

1. Definiciones.

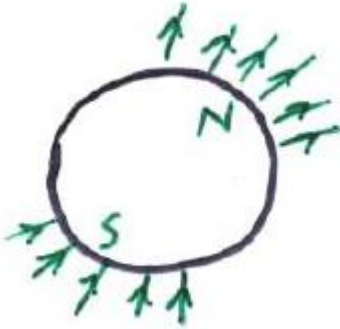
Polo magnético: región con igual signo de $\epsilon_a = H \cdot e$, e : entre hierro

Polo: H siempre saliente o siempre entrante (H o B lo mismo)

Observación:

Convención de signos $H > 0$ para r crecientes $\Rightarrow H > 0$: saliente del rotor

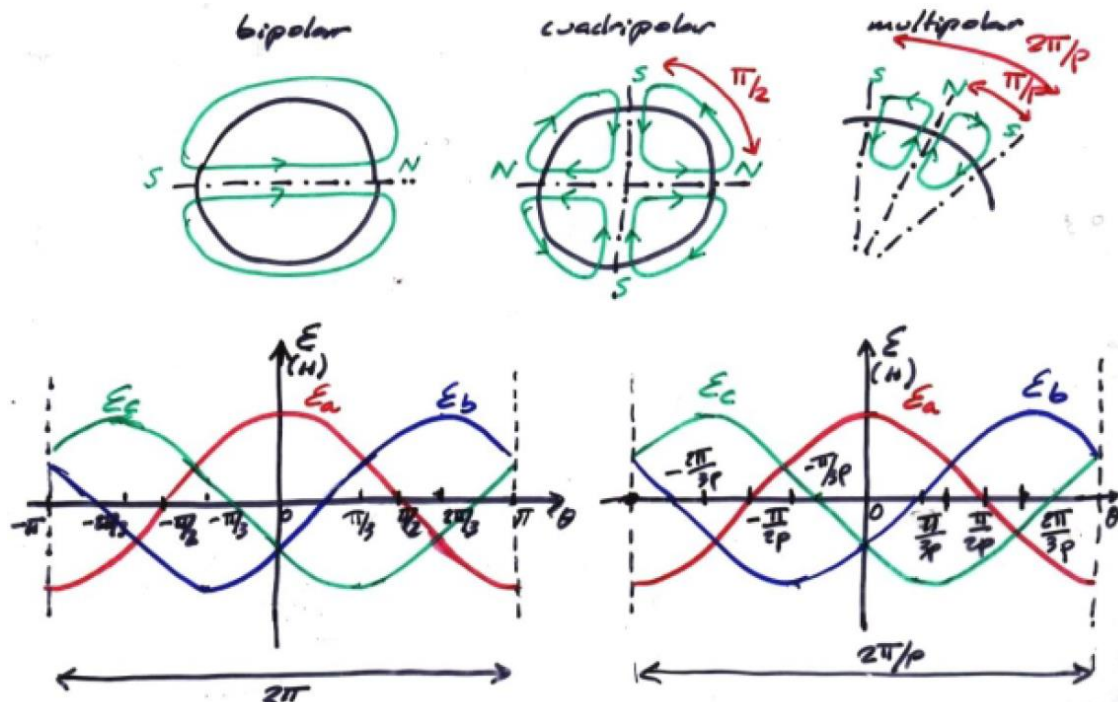
“Polo Norte” del rotor



2. Campo giratorio Multipolar.

Hasta ahora en 2π radianes se tenían 2 polos, ahora se quiere tener $2p$ polos en 2π .

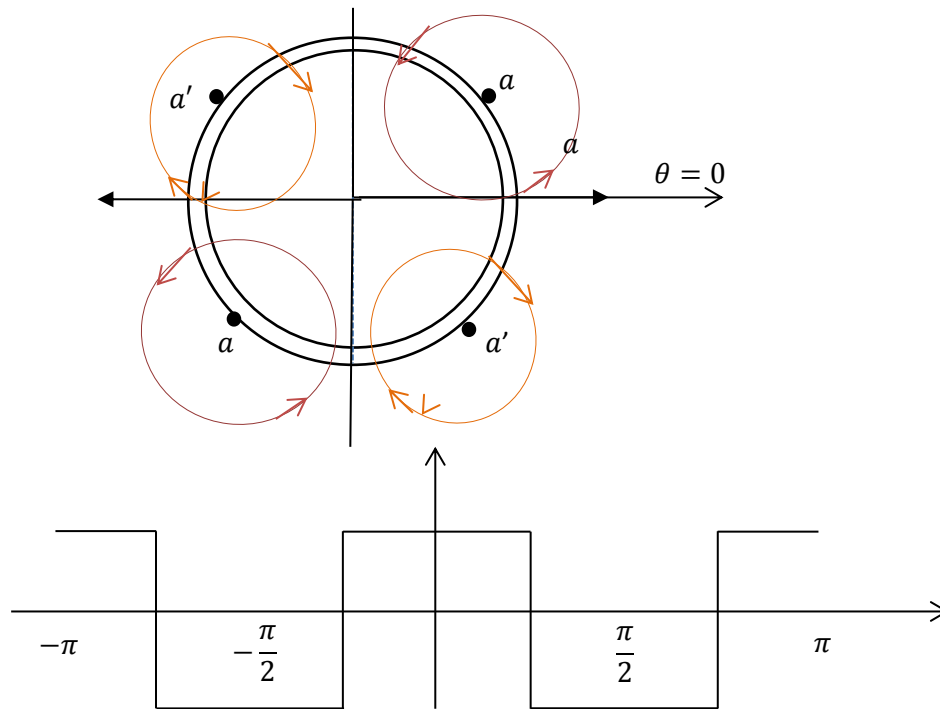
Se debe dividir la periferia de la máquina en $2p$ polos (p pares de polos) por lo que cada polo ocupará $\frac{\pi}{p}$ radianes y se tendrá un norte y un sur en $\frac{2\pi}{p}$ radianes.



3. Construcción de un bobinado multipolar.

Antes se tenía una f.m.m. de entrehierro del tipo $\cos(\theta)$ ahora se quiere una f.m.m de entrehierro del tipo $\cos(p\theta)$.

Dos pares de polos ($p=2$):



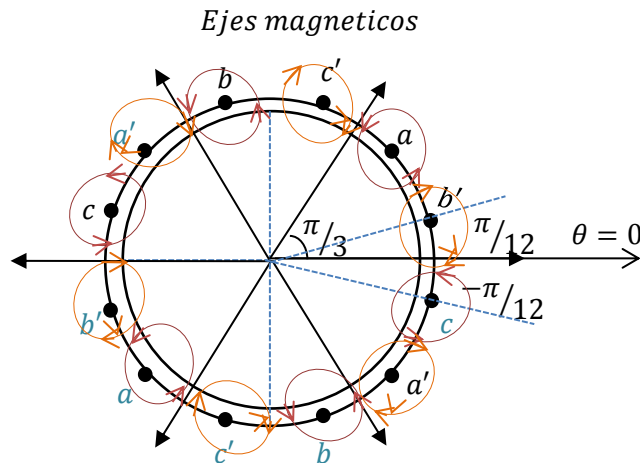
De esta forma se obtiene un ampo con 2 pares de polos.

Se necesitaron 2 bobinas de ejes magnéticos a $\frac{2\pi}{p} = \pi$ radianes en serie y ubicadas a $\frac{\pi}{2p} = \frac{\pi}{4}$ radianes de sus respectivos ejes magnéticos.

Cada polo ocupa ahora $\frac{\pi}{p} = \frac{\pi}{2}$ radianes y se tiene un ciclo completo de f.m.m. en $\frac{2\pi}{p} = \pi$

Para una máquina trifásica se necesita que las f.m.m. de las tres fases estén desfasadas igual ángulo en un periodo de la f.m.m. ($\frac{2\pi}{p} = \pi$); o sea el desfase debe ser $\frac{\pi}{3} = \frac{2\pi}{3p}$ que es el mismo ángulo que estarán desfasados los ejes magnéticos de las tres fases.

Ejemplo para p =2.



Si p =2 entonces:

Los ejes magnéticos de las bobinas están a: $\frac{2\pi}{3p} = \frac{\pi}{3}$

Cantidad de ejes magnéticos a $\frac{\pi}{3}$ que se entran en 2π radianes: 6

Angulo entre bobina y su eje magnético: $\frac{\pi}{2p} = \frac{\pi}{4}$

4. Campo giratorio multipolar.

Razonando como se indicó en los puntos anteriores es posible obtener f.m.m. multipolares donde cada fase admite un desarrollo en series de Fourier.

Si se considera solo el primer armónico de cada fase se tiene:

$$\begin{cases} \varepsilon_a(\theta) = \frac{4}{\pi} n'_2 i_a \cos(p\theta) \\ \varepsilon_b(\theta) = \frac{4}{\pi} n'_2 i_b \cos\left(p\left(\theta - \frac{2\pi}{3p}\right)\right) \\ \varepsilon_c(\theta) = \frac{4}{\pi} n'_2 i_c \cos\left(p\left(\theta - \frac{4\pi}{3p}\right)\right) \end{cases}$$

Si las corrientes (trifásicas, directas, equilibradas, simétricas):

$$\begin{aligned} i_a &= \sqrt{2} I \cos(\omega t - \varphi) \\ i_b &= \sqrt{2} I \cos\left(\omega t - \varphi - \frac{2\pi}{3}\right) \\ i_c &= \sqrt{2} I \cos\left(\omega t - \varphi - \frac{4\pi}{3}\right) \end{aligned}$$

Se calcula la f.m.m. resultante:

$$\varepsilon = \varepsilon_a + \varepsilon_b + \varepsilon_c$$

$$\Rightarrow \varepsilon = \frac{4}{\pi} n'_2 \sqrt{2} I_s \left[\cos(p\theta) \cos(\omega t - \varphi) + \cos\left(p\left(\theta - \frac{2\pi}{3p}\right)\right) \cos\left(\omega t - \varphi - \frac{2\pi}{3}\right) + \cos\left(p\left(\theta - \frac{4\pi}{3p}\right)\right) \cos\left(\omega t - \varphi - \frac{4\pi}{3}\right) \right]$$

Utilizando la siguiente identidad:

$$\cos(a)\cos(b) = \frac{1}{2} [\cos(a+b) + \cos(a-b)]$$

Queda:

$\varepsilon(\theta, t) = \frac{3}{2} \frac{4}{\pi} n'_2 (\sqrt{2} I_s) \cos(\omega t - p\theta - \varphi)$	Definición: ángulo eléctrico $p\theta = \theta_e$
---	--

- Para tiempo fijo el campo giratorio es una función de la coordenada angular y tiene periodo $\frac{2\pi}{p}$ que es lo que se pretendía obtener.
- Si se calcula la velocidad a la que se debe mover un observador para ver un campo constante se tiene:

$$d(\omega t - p\theta - \varphi) = 0$$

O sea la velocidad de sincronismo es:

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{\omega}{p} = \Omega_s$$

Las velocidades de sincronismo forman una colección discreta de valores, según el número de polos de la máquina:

p	$\Omega_s (rpm) (f = 50Hz)$	$\Omega_s (rpm) (f = 60Hz)$
1	3000	3600
2	1500	1800
3	1000	1200
4	750	900

augmentando N° polos $\Rightarrow \downarrow \Omega_s$. No es posible subir Ω_s a un valor mayor que su valor con $p = 1$

Dado un número de polo para aumentar $\Omega_s \Rightarrow \uparrow f_{red}$.

- Angulo eléctrico.

$$\theta_e = p\theta = p\theta_m, \quad \theta_e: \text{ángulo eléctrico}, \theta_m: \text{ángulo mecánico o geométrico}$$

$$\frac{2\pi}{3p} = \theta_m \text{ su } \theta_e = \frac{2\pi}{3} \text{ (como antes)}$$

Usando θ_e , todas las máquinas son tripolares y se razona como para $p = 1$.