

Soluciones POWERLOGIC

Volumen 2, Artículo 2 Terminología del Sistema Powerlogic

En este artículo se definen términos relacionados con armónicos. Una mejor comprensión de estos términos le proporcionará una mayor habilidad para resolver problemas de armónicos.

El Problema

Algunos usuarios de sistemas Powerlogic (no familiarizados con la terminología o indecisos frente a la aplicación de una magnitud) han hecho preguntas acerca de ciertas magnitudes de calidad de potencia. Este artículo de Powerlogic Solutions describe un caso relacionado con el factor de potencia y define términos que generalmente suscitan cuestiones.

Recibimos la llamada de un cliente que estaba preocupado por la diferente medida del factor de potencia de dos motores que movían ventiladores idénticos. Uno era un motor de inducción de dos velocidades, el otro era un motor de inducción controlado por un variador de velocidad. Los Circuit Monitor conectados a cada carga medían la misma potencia activa (KW), pero medían factores de potencia muy diferentes.

Términos y conceptos clave

El factor de potencia representa el grado de desfase entre la tensión y la intensidad aplicadas a una carga. El cálculo

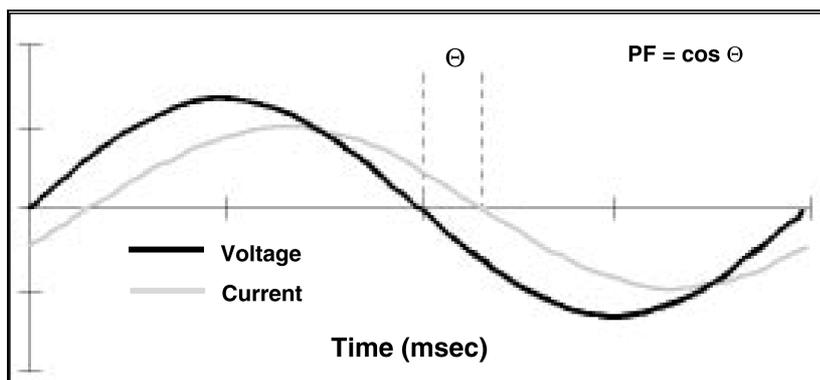


Figura 1. Θ representa el ángulo en que la intensidad retrasa a la tensión.

del factor de potencia desde esta perspectiva se realiza tomando el coseno del ángulo (Θ) en que la intensidad retrasa a la tensión. Las formas de onda de tensión e intensidad de la figura 1 son las típicas de

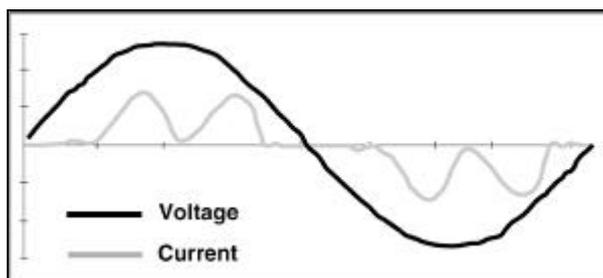


Figura 2. Tensión e intensidad en un variador modulado por ancho de pulso (PWM).

un motor de inducción.

En contraste a la forma de onda sinusoidal de la figura 1; la figura 2, muestra las distorsiones típicas introducidas por un variador de frecuencia variable, modulado

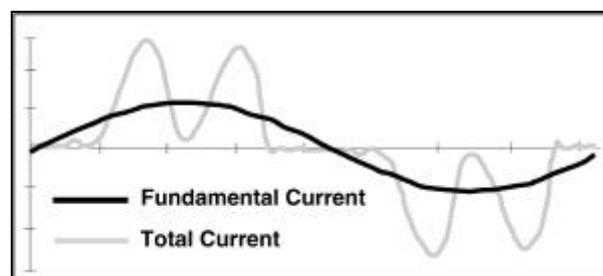


Figura 3. Intensidad de un variador (PWM) incluyendo armónicos (total) y sin ellos (fundamental).

por ancho de pulso (PWM).

La figura 3, muestra la componente fundamental de la intensidad del variador en comparación con la intensidad total.

Comparando los desfases en las figuras 2 y 3, podemos observar que la tensión y la intensidad fundamental están casi en fase; por tanto $\cos \Theta$ es

Soluciones

POWERLOGIC

aproximadamente 1 (factor de potencia aproximadamente 1). Si leemos el factor de potencia del panel frontal de un Circuit Monitor, tendremos un valor de 80%. ¿Significa esto que el Circuit Monitor calcula el factor de potencia erróneamente? Después de todo, los variadores PWM son conocidos por tener factores de potencia de entrada elevados. La verdad es que, efectivamente, los variadores PWM tienen un factor de potencia de entrada elevado (desplazamiento del factor de potencia de entrada).

La definición general de factor de potencia es la reacción entre la potencia activa y la potencia aparente:

$$PF = \frac{KW}{KVA}$$

Esta fórmula es equivalente al $\cos \theta$ sólo en el caso de condiciones puramente

sinusoidales (sin presencia de armónicos). Cuando el factor de potencia se calcula con la potencia activa y aparente total (que incluye armónicos), el resultado es el factor de potencia total (PF), que es el que aparece en el panel frontal del Circuit Monitor. Cuando se consideran solo las componentes fundamentales, el resultado es el desplazamiento del factor de potencia (dPF).

Al igual que las corrientes inductivas, que producen un factor de potencia con retraso, los armónicos también reducen la capacidad del circuito. Esto se debe al incremento del valor efectivo de la intensidad cuando aparecen armónicos. Otra razón es el incremento de los esfuerzos térmicos, por

el efecto resistivo pelicular, que los armónicos imponen en los devanados de los transformadores y conductores.

Actualmente existen condensadores que reducen el factor de potencia total cuando tenemos armónicos.

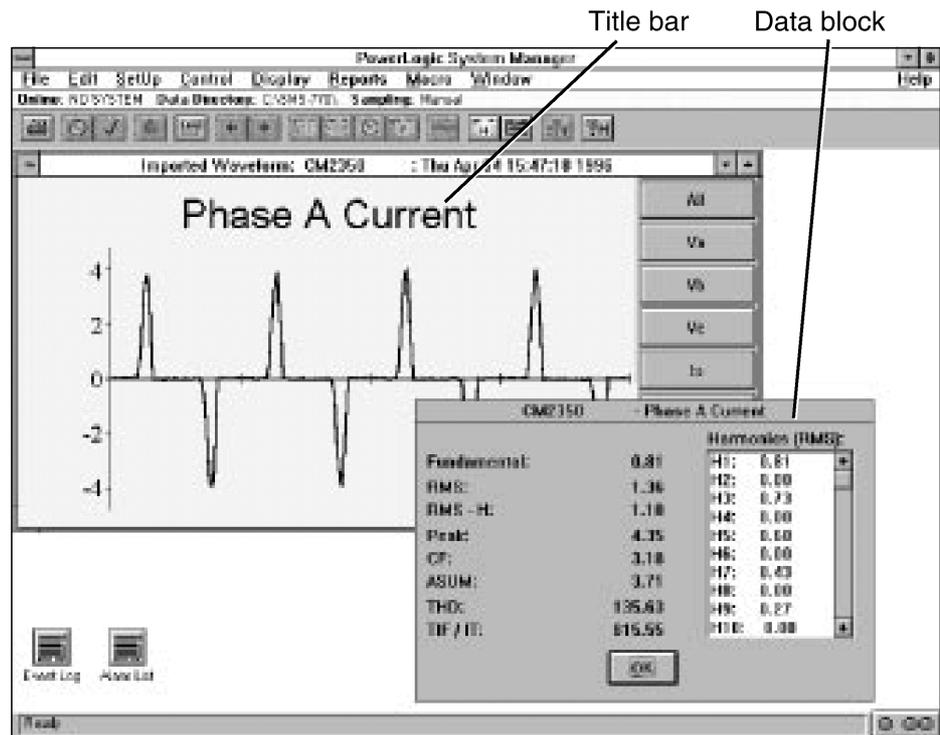


Figura 4. Pantalla de captura del System Manager Software que muestra la intensidad típica de cargas electrónicas monofásicas. Si hacemos doble clic en el título ("Phase A Current") veremos la tabla de datos.

Terminología referente a la Forma de Onda

El System Manager Software puede adquirir una onda de cuatro ciclos en cualquier Circuit Monitor 2250 o superior. Si hacemos doble clic en el título de cualquier forma de onda, obtendremos una tabla de datos como la mostrada en la figura 4.

Los valores listados en esta tabla proporcionan información valiosa acerca de la forma de onda asociada. Los términos de la tabla se definen en los siguientes párrafos.

El **valor fundamental** de tensión o intensidad corresponde a la parte de señal a

Soluciones

POWERLOGIC

la frecuencia de suministro. Generalmente la frecuencia es 50 Hz pero podría ser 60 Hz (E.E.U.U.) o 400 Hz (aviación).

Valor **RMS** es el valor efectivo, o el valor equivalente en corriente continua, de la tensión o la intensidad. Los Circuit Monitors son dispositivos que realmente miden valores rms. Existen medidores de mano que miden valores máximos o medias con los que calculan los valores rms. Estos son muy poco precisos cuando miden una señal altamente distorsionada. Un medidor de máximos, por ejemplo, presentará un error del 200% al medir una intensidad semejante a la de la figura 4.

RMS-H es el valor efectivo de la parte armónica de la tensión o la intensidad. Esta magnitud proporciona información acerca del nivel actual de armónicos de tensión o intensidad.

Valor de pico de tensión o intensidad es el valor máximo o mínimo de la onda. Es posible que los equipos resulten dañados si el valor de pico es excesivo aunque el valor rms esté dentro de los límites permitidos.

CF (crest factor) de tensión o intensidad es la relación entre los valores de pico y rms. El factor de cresta es 1,414 para una señal sinusoidal pura. La intensidad que alimenta un ordenador puede tener un factor de cresta superior a tres (como el ilustrado en la figura 4), mientras que algunos variadores tienen factores inferiores a 1,4. Algunos fabricantes tasan sus productos con un factor de cresta máximo.

ASUM es la suma aritmética de las magnitudes de la componente fundamental y los armónicos (a diferencia de la suma vectorial).

THD (total harmonic distorsión) definida tanto para tensión como para intensidad, es la relación entre la parte armónica y la fundamental:

$$THD = \frac{X_{RMS-H}}{X_1}$$

donde X puede ser tensión o intensidad.

La ecuación de encima es el valor mostrado en el panel frontal del Circuit

Monitor. Otra variedad de distorsión total de armónicos (thd), utilizada en algunos países del norte de Europa, relaciona la parte armónica con la totalidad de componentes (no sólo la fundamental):

$$thd = \frac{X_{RMS-H}}{X_{RMS}}$$

Este valor puede registrarse en las tablas de la memoria interna del Circuit Monitor, visualizarse en el panel frontal mediante el diagnóstico de lectura de registros, o obtenerse mediante el programa System Manager.

La distorsión total de armónicos indica el grado de distorsión de la señal de tensión o intensidad. Por ejemplo, el THD de intensidad del variador PWM de la figura 2 es 57%. La recomendación estándar del IEEE (Instituto de Técnicos Eléctricos y Electrónicos) limita a un 5% de distorsión total de armónicos de tensión para cualquier instalación. Los límites de distorsión de intensidad dependen de la intensidad demandada (generalmente la media de intensidad de la factura eléctrica se calcula en base a los 12 meses previos). Así pues, dependiendo de la carga, los límites de distorsión varían de un 5% a un 20%. La distorsión se mide en la unión eléctrica entre la compañía y el cliente, denominado punto común de acoplamiento.

TIF/IT es el factor de influencia telefónica y el producto IT (que equivale al TIF con los tiempos de intensidad y los valores rms de intensidad). Ambos términos se utilizan para dar idea de las interferencias entre los circuitos de distribución de potencia y los circuitos de comunicación audio. El valor para las formas de onda de tensión es el TIF: una variación del THD que valora cada armónico de acuerdo con su efecto audible para el oído humano. Para las formas de onda de intensidad el valor dado es el producto IT.

La ventana de **armónicos (RMS)** lista el valor rms de cada armónico desde la componente fundamental hasta la componente 31ª. Las tensiones e intensidades distorsionadas pueden

Soluciones

POWERLOGIC

representarse por una serie de señales sinusoidales cuyas frecuencias son múltiplos de la frecuencia fundamental (50Hz). Por ejemplo, el quinto armónico, representa la componente a 250Hz (cinco veces 50Hz). Estos valores se suman vectorialmente (raíz cuadrada de la suma de los cuadrados) para calcular RMS-H y RMS.

Terminología de Potencia

Los Circuit Monitor determinan la potencia armónica y esto puede ser útil para evaluar el flujo de armónicos de la fuente a la instalación. Un valor negativo indica un flujo de armónicos desde la carga, mientras que un valor positivo indica un flujo hacia la carga.

Un flujo de armónicos desde la carga implica que ésta es una fuente de armónicos (podría ser un variador de frecuencia variable o una planta de carga de baterías). Si la potencia armónica fluye hacia a la carga significa que ésta es un pozo de armónicos (los condensadores y los motores son ejemplos que representan bajas impedancias a frecuencia armónicas).

El factor K relaciona el efecto de calentamiento de una intensidad distorsionada con una intensidad sinusoidal de idéntico valor rms. El término fue empleado, por primera vez, para definir la capacidad de un transformador para alimentar cargas no lineales sin exceder sus límites de temperatura.

Los relaciones de factor K para transformadores de tipo seco estándar son: 4,9,13,20,30,40 y 50. El aumento de los factores K indican el aumento de la capacidad para armónicos de intensidad. El uso de transformadores de factor K se ha popularizado debido al crecimiento del número de cargas electrónicas.

Mientras que el factor K de una carga dada puede medirse fácilmente; determinar el transformador de factor K necesario no es tan simple. Este valor depende de las cargas, ya que los armónicos de múltiples fuentes no son 100% aditivos (la diversidad y atenuación reducen el contenido de

armónicos de múltiples cargas en una misma instalación). Por tanto, el transformador debe alimentar todas las cargas para medir con precisión la relación de factor K necesaria.

Comparado con un transformador de relación disminuida, una elección adecuada de transformador de factor K, reduce la generación de armónicos. De hecho, un transformador con un 3%-5% de impedancia, autolimitará su factor K a plena potencia entre 4 y 6.

Otros Conceptos

La intensidad aparente es un valor único, que está relacionado con el valor de pico, que es mostrado por el Circuit Monitor. La intensidad aparente se define como:

$$I_{ap} = \frac{I_{pico}}{\sqrt{2}}$$

Esta magnitud refleja el valor que debería mostrar un amperímetro que mide valores máximos o un interruptor electrónico. Las unidades que miden valores de pico pueden operar prematuramente cuando alimentan cargas no lineales. Comparando el valor de intensidad rms con el aparente podemos apreciar el error que cometen estos dispositivos de protección.

Desde la introducción de los Circuit Monitor, el factor armónico se ha convertido en un sinónimo del THD. Algunas definiciones expresan el factor armónico en forma de porcentaje, como el THD, mientras que otras lo hacen en tanto por uno. El Circuit Monitor define el factor armónico como el factor de potencia total dividido entre el desplazamiento del factor de potencia:

$$HF = \frac{PF}{dPF}$$

Si no hay presencia de armónicos, este valor será 1. Si la tensión y la intensidad se hacen más distorsionadas, el factor armónico disminuirá.

El desequilibrio de tensión no está relacionado con los armónicos como lo están los conceptos anteriores, pero se manifiesta de una forma similar. Como los armónicos,

Soluciones

POWERLOGIC

el desequilibrio de tensión produce calentamiento en los motores. Los Circuit Monitor calculan el desequilibrio de cada fase usando la siguiente formula:

$$V_{UMB} = \frac{V_f - V_{MEDIO}}{V_{MEDIO}}$$

El desequilibrio total se presenta como el máximo de los desequilibrios de fase. Por ejemplo, las tensiones compuestas de un motor de inducción son: $V_{AB}=459V$, $V_{BC}=466V$ y $V_{CA}=462V$. La tensión media es 462 V y por tanto los desequilibrios de fase son: -0,7%, 0,9% y 0%; y el desequilibrio total es 0,9%.

Cuando las tensiones están desequilibradas, una elevada intensidad negativa fluye en los devanados del estator del motor. El flujo resultante gira en sentido contrario al rotor, induciendo una tensión que produce una intensidad de 120Hz. El efecto resistivo pelicular aumenta la resistencia del rotor generando un calor excesivo. Un desequilibrio de un 3% puede provocar un calentamiento del 25%, acortando la vida del motor.

El desequilibrio de intensidades (que se calcula de la misma forma que el desequilibrio de tensiones) produce desequilibrio de tensión y puede indicar la necesidad de equilibrar las cargas monofásicas, o un problema con una carga trifásica.

Conclusión

Como en el caso del factor de potencia bajo condiciones no sinusoidales, debemos conocer la terminología correcta cuando discutamos la calidad de potencia con la compañía. La solución para los factores de potencia bajos por variadores de frecuencia variable PWM es diferente a la de un desplazamiento del factor de potencia bajo por un motor de inducción.

En este artículo hemos expuesto algunos de los conceptos más comúnmente utilizados en calidad de potencia. En los

próximos artículos, trataremos temas relacionados con la calidad de potencia tales como: corrección del factor de potencia, investigación de armónicos, gestión de energía, etc.

Compruebe su Coeficiente de Potencia

Las siguientes cuestiones le ayudarán a comprobar su comprensión de la información de este artículo y del anterior.

Responder verdadero o falso (soluciones en la página siguiente):

1. Los conductores de neutro de igual diámetro que los conductores de fase suelen sobrecargarse.
2. Rara vez se necesita un transformador con un factor K superior a 13.
3. Equilibrar las fases reduce la intensidad del neutro en sistemas trifásicos con neutro compartido.
4. Cuando utilizamos las componentes fundamentales de potencia activa y aparente para el calculo del factor de potencia, el resultado es el desplazamiento del factor de potencia.
5. Si la tensión y la intensidad fundamentales están en fase, el factor de potencia total es siempre 1.
6. Un 3% de desequilibrio de tensión provoca en los motores de alterna un sobrecalentamiento de un 25%.

Soluciones

POWERLOGIC

1. Falso. Un estudio demostró que sólo habría sobrecarga del neutro en un 5% de los casos.
2. Ciento. Cuando el consumo es máximo, las medidas de factor K en los terminales del transformador raramente son superiores a 13.
3. Falso. Para intensidades muy distorsionadas (THD superior al 32%), equilibrar las cargas provoca un aumento de la intensidad del neutro.
4. Ciento (página 2).
5. Falso. Si aparecen armónicos, el factor de potencia total será inferior a 1 (el desplazamiento del factor de potencia si será 1).
6. Ciento. El desequilibrio de tensiones aumenta la temperatura de operación de los motores de alterna, reduciendo su rendimiento y acortando su esperanza de vida.