Estructuras de campo giratorio

Máquinas de corriente alterna:

- Sincrónicas.- corriente de campo suministrada por una fuente externa de corriente continua.

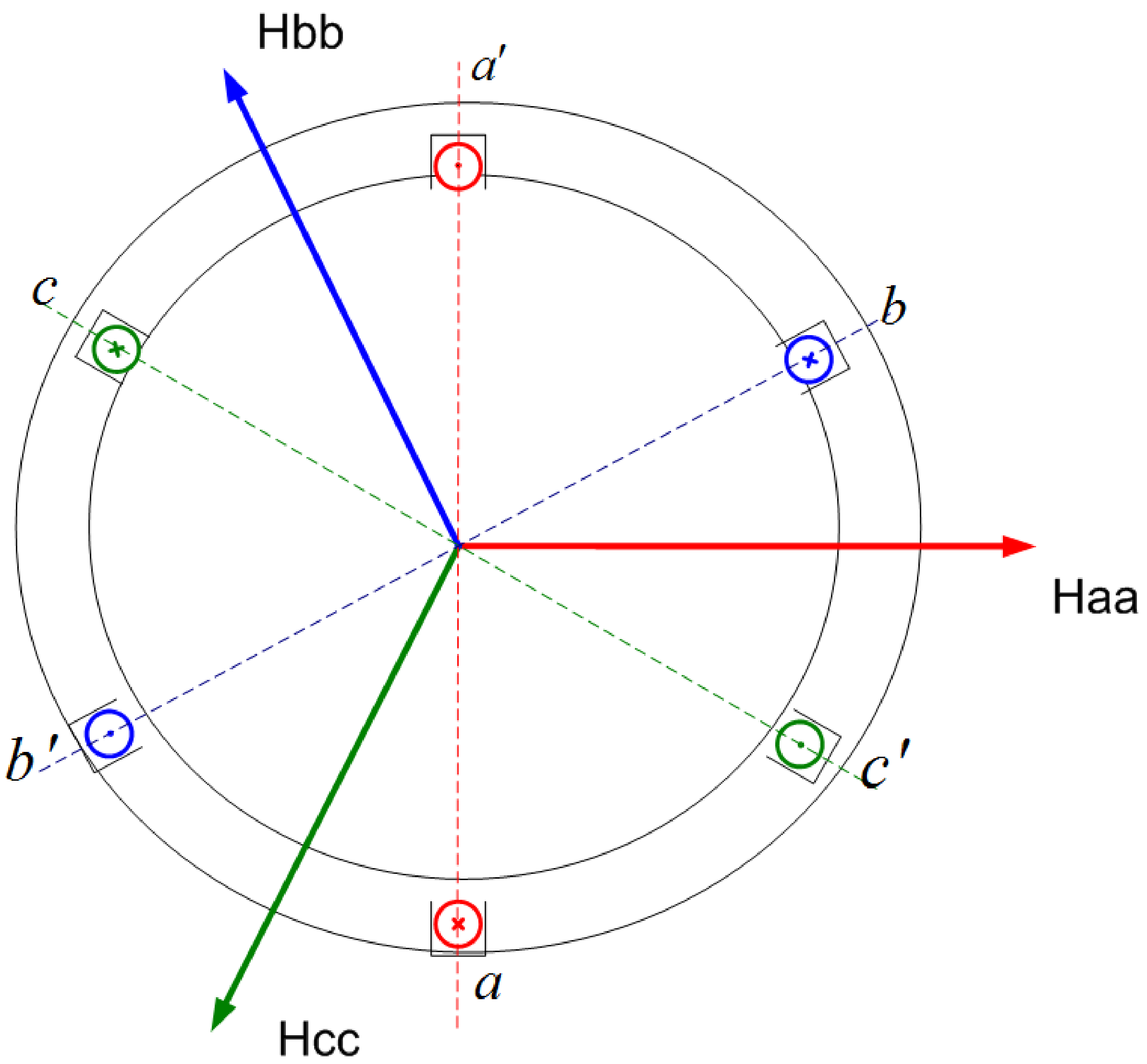
- Asincrónicas o de inducción.- la corriente de campo se induce magneticamente.

Estructuras de campo giratorio

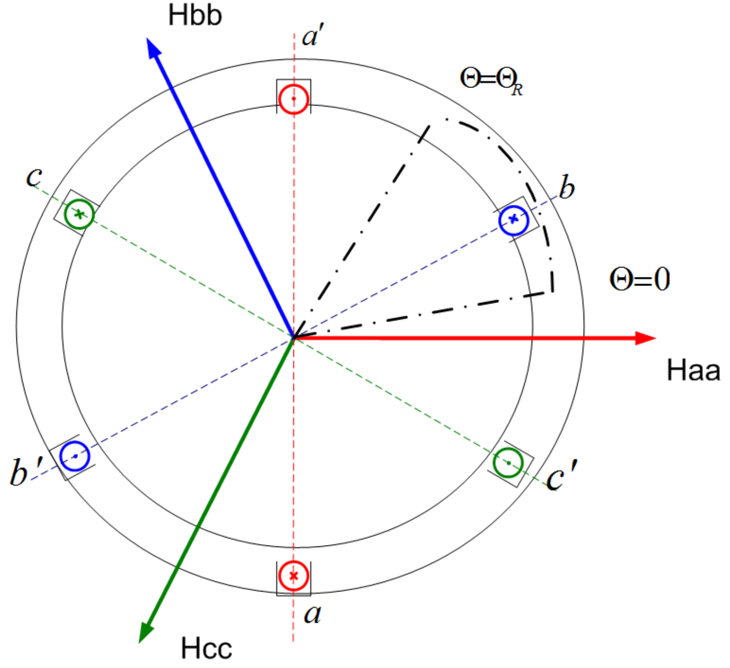
Características:

- Permeabilidad magnética del material ferromagnético = infinito.
- Ambos cilindros separados por un pequeño entrehierro.
- Grupo de bobinas concentradas distribuídas a 120° (2n).
- Por las bobinas circula un conjunto de corrientes trifásicas directas.
- e .- entrehierro y es muy pequeño frente al resto de las dimensiones.

Estructuras de campo giratorio



Estructuras de campo giratorio



B será radial pues la permeabilidad es infinita.

Aplicando Ampere en el camino dibujado:

$$\oint_C H dl = H(0)e - H(\Theta)e = Corriente\_total\_encerrada$$

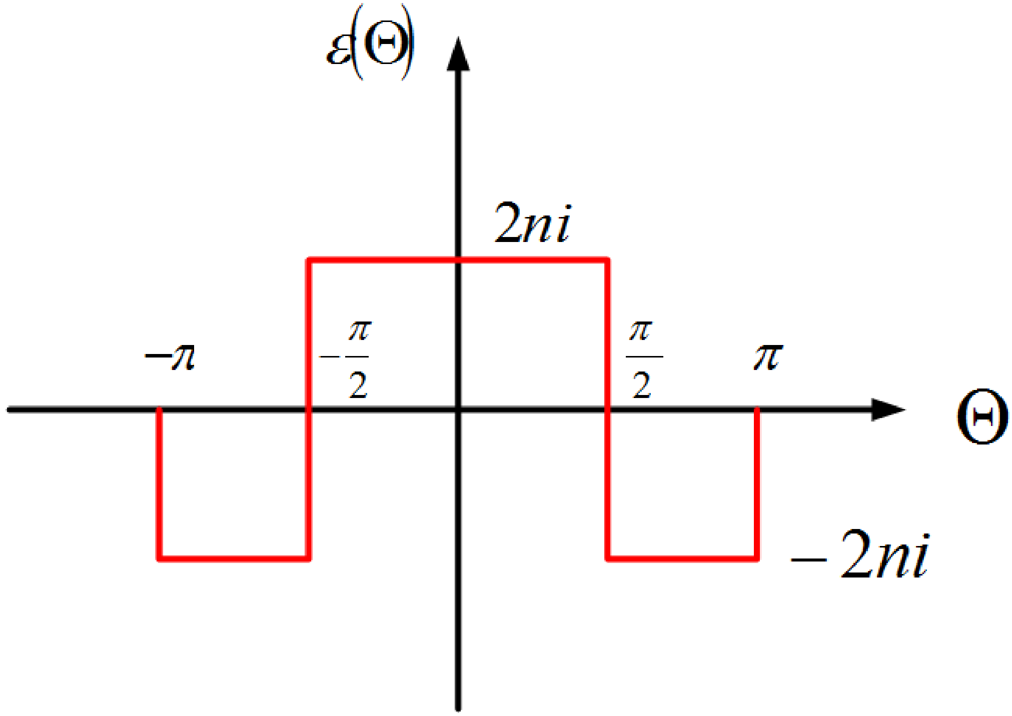
$$\int_0^{2\pi} H(\Theta) e d\Theta = \int_0^{2\pi} B(\Theta) d\Theta = 0$$

Por conservación de flujo

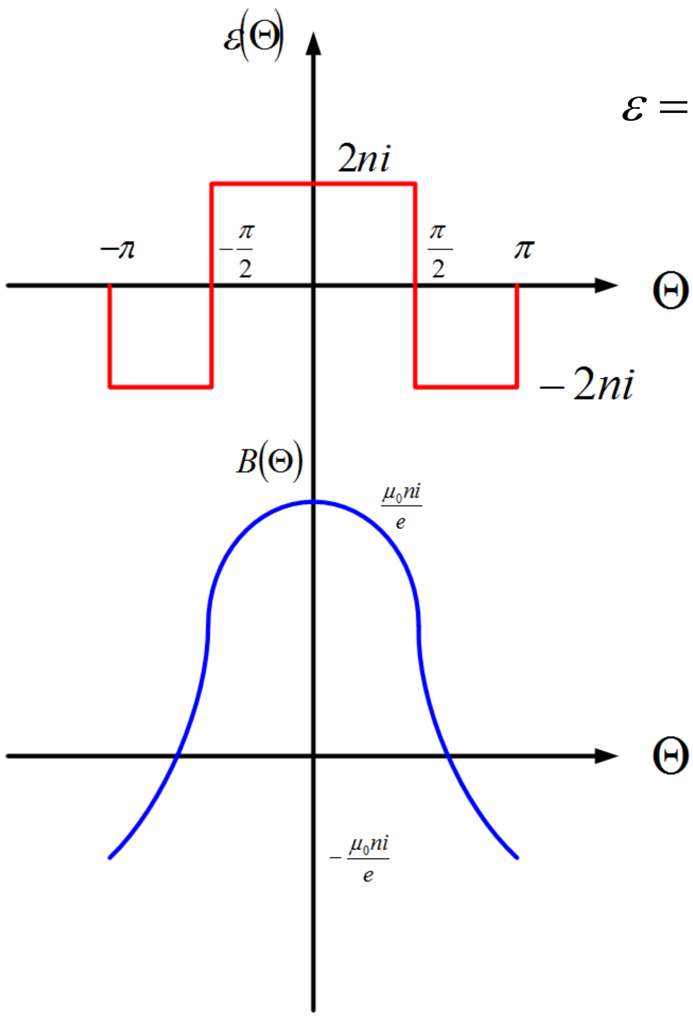
Estructuras de campo giratorio

$$\varepsilon(\Theta) = fmm = \int_0^{\Theta} H(\Theta) e \, d\Theta = ni$$

$$He = ni$$



Estructuras de campo giratorio



$\varepsilon = \varepsilon(\Theta)$ Es una función par

Armónico fundamental de B, inducción de campo

$$B = \mu_0 H \Rightarrow B = \frac{\mu_0 ni}{e}$$

Estructuras de campo giratorio

Se busca conseguir que el vector inducción de campo, B, tenga forma sinusoidal:

- Modificar entrehierro. $e = e(\Theta)$

- Colocando mayor número de conductores y distribuyéndolos para lograr una forma sinusoidal de B.

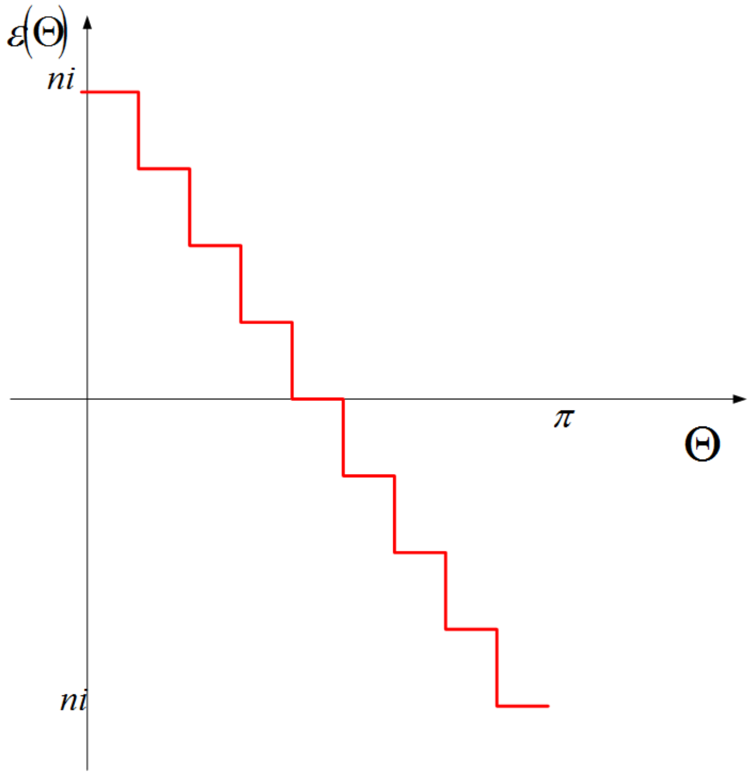
Descomponemos $\varepsilon = \varepsilon(\Theta)$ en Series de Fourier, recordando que es par.

$$\varepsilon(\Theta) = \sum_{n=1}^{\infty} \varepsilon_n \cos(n\Theta)$$

$$\varepsilon_1(\Theta) = \varepsilon_{1\max} \cos\Theta$$

$$\varepsilon_{1\max} = \frac{2n_1 i_1}{\pi/2} = \frac{4n_1 i_1}{\pi}$$

Estructuras de campo giratorio

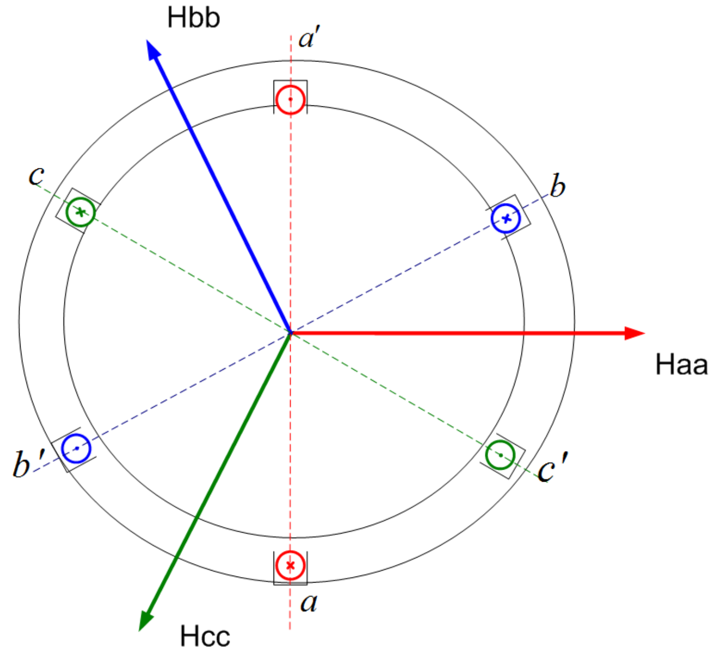


Colocando mas conductores y jugando con su distribución puedo lograr que $\varepsilon = \varepsilon(\Theta)$ se acerque mejor a una distribución sinusoidal, otra opción es variar la forma del entrehierro.

Estructuras de campo giratorio

Veremos como logramos que se genere un campo giratorio:

$$\varepsilon(\Theta) = \frac{4}{\pi} n' i \cos\Theta$$



$$\varepsilon_a(\Theta) = \frac{4}{\pi} n i_a \cos\Theta$$

$$\varepsilon_b(\Theta) = \frac{4}{\pi} n i_b \cos\left(\Theta - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$\varepsilon_c(\Theta) = \frac{4}{\pi} n i_c \cos\left(\Theta - \frac{4\pi}{3}\right)$$

Estructuras de campo giratorio

Como ya dijimos las corrientes conforman un sistema trifásico, equilibrado y directo

$$i_a(\Theta) = \sqrt{2} I \cos(\omega t - \varphi)$$

$$i_b(\Theta) = \sqrt{2} I \cos(\omega t - \varphi - 2\pi/3)$$

$$i_c(\Theta) = \sqrt{2} I \cos(\omega t - \varphi - 4\pi/3)$$

Estructuras de campo giratorio

La fuerza magnetomotriz resultante será la suma de las tres:

$$\varepsilon_T(\Theta) = \varepsilon_a(\Theta) + \varepsilon_b(\Theta) + \varepsilon_c(\Theta)$$

Sustituyendo en ésta expresión

$$\varepsilon_T(\Theta) = \frac{4}{\pi} n\sqrt{2} I \begin{bmatrix} \cos\Theta\cos(\omega t - \varphi) + \cos\left(\Theta - {}^{2\pi}\!/_{3}\right)\cos(\omega t - \varphi - 2\pi/3) + \\ \cos\left(\Theta - {}^{4\pi}\!/_{3}\right)\cos(\omega t - \varphi - 4\pi/3) \end{bmatrix}$$

Recordando:

$$\cos\alpha\cos\beta = \frac{1}{2}\left[\cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta)\right]$$

Estructuras de campo giratorio

Teorema de Ferraris:

$$\varepsilon_T\left(\Theta, t\right) = \frac{3}{2}\left(\frac{4}{\pi} n I \sqrt{2}\right)\cos\left(\Theta - \omega t + \varphi\right)$$

Esta expresión responde a una estructura de campo giratorio:

- Ubicando un observador para $\Theta = \Theta_0$ éste verá pasar un campo ε_T sinusoidal.

- Si fijamos el tiempo $t = t_0$ y recorremos el entrehierro nuevamente se obtendrá un campo sinusoidal

Existirá un valor de Θ que hace que el argumento del coseno sea constante:

$$\frac{d\left(\Theta - \omega t + \varphi\right)}{dt} = 0$$

$$\frac{d\Theta}{dt} = \omega$$ Velocidad de sincronismo

Estructuras de campo giratorio

- La estructura está conformada por tres bobinas desfasadas físicamente entre sí 120 grados y alimentadas por un sistema trifásico de tensiones. Cada una de ellas crea un campo magnético longitudinal alineado con su eje pero de intensidad y sentido variable como la corriente alterna que la alimenta y se representa por un vector.
- En todo instante el campo magnético resultante es la suma de los tres creados por sus respectivas bobinas y, por lo tanto, la suma de los tres vectores representados anteriormente. Se observa como el vector resultante tiene una longitud fija y gira a velocidad constante alrededor de su origen lo cual se ajusta a la definición de campo magnético giratorio.

Estructuras de campo giratorio

Inversión del sentido de rotación del campo giratorio:

Si permutamos dos corrientes la dirección de rotación del campo giratorio se invierte

$$i_b(\Theta) = \sqrt{2}I\cos(\omega t - \varphi)$$

$$i_a(\Theta) = \sqrt{2}I\cos(\omega t - \varphi - 2\pi/3)$$

$$i_c(\Theta) = \sqrt{2}I\cos(\omega t - \varphi - 4\pi/3)$$

Estructuras de campo giratorio

Inversión del sentido de rotación del campo giratorio:

$$\varepsilon_a(\Theta) = \frac{4}{\pi} n i_b \cos\Theta$$

$$\varepsilon_b(\Theta) = \frac{4}{\pi} n i_a \cos\left(\Theta - {}^{2\pi}\!/_{3}\right)$$

$$\varepsilon_c(\Theta) = \frac{4}{\pi} n i_c \cos\left(\Theta - {}^{4\pi}\!/_{3}\right)$$

Sustituyendo y hallando la fmm total

Estructuras de campo giratorio

Inversión del sentido de rotación del campo giratorio:

$$\varepsilon_T(\Theta) = \frac{4}{\pi} n\sqrt{2} I \begin{bmatrix} \cos\Theta\cos(\omega t - \varphi - 2\pi/3) + \cos\left(\Theta - {}^{2\pi}\!/_{3}\right)\cos(\omega t - \varphi) + \\ \cos\left(\Theta - {}^{4\pi}\!/_{3}\right)\cos(\omega t - \varphi - 4\pi/3) \end{bmatrix}$$

Recordando:

$$\cos\alpha\cos\beta = \frac{1}{2}\left[\cos(\alpha+\beta) + \cos(\alpha-\beta)\right]$$

Estructuras de campo giratorio

Inversión del sentido de rotación del campo giratorio:

$$\varepsilon_T(\Theta) = \frac{4}{\pi} n\sqrt{2} I \begin{bmatrix} \cos\Theta \cos(\omega t - \varphi - 2\pi/3) + \cos\left(\Theta - {}^{2\pi}\!/_{3}\right)\cos(\omega t - \varphi) + \\ \cos\left(\Theta - {}^{4\pi}\!/_{3}\right)\cos(\omega t - \varphi - 4\pi/3) \end{bmatrix}$$

Recordando:

$$\cos\alpha \cos\beta = \frac{1}{2}\left[\cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta)\right]$$

Estructuras de campo giratorio

$$\varepsilon_T\left(\Theta, t\right) = \frac{3}{2}\left(\frac{4}{\pi} nI\sqrt{2}\right)\cos\left(\Theta + \omega t - \varphi - \frac{2\pi}{3}\right)$$

derivando

$$\frac{d\left(\Theta + \omega t - \varphi - \frac{2\pi}{3}\right)}{dt} = 0$$

$$\frac{d\Theta}{dt} = -\omega$$

Nueva velocidad de sincronismo

Estructuras de campo giratorio

Relación entre frecuencia eléctrica de la red
y velocidad del campo giratorio:

$$\Theta_{electrica} = \Theta_{mecanica}$$

$$f_{electrica} = f_{mecanica}$$

$$\omega_{electrica} = \omega_{mecanica}$$

Para máquinas con 1 par de polos

$$\Theta_{electrica} = p\Theta_{mecanica}$$

$$f_{electrica} = pf_{mecanica}$$

$$\omega_{electrica} = p\omega_{mecanica}$$

Para máquinas con p pares de polos

Estructuras de campo giratorio

Expresión de un campo giratorio para una máquina multipolar:

Veremos como varían los resultados hallados para p pares de polos

$$\varepsilon_a(\Theta) = \frac{4}{\pi} n i_a \cos p\Theta$$

$$\varepsilon_b(\Theta) = \frac{4}{\pi} n i_b \cos p\left(\Theta - {}^{2\pi}\!/_{3}\right)$$

$$\varepsilon_c(\Theta) = \frac{4}{\pi} n i_c \cos p\left(\Theta - {}^{4\pi}\!/_{3}\right)$$

$$i_a(\Theta) = \sqrt{2} I \cos(\omega t - \varphi)$$

$$i_b(\Theta) = \sqrt{2} I \cos(\omega t - \varphi - 2\pi/3)$$

$$i_c(\Theta) = \sqrt{2} I \cos(\omega t - \varphi - 4\pi/3)$$

Estructuras de campo giratorio

Expresión de un campo giratorio para una máquina multipolar:

$$\varepsilon_T(\Theta) = \varepsilon_a(\Theta) + \varepsilon_b(\Theta) + \varepsilon_c(\Theta)$$

$$\varepsilon_T(\Theta) = \frac{4}{\pi} n\sqrt{2}I \left[\begin{array}{l} \cos p\Theta \cos(\omega t - \varphi) + \cos\left(p\Theta - {}^{2p\pi}\!/\!_{3} \right) \cos(\omega t - \varphi - 2\pi/3) + \\ \cos\left(p\Theta - {}^{4p\pi}\!/\!_{3} \right) \cos(\omega t - \varphi - 4\pi/3) \end{array} \right]$$

Realizando las mismas consideraciones:

$$\varepsilon_T(\Theta, t) = \frac{3}{2}\left(\frac{4}{\pi} nI\sqrt{2} \right) \cos(p\Theta - \omega t + \varphi)$$

Estructuras de campo giratorio

Expresión de un campo giratorio para una máquina multipolar:

$$\frac{d\left(p\Theta - \omega t + \varphi\right)}{dt} = 0$$

$$\frac{d\Theta}{dt} = \frac{\omega}{p}$$

Velocidad de sincronismo

Estructuras de campo giratorio

Expresión de un campo giratorio para bobinados polifásicos:

$$\varepsilon_1(\Theta) = \frac{4}{\pi} n i_1 \cos\left(\Theta - \frac{2\pi}{q}\right)$$

Supondremos q fases y un par de polos

$$\varepsilon_q(\Theta) = \frac{4}{\pi} n i_q \cos\left(\Theta - (q-1)\frac{2\pi}{q}\right)$$

$$i_1(\Theta) = \sqrt{2} I \cos(\omega t - \varphi)$$

Estas serán las nuevas expresiones de la fmm y las corrientes

$$i_q(\Theta) = \sqrt{2} I \cos\left(\omega t - \varphi - 2\pi (q-1)/q\right)$$

Estructuras de campo giratorio

Expresión de un campo giratorio para bobinados polifásicos:

$$\varepsilon_T(\Theta) = \frac{4}{\pi} nI \frac{q}{2} \sqrt{2} \cos(\omega t - \Theta - \varphi)$$

No hay cambio en la velocidad de sincronismo, aumenta la amplitud del campo