

Fundamentos De Los Circuitos Electrónicos

Sistema Trifásico En Aplicación De Potencia

Realizado por: Calvache, Germán; Campaña, Josue;

Resumen

Las máquinas de inducción trifásicas se emplean preferentemente como motor. Son los motores mayoritariamente utilizados en plantas industriales, por su bajo costo, bajo mantenimiento y baja tasa de fallas respecto a otros tipos de motores. Su limitación tradicionalmente había sido la dificultad de controlar su velocidad en un rango amplio, hasta la aparición de los variadores electrónicos de frecuencia, que permiten modificar la frecuencia de la red y así variar la velocidad del motor en un amplio rango, siendo así competitivos con los motores de CC que usualmente se empleaban en aplicaciones de velocidad variable.

• Introducción

Los circuitos excitados por una tensión alterna se ha visto como se puede generar una tensión alterna senoidal, cuando una bobina se mueve dentro de un campo magnético.

La aparición de esta única onda alterna, hace que se denomine a esta máquina generador monofásico. Si el número de bobinas en el rotor se incrementa de una forma especial, el resultado es un generador polifásico que produce más de una onda alterna en cada revolución del rotor.

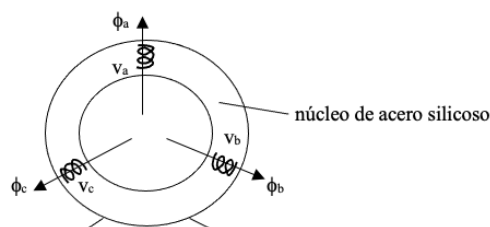
Se estudiarán los sistemas trifásicos puesto que son los que con más frecuencia se utilizan en la generación, transporte y distribución de la energía eléctrica. Las instalaciones domésticas o de pequeña potencia son monofásicas, pero esto no supone más que una derivación del sistema trifásico. Existen también sistemas bifásicos que se emplean en servomecanismos, en aviones y barcos, para detectar y corregir

señales de rumbo, indicación de alerones, etc.

2.- PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

2.1.- Estator

El estator está compuesto por un núcleo de hierro cilíndrico, donde se ubican 3 bobinas idénticas que se conectan a los respectivos voltajes de las 3 fases. Así, se producen 3 flujos magnéticos radiales, variables sinusoidalmente en el tiempo, y desfasados temporalmente en 120° entre sí.



Es decir :

$$\phi_a(t) = \phi_m \cdot \sin(2\pi ft)$$

$$\phi_b(t) = \phi_m \cdot \sin(2\pi ft - 120^\circ)$$

$$\phi_c(t) = \phi_m \cdot \sin(2\pi ft + 120^\circ)$$

Sumando vectorialmente estos flujos, para cualquier instante t , se obtiene que

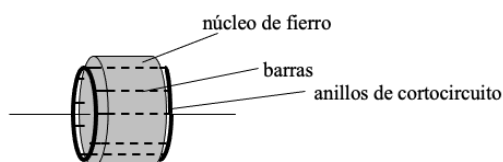
el flujo resultante es de magnitud constante $= 3\phi_m/2$ y gira a una velocidad “síncrona” tal que el flujo rotatorio da 1 vuelta por cada ciclo del voltaje alterno. Es decir: $\omega_s = 2\pi f$ [rad/s].

El estator descrito se denomina de 2 polos porque cada bobina origina un campo magnético que tiene una configuración con 2 polos magnéticos (N y S), e igual configuración se obtiene en el campo magnético rotatorio. Sin embargo usando más de una bobina por fase, se pueden lograr configuraciones de 2, 4, 6, 8, etc. polos. Por ejemplo, la Fig.2 muestra el campo magnético resultante de un motor de 4 polos.

2.2.- Rotor

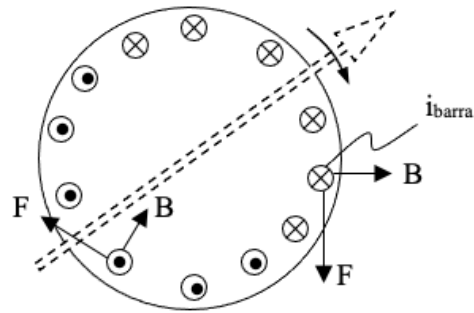
El rotor en principio puede ser un cilindro de fierro que pueda girar libremente en torno a su eje. Como el fierro es magnetizable, seguirá al campo magnético rotatorio originado por el estator, a una velocidad ω_r usualmente menor a ω_s , debido al roce y/o al torque resistente de la carga. Sin embargo, en estas condiciones el torque del motor sería muy bajo y ω_r sería mucho menor a ω_s .

Por ello, para mejorar el torque del motor, se utiliza en el núcleo de fierro del rotor una estructura, comúnmente de aluminio, denominada “jaula de ardilla”. Ésta está formada por barras axiales ubicadas en la periferia del rotor, y cortocircuitadas por anillos en sus extremos.



Así, si la velocidad de rotor es menor a la del flujo rotatorio, en las trayectorias cerradas que se forman en la jaula se inducen voltajes y corrientes tales que las corrientes por las barras i_{barra} , en el campo magnético B [Wb/m²], se traducen en fuerzas tangenciales F que elevan considerablemente el torque del

motor (ver Fig.4, donde se ilustra el caso de 2 de las barras).



Entonces, mientras mayor sea la diferencia de velocidades $\omega_s - \omega_r$, mayor será la variación del flujo enlazado por la jaula ($d\phi/dt$) \implies mayores son las corrientes inducidas por las barras \implies mayores son las fuerzas tangenciales y mayor es el torque T_m del motor. Si $\omega_s = \omega_r$ (caso ideal), al girar juntos el flujo rotatorio y el rotor, $d\phi/dt = 0 \implies$ corrientes inducidas $= 0 \implies$ Fuerzas tangenciales $= 0 \implies T_m = 0$.

Gracias a la jaula de ardilla, en condiciones de carga mecánica nominal, usualmente la velocidad del rotor ω_r es muy cercana a ω_s ($\omega_r \approx 0,95 \cdot \omega_s$), por lo que se prefiere expresar las ecuaciones en función de la diferencia relativa de velocidad, denominada “deslizamiento”.

3.- INTERPRETACION DE DATOS DE PLACA DE MOTORES DE INDUCCION TRIFASICOS

1. **Potencia Mecánica**, P_m [HP] ó [KW] (1 HP = 746 KW): Corresponde a la mayor potencia de la carga mecánica acoplada al eje, que puede mover el motor sin dañarse.
2. **Voltaje entre Fases**, V_{ff} [Volts] (Ej. 380 Volts): Es el voltaje entre fases al cual debe conectarse el motor. Recordar que $V_{ff} = \sqrt{3} \cdot V_{fn}$.
3. **Frecuencia**, f [Hz] (Ej. 50 Hz): Es la frecuencia del voltaje de alimentación del motor.
4. **Velocidad**, ω_r [rpm]. Es la velocidad a la que gira el rotor (o el eje) cuando mueve una carga

mecánica correspondiente a la potencia mecánica nominal P_m . OBS: no es la “velocidad síncrona” o velocidad del flujo magnético rotatorio ω_s , la que está dada por $\omega_s = 120f/p$, en que p es un N° par correspondiente al número de polos del motor. No obstante, usualmente $\omega_r \approx 0,95 \cdot \omega_s$.

5. **Conexión, Y o Δ :** Es la conexión de los 3 enrollados del motor. Usualmente los motores de baja potencia (≤ 3 HP) se diseñan con sus enrollados en Y; y los de alta potencia (> 3 HP), con sus enrollados en Δ .
6. **Corriente de línea, I_L [A]:** Es la corriente que entrega cada fase del Tablero al motor. Se indica esta corriente, independiente que la conexión sea Y o Δ :
7. **Factor de potencia, $\cos\phi$:** Es el coseno del ángulo de la impedancia equivalente por enrollado del motor a velocidad nominal, o bien del ángulo de retraso de la corriente de línea con respecto al voltaje fase neutro de la fase respectiva.

• Resolución de Ejercicios:

1. La salida de un generador de ca tiene un valor máximo de 250 V. A que ángulo el valor instantáneo es igual a 75 V
- Utilizamos la formula del voltaje angular.
 - Despejamos de la formula el valor del seno del ángulo.
 - Reemplazamos los datos y el valor final es de:

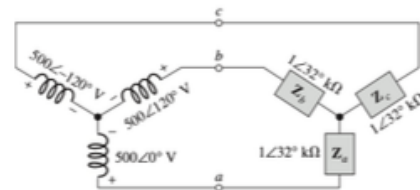
$$\begin{aligned}
 V_\alpha &= V_{\max} * \text{sen}(\alpha) \\
 V_\alpha &= 75 \text{ v} \\
 V_{\max} &= 250 \text{ v} \\
 \arcsen\left(\frac{V_\alpha}{V_{\max}}\right) &= \alpha \quad \arcsen\left(\frac{75}{250}\right) = \alpha \\
 \alpha &= 17,45^\circ
 \end{aligned}$$

2. Cierta generador trifásico de dos polos tiene una velocidad de rotación de 60 rpm. Cual es la frecuencia de cada voltaje producido por este generador. Cual es el ángulo de fase entre cada voltaje.

- Transformamos nuestra velocidad de rotación a radianes / segundos.
- Utilizamos la formula de la frecuencia.
- Reemplazamos los datos y hallamos la frecuencia.
- Después reemplazamos los datos para hallar el ángulo de fase y los resultados son:

$$\begin{aligned}
 w &= 60 \text{ rpm} \rightarrow 6,283 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \\
 f &= \frac{w}{2\pi} \quad f = \frac{6,283}{2\pi} = 0,99 \text{ Hz} \quad T = \frac{1}{f} = 1,01 \text{ s} \\
 \phi_1 &= 0 \quad \phi_2 - \phi_1 = 2\pi \\
 \phi_2 &= 2\pi
 \end{aligned}$$

3. Determinar las siguientes cantidades para el sistema Y-Y de la figura.



- Para calcular los voltajes de línea debemos utilizar la formula del voltaje de la impedancia a,b,c.
- Para calcular las corrientes de fase se utiliza la corriente de a,b,c.
- Para calcular las corrientes de líneas que son las mismas que las corrientes de fase.
- Las corrientes de carga se utiliza con la formula de corriente de la impedancia de a,b,c que es igual a voltaje de a,b,c sobre impedancia de a,b,c.

- Y los voltajes de carga son los siguientes.

$$\begin{aligned}Z_a &= Z_b = Z_c = 1 \angle 32k\Omega \\V_{za} &= V_{l1} = 500\sqrt{3} \angle 150V = 866.025 \angle 150V \\V_{zb} &= V_{l2} = 500\sqrt{3} \angle 30V = 866.025 \angle 30V \\V_{zc} &= V_{l3} = 500\sqrt{3} \angle -90V = 866.025 \angle -90V\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}I_a &= 0.0833 \angle -70(A) \\I_b &= 0.0833 \angle 170(A) \\I_c &= 0.0833 \angle 50(A)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}I_{l1} &= 0.833 \angle -70(A) \\I_{l2} &= 0.0833 \angle 170(A) \\I_{l3} &= 0.0833 \angle 50(A)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}I_{za} &= \frac{V_a}{Z_a} = \frac{500 \angle 0V}{1 \angle 32k\Omega} = 500 \angle -32(ma) \\I_{zb} &= \frac{V_b}{Z_b} = \frac{500 \angle 120V}{1 \angle 32k\Omega} = 500 \angle 88(ma) \\I_{zc} &= \frac{V_c}{Z_c} = \frac{500 \angle -120V}{1 \angle 32k\Omega} = 500 \angle -152(ma) \\V_{za} &= 50 \angle 0V \\V_{zb} &= 50 \angle 120V \\V_{zc} &= 50 \angle -120V\end{aligned}$$

- **Conclusiones**
- Los circuitos trifásicos desbalanceados se pueden conectar de varias formas como: estrella – estrella con neutro ideal, estrella – estrella sin neutro, estrella – estrella con neutro con impedancia, delta – delta y la combinación de la delta con la estrella.
- La potencia activa y reactiva no son iguales en cada una de las fases, por lo que las potencias totales son iguales a las sumas de las potencias de cada una de las fases.
- En los circuitos trifásicos no balanceados, cada fase de la carga posee su propio factor de potencia.
- existen circuitos trifásicos cuyos voltajes aplicados a la carga no son de igual magnitud, no están desfasados entre sí 120° o las impedancias en cada una de las fases de la carga no son iguales.

Los circuitos trifásicos que cumplen con al menos una de las condiciones anteriores se conocen como circuitos trifásicos desbalanceados.

Bibliografía

Ferro, G. L. (2017). *Universidad Nacional de Mar del Plata*. Obtenido de http://www3.fi.mdp.edu.ar/dtoelectrica/files/electrotecnia/e_im_8_circuitos_trifasicos.pdf

Ventosa, M. (2003). *Universidad Comillas De Madrid*. Obtenido de [http://dfs.uib.es/GTE/education/industrial/con_maq_electriques/teoria/Transparencias%20\(Univ.%20Pontificia%20Comillas\)/trifasica.pdf](http://dfs.uib.es/GTE/education/industrial/con_maq_electriques/teoria/Transparencias%20(Univ.%20Pontificia%20Comillas)/trifasica.pdf)

A., J. J. (2016). *upbbga.edu.com*. Obtenido de <http://jpadilla.docentes.upbbga.edu.co/Electrotecnia/9%20Sistemas%20trifasicos.pdf>

sapiensman.com. (2018). *sapiensman.com*. Obtenido de http://www.sapiensman.com/electrotecnia/circuitos_trifasicos1.htm