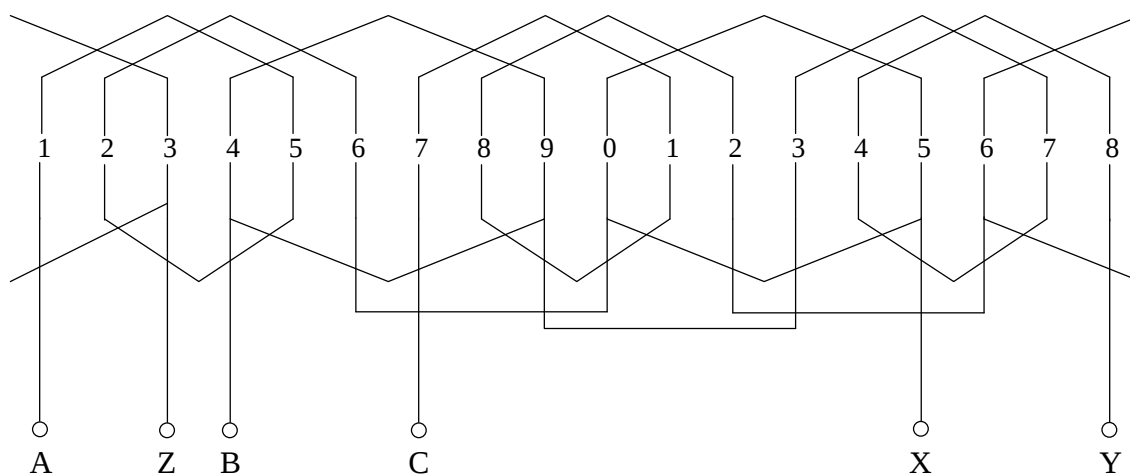
Bước 4: Vẽ sơ đồ dây quấn



Sơ đồ dây quấn pha A, dạng đồng tâm tập trung với $Z = 18$ rãnh, $2p = 4$ cực



Sơ đồ khai triển dây quấn một lớp, đồng tâm tập trung với $Z = 18$ rãnh, $2p = 4$ cực, có khoảng cách đầu vào 2 pha liên tiếp lệch nhau 240°



Sơ đồ khai triển dây quấn một lớp, đồng khuôn tập trung với $Z = 18$ rãnh, $2p = 4$ cực, có khoảng cách đầu vào 2 pha liên tiếp lệch nhau 120°

1.3 Tính toán dây quấn stato động cơ không đồng bộ 3 pha mất số liệu

Trình tự tính toán:

Nội dung phần tính toán này chỉ áp dụng cho dây quấn một lớp.

Bước 1: Xác định tham số cần thiết cho việc tính toán

- _ Kích thước lõi thép.
- _ Điều kiện thông gió, giải nhiệt, cấp cách điện.
- _ Sơ đồ đầu dây và điện áp vận hành.

Bước 2: Phỏng định số cực $2p$ thích ứng với lõi thép động cơ

Gọi $2p_{\min}$ là số cực nhỏ nhất, ta có:

$$2p_{\min} = (0,4 \div 0,5) \frac{D_t}{b_g}$$

Trong đó: _ D_t đường kính trong lõi thép stato

_ b_g bề dày gông lõi thép stato

Bước 3: Lập biểu thức quan hệ từ thông giữa một cực từ Φ và mật độ từ thông qua khe hở không khí B_δ

$$\Phi = \alpha_\delta \cdot (\tau \cdot L) \cdot B_\delta$$

Trong đó: _ α_δ hệ số cung cực từ, chọn $\alpha_\delta = 0,7$ đến $0,715$

_ τ bước cực từ: $\tau = \frac{\pi \cdot D_t}{2p} \quad (m^2)$

_ Diện tích mặt cực từ $\tau \cdot L$: $\tau \cdot L = \frac{\pi \cdot D_t}{2p} \cdot L \quad (m^2)$

Bước 4: Lập biểu thức quan hệ giữa mật độ từ thông qua gông lõi thép stato B_g với mật độ từ thông qua khe hở không khí B_δ

$$B_g = \frac{\Phi}{2b_g.L.K_c} \quad (T)$$

K_c hệ số ép chặt lõi thép, chọn $K_c = (0,93 \div 0,95)$ (một cách gần đúng có thể chọn $K_c = 1$)
 Bước 5: Lập biểu thức quan hệ giữa mật độ từ thông qua rãnh lõi thép stato B_g với mật độ từ thông qua khe hở không khí B_δ

$$B_r = \left(\frac{\pi.D_t}{Z.b_r} \right).B_\delta \quad (T)$$

Bước 6: Chọn giá trị B_δ

Từ biểu thức biểu diễn mối quan hệ giữa B_δ với B_g và B_r , chọn B_δ sao cho B_g và B_r đạt giá trị nhỏ hơn và gần bằng giá trị max như sau:

$$B_{g\max} \leq 1,4 T \quad \text{và} \quad B_{r\max} \leq 1,5 T$$

Bước 7: Chọn kết cấu dây quấn và hệ số dây quấn

$$k_{dq} = k_r.k_n = \frac{\sin\left(q.\frac{\alpha_\delta}{2}\right)}{q.\sin\left(\frac{\alpha_\delta}{2}\right)}.\sin\left(\frac{y}{\tau}.90^\circ\right)$$

Bước 8: Tổng số vòng dây cho mỗi pha dây quấn N_{pha}

$$N_{pha} = \frac{k_E.U_{dm\ pha}}{4,44.f.\phi.k_{dq}}$$

Với: N_{pha} tổng số vòng của mỗi pha dây quấn

k_E tỉ số giữa điện áp nguồn nhập vào mỗi pha dây quấn so với sức điện động cảm ứng trên bộ dây của mỗi pha.

$U_{dm\ pha}$ điện áp định mức mỗi pha.

k_E phụ thuộc cấp công suất động cơ và thường được cho theo quan hệ của diện tích mặt cực ($\tau.L$) như trong bảng sau:

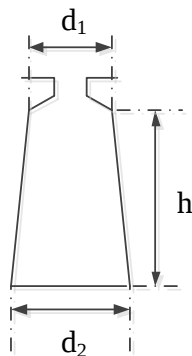
$\tau.L$ (cm ²)	15÷50	50÷100	100÷150	150÷400	Trên 400
K_E	0,75÷0,86	0,86÷0,9	0,9÷0,93	0,93÷0,95	0,96÷0,97

Khi tính xong N_{pha} , điều chỉnh tròn số, sao cho N_{pha} là bội số của tổng số búi dây chứa trong một pha và N_{pha} có giá trị nguyên.

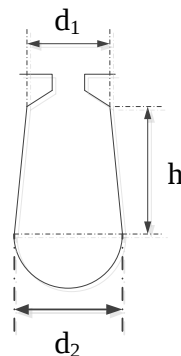
Số vòng dây trong mỗi búi N_{bui}
$$N_{bui} = \frac{N_{pha}}{Tongsoboi / pha}$$

Bước 9: Xác định tiết diện rãnh stato, chọn hệ số lấp đầy, đường kính dây quấn không lớp men cách điện.

Công thức tính tiết diện rãnh



Rãnh hình thang



Rãnh quả lê

Tiết diện rãnh hình thang: $S_r = \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \right) h$

Tiết diện rãnh quả lê: $S_r = \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \right) \left(h - \frac{d_2}{2} \right) + \frac{\pi \cdot d_2^2}{8}$

Hệ số lấp đầy rãnh: theo định nghĩa, ta có công thức tổng quát

$$k_{ld} = \frac{\text{Tổng tiết diện dây quấn chưa trong rãnh}}{\text{Diện tích rãnh}}$$

Có thể biểu diễn k_{ld} theo công thức cụ thể

$$k_{ld} = \frac{n \cdot u_r \cdot N_b \cdot S_{cd}}{S_r}$$

Trong đó: n số sợi chập.

u_r số cạnh tác dụng chứa trong một rãnh. Với dây quấn 1 lớp $u_r = 1$.

S_{cd} tiết diện 1 sợi dây kể cả lớp men cách điện.

k_{ld} được chọn trong bảng sau:

Hình dạng rãnh	Loại dây quấn	k_{ld}
Hình thang hay hình chữ nhật	2 lớp	0,33 đến 0,40
	1 lớp	0,36 đến 0,43
Hình quả lê	2 lớp	0,36 đến 0,43
	1 lớp	0,33 đến 0,48

Sau khi chọn k_{ld} , suy ra tiết diện dây quấn S_{cd} và đường kính dây quấn:

$$S_{cd} = \frac{k_{ld} \cdot S_r}{n \cdot u_r \cdot N_b}$$

Với dây dẫn tiết diện tròn, đường kính dây kể cả lớp men bọc cách điện d_{cd} là:

$$d_{cd} = 1,128 \sqrt{S_{cd}}$$

Từ kết quả d_{cd} tính được, tra trong catalogue của nhà sản xuất dây điện từ, để tìm giá trị phù hợp. (nếu k_{ldmax} phải chọn đường kính dây bằng hoặc nhỏ hơn và gần bằng giá trị đã tính).

Nếu không, có thể xác định đường kính dây trần d (không có lớp men), có thể tính:

$$d = d_{cd} - 0,05 \text{ (mm)}$$

Trong đó giá trị 0,05mm là độ dày của lớp men, phù hợp với dây quấn có đường kính từ (0,25÷1) mm (với dây có đường kính càng nhỏ thì độ dày lớp men càng nhỏ). Sau đó, điều chỉnh d đúng với giá trị tiêu chuẩn của nhà sản xuất.

Bước 10: Chọn mật độ dòng điện J và suy ra dòng điện định mức $I_{đmpha}$ qua mỗi pha dây quấn

Đối với động cơ có công suất trung bình, không chú ý đến thông gió, có thể chọn J theo cấp cách điện sau:

_ Cách điện cấp A: $J = 5,5$ đến $6,5 \text{ A/mm}^2$

_ Cách điện cấp B: $J = 6,5$ đến $7,5 \text{ A/mm}^2$

Sau khi chọn J , tính dòng điện định mức mỗi pha dây quấn như sau:

$$I_{đmpha} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot J$$

Bước 11: Dựa theo hiệu suất động cơ η và hệ số công suất $\cos\varphi$ để xác định công suất định mức $P_{đm}$ cho động cơ.

$$P_{đm} = 3U_{đmpha} \cdot I_{đmpha} \cdot (\eta \cdot \cos\varphi)$$

Giá trị η và $\cos\varphi$ có thể tra trên bảng thông số điện định mức của các động cơ do nhà sản xuất cung cấp.

Ví dụ: Cho một động cơ không đồng bộ 3 pha cũ, mất số liệu về dây quấn stato. Động cơ có kích thước lõi thép stato như sau:

Đường kính trong của lõi thép $D_t = 78\text{mm}$

Chiều dài lõi thép $L = 66\text{mm}$

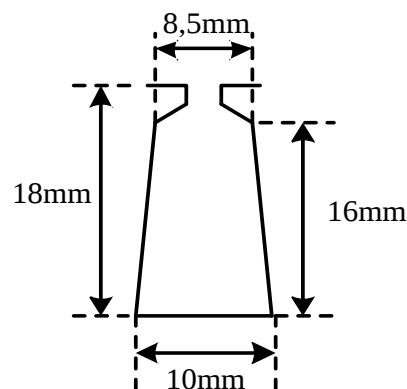
Bề dày gông lõi thép $b_g = 11\text{mm}$

Bề dày răng lõi thép $b_r = 3,5\text{mm}$

Tổng số rãnh stato $Z = 36$ rãnh

Rãnh hình quả lê có kích thước như hình vẽ

Yêu cầu : Tính lại số liệu dây quấn stato gồm



các số vòng dây, tiết diện dây (không cần tính khối lượng dây) và công suất động cơ để vận hành ở nguồn điện xoay chiều 3 pha, tần số $f = 50\text{Hz}$ với cách đấu dây Δ/Y : $220\text{V}/380\text{V}$.

Giải

_Phỏng định số cực $2p$

$$2p_{\min} = (0,4 \div 0,5) \cdot \frac{D_t}{b_g} = (0,4 \div 0,5) \cdot \frac{110}{15} = (2,93 \div 3,66) \Rightarrow \text{chọn } 2p = 4$$

_Biểu thức quan hệ giữa ϕ với B_δ :

$$\text{Ta có: Diện tích mặt cực từ: } \tau \cdot L = \frac{\pi \cdot D_t}{2p} \cdot L = \frac{3,14 \cdot 110}{4} \cdot 86 = 7426,10 \text{ mm}^2 = 74,26 \text{ cm}^2$$

Và chọn $\alpha_\delta = 0,7$, vậy:

$$\phi = \alpha_\delta \cdot (\tau \cdot L) \cdot B_\delta = 0,7 \cdot 7426,10 \cdot 10^{-6} \cdot B_\delta = 51,98 \cdot 10^{-4} B_\delta$$

$$\phi = 51,98 \cdot 10^{-4} B_\delta$$

_Biểu thức quan hệ giữa B_g với B_δ :

Chọn hệ số ép chặt lõi thép $K_c = 0,95$ (một cách gần đúng có thể chọn $K_c = 1$), ta có:

$$B_g = \frac{\Phi}{2b_g \cdot L \cdot K_c} = \frac{51,98 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 15 \cdot 86 \cdot 10^{-6} \cdot 0,95} \cdot B_\delta = 2,12 \cdot B_\delta$$

$$B_g = 2,12 \cdot B_\delta$$

_Biểu thức quan hệ giữa B_r với B_δ :

$$B_r = \left(\frac{\pi \cdot D_t}{Z \cdot b_r} \right) \cdot B_\delta = \left(\frac{3,14 \cdot 110}{36 \cdot 7} \right) \cdot B_\delta = 1,37 \cdot B_\delta$$

$$B_r = 1,37 \cdot B_\delta$$

_Chọn B_δ sao cho $B_{g\max} \leq 1,4\text{T}$ và $B_{r\max} \leq 1,5\text{T}$

$$\text{Với } B_{g\max} \leq 1,4\text{T} \Rightarrow B_\delta \leq 0,66\text{T} \text{ và } B_{r\max} \leq 1,5\text{T} \Rightarrow B_\delta \leq 1,095\text{T}.$$

Ta chọn B_δ gần bằng và nhỏ hơn giá trị max $B_\delta = 0,65\text{T}$

_Chọn kết cấu dây quấn và hệ số dây quấn

Chọn dây quấn 1 lớp dạng đồng khuôn bước đủ $\Rightarrow$ hệ số $k_n = 1$, vậy hệ số dây quấn:

$$k_{dq} = \frac{\sin\left(q \cdot \frac{\alpha_\delta}{2}\right)}{q \cdot \sin\left(\frac{\alpha_\delta}{2}\right)} = \frac{\sin\left(3 \cdot \frac{20^\circ}{2}\right)}{3 \cdot \sin\left(\frac{20^\circ}{2}\right)} = 0,961$$

$$\text{Trong đó: số rãnh của 1 pha/ bước cực từ: } q = \frac{Z}{2p \cdot m} = \frac{36}{4 \cdot 3} = 3 \text{ rãnh / buoc cuc}$$

$$\text{Và góc lệch điện } \alpha_d = \frac{p \cdot 360^\circ}{Z} = \frac{2 \cdot 360^\circ}{36} = 20^\circ$$

_ Tổng số vòng dây cho mỗi pha dây quấn N_{pha}

$$\text{Ta có: } N_{pha} = \frac{k_E \cdot U_{dm\ pha}}{4,44 \cdot f \cdot \phi \cdot k_{dq}}$$

Và với diện tích mặt cực $\tau \cdot L = (50 \rightarrow 100) \text{ cm}^2$ thì $k_E = (0,86 \div 0,9)$. Tính k_E :

$$k_E = \frac{(0,9 - 0,86)}{(100 - 50)} \cdot (74,26 - 50) + 0,86 = 0,8794$$

$$\Rightarrow N_{pha} = \frac{0,8794 \cdot 220}{4,44 \cdot 50 \cdot 51,98 \cdot 10^{-4} \cdot 0,65 \cdot 0,961} = 268 \text{ vòng}$$

$$\text{Mỗi pha có 6 biri} \Rightarrow \text{số vòng / biri} = \frac{N_{pha}}{6} = \frac{268}{6} = 44,66 \text{ vòng} \approx 45 \text{ vòng}$$

$$\text{Vậy tổng số vòng dây cho mỗi pha dây quấn } N_{pha} = 45 \cdot 6 = 270 \text{ vòng}$$

_ Tiết diện rãnh stato : vì rãnh hình thang nên

$$S_r = \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \right) \cdot h = \left(\frac{8,5 + 10}{2} \right) \cdot 16 = 148 \text{ mm}^2$$

Tiết diện dây quấn kể cả cách điện: chọn hệ số lấp đầy $k_{ld} = 0,42$, ta có

$$S_{cd} = \frac{k_{ld} \cdot S_r}{N_b} = \frac{0,42 \cdot 148}{45} = 1,381 \text{ mm}^2$$

$$\text{Đường kính dây kể cả cách điện: } d_{cd} = 1,128 \cdot \sqrt{S_{cd}} = 1,128 \cdot \sqrt{1,381} = 1,32 \text{ mm} \approx 1,3 \text{ mm}$$

Đường kính dây trần (không lớp bọc cách điện):

$$d = d_{cd} - 0,05 = 1,3 - 0,05 = 1,25 \text{ mm} \Rightarrow \text{chọn } d = 1,25 \text{ mm}$$

$$\text{Đường kính dây tính luôn cách điện: } d_{cd} = 1,2 + 0,05 = 1,3 \text{ mm}$$

Vì không hiệu chỉnh đường kính dây nên không cần kiểm tra lại hệ số lấp đầy k_{ld}

$$\text{_ Dòng điện pha định mức của động cơ: } I_{dmpha} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot J = \frac{3,14 \cdot 1,25^2}{4} \cdot 6,5 = 7,97 \text{ A}$$

$$\text{Với mật độ dòng điện với cách điện cấp A: } J = 6,5 \text{ A/mm}^2$$

_ Tính công suất định mức động cơ :

Tra bảng chọn gần đúng hiệu suất $\eta = 0,82$ hệ số $\cos \varphi = 0,88$, công suất định mức được ước tính như sau

$$P_{dm} = 3 \cdot U_{dmpha} \cdot I_{dmpha} \cdot \eta \cdot \cos \varphi = 3 \cdot 220 \cdot 7,97 \cdot 0,82 \cdot 0,88 = 3795 \text{ W} \approx 5 \text{ hp}$$

CHƯƠNG 2

TÍNH TOÁN MÁY BIẾN ÁP

§2.1 Máy biến áp cách ly

Trình tự tính toán dây quấn và chọn lõi thép cho máy biến áp cách ly

Bước 1 : Xác định số liệu cần thiết

- Điện áp sơ cấp định mức U_1 và điện áp thứ cấp định mức U_2 .
- Dòng điện thứ cấp định mức I_2 hoặc công suất toàn phần thứ cấp định mức S_2

Mối quan hệ giữa I_2 và S_2 tính theo công thức như sau:

$$S_2 = U_2 \cdot I_2 \quad (\text{VA})$$

- Tần số nguồn điện f (Hz)
- Chế độ làm việc của máy biến áp: ngắn hạn hay dài hạn.

Bước 2 : Tính tiết diện tính toán của lõi thép

Tính tiết diện tính toán của lõi thép:

$$A_t = 1,423K \cdot \frac{\sqrt{S_2}}{B_m} \quad (\text{cm}^2)$$

Trong đó:

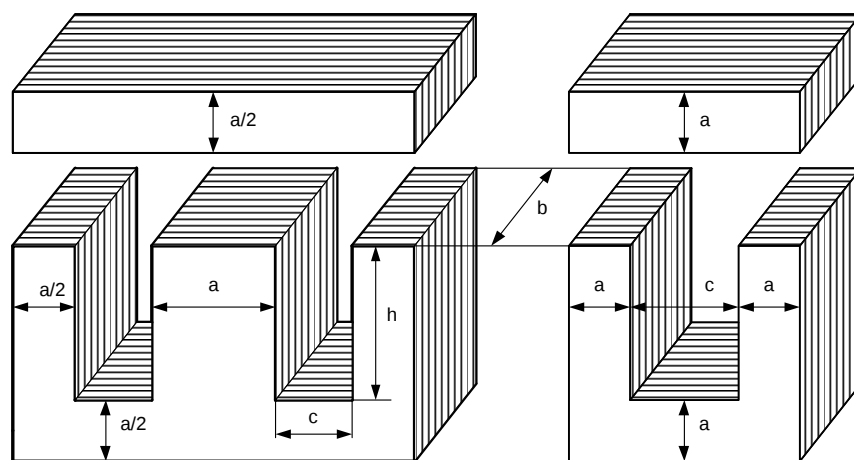
_ S_2 : công suất toàn phần cung cấp phía thứ cấp máy biến áp. [VA]

_ K : hệ số hình dáng lõi thép

+ $K = (1 \div 1,2)$ ứng với lõi thép dạng EI .

+ $K = (0,75 \div 0,85)$ ứng với lõi thép dạng UI .

_ B_m : Mật độ từ thông (từ cảm) sử dụng trong lõi thép (đơn vị Tesla [T]), lá thép có hàm lượng silic khác nhau B_m cũng khác nhau. Với loại lá thép dẫn từ không định hướng $B_m = (0,8 \div 1,2)\text{T}$, còn loại lá thép dẫn từ có định hướng $B_m = (1,2 \div 1,6)\text{T}$.



Hình dạng và ký hiệu các phần kích thước trên lõi thép EI và UI

Nếu sử dụng lõi thép có sẵn (yêu cầu ở bước 1 không cho giá trị công suất), có thể tính tiết diện tính toán thông qua tiết diện thật (đo được thực tế) của lõi thép :

$$A_g = a.b \quad (\text{cm}^2)$$

Giữa A_t và A_g có sự chênh lệch nhau ($A_t < A_g$) do:

- Bề dày lớp sơn cách điện tráng trên hai mặt lá thép.
- Ba vớ trên mép (biên) lá thép làm cho các lá thép không thể ghép khít chặt với nhau.

Quan hệ giữa A_t và A_g tính bằng công thức:

$$A_g = \frac{A_t}{K_g} \quad (\text{cm}^2)$$

Trong đó K_g là hệ số ghép được xác định trong bảng sau :

Bề dày lá thép [mm ²]	K_g	
	Lá thép ít ba vớ	Lá thép nhiều ba vớ
0,35	0,92	0,8
0,5	0,95	0,85

Hiện nay, lõi thép dùng cho máy biến áp 1 pha thông dụng là dạng EI, UI. Kích thước của lõi thường có quan hệ với nhau theo tỉ lệ nhất định:

Dạng EI: $b = (1 \div 1,5)a$; $h = 1,5a$; $c = 0,5a$.

Dạng UI: $b = a$; $h = 4a$; $c = a$.

Độ dày của lá thép $e_l = (0,35 \div 0,5) \text{ mm}$.

Bước 3 : Tính số vòng dây tạo ra một vôn sức điện động

Gọi W là số vòng dây tạo ra một vôn sức điện động:

$$W = \frac{1}{4,44 \cdot f \cdot A_t \cdot B_m} \quad (\text{vòng/vôn})$$

Trường hợp $f = 50 \text{ Hz}$:
$$W = \frac{45}{A_t \cdot B_m} \quad (\text{vòng/vôn})$$

Bước 4 : Xác định điện áp thứ cấp khi máy biến áp không tải

Gọi U_{20} là điện áp thứ cấp khi không tải, U_2 điện áp thứ cấp khi mang tải . Ta có độ sụt áp phía thứ cấp lúc mang tải: $\Delta U_2 = U_{20} - U_2 \quad (\text{V})$

Hoặc tính theo phần trăm:
$$\Delta U_2 \% = \frac{U_{20} - U_2}{U_2} \cdot 100$$

Chuyển về và biến đổi:
$$\frac{U_{20}}{U_2} = 1 + \frac{\Delta U_2 \%}{100} = C_h$$

Vậy:
$$U_{20} = C_h \cdot U_2 \quad (\text{V})$$

Quan hệ giữa C_h và S_2 cho trong bảng sau: trong đó S_2 đơn vị là (VA)

S ₂	C _h	S ₂	C _h	S ₂	C _h	S ₂	C _h
5	1,35	50	1,12	180	1,060	700	1,032
7,5	1,28	60	1,11	200	1,058	800	1,030
10	1,25	70	1,10	250	1,052	900	1,028
15	1,22	80	1,09	300	1,048	1000	1,025
20	1,18	90	1,085	350	1,045	1500	1,020
25	1,16	100	1,08	400	1,042	2000	1,016
30	1,14	120	1,075	500	1,038	3000	1,009
40	1,13	150	1,065	600	1,035		

Bước 5 : Tính số vòng dây cuộn sơ cấp và cuộn thứ cấp

Số vòng dây cuộn sơ cấp: $W_1 = W \cdot U_1$ (vòng)

Số vòng dây cuộn thứ cấp: $W_2 = W \cdot U_{20}$ (vòng)

Bước 6 : Tính đường kính dây quấn sơ cấp và dây quấn thứ cấp .

Đường kính dây quấn sơ cấp: $d_1 = 1,128 \cdot \sqrt{\frac{I_1}{J}}$ (mm)

Trong đó: Dòng điện sơ cấp được tính: $I_1 = \frac{S_2}{\eta \cdot U_1}$ (A)

Quan hệ giữa hiệu suất η và S_2 được cho trong bảng sau:

S ₂ (VA)	Đến 10	10 ÷ 30	30 ÷ 50	50 ÷ 100	100 ÷ 150	> 150
η	0,6 ÷ 0,7	0,7 ÷ 0,8	0,8 ÷ 0,85	0,85 ÷ 0,9	0,9	0,9 ÷ 0,95

J mật độ dòng điện [A/mm²] được chọn phụ thuộc vào cấp cách điện của vật liệu, điều kiện giải nhiệt của dây quấn, chế độ vận hành ...

Nếu máy làm việc liên tục, điều kiện giải nhiệt kém, J được chọn theo bảng sau:

S ₂ (VA)	0 ÷ 50	50 ÷ 100	100 ÷ 200	200 ÷ 500	500 ÷ 1000
J (A/mm ²)	4	3,5	3	2,5	2

Nếu máy làm việc ngắn hạn (không liên tục), có vật liệu cách điện cấp A, J được chọn như sau:

S ₂ (VA)	0 ÷ 50	50 ÷ 100	100 ÷ 200	200 ÷ 500	500 ÷ 1000
J (A/mm ²)	5 đến 6	4,5 đến 5,5	4 đến 5	3,5 đến 4,5	3 đến 4

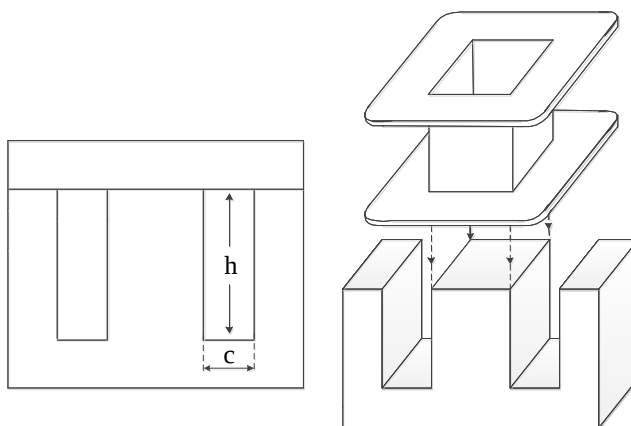
Đường kính dây quấn thứ cấp: $d_2 = 1,128 \cdot \sqrt{\frac{I_2}{J}}$ [mm] (14)

Sau khi tính xong đường kính dây, phải hiệu chỉnh lại cho phù hợp với kích thước của nhà sản xuất dây điện từ. Đường kính dây đã hiệu chỉnh bằng hoặc lớn hơn và gần bằng đường kính dây được tính toán

Bước 7 : Chọn hệ số lấp đầy và tính chọn kích thước lõi thép

Hệ số lấp đầy máy biến áp được tính như sau:

$$k_{ld} = \frac{\text{Tổng tiết diện dây quấn chưa trong của so lõi thép}}{\text{Diện tích của so lõi thép}}$$



Tổng diện tích dây quấn sơ cấp và thứ cấp choán chỗ ở cửa sổ lõi thép là:

$$\Sigma D_{tdq} = W_1 \cdot S_{1cd} + W_2 \cdot S_{2cd} \quad (\text{cm}^2)$$

Diện tích cửa sổ lõi thép: $D_{tcs} = c \cdot h \quad (\text{cm}^2)$

Ta có:

$$k_{ld} = \frac{W_1 \cdot S_{1cd} + W_2 \cdot S_{2cd}}{c \cdot h}$$

Trong đó : S_{1cd} , S_{2cd} là tiết diện dây quấn sơ và thứ cấp đã tính lớp men (sơn) cách điện.

Giá trị k_{ld2} phải thỏa trong phạm vi $k_{ld2} = 0,36 \div 0,46$.

§2.2 Máy biến áp tự ngẫu

Máy biến áp tự ngẫu có cuộn dây sơ cấp và cuộn dây thứ cấp có chung một số vòng dây.

So với máy biến áp cách ly cùng công suất, máy biến áp tự ngẫu có:

- _ Lõi thép có kích thước nhỏ hơn.
- _ Số vòng dây quấn ít hơn và đường kính dây quấn có thể nhỏ hơn.
- _ Sụt áp trong cuộn dây quấn ít hơn.

...

Tóm lại, so với máy cách ly cùng công suất thì máy tự ngẫu có kích thước nhỏ hơn, lượng vật tư chế tạo ít hơn nên giá thành rẻ hơn. Tuy nhiên máy biến áp tự ngẫu nguy hiểm hơn về mặt an toàn điện.

Trình tự và nội dung tính toán tương tự máy biến áp cách ly. Tuy nhiên có một số điểm khác nhau như sau:

Bước 1:

Công suất máy biến áp tự ngẫu: $S_2 = U_2 \cdot I_2$ gồm 2 phần:

- _ Phần truyền trực tiếp từ sơ cấp qua thứ cấp.
- _ Phần truyền gián tiếp qua môi trường từ trong lõi thép.

Gọi S_{th} là công suất truyền gián tiếp, ta có quan hệ:

$$S_{th} = S_2 \cdot \left(\frac{\text{Hieu the cao} - \text{Hieu the thap}}{\text{Hieu the cao}} \right) = S_2 \left(1 - \frac{\text{Hieu the thap}}{\text{Hieu the cao}} \right)$$

Trường hợp máy tăng thế: $U_2 > U_1$

$$S_{th} = S_2 \cdot \left(1 - \frac{U_1}{U_2} \right)$$

Trường hợp máy giảm thế: $U_1 > U_2$

$$S_{th} = S_2 \cdot \left(1 - \frac{U_2}{U_1} \right)$$

Bước 2:

Tiết diện tính toán lõi thép $A_t = 1,423 \cdot K \cdot \frac{\sqrt{S_{th}}}{B_m}$

Bước 4:

điện áp thứ cấp khi máy biến áp không tải

$$U_{20} = U_2 [1 + (C_h - 1) \cdot K_{bd}]$$

Trong đó:

$$K_{bd} = \left(\frac{\text{Hieu the cao} - \text{Hieu the thap}}{\text{Hieu the cao}} \right) = \left(1 - \frac{\text{Hieu the thap}}{\text{Hieu the cao}} \right)$$