

Chương 11

SỨC TỪ ĐỘNG CỦA DÂY QUẤN MÁY ĐIỆN XOAY CHIỀU

11.1. STĐ ĐẬP MẠCH VÀ STĐ QUAY

Giả thiết để việc khảo sát được đơn giản:

- δ đều.
- R_μ thép ≈ 0 , nghĩa là $\mu_{Fe} = \infty$.

11.1.1. Stđ đập mạch.

Biểu thức toán học của stđ đập mạch:

$$F = F_m \sin \omega t \cdot \cos \alpha \quad (10.1)$$

trong đó α là góc không gian.

Trong biểu thức trên, nếu $t = \text{const}$ thì:

$$F = F_{m1} \cos \alpha = f(\alpha)$$

trong đó $F_{m1} = F_m \sin \omega t$ là biên độ tức thời stđ đập mạch và lúc đó sự phân bố của F là hình sin trong không gian.

Còn khi $\alpha = \text{const}$ ở vị trí cố định bất kỳ :

$$F = F_{m2} \sin \omega t$$

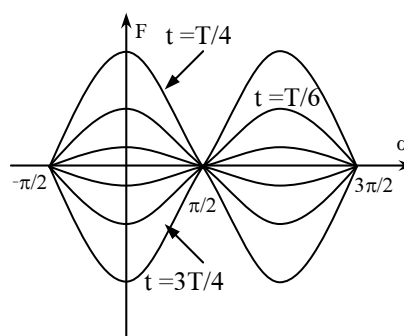
trong đó $F_{m2} = F_m \cos \alpha$ và F ở vị trí đó biến đổi tuần hoàn theo thời gian.

Stđ đập mạch là một sóng đứng, nó phân bố hình sin trong không gian và biến đổi hình sin theo thời gian (hình 10.1).

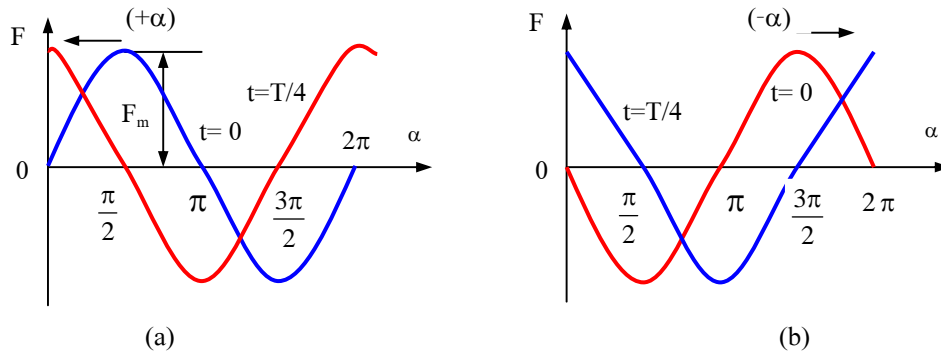
11.1.2. Stđ quay tròn.

Biểu thức toán học stđ quay tròn:

$$F = F_m \sin(\omega t \mp \alpha) \quad (10.2)$$



Hình 10.1 Stđ đập mạch ở các thời điểm khác nhau



Hình 10.2 Vị trí sóng quay ngược (a) và quay thuận

Thật vậy, giả sử ta xét một điểm bất kỳ của sóng stđ có trị số không đổi:

$$\sin(\omega t \mp \alpha) = \text{const}$$

hay $(\omega t \mp \alpha) = \text{const}$

Lấy vi phân theo thời gian:

$$\frac{d\alpha}{dt} = \pm \omega \quad (10.3)$$

Ta thấy, đạo hàm α theo t chính là tốc độ góc quay:

- $\frac{d\alpha}{dt} > 0$ ứng với sóng quay thuận, tức là dấu (-) trong (10.2).
- $\frac{d\alpha}{dt} < 0$ ứng với sóng quay ngược, tức là dấu (+) trong (10.2).

Hình 10.2a và b cho ta thấy vị trí của các sóng quay thuận và quay ngược ở các thời điểm khác nhau.

11.1.3. Quan hệ giữa stđ đập mạch và stđ quay:

Để thấy rõ quan hệ giữa stđ đập mạch và stđ quay, trước hết ta chú ý rằng :

$$F_m \sin \omega t \cdot \cos \alpha = \frac{1}{2} F_m \sin(\omega t - \alpha) + \frac{1}{2} F_m \sin(\omega t + \alpha) = F_1 + F_2 \quad (10.4)$$

nghĩa là stđ đập mạch là tổng của hai stđ quay : F_1 quay thuận với tốc độ góc $+\omega$ và F_2 quay ngược cùng tốc độ góc $-\omega$ và có biên độ của các stđ quay đó bằng một nửa biên độ stđ đập mạch.

Mặt khác, ta có biểu thức lượng giác:

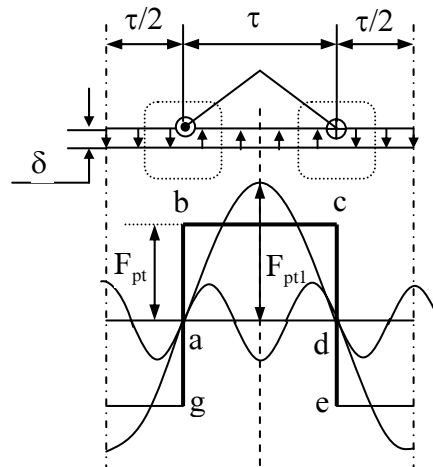
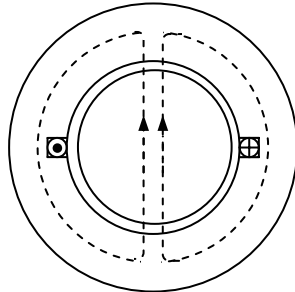
$$\begin{aligned} F_m \sin(\omega t \pm \alpha) &= F_m \sin \omega t \cdot \cos \alpha \pm F_m \cos \omega t \cdot \sin \alpha = \\ &= F_m \sin \omega t \cdot \cos \alpha \pm F_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \cdot \cos\left(\alpha - \frac{\pi}{2}\right) \end{aligned} \quad (10.4a)$$

ta thấy rằng stđ quay là tổng hợp của hai stđ đập mạch lệch pha nhau trong không gian một góc $\pi/2$ và khác pha nhau về thời gian một góc là $\pi/2$.

11.2. STĐ CỦA DÂY QUẤN MỘT PHA

11.2.2. Stđ của một phần tử.

Giả thiết:



Hình 10.3. a. Đường sức từ do dòng điện i ;
b. Đường biểu thị stđ dọc khe hở của máy

- Dây quấn đặt ở stato
- Phần tử có W_{pt} vòng dây
- Dây quấn bước đủ ($y = \tau$).
- Cho qua phần tử dây quấn dòng điện $i = \sqrt{2}I \sin \omega t$.
- Ta có đường sức từ sinh ra như hình 10.3a.

Theo dl toàn dòng điện, dọc theo đường sức từ khép kín ta viết :

$$\oint \vec{H} d\vec{l} = iW_{pt}$$

trong đó H - cường độ từ trường dọc theo đường sức từ.

Nếu giả thiết R_{μ} rất nhỏ ($\mu_{Fe} = \infty$) nên $H_{Fe} = 0$, ta có:

$$H2\delta = iW_{pt}$$

Như vậy stđ ứng với một khe hở không khí bằng:

$$F_{pt} = \frac{1}{2} iW_{pt} \quad (10.6)$$

Ta thấy:

- 1) Đường biểu diễn stđ khe hở dưới một bước cực có thể biểu thị bằng hình chữ nhật $abcd$ có độ cao bằng $\frac{1}{2} iW_{pt}$ và ở bước cực tiếp theo bằng hình chữ nhật $dega$ với qui ước nếu đường sức từ hướng lên F_{pt} được biểu thị bằng tung độ dương (hình 10.3b).
- 2) Vì $i = \sqrt{2}I \sin \omega t$ nên stđ phân bố dọc khe hở dạng hình chữ nhật, có độ cao thay đổi về trị số và dấu theo dòng điện xoay chiều i .

Stđ phân bố hình chữ nhật trong không gian và biến đổi hình sin theo thời gian đó có thể phân tích thành dãy Fourier có các sóng điều hòa 1, 3, 5, 7... , ta có:

$$F_{pt} = F_{pt1} \cos \alpha + F_{pt3} \cos 3\alpha + \dots + F_{ptv} \cos v\alpha + \dots$$

$$= \sum_{v=1,3,5,\dots} F_{ptv} \cos v\alpha$$

trong đó:

$$F_{ptv} = \frac{2}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} F_{pt} \cos v\alpha \cdot d\alpha = \frac{4}{v\pi} F_{pt} \sin v \frac{\pi}{2}.$$

Và $F_{pt} = \frac{1}{2} i W_{pt} = \frac{\sqrt{2}}{2} I W_{pt} \sin \omega t$

Thay vào ta được:

$$F_{pt} = \sum_{v=1,3,5,\dots} F_{pt.mv} \cos v\alpha \cdot \sin \omega t$$

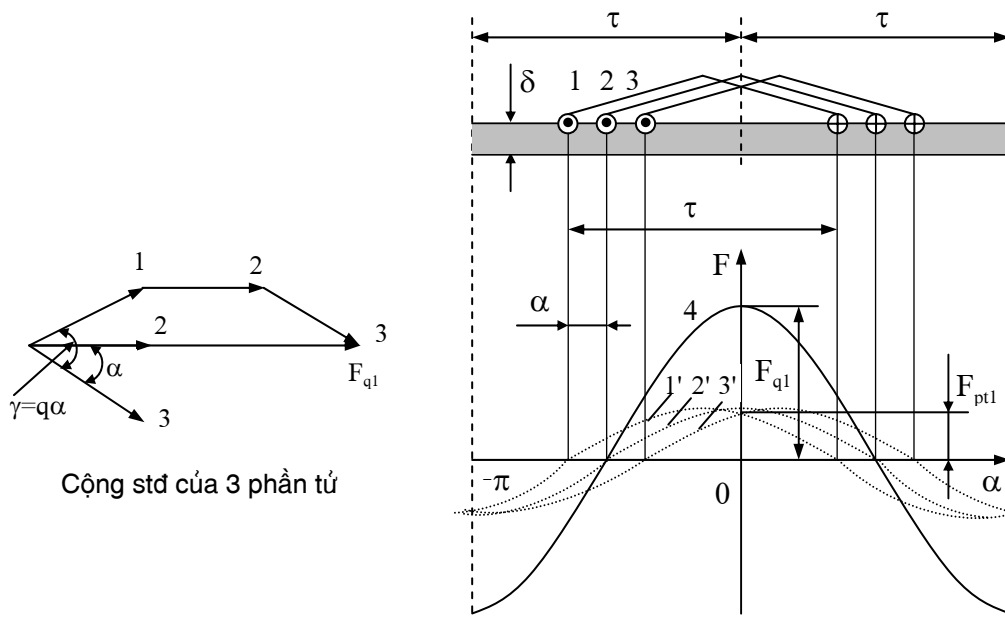
trong đó:

$$F_{pt.mv} = \frac{2\sqrt{2}}{v\pi} I W_{pt} \sin v \frac{\pi}{2} = \pm \frac{2\sqrt{2}}{v\pi} I W_{pt} = \pm 0,9 \frac{I W_{pt}}{v}$$

Std của một phần tử có dòng điện xoay chiều là tổng của v sóng đập mạch phân bố hình sin trong không gian và biến đổi hình sin theo thời gian.

11.2.3. Std của dây quấn một lớp bước đủ.

Xét std: (hình.10.4)



Hình 10.4 Std của dây quấn một lớp bước đủ có $q=3$

- 1) Dây quấn một lớp.
- 2) Có $q = 3$ phần tử.
- 3) Phần tử có W_{pt} vòng dây.
- 4) Góc lệch pha của hai phần tử cạnh nhau: $\alpha = \frac{2\pi p}{Z}$

Tìm Stđ tổng ? = Tổng 3 stđ của 3 phần tử.

Stđ bậc một của một nhóm có q phần tử : (giống biểu thức sđđ)

$$F_{q1} = qk_{r1}F_{pt1} \quad \text{với } k_{r1} : \text{hệ số quấn rải}$$

Sóng bậc v của một nhóm có q phần tử :

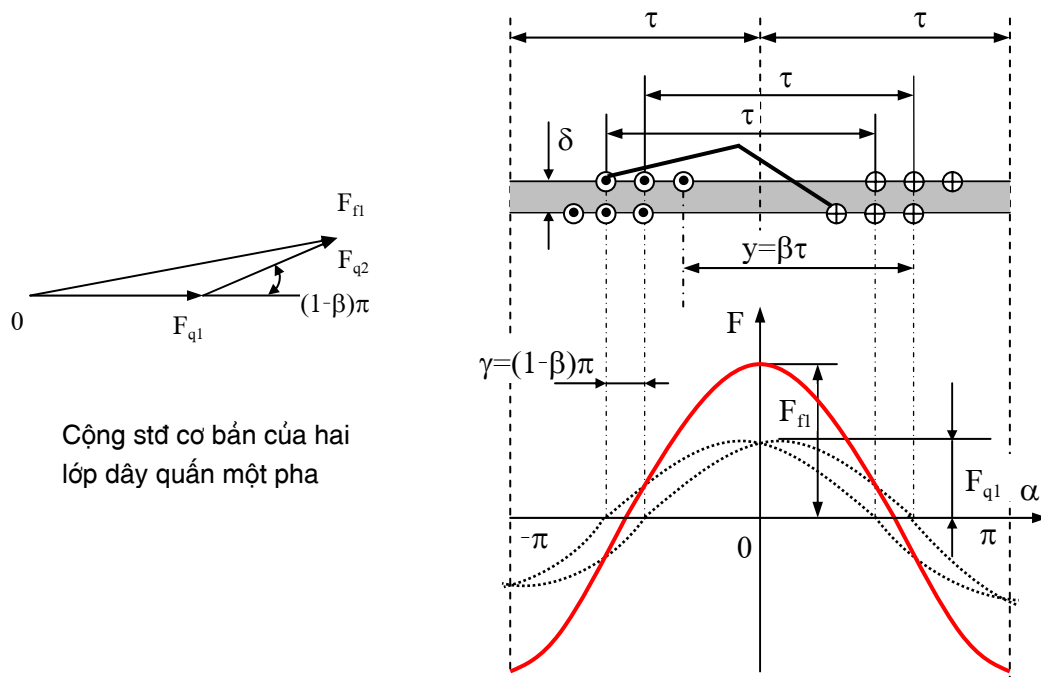
$$F_{qv} = qk_{rv}F_{ptv} \quad \text{với } k_{rv} : \text{hệ số quấn rải bậc } v.$$

Stđ của dây quấn một lớp bước đủ :

$$F_q = \sum_{v=1,3,5..} qF_{ptmv}k_{rv} \cos v\alpha \sin \omega t$$

11.2.4. Stđ của dây quấn một pha hai lớp bước ngắn.

Stđ của dây quấn một pha hai lớp bước ngắn có thể được xem như tổng stđ của hai dây quấn một lớp bước đủ, một đặt ở lớp trên và một đặt ở lớp dưới nhưng lệch pha nhau một góc γ độ điện (hình 10.5).



Hình 10.5 Stđ của dây quấn một lớp bước đủ có $q=3$

Đối với sóng cơ bản $v = 1$, góc lệch : $\gamma = (1-\beta)\pi$ với $\beta = y/\tau$.

Ta có, đối với sóng bậc 1 :

$$F_f = 2F_{q1} \cos(1-\beta) \frac{\pi}{2} = 2F_{q1} k_{n1}$$

với $k_{n1} = \cos(1-\beta) \frac{\pi}{2} = \sin \beta \frac{\pi}{2}$

Tương tự đối với sóng bậc v :

$$F_{fv} = 2F_{qv} \cos v(1-\beta) \frac{\pi}{2} = 2F_{qv} k_{nv}$$

với $k_{nv} = \cos v(1-\beta) \frac{\pi}{2} = \sin v\beta \frac{\pi}{2}$

vậy, stđ của dq một pha hai lớp bước ngắn :

$$F_f = \sum_{v=1,3,5..} 2qk_{rv} k_{nv} F_{ptmv} \cos v\alpha \sin \omega t$$

Viết lại stđ F_f :

$$F_f = \sum_{v=1,3,5..} F_{fv} \cos v\alpha \sin \omega t$$

Trong đó : $F_{fv} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \times \frac{Wk_{dqv}}{vp} I = 0,9 \frac{Wk_{dqv}}{vp} I$

với : $W = 2pqW_{pt}$ là số vòng dây của một pha.

Vậy, stđ của một pha là tổng hợp của một dãy stđ đập mạch phân bố hình sin trong không gian biến đổi hình sin theo thời gian.

10.3. STĐ CỦA DÂY QUẦN BA PHA

Giả thiết dây quần ba pha đặt lệch nhau một góc 120° điện hay $2\pi/3$ và có dòng điện chạy qua:

$$i_A = \sqrt{2}I \sin \omega t$$

$$i_B = \sqrt{2}I \sin(\omega t - 2\pi/3)$$

$$i_C = \sqrt{2}I \sin(\omega t - 4\pi/3)$$

Từng pha sinh ra stđ :

$$F_A = \sum_{v=1,3,5..} F_{fv} \sin \omega t \cos v\alpha$$

$$F_B = \sum_{v=1,3,5..} F_{fv} \sin(\omega t - 2\pi/3) \cos v(\alpha - 2\pi/3)$$

$$F_C = \sum_{v=1,3,5..} F_{fv} \sin(\omega t - 4\pi/3) \cos v(\alpha - 4\pi/3)$$

Để có stđ của dây quần ba pha ta lấy tổng ba stđ đập mạch đó. Muốn cho sự phân tích được dễ dàng, ta phân stđ bậc v của mỗi pha thành hai stđ quay thuận và

quay ngược như vậy std tổng của dây quán ba pha sẽ là tổng của tất cả std quay thuận và quay ngược đó. Ta có :

$$\begin{aligned}
 F_{Av} &= F_{fv} \sin \omega t \cos v\alpha \\
 &= \frac{F_{fv}}{2} \sin(\omega t - v\alpha) + \frac{F_{fv}}{2} \sin(\omega t + v\alpha) \\
 F_{Bv} &= F_{fv} \sin(\omega t - 2\pi/3) \cos v(\alpha - 2\pi/3) \\
 &= \frac{F_{fv}}{2} \sin[(\omega t - \frac{2\pi}{3}) - v(\alpha - \frac{2\pi}{3})] + \frac{F_{fv}}{2} \sin[(\omega t - \frac{2\pi}{3}) + v(\alpha - \frac{2\pi}{3})] \\
 F_{Cv} &= F_{fv} \sin(\omega t - 4\pi/3) \cos v(\alpha - 4\pi/3) \\
 &= \frac{F_{fv}}{2} \sin[(\omega t - \frac{4\pi}{3}) - v(\alpha - \frac{4\pi}{3})] + \frac{F_{fv}}{2} \sin[(\omega t - \frac{4\pi}{3}) + v(\alpha - \frac{4\pi}{3})]
 \end{aligned}$$

Trong đó : $v = 1, 3, 5, \dots$ có thể chia thành ba nhóm:

- 1) $v = mk = 3k$ (với $k = 1, 3, 5, \dots$ thì $v = 3, 9, 15, \dots$)
- 3) $v = 2mk + 1 = 6k + 1$ (với $k = 0, 1, 2, 3, \dots$ thì $v = 1, 7, 13, \dots$)
- 4) $v = 2mk - 1 = 6k - 1$ (với $k = 1, 2, 3, \dots$ thì $v = 5, 11, 17, \dots$)

Ta xét std quay thuận:

$$\begin{aligned}
 F_{Avt} &= \frac{F_{fv}}{2} \sin(\omega t - v\alpha) \\
 &= \frac{F_{fv}}{2} \sin[(\omega t - v\alpha) + 0(v-1)\frac{2\pi}{3}] \\
 F_{Bvt} &= \frac{F_{fv}}{2} \sin[(\omega t - \frac{2\pi}{3}) - v(\alpha - \frac{2\pi}{3})] \\
 &= \frac{F_{fv}}{2} \sin[(\omega t - v\alpha) + 1(v-1)\frac{2\pi}{3}] \\
 F_{Cvt} &= \frac{F_{fv}}{2} \sin[(\omega t - \frac{4\pi}{3}) - v(\alpha - \frac{4\pi}{3})] \\
 &= \frac{F_{fv}}{2} \sin[(\omega t - v\alpha) + 2(v-1)\frac{2\pi}{3}]
 \end{aligned}$$

Tổng của chúng là tổng các sóng quay hình sin lệch pha nhau một góc $(v - 1)2\pi/3$.

- **Xét với nhóm $v = 3k$, ta có :**

$$(v-1)\frac{2\pi}{3} = (3k-1)\frac{2\pi}{3} = 2\pi k - \frac{2\pi}{3}$$

Thay vào trên ta có 3 std đó lệch pha nhau 1 góc $2\pi/3$ và quay cùng tốc độ nên tổng của chúng bằng không.

- **Xét với nhóm $6k + 1$, ta có :**

$$(v-1)\frac{2\pi}{3} = [(6k+1)-1]\frac{2\pi}{3} = 4\pi k$$

Vậy, chúng trùng pha nhau nên tổng của chúng bằng:

$$F_{th} = \sum_{v=6k+1} \frac{3}{2} F_{fv} \sin(\omega t - v\alpha)$$

- **Xét với nhóm $6k - 1$, ta có :**

$$(v-1)\frac{2\pi}{3} = [(6k-1)-1]\frac{2\pi}{3} = 4\pi k - \frac{4\pi}{3}$$

Ta cũng có 3 stđ trên lệch pha nhau một góc $4\pi/3$ và stđ tổng của chúng bằng không.

Tương tự, ta xét stđ quay ngược, với nhóm $v = 3k$ và $v = 6k + 1$ có stđ tổng bằng không. Riêng nhóm $v = 6k - 1$ chúng trùng pha nhau nên tổng là:

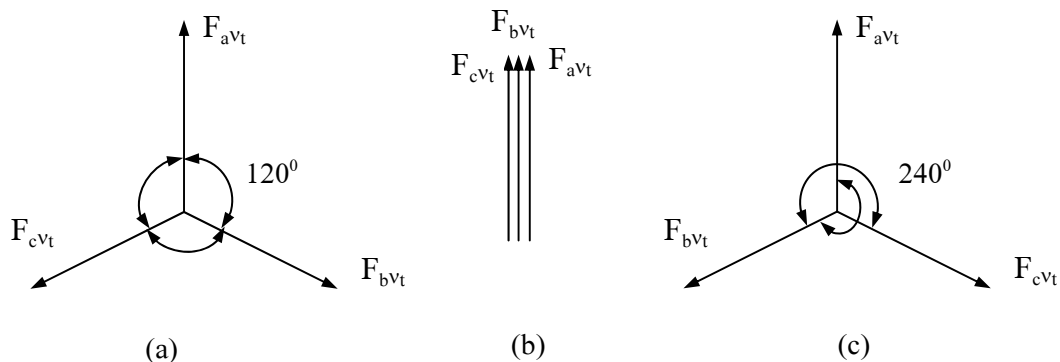
$$F_{ng} = \sum_{v=6k-1} \frac{3}{2} F_{fv} \sin(\omega t + v\alpha)$$

Vậy stđ của dây quấn ba pha viết gộp lại :

$$F_{(3)} = \sum_{v=6k\pm 1} \frac{3}{2} F_{fv} \sin(\omega t \mp v\alpha)$$

Trong đó :

$$\frac{3}{2} F_{fv} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \times \frac{Wk_{qdv}}{vp} I = 1,35 \frac{Wk_{dqv}}{vp} I$$



Hình 10.6 Cộng các stđ quay thuận bậc v của các pha

Stđ của dây quấn ba pha là tổng các stđ bậc $v = 6k + 1$ quay thuận và các stđ bậc $v = 6k - 1$ quay ngược, có :

$$\text{Biện độ : } \frac{3}{2} F_{fv}$$

$$\text{Tốc độ : } \omega_v = \frac{\omega}{v} \text{ hay } n_v = \frac{n}{v} \text{ với } n = \frac{60f}{p}.$$

10.4 STĐ CỦA DÂY QUẤN HAI PHA

Nếu dây quấn 2 pha đặt lệch pha nhau trong không gian một góc 90° điện và dòng điện hai pha lệch pha nhau một góc 90° .

Phân tích như trường hợp dây quấn 3 pha, ta có:

$$F_{(2)} = \sum_{v=4k\pm 1} F_{fv} \sin(\omega t \mp v\alpha)$$

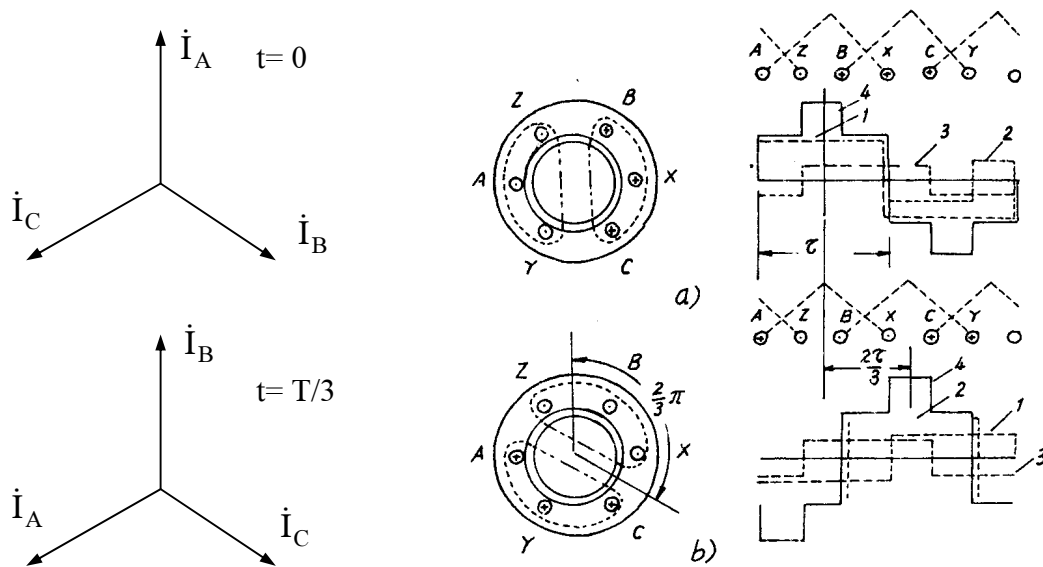
Trong đó :

$$F_{fv} = 0,9 \frac{Wk_{dqv}}{vp} I$$

Std của dq hai pha là tổng của các std bậc $v = 2mk+1 = 4k+1$ quay thuận và các std bậc $v = 2mk-1 = 4k-1$ quay ngược. Biên độ thì bằng biên độ của std một pha bậc v , và tốc độ quay của std bậc v là $n_v = n/v$.

10.5 PHÂN TÍCH STD DÂY QUẤN BẰNG PHƯƠNG PHÁP ĐỒ THỊ

Xét std sinh ra bởi dòng điện ba pha i_A, i_B, i_C chạy trong dây quấn ba pha AX, BY, CZ đặt lệch pha nhau trong không gian một góc là 120° ; máy điện có $q = 1$ và $p = 1$ (hình 10.7).



Hình 10.7 Std của dây quấn ba pha $q=1, 2p=2$ ở $t=0$ và $t=T/3$

- Ở thời điểm $t = 0$, cho dòng điện pha A đạt cực đại.

$$i_A = I_m; i_B = i_C = -I_m/2$$

Giả thiết chiều dòng điện pha A chạy từ $X \rightarrow A$ ta suy ra chiều dòng trong pha B, C như hình vẽ (hình 10.7b). Và ta vẽ được std F_A, F_B, F_C tìm được std F tổng (đ4).

- Ở thời điểm $t = T/3$, dòng điện pha B đạt cực đại.

$$I_B = I_m ; i_A = i_C = -I_m/2$$

Chiều dòng điện pha B chạy từ Y \rightarrow B ta suy ra chiều dòng trong pha A, C như hình vẽ (hình 10.7b). Và ta vẽ được std F_A, F_B, F_C tìm được std F tổng (d4).

Vậy std do dòng điện ba pha chạy trong dây quấn ba pha là std quay có chiều quay trong không gian và có tốc độ :

$$n_1 = \frac{60f}{p} \text{ (vòng/phút) } \text{ hay } n_1 = \frac{f}{p} \text{ (vòng/gy)}$$

Trục std tổng trùng với trục pha có dòng điện cực đại.

