

CAMPO GIRATORIO

Norberto A. Lemozy

1 INTRODUCCIÓN

El 18 de marzo de 1888, el físico Italiano Galileo Ferraris (1847-1897), presentó una nota a la Academia de Ciencias de Turín, Italia, denominada “Rottazioni Elettrodinamiche Prodote per Mezzo di Corrente Alternate” donde hacía consideraciones teóricas sobre cómo obtener un campo magnético giratorio por medio de corrientes bifásicas, explicaba distintas formas de obtener dichas corrientes, describía dos aparatos que mandó a construir, los resultados de las experiencias que realizó y lo que las mismas le sugerían acerca de la nueva forma de convertir energía eléctrica en mecánica. Pero, lamentablemente, no le dio a su desarrollo la trascendencia que tenía. Como los aparatos electromecánicos por él contruidos tenían pequeño rendimiento, pensó que sus aplicaciones como motor no tendrían lugar en la industria. En la actualidad los motores basados en este principio son los más utilizados y los que presentan las mejores perspectivas de utilización.

2 ANÁLISIS GRÁFICO DEL CAMPO GIRATORIO

Esta es una forma muy simple de mostrar como el campo magnético producido por la acción conjunta de tres bobinas cuyos ejes magnéticos se encuentran a 120 grados, y están alimentadas por un sistema trifásico perfecto de corrientes, genera un campo magnético bipolar que rota en el espacio.

En la figura 1 se han representado tres corrientes de un sistema trifásico perfecto, del que se tomarán los instantes t_1 t_2 y t_3 separados en un doceavo de período.

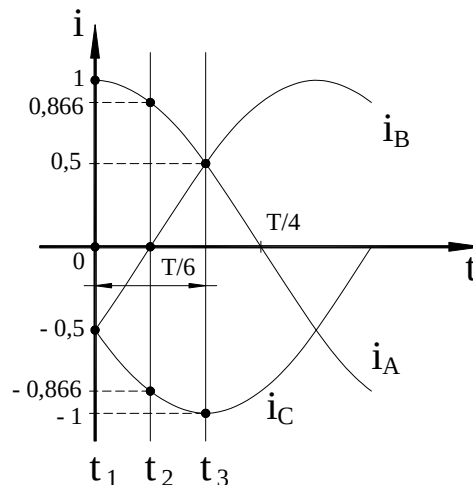


Fig. 1. Sistema trifásico.

En las figuras 2, 3 y 4 se muestra un corte de una máquina trifásica elemental, de entrehierro constante, con tres bobinas iguales dispuestas a 120 grados entre sí. De estas bobinas se muestran solamente los bornes de entrada y se supone que están conectadas en estrella. En cada dibujo se muestran las corrientes correspondientes a los instantes t_1 t_2 y t_3 del sistema trifásico. Se adoptó convencionalmente que una corriente positiva es entrante a la fase.

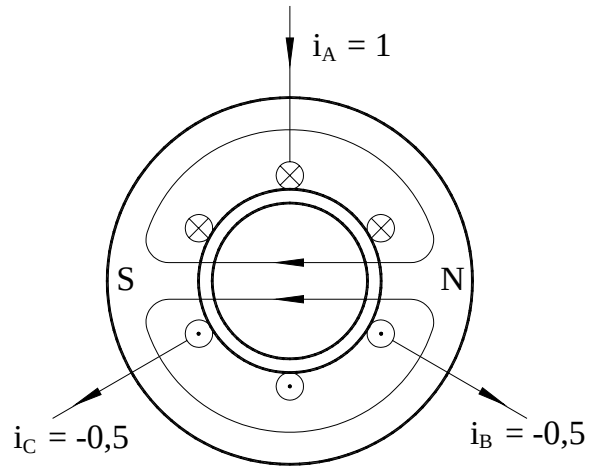


Fig. 2. Corrientes y campo en t_1 .

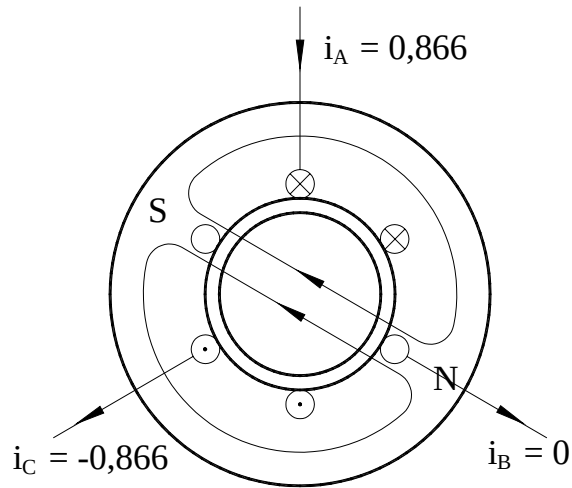


Fig. 3. Corrientes y campo en t_2 .

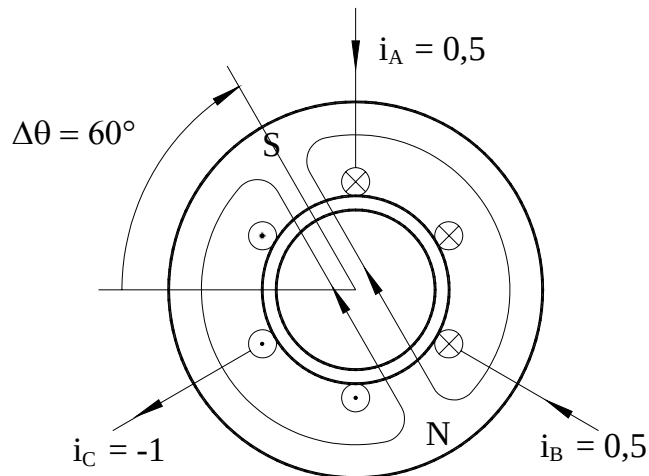


Fig. 4. Corrientes y campo en t_3 .

Observando las figuras anteriores se puede apreciar como se genera un campo magnético bipolar y como al ir cambiando el valor de las corrientes en las bobinas, va cambiando la dirección de dicho campo magnético.

No obstante lo sencillo del análisis se puede obtener la velocidad de rotación, denominada velocidad *sincrónica* o de *campo*, en radianes geométricos por segundo, en efecto el ángulo girado entre los instantes final e inicial, $\Delta\theta$ y el intervalo de tiempo Δt valen:

$$\begin{aligned}\Delta\theta &= 60^\circ = \frac{\pi}{3} \\ \Delta t &= t_3 - t_1 = \frac{2}{3} \frac{T}{4} = \frac{T}{6} \\ \Omega_s &= \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{\pi/3}{T/6} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f = \omega\end{aligned}\tag{1}$$

Es decir en este caso, en que el campo es bipolar, $p = 1$, su velocidad angular coincide con la pulsación de la corriente que lo produce.

Si se modifica la disposición de las bobinas se pueden obtener campos magnéticos con mayor cantidad de polos, por ejemplo, si las bobinas abarcan la cuarta parte de la circunferencia del estator, resultará un campo tetrapolar, como se muestra en la figura 5.

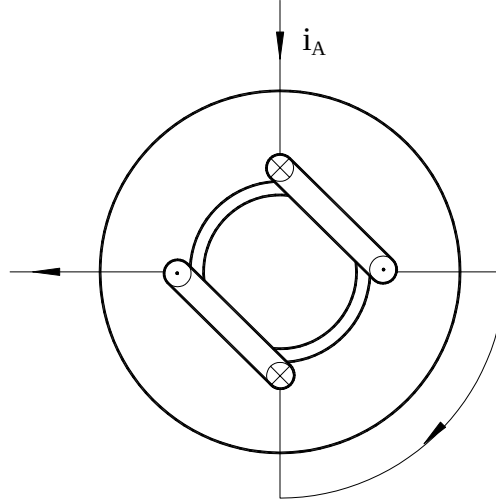


Fig. 5. Una fase elemental de un arrollamiento tetrapolar.

Para tener una idea aproximada del campo magnético resultante es suficiente hacer circular corriente por una sola fase, resultando un campo como se muestra en la figura 6.

Para hallar la velocidad de rotación de este campo magnético se puede tomar un intervalo igual a un semiperíodo; en ese tiempo, y debido a la simetría de media onda de las corrientes, todas las corrientes tendrán el mismo valor instantáneo, pero con sentido opuesto. Entonces donde había un polo norte habrá un polo sur y viceversa y el ángulo girado será de 90° . Resultando (2).

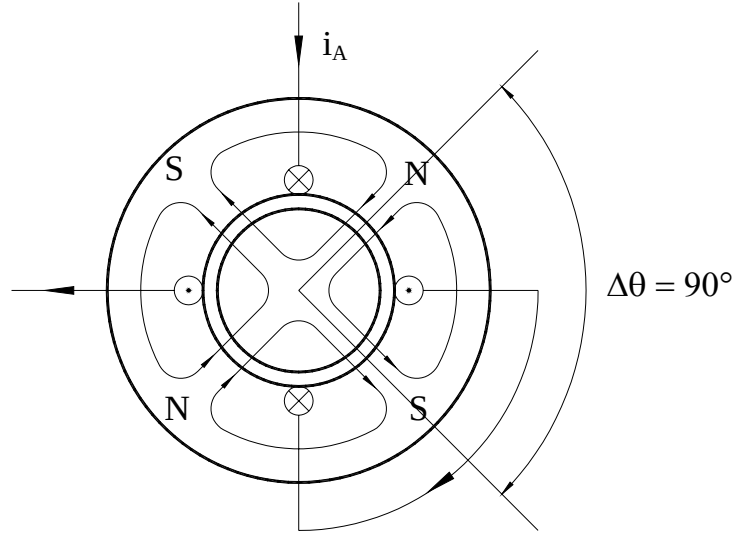


Fig. 6. Campo magnético de cuatro polos.

$$\begin{aligned}
 \text{Sí: } \Delta t &= \frac{T}{2} \\
 \Delta \theta &= 90^\circ = \frac{\pi}{2} \\
 \Omega_s &= \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{\pi/2}{T/2} = \frac{2\pi}{2T} = \frac{2\pi f}{2} = \frac{\omega}{2}
 \end{aligned} \tag{2}$$

O sea que cuando $p = 2$ el campo giratorio rota con una velocidad angular igual a la mitad de la pulsación de la corriente que lo está produciendo.

A partir de estos dos sencillos ejemplos es fácil deducir la expresión general:

$$\boxed{\Omega_s = \frac{\omega}{p} = \frac{2\pi f}{p} \text{ [rad/s]}} \tag{3}$$

Donde:

f : Frecuencia de las corrientes

p : Número de pares de polos

En el uso cotidiano es muy común emplear las velocidades angulares expresadas en *revoluciones por minuto* o *rpm*. La equivalencia es:

$$\boxed{\Omega \text{ [1/s]} = \frac{2\pi n \text{ [rpm]}}{60}} \tag{4}$$

Igualando las expresiones (3) y (4) resulta:

$$\boxed{n_s = \frac{60 f}{p} \text{ [rpm]}} \tag{5}$$

Las velocidades sincrónicas más comunes, para 50 y 60 Hz, son las indicadas en la tabla I. Las máquinas denominadas *sincrónicas* giran exactamente a estas velocidades, mientras que las *asincrónicas* lo hacen a una velocidad ligeramente diferente, en general menor.

Tabla I. Velocidades sincrónicas en rpm.

p	$f = 50 \text{ Hz}$	$f = 60 \text{ Hz}$
1	3.000 rpm	3.600 rpm
2	1.500 rpm	1.800 rpm
3	1.000 rpm	1.200 rpm
4	750 rpm	900 rpm

Ing. Norberto A. Lemozy
2010