

Filtros del tercer armónico

Puesta a punto para una mejor calidad de la energía

Jouko Jaakkola

La pantalla de su PC parpadea, deja de parpadear, vuelve a hacerlo otra vez... Se trata de un fenómeno molesto que probablemente indica la existencia de un problema –armónicos de orden elevado– y que se está haciendo más frecuente a medida que la industria y el comercio añaden a su inventario de cargas eléctricas más equipos de electrónica de corriente fuerte y ordenadores, por no mencionar la iluminación fluorescente. Al mismo tiempo, la proliferación de equipos electrónicos en el puesto de trabajo ha convertido en problemático algo que el comercio y la industria esperan y demandan: una energía de gran calidad.

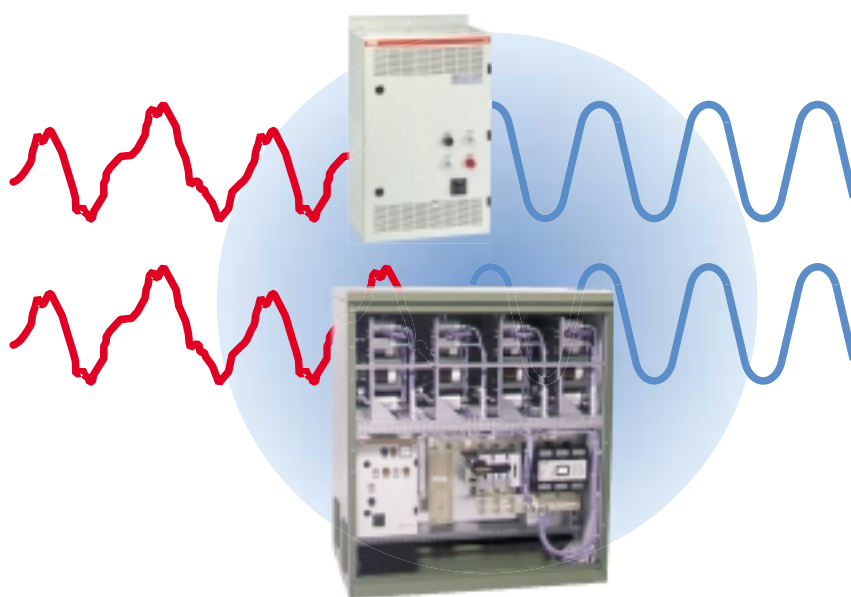
Los dispositivos electrónicos de corriente monofásica, tales como ordenadores, impresoras, fotocopiadoras, televisores, equipos de telefax, sistemas de alimentación ininterrumpida e iluminación, son las fuentes principales de corrientes armónicas en conductores neutros. Las

corrientes armónicas sobrecargan el cableado de la construcción, aumentan las pérdidas de línea, reducen la capacidad del circuito y sobrecargan los condensadores empleados para la corrección del factor de potencia. Esto constituye un problema especialmente en el conductor neutro, donde se

acumulan las corrientes del tercer armónico que, generalmente, son las de mayor magnitud en las fases. Incluso cabe la posibilidad de que las corrientes del tercer armónico transportadas por el conductor neutro superen la corriente de los conductores de las fases.

Los problemas relacionados con las corrientes armónicas de dispositivos electrónicos monofásicos son más acusados en el comercio y en el sector de la electrónica, donde la concentración de este tipo de equipos es muy grande. Un problema adicional es que los sistemas eléctricos de muchos edificios antiguos no fueron diseñados para soportar las oficinas actuales, basadas completamente en la electrónica.

Un problema particular de la mayoría de los dispositivos electrónicos son las cargas no lineales, provocadas por las fuentes de alimentación conmutadas de los ordenadores y de otros equipos de oficina, y las fuentes constituidas por un rectificador puente y un condensador de filtro.



¿Está embrujada su red?

El número creciente de cargas eléctricas no lineales que se instalan –iluminación fluorescente, ordenadores, sistemas de alimentación ininterrumpida, equipos de soldadura, etc.– está haciendo sentir su presencia de diversas maneras. Esto se debe a que generan armónicos, que pueden provocar problemas muy significativos y con frecuencia difíciles de detectar para los demás usuarios conectados a la misma red eléctrica. ¿Pero qué son los armónicos, de dónde proceden exactamente y por qué constituyen un problema?

Qué son los armónicos puede decirse en pocas palabras: son múltiplos de la forma de onda sinusoidal producida por el generador, que aparecen en el sistema eléctrico. Por ejemplo, en una red en que la forma de onda fundamental es 50 Hz, el tercer armónico es 150 Hz, el quinto armónico 250 Hz, el séptimo 350 Hz, y así sucesivamente. Solamente son importantes los armónicos de número impar, aunque todos los armónicos afectan a la forma de onda actual.

El tercer armónico (150 Hz) y el quinto armónico (250 Hz) son los que aparecen con más frecuencia. Generalmente las cargas monofásicas generan el tercer armónico, mientras que las cargas trifásicas son responsables del quinto. (Los armónicos quinto y séptimo se pueden filtrar mediante los denominados ‘circuitos sintonizados’ pero hasta ahora no disponíamos de una forma económica de filtrar el tercer armónico.)

La carga eléctrica determina la corriente extraída del sistema, ya que la tensión de alimentación es esencialmente constante. Una carga lineal, como una resistencia óhmica, tiene una impedancia constante y, por consiguiente, la corriente de carga que genera tiene la misma forma de onda que la fuente de tensión y es perfectamente sinusoidal, siempre que la tensión de alimentación

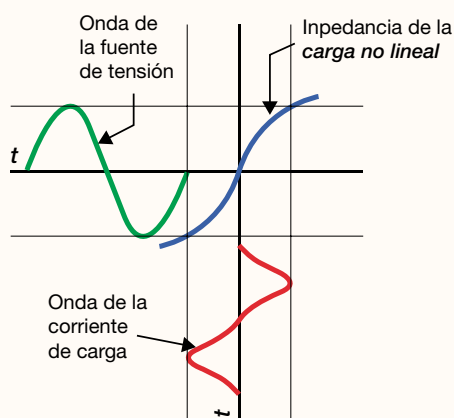
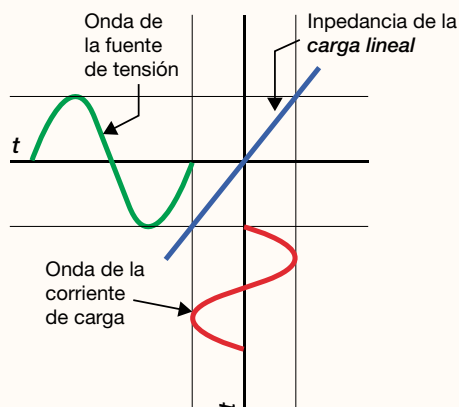
también lo sea. Por otra parte, una carga no lineal varía su impedancia, por ejemplo, cuando la amplitud del voltaje cambia y, por lo tanto, produce una corriente no sinusoidal y devuelve al sistema una onda de corriente distorsionada. Cargas no lineales típicas son los transformadores que funcionan cerca del punto de saturación y los rectificadores de corriente.

¿Dónde reside el problema? Desde siempre, los sistemas de distribución trifásicos, de cuatro hilos, que prestan servicio a cargas monofásicas equilibradas han tenido un conductor neutro común para llevar solamente un desequilibrio mínimo de corriente de las cargas. Sin embargo, en presencia de cargas no lineales monofásicas desequilibradas, el conductor neutro común puede llevar un exceso de corriente, debido al tercer armónico que se ‘acumula’ en él.

Por supuesto, la sobrecarga del conductor neutro se puede evitar proporcionando a cada una de las fases un conductor neutro independiente y de sección adecuada de retorno al cuadro de alimentación, pero esta es, obviamente, una solución poco económica.

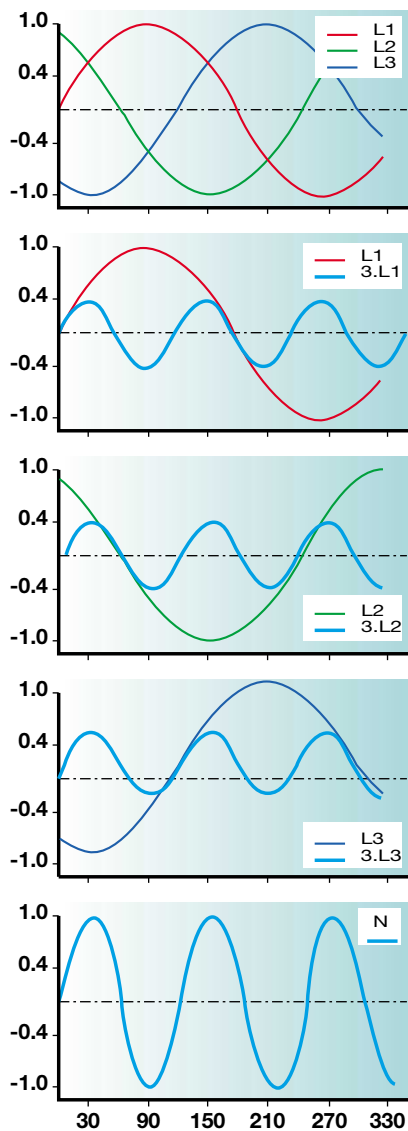
En un ejemplo de la vida real, se conectaron tres PC de 120 V a un sistema trifásico de 208/120 V, un PC a cada fase. Cada PC consumía 1,2 A, pero el conductor neutro llevaba 2 A. Obviamente, existe un riesgo de incendio cuando se hacen pasar corrientes de intensidad muy alta por un conductor neutro de sección inadecuada, ya que no existe un fusible para protegerlo.

Los problemas del tercer armónico se pueden eliminar mediante la instalación de un filtro especial, como se comentó en este artículo. Un cliente de ABB en Escandinavia que ha instalado recientemente un filtro de este tipo informa de un ahorro anual de unos 100.000 dólares gracias a la reducción del consumo eléctrico y a la mejora del rendimiento de los equipos. Y el ‘electrosmog’ generado por los equipos se ha reducido de forma espectacular.



1 Las corrientes del tercer armónico se suman en el conductor neutro.

Por ejemplo, una corriente del tercer armónico del 20% en cada fase (L1, L2, L3) asciende a un 60% en el conductor neutro (N).



Las fuentes de alimentación de modo conmutación conducen solamente parte de la semionda, de forma que el condensador de filtro recibe una CA de impulsos no sinusoidal. Otros elementos que generan corriente del tercer armónico son las lámparas de descarga, por ejemplo las luces fluorescentes y las nuevas lámparas de ahorro de energía.

La corriente de la tercera armónica domina

En sistemas trifásicos compensados, la corriente fundamental y las de los armónicos 5º, 7º, etc. se anulan mutuamente, mientras que las corrientes monofásicas del tercer armónico tienen el mismo decaje de fase y, por consiguiente, se acumulan en el conductor neutro.

Puesto que los equipos electrónicos monofásicos generan corrientes armónicas elevadas, es posible que un sistema sufra problemas importantes relacionados con los armónicos aunque la carga, en términos de potencia activa, sea relativamente baja.

La corriente del tercer armónico dominante puede añadir hasta 1 A por kW para equipos de iluminación y 4 A por kW para cargas de ordenadores, dependiendo de la impedancia del circuito de la red y de la concentración de la carga 1. Los armónicos, que, paradójicamente, son generados por las mismas fuentes que sufren la mayoría de sus consecuencias, provocan sobrecalentamiento, daños y pérdidas de potencia en los equipos. Además, generan campos electromagnéticos y reducen la calidad de la corriente, haciendo que los aparatos sufran fallos de funcionamiento.

Las corrientes neutras que se generan son lo bastante grandes como para provocar incendios. Un estudio de casos recientes ha revelado que las corrientes neutras alcanzan valores de hasta 1.250 A, mientras que las corrientes de fase compensadas sólo llegaban a 1000 A.

El calentamiento debido a las corrientes armónicas puede hacer que se desconecten los interruptores automáticos y los fusibles. Puesto que los interruptores automáticos accionados por corriente residual son dispositivos electromecánicos, las componentes de mayor frecuencia de la corriente se

podrían sumar de forma incorrecta, haciendo que los interruptores automáticos se desconectasen por error. Cuando existen corrientes armónicas, por el circuito pasa más corriente de lo previsto. Si los dispositivos y equipos electrónicos disponen únicamente de sistemas de medición simples, las componentes de mayor frecuencia también podrían sumarse de forma errónea.

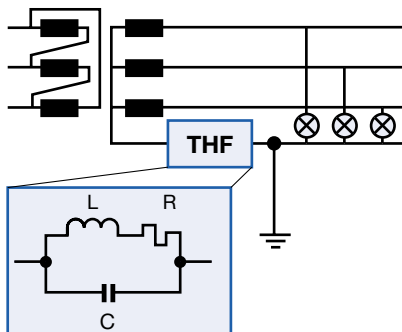
Filtros del tercer armónico: la forma rentable de eliminar las corrientes del tercer armónico

El filtro de tercer armónico (THF) es un filtro de resonancia en paralelo con una alta impedancia para la corriente del tercer armónico y una impedancia muy baja para la frecuencia fundamental, tan baja que al introducir el THF en el conductor neutro sólo se aumenta ligeramente el tiempo de funcionamiento de los dispositivos de protección contra cortocircuitos y la impedancia del circuito de la red. La conexión en serie del THF en el conductor neutro ha sido patentada por ABB Control en Finlandia.

El conductor neutro es el lugar lógico y más eficaz para instalar el THF, ya que es aquí donde las corrientes del tercer armónico se suman aritméticamente. Puesto que se trata de un elemento pasivo, su nivel de ruido es muy bajo, y, dado que actúa como filtro de bloqueo más que como filtro de impedancia nula, no tiene efectos negativos sobre las señales digitales ni provoca inestabilidad o resonancia en la red. Una bobina de amortiguación incorporada garantiza que los elementos del filtro puedan soportar picos de tensión 2.

El filtro se instala en el conductor neutro o en el punto neutro del transformador adyacente al panel de conmutación del sistema TN-S 3. El THF está equipado con

2 El conductor neutro es un punto ideal para instalar el filtro del tercer armónico (THF). Puesto que es un elemento pasivo, el nivel de ruido es muy bajo y no provoca ninguna resonancia en la red. Gracias a una bobina de amortiguación incorporada, los componentes del filtro pueden soportar picos de tensión.



normas tales como la G5/3 del Reino Unido y la Contrad Emeraude en Francia ya han establecido el límite de la corriente de emisión en 34 A y 4%, respectivamente, mientras que la IEEE 519 recomienda un 5% para los usuarios principales de la red. El THF puede reducir los niveles de emisión de los PCC de los consumidores en la red pública, al tiempo que reduce la distorsión de la onda de tensión en el punto de suministro **4**.

un dispositivo de protección contra la corriente de desequilibrio fundamental de 50 Hz y la sobrecorriente de 150 Hz.

Reducción eficaz de las corrientes neutra y de emisión

Además de eliminar del orden del 95% del tercer armónico en el conductor neutro, el dispositivo THF también elimina la corriente de 150 Hz en los conductores de fase. Un reto importante en el futuro será mantener los niveles de emisión en un nivel reducido en el punto de acoplamiento común (PCC);

Aumento de la capacidad de la red y reducción de las pérdidas de línea

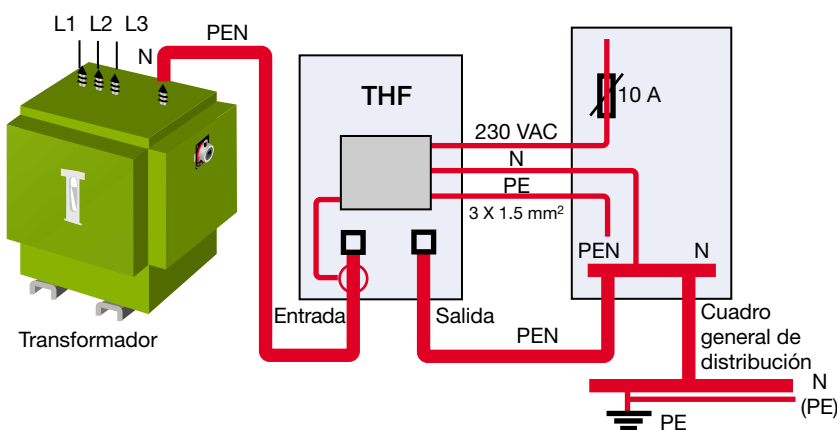
La corriente del tercer armónico en la red de BT (baja tensión) forma un bucle que se extiende, a través de los conductores de línea y los paneles de distribución, desde los dispositivos monofásicos hasta el punto neutro del transformador y el conductor neutro, donde se induce en el devanado triángulo de MT (Media Tensión). En el estado equilibrado, la corriente del tercer armónico no se propaga a la red de MT,

Problemas provocados por los terceros armónicos

- Corrientes dentro de la instalación
- Sobrecarga de conductores neutros
- Recalentamiento de transformadores
- Disparo erróneo de interruptores
- Sobredimensionado de los condensadores para corregir el factor de potencia
- Efecto Kelvin
- Recalentamiento de motores de inducción
- Corrientes en el punto de acoplamiento común
- Campos magnéticos
- Parpadeo de las pantallas

pero circula por el devanado triángulo, donde incrementa las pérdidas resistivas y la temperatura de funcionamiento, al tiempo que reduce la capacidad de carga efectiva. Las corrientes armónicas, que tienen una mayor frecuencia, también dan lugar a un aumento de las pérdidas magnéticas en el núcleo y a un aumento de la corriente parásita y de las pérdidas de efecto Kelvin en los devanados.

3 Conexión del filtro del tercer armónico (con unidad de protección) al punto neutro del transformador



Ahorro de energía

La reducción del componente del tercer armónico no sólo incrementa la durabilidad de los componentes de la red, sino también reduce el componente de potencia y con ello la pérdida de esta. El propio THF consume muy poca potencia (la pérdida de potencia por unidad es de 40 W).

Además de un menor riesgo de incendio debido a la sobrecarga del conductor, los usuarios ahorran costes gracias a la reducción de las significativas pérdidas en el cableado, atribuidas a las elevadas corrientes

4 El programa ABB de filtros para el tercer armónico, dimensionados para valores de entre 25 A y 3.000 A, para interiores y exteriores



tes armónicas. En casos conocidos de concentraciones de cargas del tercer armónico se han medido ahorros de energía de entre un 4 y un 5%, lo que permite que el coste del THF se recupere en un plazo comprendido entre 3 y 10 años, dependiendo de las

características eléctricas y de la carga real de las redes.

Campos magnéticos

A diferencia de los armónicos 5º y 7º, que se anulan unos a otros, la corriente provo-

cada por el tercer armónico genera un campo magnético alrededor de los conductores monofásicos y neutro. El THF mitiga las corrientes monofásicas en el cableado de puesta a tierra de fase, conductor neutro y sistema de TN-C. Mediante la reducción del componente del tercer armónico, el campo magnético total de un edificio de oficinas o de un edificio hospitalario típico se reduce en un 50% aproximadamente **5**.

Especificación del filtro

El THF se dimensiona según el transformador o fusible existentes en el lado de la alimentación; el criterio de dimensionado es que dicho THF tiene que soportar, en todas las circunstancias, los esfuerzos dinámicos y las tensiones térmicas en el punto neutro del transformador o en el conductor neutro, independientemente de la magnitud real de la carga aparente o reactiva o de la distorsión. Esto garantizará que el sistema permanezca estable a pesar de las variaciones de la carga.

Los terceros armónicos y la ley

Actualmente todos estamos familiarizados con las pegatinas 'CE' de los productos electrónicos, un símbolo que nos dice que el dispositivo ha superado un ensayo: el dispositivo ha sido expuesto a una radiación electromagnética *entrante* que se propaga por una amplia banda de frecuencias y que ha sido 'escuchado' para determinar qué frecuencias *emite* durante el funcionamiento.

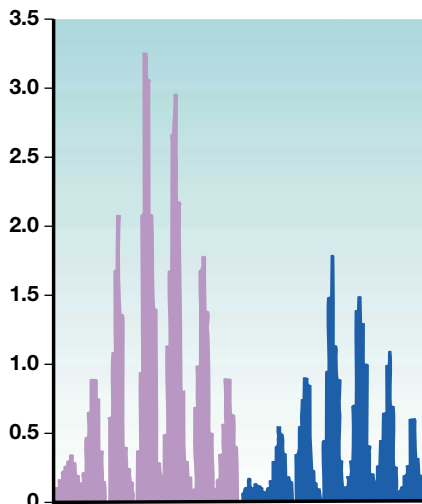
Se trata de una prueba de compatibilidad electromagnética (CEM) para la que existen diversas normas que indican a los responsables de las pruebas los límites entre los que deberá funcionar el dispositivo. Sólo cuando se esté en conformidad con ellas, se puede utilizar el distintivo 'CE'.

CEI 1000, parte 3, párrafo 2 (IEC 1000-3-2) es la norma que establece los límites para los armónicos que

puede generar un dispositivo. Desde enero de 2001, todos los dispositivos que utilicen menos de 16 A *deben* cumplir esta norma o no podrán ser comercializados en la UE. Las normas para dispositivos que consumen corrientes mayores están actualmente en preparación. Las Recomendaciones IEEE 519' para Armónicos, adoptadas por muchos países no pertenecientes a la UE, son similares a las CEI.

A pesar de estas normas, existen muchos millones de dispositivos que generan armónicos y que seguirán utilizándose durante las próximas décadas. A medida que la 'calidad' eléctrica de la red gane en importancia y la buena calidad de la energía pase a ser un argumento de venta, los filtros descritos en este artículo serán cada vez más relevantes como medio de luchar contra estos dispositivos eléctricamente ruidosos.

5 Gráfico de mediciones de campos magnéticos en diversos puntos de un gran hospital. El filtro de tercer armónico permitió alcanzar una reducción del 50% (gráfico azul).



Instalaciones de referencia en todo el mundo

Desde 1994, los THF instalados en todo el mundo –en edificios de oficinas, salas de ordenadores, empresas de radiodifusión, industrias de transformación, hoteles **6**, o en grandes complejos de iluminación o invernaderos– han demostrado que reducen eficazmente la corriente neutra en un 95% para un ahorro de energía típico de un 4%. Mediante la mejora de las condiciones de la red, los costes iniciales de instalación de este dispositivo generalmente se recuperan en un período de 3 a 10 años de duración.

Para obtener más información sobre el dispositivo THF descrito, visite la página <http://www.abb.com/lvswitches>. También está disponible un CD-ROM para ayudarle en la selección de diversas aplicaciones.

Autor

Jouko Jaakkola
ABB Control Oy
PO box 622
FI-65101 Vaasa, Finlandia
jouko.jaakkola@fi.abb.com
Fax: +358 1022 45708

6 Los filtros de tercer armónico de ABB están siendo instalados en el hotel Burj Al Arab de Dubai, uno de los nuevos complejos hoteleros más prestigiosos del mundo. Las unidades de THF contribuyeron a reducir la temperatura del conductor, lo que permitió utilizar conductores verticales de menores dimensiones en las barras colectoras.

