

Medida y localización de armónicos en sistemas de potencia

Uso de multímetros y pinzas amperimétricas para medida y localización de armónicos

Nota de aplicación

En los últimos años, en edificios de oficinas y en fábricas están ocurriendo hechos casi misteriosos. Transformadores que suministran cargas aparentemente normales se sobrecalientan de modo inexplicable, los conductores neutros de algunos circuitos perfectamente equilibrados se sobrecalientan a causa de cargas excesivas, algunos automáticos saltan sin razón aparente, y un largo etc. Y, sin embargo, los procedimientos de medida y mantenimiento habituales para la localización de averías indican que no hay nada anormal. Entonces ¿cuál es el problema?

Sencillamente—los armónicos.

Estos equipos están diseñados para consumir corriente durante sólo una fracción controlada de la onda de alimentación. Esto, provoca armónicos en la corriente de carga y, con ello, se manifiesta por ejemplo con el sobrecalentamiento de transformadores, conductores de neutro y el disparo intempestivo de interruptores automáticos.

El problema es evidente, si observamos la forma de onda de tensión de una línea normal a 50 ciclos aparece en el osciloscopio como una onda casi sinusoidal (fig. 2B); en cambio, cuando hay armónicos, la onda aparece distorsionada (fig 1 y fig 2A). Decimos entonces que estas ondas son no sinusoidales. Las formas de onda de tensión y de corriente ya no presentan una relación simple entre sí, de ahí el término "no lineales" que se les aplica."

Como llegar a la raíz del problema

Localizar el problema es relativamente fácil una vez se conoce qué es lo que hay que buscar y dónde buscarlo. Normalmente, los síntomas de los armónicos no son precisamente sutiles. En esta nota de aplicación se dan algunas pautas básicas para descubrir los armónicos y unas cuantas sugerencias sobre el modo de resolver el problema.

No obstante, deberá usted encargar a un experto que analice la instalación y diseñe un plan específico para la solución del problema.

Con las nuevas tecnologías surgen nuevos retos

Los armónicos son la consecuencia de la aparición de la electrónica moderna. Precisamente, se manifiestan especialmente donde hay un gran número de ordenadores personales, variadores de velocidad y otros equipos electrónicos que consumen corriente en forma de pulsos cortos.

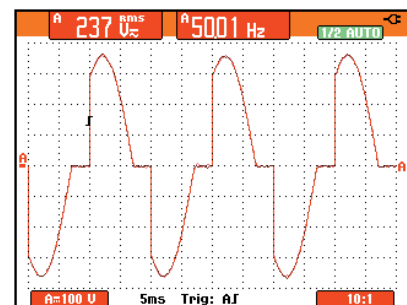


Fig. 1. Tensión del tiristor

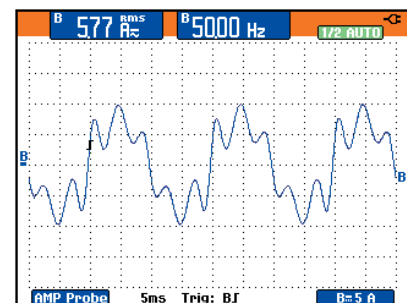


Fig. 2A. Forma de onda de corriente distorsionada

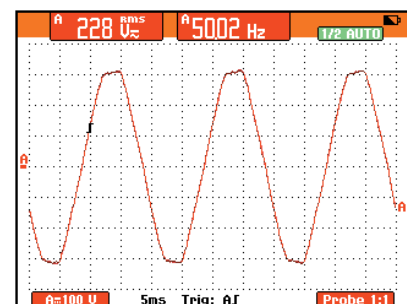


Fig. 2B. Forma de onda de tensión distorsionada

Definición del problema

Si se analizan los armónicos puede comprobarse que tanto en corriente como en tensión sus frecuencias son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental de la alimentación. Por ejemplo si la frecuencia fundamental es de 50 Hz, el segundo armónico será de 100 Hz, el tercero de 150 Hz, etc. Los armónicos son originados por cargas no lineales que absorben corriente en pulsos bruscos en vez de hacerlo suavemente en forma sinusoidal. Estos pulsos crean ondas de corriente distorsionadas que originan a su vez corrientes armónicas de retorno hacia otras partes de la instalación.

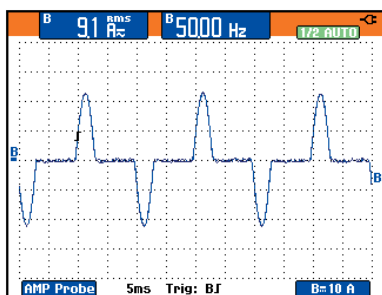


Fig. 3A. Forma de onda de corriente de una carga monofásica no lineal

El fondo de la cuestión

Básicamente, este fenómeno se manifiesta especialmente en instalaciones con equipos que disponen en sus etapas de entrada de diodos y condensadores para la rectificación de la onda, como por ejemplo, ordenadores personales, impresoras y material electromédico.

Las causas del fenómeno son que la tensión alterna de entrada, una vez rectificada por los diodos, se utiliza para cargar un condensador de gran capacidad.

Después de un semiperíodo, el condensador se carga a la tensión de pico de la onda sinusoidal, por ejemplo, a 322 V en una línea de alterna a 230 V.

El equipo puede consumir corriente hasta alcanzar un límite mínimo regulado. Normalmente, antes de que se alcance ese límite el condensador se recarga hasta el valor de pico en el siguiente semiperíodo de la onda sinusoidal. Este proceso se repite una y otra vez. El condensador sólo absorbe un pulso de corriente durante la cresta de la onda con lo que durante la porción restante de la misma, cuando la tensión es inferior al valor residual del condensador, éste no consume corriente. Es entonces cuando se producen los comentados pulsos.

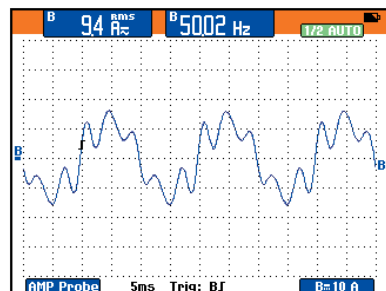


Fig. 3B. Forma de onda de corriente de una carga trifásica no lineal

Normalmente, las fuentes de alimentación con condensadores y diodos que llevan incorporadas los equipos de oficina son cargas monofásicas no lineales. En las plantas industriales, por el contrario, las causas más frecuentes de corrientes armónicas son cargas trifásicas también no lineales, como variadores de velocidad que regulan electrónicamente la velocidad de giro de motores de potencia.

Armónicos de tensión

La propia red de alimentación puede ser una fuente indirecta de armónicos de tensión.

La relación entre la corriente armónica circulante por la instalación y la impedancia de la misma, provoca que exista en la fuente de alimentación principal una tensión armónica residual que acaba sumándose al suministro de la instalación, aplanando los extremos de la senoide e incidiendo, por tanto, en la calidad eléctrica de tensión de alimentación (ver fig. 2B).

Se da la irónica circunstancia de que son las propias cargas que generan las corrientes armónicas que circulan por la instalación las que acaban sufriendo las consecuencias de este problema, el ejemplo más extremo de ello son los ordenadores personales, particularmente sensible a los armónicos de tensión y fuentes habituales de generación de armónicos de corriente, que pueden resetearse de forma intespestiva.

En el entorno industrial, los motores de inducción y las baterías de condensadores para la corrección del factor de potencia también pueden resultar gravemente afectados por los armónicos de tensión.

Los condensadores de corrección del factor de potencia pueden formar un circuito resonante con la instalación (típicamente de carácter inductivo). Si la frecuencia de resonancia del conjunto está próxima a la de los armónicos de tensión, la corriente armónica resultante podrá aumentar considerablemente, sobrecargando los condensadores y quemando sus protecciones. El salto de las protecciones provoca la "parada" de la etapa de corrección y la resonancia desaparece.

Efectos de las corrientes armónicas

Los síntomas de los armónicos suelen manifestarse en la fuente de energía que da servicio a la instalación y alimenta las cargas no lineales. Estas son básicamente de dos tipos: monofásicas y trifásicas. En las oficinas predominan las cargas monofásicas no lineales, mientras que en el ámbito industrial las más extendidas son las cargas trifásicas. Cada componente de la instalación manifiesta los efectos de los armónicos de manera diferente, si bien todos están sujetos a una posible avería o a un rendimiento ineficiente si no están dimensionados para soportar cargas electrónicas.

Conductores de neutro

En sistemas trifásicos (Sistemas a cuatro hilos) los conductores de neutro pueden verse afectados seriamente por las cargas no lineales de las cargas monofásicas descolgadas del sistema. En condiciones normales, para una carga lineal equilibrada las diferentes corrientes a la frecuencia fundamental de 50 Hz se anulan mutuamente en el conductor neutro.

En un sistema de 4 conductores con cargas monofásicas no lineales, ciertos armónicos impares denominados triplens u homopolares- múltiplos impares de los terceros armónicos: 3°, 9°, 15°, etc. - no se anulan entre sí, sino que se suman en el conductor neutro. En casos extremos puede darse incluso la circunstancia que la corriente del neutro supere el valor de las corrientes de fase. En este caso el peligro es el excesivo calentamiento, por no estar dimensionado para elevadas corrientes y por no existir en el conductor neutro ningún interruptor automático que limite la corriente como ocurre en los conductores de fase.

Una corriente excesiva en el conductor neutro puede provocar también caídas de tensión superiores a lo normal entre el conductor neutro y tierra en la toma de corriente a 230 V.

Interruptores automáticos

Los interruptores magnetotérmicos tienen un mecanismo de disparo que reacciona al calentamiento producido por la corriente del circuito. Dicho mecanismo está diseñado para responder al calentamiento que produce el valor eficaz de la onda de corriente de manera que se dispare si se calienta demasiado. Este tipo de interruptor es una gran solución para proteger los circuitos frente a sobrecargas debidas a corrientes armónicas.

Los automáticos electrónicos detectores de picos reaccionan ante los picos de la onda de corriente. Como el valor de pico de la corriente armónica suele ser superior al de la normal, este tipo de interruptor automático puede dispararse intempestivamente con valores de corriente normalmente bajos. Por otro lado, si el nivel de pico es inferior al normal puede que el automático no reaccione cuando debiera.

Barras colectoras y espárragos de conexión

Las barras colectoras de neutro y los espárragos de conexión están dimensionados para soportar el valor máximo de la corriente de fase, pero pueden sufrir sobrecarga si se añade a los conductores neutros la suma de los armónicos triplens.

Cuadros eléctricos

Los cuadros diseñados para corrientes de 50 Hz pueden presentar resonancia debido a los campos magnéticos generados por corrientes armónicas de alta frecuencia. Cuando esto sucede el panel empieza a vibrar descontroladamente y emitir un típico

zumbido como consecuencia de las elevadas frecuencias armónicas.

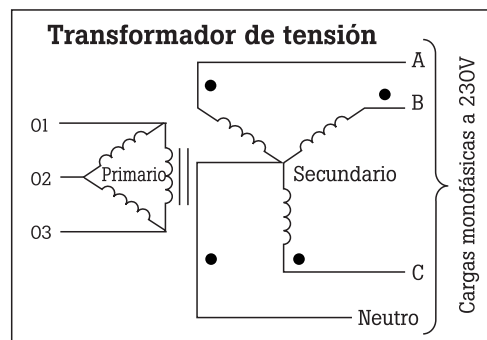
Telecomunicaciones

Los cables de telecomunicaciones suelen tenderse muy cerca de los cables de alimentación eléctrica. Para reducir al mínimo la interferencia inductiva provocada por la corriente de las fases los cables de telecomunicaciones se tienden cerca del conductor neutro. Con frecuencia los armónicos triplens de este conductor originan la interferencia inductiva que escuchamos en algunas líneas telefónicas. Este síntoma suele ser el primer indicio de la existencia de un problema de armónicos que se manifiesta en molestos zumbidos, en posibles pérdidas de datos, etc.

Transformador

Los transformadores utilizados en los edificios comerciales suelen ser del tipo triángulo-estrella. Dicha configuración es la más utilizada por ser normalmente la adecuada para descolgar cargas monofásicas como las tomas de enchufe. Las cargas monofásicas no lineales conectadas a esas tomas de corriente producen armónicos triplens que se suman algebraicamente en el conductor de neutro. Cuando esta corriente del neutro llega al transformador se refleja en el devanado primario en delta (triángulo) del mismo y circula por él con el consiguiente sobrecalentamiento y averías del transformador.

Normalmente, los transformadores sólo están tarados para una carga de corriente de fase de 50 Hz. Al ser más alta su frecuencia, la corriente armónica provoca un mayor calentamiento con la misma cantidad de corriente.



Estos efectos de calentamiento obligan a desclasificar los transformadores utilizados para alimentar cargas armónicas o a sustituir dichos transformadores por otros de diseño especial.

Generadores

Los generadores de reserva están sujetos al mismo tipo de problemas de sobrecalentamiento que los transformadores, pero debido a que se utilizan como fuentes de alimentación de emergencia para cargas productoras de armónicos a menudo son incluso más vulnerables. Además de sobrecalentamiento, algunos tipos de armónicos provocan distorsión en los pasos por cero de la onda de corriente, lo que origina incómodas perturbaciones e inestabilidad de los circuitos de control del generador.

Clasificación de Armónicos

Cada armónico tiene un nombre, una frecuencia y una secuencia. La secuencia se refiere al giro de su fasor con respecto al fundamental (F), por ejemplo, en un motor de inducción, el armónico de secuencia positiva generaría un campo magnético que haría sobregirar el motor. Un armónico de secuencia negativa giraría en dirección contraria por lo que se opondría al régimen de giro directo. A continuación tenemos los nueve primeros armónicos con sus efectos.

Nombre	F	2°*	3°	4°*	5°	6°*	7°	8°*	9°
Frecuencia	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Secuencia	+	—	0	+	—	0	+	—	0

*Cuando la señal es simétrica no existen armónicos pares (típico en circuitos eléctricos)

Secuencia	Rotación	Efectos (efecto pelicular, corrientes "eddy", etc.)
Positiva	Directa	Calentamiento de conductores, rotura de circuitos, etc.
Negativa	Inversa	Calentamiento de conductores + diversos problemas de motor
Cero**	ninguna	Sobrecarga del conductor de neutro

**Secuencia de simétrica Cero (múltiplos impares de 3) son llamados "Triplens". 9°, 15°, 21°, etc.)

Encontrando los armónicos

El análisis de armónicos le permitirá saber si le están causando algún problema, y en caso de que así sea dónde está localizado. A continuación se indican algunas pautas a seguir.

- 1. Inventario de cargas.** Dése una vuelta por las instalaciones y vea qué clase de equipos se utilizan. Si tiene muchos ordenadores personales e impresoras, variadores de velocidad, controles electrónicos de calefacción o aire acondicionado y ciertos tipos de alumbrado fluorescente (balastos electrónicos) es muy probable que haya armónicos.
- 2. Comprobación del calentamiento de los transformadores.** Localice los transformadores que alimentan esas cargas no lineales y compruebe su temperatura con un termómetro por infrarrojos. Asegúrese también que las aberturas de ventilación estén despejadas.
- 3. Corriente del secundario de los transformadores.** Compruébela utilizando un multímetro con lectura de verdadero valor eficaz.
 - Compruebe que la capacidad de tensión del equipo de medida sea adecuada para el transformador que va a comprobar.
 - Mida y anote la corriente del secundario de los transformadores en cada fase y en el neutro (si se utiliza).

- Calcule la potencia en kVA suministrada a la carga y compárela con el valor indicado en la placa de características
 - Si el secundario del transformador es de 4 conductores, compare el valor de la corriente medida en el neutro con el valor previsto en función del desequilibrio entre fases (la corriente del neutro es la suma vectorial de las corrientes de las fases y normalmente debería tener un valor de cero si dichas corrientes estuviesen equilibradas en fase y amplitud). Si la corriente del neutro es más alta de lo previsto es probable que haya armónicos triplens y haya que desclasificar el transformador.
 - Mida la frecuencia de la corriente del neutro. Una lectura de 150 Hz sería el valor típico de una corriente de neutro compuesta en su mayor parte de armónicos de orden tres.
- 4. Comprobación de la corriente de neutro de los cuadros eléctricos.** Compruebe los cuadros eléctricos que alimentan cargas no lineales. Mida la corriente del neutro de cada circuito y compare el valor obtenido con la capacidad nominal correspondiente a la sección del cable utilizado. Compruebe si hay signos de calentamiento o cambios de color

en la barra colectora de neutro y en las conexiones de alimentación. Un termómetro por infrarrojos sin contacto, como el Fluke 61, resulta útil y seguro para detectar el sobrecalentamiento excesivo de barras colectoras y conexiones.

5. Comprobación de la tensión entre neutro y tierra en las bases de enchufe. A veces es posible detectar la sobrecarga del neutro del circuito al que pertenecen una o varias tomas de enchufe midiendo la tensión entre neutro y tierra en estas últimas. En condiciones normales la lectura deberá ser igual o inferior a unos dos voltios.

- A veces es posible detectar la sobrecarga del neutro del circuito al que pertenecen una o varias tomas de enchufe midiendo la tensión entre neutro y tierra en estas últimas. En condiciones normales la lectura deberá ser igual o inferior a unos dos voltios. Una tensión más alta significaría que puede haber problemas, dependiendo de la longitud del tendido, la calidad de las conexiones, etc. Mida la frecuencia. Una lectura de 150 Hz indicaría una fuerte presencia de armónicos. Un valor de 50 Hz desequilibrio entre fases.

Herramientas de medida y diagnóstico

- Preste especial atención a los cables tendidos bajo suelos y moquetas y a los paneles modulares de oficina con cableado integral en el que se utiliza un neutro compartido por tres conductores de fase. Dado que en estos casos las cargas típicas son ordenadores y máquinas de oficina, los puntos mencionados suelen presentar sobrecarga en el neutro.

Para averiguar si tenemos un problema de armónicos habremos de medir el verdadero valor eficaz y el valor de pico instantáneo de la forma de onda. Para ello, necesita una pinza amperimétrica como las Fluke 335, 336 ó 337 ó un multímetro como los de las series Fluke 170 y 180, que realizan medidas de verdadero valor eficaz.

El verdadero valor eficaz es la media cuadrática, o valor de calentamiento equivalente, de una forma de onda de corriente o de tensión. El término "eficaz" se utiliza para diferenciar estas lecturas de las obtenidas con instrumentos que indican la media aritmética, como sucede con la mayoría de las pinzas amperimétricas y multímetros de bajo coste. Tales instrumentos sólo proporcionan lecturas correctas cuando la medida se efectúa sobre ondas sinusoidales puras, pero al medir una onda distorsionada suelen dar una lectura inferior a la real, que puede llegar a ser un 50 % más baja. Los medidores de verdadero valor eficaz proporcionan lecturas correctas de cualquier onda que se encuentre dentro de las especificaciones de factor de cresta y ancho de banda del instrumento.

Factor de cresta



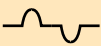
El factor de cresta de una onda es la relación entre el valor de pico y el valor eficaz. En una onda sinusoidal dicho factor es de 1,414. Una de las especificaciones características de todos los multímetros de verdadero valor eficaz es su factor de cresta, es decir, el nivel de pico que puede medir sin error.

Un multímetro digital de verdadero valor eficaz apropiado es aquel que al menos tiene un factor de cresta de 3,0 a la lectura máxima de la escala. Esto es más que suficiente para la mayoría de las medidas en una instalación eléctrica. A mitad de la escala el factor de cresta es del doble - 6,0. Por ejemplo, el multímetro digital Fluke 187 tiene un factor de cresta de hasta 3,0 al medir 400 V CA, y de hasta 6,0 al medir 200 V CA.

Utilizando un instrumento de verdadero valor eficaz con función de pico (peak), como el Fluke 187,

es fácil calcular el factor de cresta. Un factor cresta diferente de 1,414 indica la presencia de armónicos. Normalmente, cuanto mayor es la diferencia respecto de 1,414 mayor es el contenido de armónicos. En el caso de los armónicos de tensión, el factor de cresta típico es inferior a 1,414, es decir, la forma de onda está achatada en sus extremos. Para corrientes armónicas monofásicas, el factor de cresta típico está por encima de 1,414. Formas de onda trifásicas muestran a menudo la "doble joroba" (Fig. 13), por tanto, el método de comparación del factor de cresta no debería ser aplicada a una corriente de carga trifásica. Si descubre la presencia de armónicos podrá hacer un análisis mas profundo de la situación utilizando un analizador de calidad eléctrica Fluke 43B.

Comparación de características del Multímetro con respuesta de valor promedio vs. Verdadero Valor Eficaz

Tipo de medidor	Circuito de Medida	Respuesta frente a onda senoidal*	Respuesta frente a onda cuadrada*	Respuesta frente a onda distorsionada*
Respuesta de valor promedio	Multiplica por 1.1 el valor medio de la onda rectificada			
Verdadero Valor Eficaz	Calculo matemático o calentamiento efectivo	Correcta	Correcta	Correcta

* Dentro de las especificaciones de ancho de banda y factor de cresta del multímetro

Solucionando el problema

A continuación se dan algunas sugerencias para resolver ciertos problemas típicos con los armónicos. Antes de aplicar estas medidas deberá encargarse a un experto el análisis del problema y trazar un plan a la medida la situación.

En caso de sobrecarga en los neutros

En un sistema trifásico (de 4 conductores), la fracción de corriente del neutro (a 50Hz) puede reducirse al mínimo equilibrando las cargas de cada fase. Los armónicos triplens de la corriente del neutro pueden reducirse instalando filtros de armónicos en la carga. Si ninguna de estas soluciones es factible puede añadir más neutros a la instalación; lo ideal sería un neutro por cada fase. Otra posible solución sería instalar un neutro compartido sobredimensionado para los tres conductores de fase. En edificios de nueva construcción, el cableado bajo moqueta y el de las paredes modulares de oficina deberían especificarse con neutros individuales, y a ser posible con un conductor de tierra aislado, separado de la tierra de seguridad.

Desclasificación de los transformadores

Para determinar el factor de corrección o desclasificación de un transformador, mida la corriente de pico y la corriente eficaz en los conductores de las tres fases. Si las fases no están equilibradas, calcule la media de las tres lecturas y utilice ese valor en la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned}\text{THDF} &= \text{Factor de reducción de armónicos del transformador} \\ &= \frac{(1,414) (\text{Corriente de fase eficaz})}{(\text{Corriente de pico Instantánea de la fase})}\end{aligned}$$

Esta fórmula da como resultado un valor entre 0 y 1,0, normalmente entre 0,5 y 0,9. Si las corrientes de fase son puramente sinusoidales (sin distorsión), los picos instantáneos serán de 1,414 veces el valor eficaz, y el factor de corrección será 1,0. En ese caso no se precisa corrección.

Por el contrario, cuando hay armónicos la capacidad real del transformador es el producto del valor en KVA indicado en la placa de características multiplicado por el THDF.

kVA corregido = (HDF) x (kVA en placa de características)
Por ejemplo: transformador 208/120 Y con capacidad nominal de 225 kVA:

La medición de las corrientes de carga realizada con un Fluke modelo 87 y una sonda de corriente 80I-600 AC, arrojó los siguientes resultados:	Conductor	Corriente eficaz	Corriente de pico instantánea
	01	410 A	804 A
	02	445 A	892 A
	03	435 A	828 A

$$\text{Promedio corriente de fase} = \frac{410 + 445 + 435}{3} = 430 \text{ A}$$

$$\text{Promedio corriente de pico} = \frac{804 + 892 + 828}{3} = 841 \text{ A}$$

$$\text{THDF} = \frac{(1,414) (430)}{841} = 72,3 \%$$

Los resultados indican que con el nivel de armónicos presente, para evitar el sobrecalentamiento habría que reducir la capacidad del transformador al 72,3 % de su valor nominal.

Trabaje de forma segura

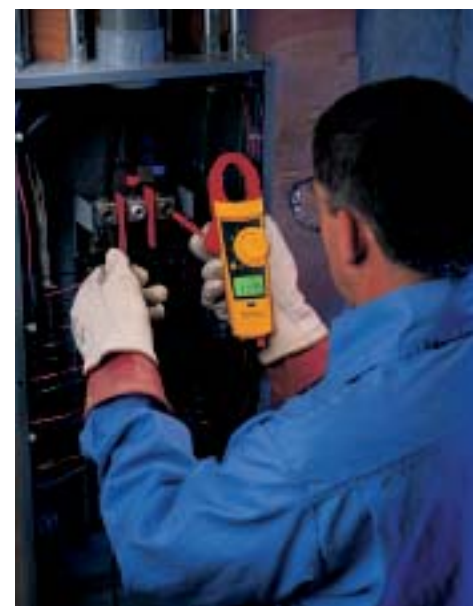
Las altas tensiones y corrientes presentes en sistemas de alimentación eléctrica pueden causar lesiones graves o mortales por electrocución. Por tanto, sólo los técnicos debidamente formados y con conocimiento de los sistemas eléctricos en general y del equipo que se va a comprobar deben realizar las pruebas y en su caso las modificaciones necesarias.

Fluke no puede anticipar todas las precauciones posibles que deben tomarse al efectuar las medidas aquí indicadas. Sin embargo, como mínimo, deben seguirse las siguientes:

- Utilizar equipo de seguridad apropiado, como gafas de seguridad, guantes y mantas aislantes, etc.
- Asegurarse de haber desconectado, bloqueado e identificado todos los puntos de alimentación en cualquier situación que implique entrar en contacto directo con componentes del circuito. Asegurarse de que nadie pueda conectar la fuente de alimentación.

- Leer y comprender todos los manuales aplicables antes de utilizar la información sobre la aplicación incluida en esta nota. Prestar especial atención a todas las precauciones y advertencias de seguridad incluidas en los manuales de instrucciones.

Este artículo es una guía general para comprender los armónicos. No pretende suplir los servicios de un consultor profesional de sistemas eléctricos. Antes de tomar cualquier medida para diagnosticar o resolver posibles problemas con los armónicos, deben analizar exhaustivamente su funcionamiento ingenieros eléctricos profesionales.



Caso práctico

Situación

Un moderno edificio de oficinas dedicado principalmente al desarrollo de software informático contenía un gran número de ordenadores personales y otros equipos electrónicos de oficina. Estas cargas electrónicas eran alimentadas por un transformador de baja tensión configurado con el primario en delta y el secundario en estrella. Los ordenadores personales estaban bastante bien distribuidos por todo el edificio, a excepción de una habitación grande que contenía varias máquinas. Los PC de esa habitación, utilizados exclusivamente para pruebas, eran alimentados por varios ramales.

El transformador y el cuadro de distribución principal se encontraban en una sala de aparellaje eléctrico situada en la planta baja. La inspección de dicha sala reveló inmediatamente la existencia de corrientes con fuerte contenido en armónicos:

- El transformador se calentaba considerablemente.
- El cuadro principal emitía un zumbido resonante de baja frecuencia que denotaba la vibración de los componentes mecánicos del cuadro.
- Un conducto instalado justo encima del transformador para evacuar una parte del excesivo calor producido mantenía la temperatura de la habitación dentro de unos límites razonables.

Definición del problema

Transformador—Se hicieron mediciones de corriente (ver tabla 1) en el neutro y en cada una de las fases del secundario del transformador utilizando un multímetro de verdadero valor eficaz y uno de valor medio. Se conectó a cada multímetro una sonda amperimétrica de 600 A a fin de poder realizar lecturas de corriente. Se conectó la sonda de corriente a un osciloscopio con memoria para capturar las formas de onda de corriente reproducidas en las figuras 4 Y 5.

Conductor	Multímetro de verdadero valor eficaz (Amperios)	Multímetro de valor medio (Amperios)	Corriente de pico instantánea (Amperios)
Fase 1	410	328	804
Fase 2	445	346	892
Fase 3	435	355	828
Neutro	548	537	762

Tabla 1. Lecturas de corriente en el secundario del transformador

La presencia de armónicos era evidente incluso antes de utilizar el osciloscopio. Como puede verse en la tabla 1, la corriente del neutro era sensiblemente superior a cualquiera de las corrientes de las fases, a pesar de que éstas estaban relativamente bien equilibradas. El multímetro de valor promedio arrojó lecturas uniformemente inferiores al valor eficaz en un 20 %, aproximadamente, en todas las fases. En cambio, las lecturas de corriente en el neutro obtenidas con este instrumento fueron inferiores tan sólo en un 2 %.

Las formas de onda del osciloscopio explican la razón de esta discrepancia. Las corrientes de las fases estaban muy distorsionadas por grandes cantidades de corriente de terceros armónicos, en tanto que la corriente del neutro era una onda sinusoidal prácticamente pura a la frecuencia del tercer armónico.

El siguiente paso era calcular el "factor de desclasificación", o HDF, (consulte Reducción de la carga de los transformadores en la página 6.)

Los resultados indicaron que con el nivel de armónicos presente, para evitar el sobrecalentamiento habría que reducir la capacidad del transformador al 72,3 % del valor nominal indicado en la placa de características. En este caso, al 72,3 % de 225 kVA, es decir, a 162,7 kVA. La carga real se calculó en 151,3 kVA. Aunque esta cifra era muy inferior al valor nominal de la placa de características, el transformador funcionaba casi a su capacidad corregida.

Cuadro eléctrico—A continuación se examinó también un cuadro eléctrico que alimentaba los ramales para las bases de enchufe a 230 V. Se midió y anotó la corriente de cada neutro (tabla 2). Cuando se detectaba un conductor en el límite admisible o sobrecargado, se medían también las corrientes de fase correspondientes y la tensión entre neutro y tierra en el receptáculo. Al comprobar el neutro n° 6 se obtuvo una lectura de 15 A, cuando la capacidad máxima del conductor era de 16 A, por lo que se midieron también las corrientes de fase de los circuitos (n° 25, n° 27 y n° 29) que compartían dicho conductor neutro (tabla 3).

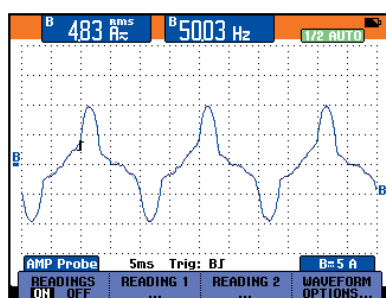


Fig. 4. Corriente de fase

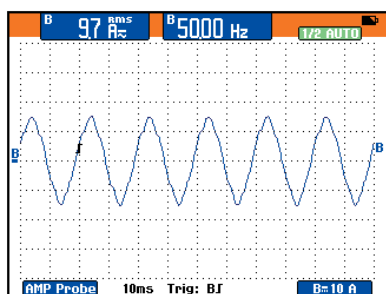


Fig. 5. Corriente de neutro

Número de conductor neutro	Corriente (Amperios)
01	5.0
02	11.3
03	5.0
04	13.1
05	12.4
06	15.0*
07	1.8
08	11.7
09	4.5
10	11.8
11	9.6
12	11.5
13	11.3
14	6.7
15	7.0
16	2.3
17	2.6

Tabla 2. Corrientes de los conductores neutros del ramal de cuadro eléctrico

Como puede verse, las corrientes de cada una de las fases de estos tres ramales eran sensiblemente inferiores a 15 A, y los mismos conductores de fase presentaban considerables caídas de tensión entre neutro y tierra. En los ramales con una corriente elevada en el neutro, la relación entre las corrientes de neutro y de fase era similar a la del secundario del transformador. La corriente del neutro era superior a la de cualquiera de las fases asociadas al mismo. El peligro que existía en este caso era que los conductores neutros se sobrecargasen y no suministrasen las señales de alarma relativas al disparo de los interruptores automáticos.

Recomendaciones

1. Evitar añadir nuevas cargas al transformador a menos que se tomen medidas para reducir el nivel de armónicos.
2. Tender más neutros para los ramales muy cargados.
3. Vigilar asiduamente las corrientes consumidas por las cargas utilizando instrumentos con capacidad para medir verdadero valor eficaz.

Número de circuito	Corriente de fase (Amperios)	Caída de tensión entre neutro y tierra en el receptáculo
25	7.8	3.75 V
27	9.7	4.00 V
29	13.5	8.05 V

Tabla 3. Corrientes de fase y tensión entre neutro y tierra correspondientes al neutro n° 6.

Fluke. *Manteniendo su mundo en marcha.*

Fluke Ibérica, S.L.
 Polígono Industrial de Alcobendas
 C/ Aragoneses, 9 posterior
 28108 Alcobendas (Madrid)
 Tel.: 914140100
 Fax: 914140101
 E-mail: info@fluke.com
 Acceso a la Web:
<http://www.fluke.es>