

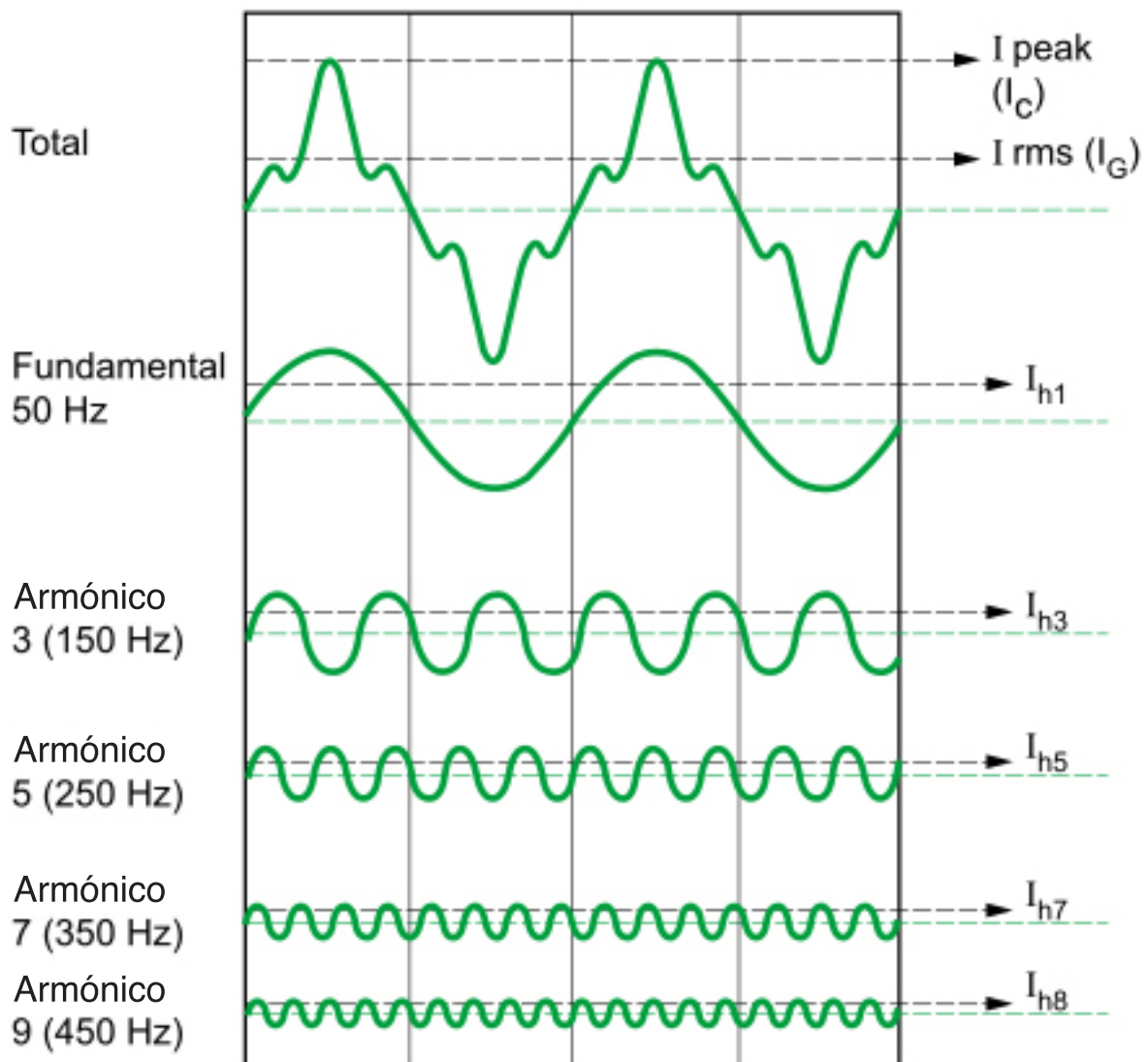
## Parte I: Armónicos

Con frecuencia, los problemas armónicos dentro de una instalación eléctrica se pasan por alto debido a la falta de comprensión o conocimiento de ellos. Esto a menudo lleva a los responsables que experimentan fallos dentro de sus instalaciones, a enfocarse en los problemas más que en las causas que los provocan. En este, el primero de una serie de artículos breves sobre problemas de calidad de la energía, explicamos las causas, los síntomas y algunas soluciones a los problemas de los armónicos.

En los últimos 30 años ha habido un gran aumento en el número de cargas no lineales conectadas a la red eléctrica, incluyendo ordenadores y equipos informáticos asociados, fuentes de alimentación ininterrumpidas, accionamientos de motores de velocidad variable, balastos de iluminación electrónicos e iluminación LED, entre muchos otros. El uso creciente de este tipo de equipos y la aplicación de la electrónica en casi todas las cargas eléctricas están comenzando a provocar efectos preocupantes en el suministro eléctrico. Se estima que hoy más del 95% de la interferencia armónica dentro de una instalación es generada por equipos existentes dentro de esa instalación.

Cuando una carga eléctrica lineal está conectada al suministro eléctrico, consume una corriente sinusoidal a la misma frecuencia que el voltaje; sin embargo, las cargas no lineales consumen corrientes que no son necesariamente sinusoidales.

La forma de onda de la corriente puede volverse bastante compleja, dependiendo del tipo de carga y su interacción con otros componentes de la instalación. Estas cargas no lineales aumentan la corriente y, en casos severos, la tensión y la distorsión en el suministro eléctrico, lo que puede provocar pérdidas de energía significativas, acortar la vida útil de los equipos y reducir la eficiencia de los dispositivos.



La distorsión de la forma de onda se puede analizar matemáticamente para mostrar que generalmente es equivalente a superponer componentes de frecuencia adicionales en la onda sinusoidal original de 50 Hz. Estas frecuencias son armónicos de la frecuencia fundamental y, a veces, pueden propagarse hacia el exterior desde las cargas no lineales y causar problemas en otras partes de la instalación eléctrica.

Independientemente de la complejidad de la forma de onda que estemos tratando, es posible reconstruirla en una serie de ondas sinusoidales simples utilizando el análisis de Fourier.

Una de las medidas que se utilizan a menudo para indicar la cantidad de distorsión armónica presente en una instalación eléctrica es la distorsión total de corriente armónica o THDi. Esta es una relación de la suma de todas las corrientes armónicas a la corriente a la frecuencia fundamental descrita por la ecuación:

$$THD = \frac{\sqrt{(I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2)}}{I_1}$$

Las corrientes armónicas tienen efectos negativos en casi todos los elementos del sistema eléctrico al alterar los dispositivos electrónicos sensibles y provocar tensiones dieléctricas térmicas y mecánicas.

Los fallos más significativos incluyen bloqueos de ordenadores y otros equipos IT, luces parpadeantes, fallas de tarjetas electrónicas en equipos de control de procesos, falla del equipo de corrección del factor de potencia, sistemas conmutados de alta potencia, sobrecalentamiento del conductor de neutro, disparo intempestivo de las protecciones y medición inexacta.

Algunos, tales como las luces parpadeantes y las fallas de los equipos IT, se convierten en grandes dolores de cabeza para las empresas y sus empleados. Los fallos de las tarjetas electrónicas en las líneas de producción o en los equipos de control de procesos pueden costar a las empresas un tiempo de inactividad no planificado e importantes pérdidas económicas. Sin embargo, lo peor de todo es que los fallos en la corrección del factor de potencia y en los equipos de distribución eléctrica, cables, transformadores, motores y generadores de reserva puede ser catastrófica. Como mínimo, la presencia de armónicos provocará una reducción de la eficiencia eléctrica dentro de la instalación y un consumo excesivo de energía; por el que tendrá que pagar de más.

La resistencia interna de un condensador se reduce a medida que aumenta la frecuencia y, a altas frecuencias, puede parecer casi un cortocircuito. Algunas corrientes armónicas de frecuencia alta, traen como consecuencia, un mayor sobrecalentamiento del condensador. También es posible experimentar daños permanentes en los condensadores debido a la resonancia en paralelo que se produce entre ellos y los transformadores.

*El calentamiento resistivo es proporcional al cuadrado del orden armónico, por lo que se deduce que cuanto mayor es el número de armónicos de orden superior que existen, mayor es el efecto de calentamiento.*



**Fallo en condensadores de tarjeta electrónica por problemas de armónicos.**





Como mínimo, esto conducirá a grandes aumentos en las pérdidas en el hierro y, por lo tanto, de consumo de energía, en máquinas rotativas y transformadores, así como a mayores pérdidas por corrientes parásitas en los transformadores. En el peor de los casos, incendios en los sistemas de cableado y distribución o incluso una falla catastrófica del transformador.

Aparte de las pérdidas debidas a los efectos del calentamiento, los motores en particular pueden verse afectados negativamente por armónicos debido a la oscilación torsional del eje del motor. El par en los motores de corriente alterna se produce por la interacción entre el campo magnético del entrehierro y las corrientes inducidas en el motor. Cuando un motor recibe voltajes y corrientes no sinusoidales, los campos magnéticos del entrehierro y las corrientes del motor contendrán obviamente componentes de frecuencia armónica. Los armónicos se agrupan en componentes de secuencia positiva, negativa y cero. Los armónicos de secuencia positiva (1, 4, 7, 10, 13, etc.) producen campos magnéticos y corrientes que giran en la misma dirección que el armónico de frecuencia fundamental. Los armónicos de secuencia negativa (2, 5, 8, 11, 14, etc.) desarrollan campos magnéticos y corrientes que giran en dirección opuesta al conjunto de frecuencias positivas, y los armónicos de secuencia cero (3, 9, 15, 21, etc.), también llamados homopolares, no desarrollan un par utilizable, pero producen pérdidas adicionales en la máquina. La interacción entre los campos magnéticos de secuencia positiva y negativa y las corrientes producen oscilaciones torsionales del eje del motor. Estas oscilaciones dan como resultado vibraciones del eje y, si la frecuencia de las oscilaciones coincide con la frecuencia mecánica natural del eje, se amplifican y pueden producirse daños graves en el eje del motor. A veces es posible escuchar literalmente un transformador o motor "cantando o gruñendo"

debido a estas vibraciones y esta es a menudo una de las primeras indicaciones de la existencia de un problema armónico.

Afortunadamente, la identificación y medición de armónicos se logra fácilmente utilizando un analizador de calidad eléctrica o un registrador de potencia y energía con capacidad de medir armónicos, y si bien no se pueden eliminar, ya que son generados por las diversas cargas propias de la instalación, pueden concentrarse en un área lo más cercana posible a la carga contaminante para evitar que lleguen a la red general.

Los principales métodos utilizados en una instalación, para contrarrestar la presencia de armónicos incluyen: los sistemas de filtrado o aislamiento, pasivos o activos, diseñados para limitar el deterioro de la calidad de la energía y otros efectos nocivos, así como el uso de equipos de corrección del factor de potencia sincronizados. Una vez que los armónicos estén "bajo control", se reducirán los problemas asociados, como las pérdidas de energía, sus costes inútiles, los fallos y cortes de instalaciones y equipos.

Los armónicos son un problema grave en una instalación eléctrica, y se vuelven cada vez más importantes a medida que se introducen más cargas inteligentes y de conmutación. Deben ser monitorizados regularmente para verificar sus niveles y evitar fallas potenciales o pérdidas elevadas.