

Distorsión de la forma de onda en los alternadores LETAG instalados en ETECSA

Por Ing. Ing. Onaldo Ramírez Matos, Especialista C en Telemática, Dirección Territorial Sancti Spíritus, y Ramón Leonardo Vázquez Fonte, Especialista C en Telemática, Dirección Territorial Las Tunas, ETECSA
onaldo.ramirez@etecsa.cu, siesp@ltu.etecsa.cu

Introducción

Hoy en día, en las mayorías de nuestras instalaciones de telecomunicaciones existen serias dificultades con la calidad de la energía eléctrica, ya sea la distribuida por la Organización Básica Eléctrica (OBE) o por la generada por los propios grupos electrógenos instalados. Existen protecciones que se disparan inoportunamente, paneles o cuadros eléctricos que vibran y se calientan, calentamientos en cables conductores, niveles de tensión fuera de normas, todo esto indica la existencia de un posible problema en un sistema de distribución eléctrica. Resulta útil conocer que estos síntomas indican la existencia de algún problema en el sistema o instalación eléctrica. Pero, ¿dónde empieza la búsqueda para aislar la causa exacta de estos problemas de calidad de la electricidad?

El sistema eléctrico tiene un punto de conexión que es el cuadro general eléctrico de distribución o Pizarra General de Distribución (PGD), suele llamarse de esta forma por los técnico de la especialidad en la Empresa, puesto que se trata de un punto común para la distribución de energía a circuitos derivados. La PGD es el lugar adecuado para conocer el estado del sistema eléctrico, incluso, para localizar problemas ubicados dentro de la red eléctrica de distribución interna, las medidas efectuadas desde la pizarra de distribución permiten identificar la cuantía del problema. Algunos problemas pueden descubrirse mediante una inspección visual rápida, mientras que otros requieren llevar a cabo medidas de cumplimiento a mediano o largo plazo.

Búsqueda de la causa del problema

Para la búsqueda de las causas que originan los problemas de la calidad de energía eléctrica que necesitan los consumidores de las instalaciones se pueden utilizar instrumentos de mediciones que sean capaces de medir y almacenar los principales parámetros eléctricos que determinan que todos estos estén dentro de las normas estándar internacionales. Antes de comenzar la inspección, se tuvieron en cuenta seis categorías o elementos que pueden causar daños en la instalación [1]:

1. Nivel de tensión y su estabilidad en el suministro —caídas, huecos, cortes, subidas, *flicker*, etc—.

2. Equilibrio en las corrientes de fases.

3. Armónicos.

4. Conexión de los cables conductores a tierra.

5. Puntos calientes: conexiones o terminales sueltos.

6. Protecciones disparada o dañadas.

Para este análisis se abordaban con más énfasis en los problemas.

El primer paso consiste en ver si los niveles y estabilidad de la tensión son los causantes del problema comprobando los niveles de tensión de los circuitos derivados, fase a neutro y en el lado de carga de los disyuntors y protecciones.

Nota: Al realizar las mediciones se tendrán presente las medidas de seguridad eléctrica.

Si los niveles de tensión son bajos en el disyuntor, en la carga serán aún menores.

Otras de las causas probables incluyen conexiones sueltas o en mal estado, grandes recorridos del cableado y transformadores sobrecargados, que crean una impedancia excesivamente alta —impedancia desde la carga a la fuente—.

Si se sospecha de la existencia de caídas intermitentes de tensión, se comienza a realizar, en el cuadro, sus medidas con

el objetivo de determinar si son caídas provocadas por cargas del propio circuito o están producidas por cargas de otras ubicaciones del sistema de distribución —incluidas caídas generadas por el suministro—. Las perturbaciones relativas a la generación suelen estar producidas por arranques de motores trifásicos de potencia, conectados a la misma fuente de energía o caídas originadas a nivel de suministro en la instalación. Si la caída es profunda y se aproxima a la discontinuidad de suministro la causa más probable será un fallo en la fuente energética. El suceso seguramente se reflejará en una posible avería y el consiguiente disparo del disyuntor, seguido por una reconexión automática del mismo.

Equilibrio en las corrientes de fases

Se debe comprobar periódicamente el equilibrio del sistema y corriente de carga, debe medirse sobre cada una de las fases aguas arriba y la corriente en cada circuito derivado, receptor o carga. Al efectuar dichas medidas, es fundamental utilizar una pinza amperimétrica de verdadero valor eficaz o un multímetro digital de verdadero valor eficaz con una sonda de corriente. Una pinza amperimétrica de valor medio no proporcionará una medida precisa, cuando la forma de onda de la corriente esté distorsionada. Este tipo de instrumento interpreta la forma de onda como una senoide independientemente si está distorsionada o no, por lo que tenderá a leer a la baja, lo que puede llevarle a asumir que los circuitos tienen menos carga de la real. Esto es lo que se busca al efectuar esta medida:

- ♦ La carga entre las tres fases debe ser lo más equilibrada posible. La corriente no equilibrada resultante volverá por el neutro y este ya tiene bastante trabajo.

- ♦ Ni los transformadores, ni las protecciones ni los circuitos derivados y sus conductores deben sobrecargarse a regímenes cercanos a sus máximas especificaciones. Es conveniente trabajar por debajo (desclasificarlos) para “tolerar” la presencia de armónicos.

Como regla general, se puede aplicar una fórmula sencilla para calcular esta desclasificación o reducción de los valores nominales especificados en los transformadores para cargas monofásicas, que son asignados también a los conductores. Se trata de un concepto bastante claro: *Crest Factor* (CF).

El Factor de Cresta [2] es igual a la amplitud del pico de la forma de onda dividida por el valor de la Raíz Media Cuadrática (RMS) (Figura 1). El propósito del cálculo de este factor es dar al analista una rápida idea del impacto que está ocurriendo en la forma de onda.

En una perfecta onda sinusoidal, con una amplitud de “1”, el valor RMS es igual a 0,707, y el CF es entonces igual a 1,41. Una perfecta onda sinusoidal no contiene impactos y, por lo tanto, el CF con un valor superior a 1,41 implica que hay algún grado de impacto en la forma de onda del tiempo.

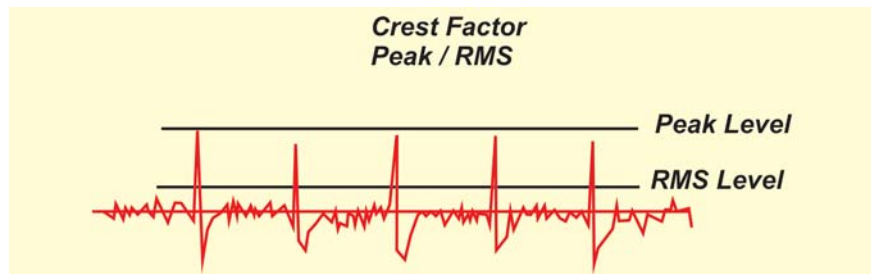


Figura 1 Relación del voltaje de pico entre el voltaje RMS y CF

Armónicos

Una forma rápida de verificar la presencia y nivel de armónicos, es la de medir la corriente y frecuencia en el conductor de neutro. Si existen armónicos —en este caso armónicos “triplen” o de orden 3 y sus múltiplos— la corriente oscilará entre un 80 y un 130 % de la corriente nominal de fase. Este curioso fenómeno se produce aunque el equilibrio del sistema sea perfecto y ocasiona la circulación de corrientes importantes por los conductores de neutro.

Las corrientes armónicas impares múltiplos de 3 circulan por el conductor neutro. Los terceros armónicos de cada fase (A, B y C) vibran en fase. No se compensan vectorialmente como ocurre con las corrientes fundamentales, cuyo desfase ideal es de 120°. En muchas ocasiones, en las instalaciones, estas corrientes por el conductor de neutro superan bastante lo esperado, incluso, para corrientes no equilibradas. Aunque la mayoría de los especialistas conocen el hecho de que las corrientes del tercer armónico —denominadas también de secuencia cero—, generadas por cargas no lineales se añaden al neutro.

Básicamente, al mismo tiempo que existe un desfase de 120 grados entre las corrientes de cada una de las tres fases, las corrientes armónicas de orden 3 se caracterizan porque vibran en fase, sumándose y circulando por la única salida posible que es el conductor de neutro. Es decir, todos alcanzan sus picos y puntos de cruce por cero prácticamente al mismo tiempo —en realidad, existe un cambio de fase, pero es muy pequeño comparado con el de los armónicos de orden diferente—.

En estas circunstancias, el tamaño del conductor neutro se convierte en una preocupación. El neutro debe conducir no sólo corriente proveniente de desequilibrios del sistema, sino también de la suma de las

corrientes de todos los armónicos “triplen”. En algunas instrucciones técnicas internacionales, se establece que “En instalaciones interiores, para tener en cuenta las corrientes armónicas debidas a cargas no lineales y posibles desequilibrios, salvo justificación por cálculo, la sección del neutro será como mínimo igual a la de las fases.” En efecto, se necesita que el conductor de neutro sea al menos igual al tamaño de los conductores de fase.

Pero, esto puede resultar insuficiente y, en algunos casos, es recomendable que la sección del conductor de neutro sea 1,3 veces de la sección de los conductores de fases. Es habitual la presencia de neutros compartidos, la presencia de armónicos triples en una parte de la instalación se reflejará en el resto de la misma e, incluso, se añadirán; la corriente que circula por ellos no puede controlarse. El riesgo de quemado e incendio es elevado. Después de todo, hay que pensar en que el neutro no lleva protecciones que eviten esta peligrosa sobrecarga. Una medida de tensión tierra-neutro también indicará si el neutro tiene demasiada carga o si la impedancia del transformador es demasiado alta.

La tensión tierra-neutro suele estar sobre los 0,25 V en el cuadro, mientras que el valor real depende de la distancia al transformador. Cualquier valor por encima de 0,5 V debe anotarse e investigarse.

¿Qué ocurre si, en condiciones normales, la tensión tierra-neutro es prácticamente cero? Posiblemente sea un problema real de conexiones y ante conexiones de tierra inseguras e ilegales.

Conexión a tierra

Las conexiones tierra-neutro en cuadros secundarios suponen una violación de normativa técnica. Las conexiones tierra neutro deben realizarse en el transformador —aunque la normativa permite elaborar el cuadro principal—. En cualquier caso, nunca

deben realizarse aguas abajo de la PGD, en cuadros auxiliares de distribución, porque existe la probabilidad de retornos de corrientes por el cable de tierra. Cuando se efectúa una conexión tierra-neutro en un panel secundario o transferenciales de emergencia, la ruta de conexión a tierra se convierte en una ruta de retorno paralela para la corriente de carga normal, lo que proporciona cierta corriente en el conductor de protección conectado al sistema de tierra. ¿Cuál es una corriente a tierra normal y cuál no?

Para determinarlo, un método lógico es medir la corriente en el conductor de neutro y, después, la corriente del cable de conexión a tierra. Si la corriente de neutro es, 35 Amp, y la corriente de conexión a tierra es de 1 Amp, es más probable que la corriente de conexión a tierra sea una corriente de fuga. Si en el conductor de neutro se tiene 20 Amp y la corriente de conexión a tierra es de 10 Amp, es posible que existan conexiones tierra-neutro cableadas aguas debajo de la PGD.

Las conexiones tierra-neutro también pueden existir en receptores e, incluso, en la propia carga por lo que se utilizaría esta misma técnica para medir corrientes de tierra en circuitos derivados del cuadro eléctrico.

Según el manual LETAG, S.A. los fabricantes dan los límites de la distorsión de la forma de onda, donde se dice que “La distorsión de la forma de onda, tanto a circuito abierto (vacío), como bajo carga lineal trifásica equilibrada, la distorsión total es inferior al 3,5 %” [3]. Los devanados tiene un “paso acortado” de aproximación 2/3; y así, en la práctica, casi se eliminan las armónicas impares múltiplos de 3—tercera, novena, decimoquinta, etc—, cuando se opera en paralelo con la red eléctrica de distribución, este “paso acortado” de aproximación 2/3, elimina casi a cero la intensidad de corriente por la conexión del neutro del alternador y, además, permite el funcionamiento sin dificultades, con cargas eléctricas no lineales.

Para verificar la distorsión de la forma de onda a circuito abierto en los generadores, se utilizó el analizador de redes eléctrica trifásico marca CHAUVIN ARNOUX, modelo C.A 8334 (QUALISTAR).

Este instrumento está diseñado para realizar mediciones de verificación y de diagnóstico en las redes de baja tensión monofásicas, bifásicas o trifásicas. Para el cálculo de la Distorsión Total de Armónico —por su siglas en inglés, THD—, se utiliza la norma de la Comisión Electrónica Internacional —por su siglas en inglés, IEC— IEC 1000-4-7 y las fórmulas para los cálculos son las siguientes [4]:

- ♦ Cálculo de la tasa global de THD:

$$V_{THD}[i] = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{50} V_{armónico}[i][n]^2}}{V_{armónico}[i][1]} \quad 1$$

V_{THD} : Distorsión Total Armónica de Tensión Simple

I: fase (0;1;2) n: rango (2...50)

- ♦ Cálculo del Factor de Distorsión (DF):

$$V_{DF}[i] = \frac{\sqrt{\frac{1}{2} \sum_{n=2}^{50} V_{armónico}[i][n]^2}}{V_{rms}[i]} \quad 2$$

V_{DF} : Factor de Distorsión de Tensión

Medición de la distorsión total armónica en los dos alternadores sin carga conectada (vacío)

A continuación se muestran las mediciones en los dos generadores LETAG, de la dos máquinas emergentes que se ubican en los centros principales de ETECSA.

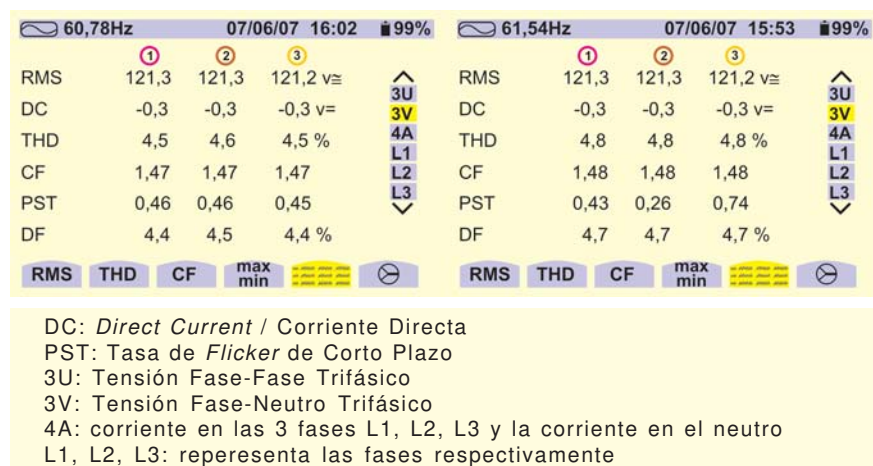


Figura 2 Imagen de los parámetros RMS, DC, THD, CF, PST y DF para los dos alternadores

En la figura 2, generada por el instrumento de medición C.A 8334, CHAUVI ARNOUX, se puede apreciar que el THD está fuera de los parámetros que propuso el fabricante menor al 3,5 % en [3], el THD real varía desde 4,5 % hasta el 4,8 %, el CF es de 1,47 y se encuentra por encima del valor que se recomienda para una onda sinusoidal perfecta, el CF para esta es igual a 1,41.

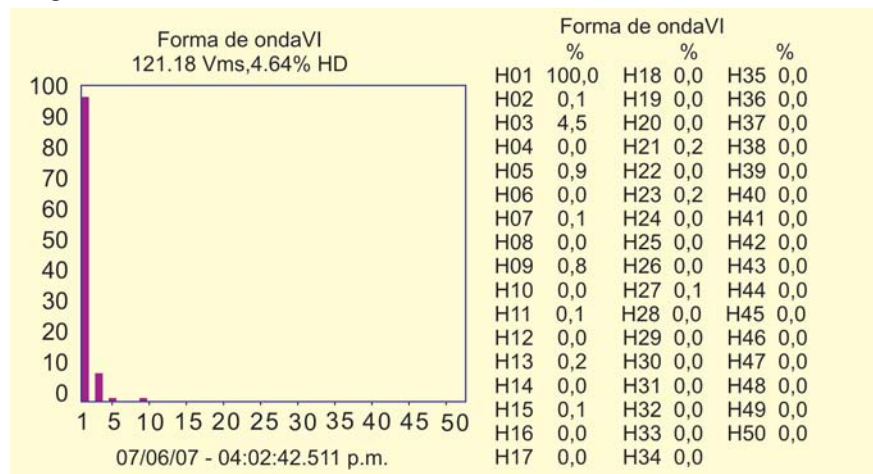


Figura 3 Forma de onda del voltaje y valores del voltaje RMS en la fase (V1) del alternador #1 en vacío

Como se observa en la figura 3, predominan las armónicas impares múltiplos de 3 —H03, H09, H15, H21, H27, H33, H49, etc—. Estas armónicas siempre van a circular por el conductor neutro del generador por lo que al transferirse para la carga se incrementa la corriente por el conductor neutro, las cargas no lineales generan armónicos de diferentes orden y puede que muchas de ellas generen armónicos impares múltiplos de 3 y aunque el circuito esté perfectamente balanceado en las tres fases donde la suma vectorial de las corrientes se cancelan para cargas lineales, en este caso en vez de cancelarse lo que hacen es sumarse y, por lo tanto,

aumenta la corriente por este conductor. El valor eficaz de la intensidad de esta corriente del conductor neutro es simplemente igual a la suma aritmética de las tres corrientes armónicas de orden y múltiplo de 3, esto es válido para todo circuito trifásico equilibrado.

Conclusiones

La distorsión de la forma de onda de un generador eléctrico, THDv, CF, etc., produce efectos no deseados en la calidad de energía que requieren los equipos eléctricos por ejemplo, disparo de interruptores, desconexión de UPS, calentamiento en el conductor neutro, sobrecarga en dicho conductor, incremento del ruido en modo común —tensión neutro-tierra—.

Las cargas no lineales y sus correspondientes armónicos ponen en cuestionamiento el paradigma o la norma clásica de considerar el calibre del neutro con una capacidad igual o menor a la de las fases. El tercer armónico de corriente en el conductor neutro, incrementa la tensión neutro-tierra y disminuye la capacidad amperimétrica de dicho conductor. ■

Referencias bibliográficas

- [1] Fluke Ibérica, F.L. "Medidas de mantenimiento desde el cuadro eléctrico". Nota de aplicación. (Mayo 2002). Disponible en: http://www.adler-instrumentos.es/imagenes_web/notas_aplicacion/Medidas%20de%20mantenimiento%20desde%20el%20cuadro%20el%C3%A9ctrico.pdf (Consulta: agosto/2008).
- [2] Friedman, Alan "¿Qué es Factor Cresta y por qué se usa?". Disponible en: <http://www.dliengineering.com/downloads/FactorCresta-spanish.pdf>. (Consulta: agosto/2008).
- [3] Manual de alternadores de excitación rotativa sin escobillas. Serie 10 EXR, octubre, 1995.
- [4] Chauvin, Arnoux. Analizador de red eléctrica trifásico CA 8334. Manual de Instrucciones, ed. español.