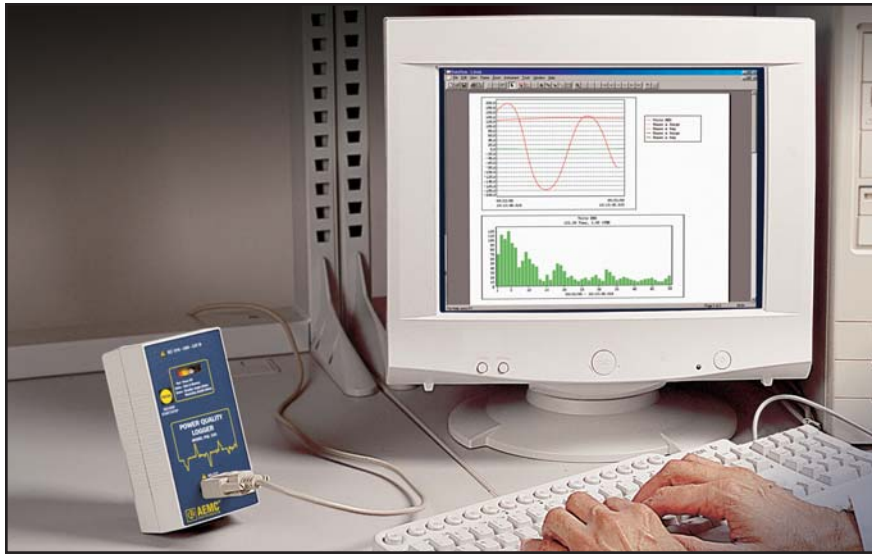


Entendiendo la Potencia y la Medición de la Calidad de la Potencia



Las amenazantes limitaciones de las fuentes convencionales de potencia eléctrica han enfocado una gran cantidad de atención en la potencia, su aplicación, monitoreo y corrección. Los aspectos económicos de la potencia ahora juegan un rol crítico en la industria como nunca antes. Con el alto costo de la generación de electricidad, transmisión y distribución, es una preocupación suprema monitorear y controlar efectivamente el uso de la energía.

La meta principal de los proveedores de energía es cumplir con las demandas de energía de sus clientes en todo momento y bajo todas las condiciones. Pero mientras la demanda eléctrica crece en tamaño y complejidad, las modificaciones y las adiciones a las redes de distribución de energía eléctrica se han ido encareciendo paulatinamente. La medición y el monitoreo de la potencia eléctrica se han vuelto incluso más críticos por el costo asociado a las paradas por fallas en equipos y en materiales.

Por razones económicas, la energía eléctrica es generada por las compañías proveedoras a voltajes relativamente altos (los valores típicos son 4.160; 6.900; 13.800). Estos altos voltajes son después reducidos en el sitio de consumo por transformadores

para reducir los voltajes a valores que puedan ser más segura y fácilmente usados en aplicaciones industriales, comerciales y residenciales.

La seguridad personal y de las propiedades son los factores más importantes en la operación de sistemas de operación eléctricos. La confiabilidad es la primera consideración al proveer seguridad. La confiabilidad de cualquier sistema eléctrico está basada en el conocimiento, mantenimiento preventivo y subsecuentemente los equipos de pruebas utilizados para monitorear el sistema.

Configuraciones típicas de voltaje

Sistemas de Voltaje Monofásicos

Las cargas monofásicas residenciales son casi universalmente suministradas a través de servicios de 120/240V, 3 conductores y monofásicos. Las aplicaciones mas grandes tales como secadoras de ropa, calentadores de agua son suministrados a 240V. El alumbrado, pequeñas aplicaciones y tomas de corriente son suministradas a 120V. En este sistema los 2 conductores calientes o los que llevan la corriente están desfasados en 180° con respecto al neutro.

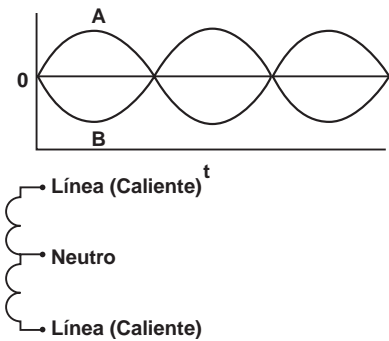


Figura 1. Sistema de 1Ø

Sistemas de Voltajes Trifásicos, Sistemas de 3 conductores.

En este tipo de sistema, comunmente conocido como configuración DELTA, el voltaje entre cada par de línea de cables es el voltaje real del transformador. Este sistema es frecuentemente usado para cargas de energía en edificios comerciales e industriales. En tales casos, el servicio a estos sitios es llevado a 208V, trifásico. Los alimentadores llevan la energía a paneles que suministran a ramas de circuitos para cargas motoras. Las cargas de alumbrado son manejadas usualmente por separado por un servicio monofásico. La distribución de 480V es generalmente usada en edificios industriales con cargas motoras substanciales.

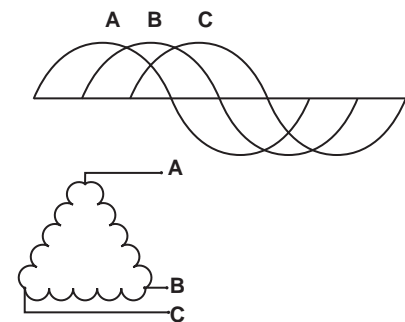


Figura 2. Sistema de 3Ø, 3-cables

Sistemas de Voltajes Trifásicos, Sistema de 4 conductores

Conocido como conexión estrella (WYE), éste es el sistema más comúnmente usado en edificios comerciales e industriales. En oficinas y otros edificios comerciales, los 480V trifásicos en 4 hilos son alimentados y llevados a cada piso, en donde los 480V trifásicos son conectados a paneles de potencia o motores. El alumbrado fluorescente para áreas

generales que usa balastos de 277V es conectado entre cada fase y neutro; Los 208Y/120 trifásicos en circuitos de cuatro hilos son derivados desde transformadores para el alumbrado local y tomas de corriente.

Voltaje típico:

Fase-a-Fase = 208/480V
Fase-a-Neutro = 120/277V

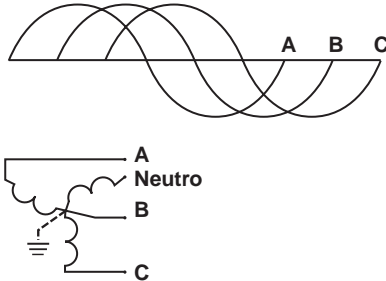


Figura 3. 3Ø, Sistema de 4-Cables

Cargas Balanceadas vs. Desbalanceadas

Una carga balanceada es un sistema de potencia CA que usa más de dos hilos, en donde el flujo de corriente es igual en cada uno de los conductores que llevan corriente. Muchos sistemas representan una condición de desbalanceo debido a carga desigual en una fase particular. Esto ocurre frecuentemente cuando la expansión eléctrica se hace sin tomar en cuenta la igualdad en la distribución entre fases de las cargas o por la existencia de muchas cargas no lineales en el mismo sistema.

RMS vs. Medición Promedio

El término RMS (root-mean-square: raíz cuadrática media) es usado en relación a ondas de corriente alternantes y simplemente significa "equivalente" o "efectiva", referido a la cantidad de trabajo hecho por el valor equivalente de corriente directa (DC). El término RMS es necesario para describir el valor de la corriente alterna, la cual está constantemente cambiando en amplitud y polaridad en intervalos regulares. Las mediciones RMS proveen una representación más

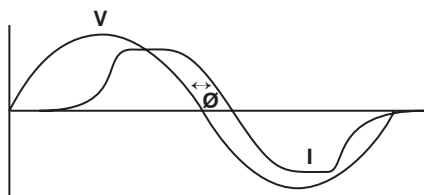


Figura 4. Onda de corriente no lineal

exacta de los valores reales de corriente y voltaje. Este valor es muy importante para ondas no lineales (distorsionadas).

Hasta hace muy poco, la mayoría de las cargas eran "lineales"; ésto es, la carga de impedancia permanecía esencialmente constante sin importar el voltaje aplicado. Con la expansión de los mercados de computadoras, suministros de energía ininterrumpidos, y controladores de motores para velocidad variable, las ondas no lineales resultantes son drásticamente diferentes.

La medición de voltaje y corriente no sinusoidal requiere un medidor verdaderamente RMS (True RMS). Los medidores convencionales usualmente miden el valor promedio de las amplitudes de una onda. Algunos medidores son calibrados para leer el valor equivalente de RMS (0.707 x pico); este tipo de calibración es una representación veraz únicamente cuando la onda es puramente sinusoidal (sin distorsión). Cuando la distorsión ocurre, la relación entre las lecturas promedio y valores True RMS cambia drásticamente. Solamente un medidor que mide valores True RMS da lecturas precisas para una onda sinusoidal. Las lecturas RMS de circuitos la señal de entrada a una alta velocidad nominal. El circuito interno del medidor digitaliza y eleva al cuadrado cada muestra, la suma a la muestra previamente elevada al cuadrado y saca la raíz cuadrada del total. Este es el valor verdadero RMS (True RMS).

Demanda

La cantidad de energía eléctrica consumida por un período de tiempo es conocida como demanda. La demanda es el promedio de la carga colocada en el proveedor para suministrar energía (kilowatts) a un cliente por un período de tiempo especificado por el proveedor (típicamente 15 ó 39 min). Si los requerimientos de la demanda son irregulares, el proveedor debe tener más capacidad disponible de lo que comúnmente necesitaría los requerimientos de carga de los clientes se mantuvieran constantes. Para proveer esta demanda que varía con el tiempo, el proveedor debe invertir en equipos del tamaño apropiado para poder soportar estos picos de corriente. Los grandes y breves picos de corrientes que se presentan, por

ejemplo, cuando las grandes máquinas son inicialmente puestas en línea no son críticas en la ecuación general debido a que la duración es corta con respecto al intervalo promedio de demanda.

Consumo

Los Watts y VARs son mediciones instantáneas que representan lo que está pasando en un circuito en cualquier momento dado. Debido a que estos parámetros varían de gran manera en cualquier periodo, es necesario integrar (sumar) la utilización eléctrica en el periodo de tiempo.

La unidad fundamental para la medición del uso es el Watt hora (Wh), o el más conocido kilowatt hora (kWh). Este valor representa el uso de 1000W por una hora. El costo típico en los Estados Unidos del kilovatio hora va desde 8 a 15 centavos de dólar.

Factor de Potencia

El factor de potencia es la relación de la potencia realmente usada en un circuito con la potencia aparente entregada por un proveedor. La potencia real es expresada watts (W) o kilowatts (kW); el valor aparente se expresa en voltio amperes (VA) o (kVA). La potencia aparente es calculada simplemente multiplicando la corriente por el voltaje.

$$\text{Factor de Potencia} = \frac{\text{Potencia Real} = \text{kW}}{\text{Potencia Aparente kVA}}$$

Ciertas cargas (por ejemplo: motores de tipo inductivo) crean un cambio o retraso en la fase entre la onda de la corriente y la del voltaje. Una carga de tipo inductiva ocasiona que la corriente retrase al voltaje en cierto ángulo, conocido como el ángulo de fase.

En cargas puramente resistivas no hay diferencia de fases entre ambas ondas; por lo tanto el factor de potencia en las cargas será de 0 grados o la unidad.

El siguiente ejemplo de una soldadura de acero y un motor monofásico ilustra cómo el factor de potencia es consumido en diferentes tipos de cargas. En una soldadura de hierro, la potencia aparente suministrada por el proveedor es directamente convertida en calor, o potencia real. En este caso, la potencia real es igual a la potencia aparente, por lo tanto el factor de potencia es igual a "1" ó 100% (unidad).

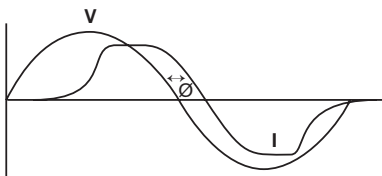
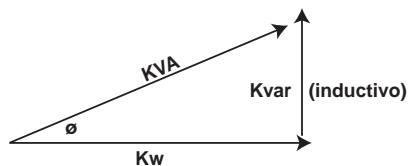


Figura 5. Factor de potencia en ondas respecto sinusoidales no

En el caso de un motor monofásico, la potencia real es la suma de varios componentes:

- El trabajo realizado por el un sistema; ésto es, elevando un objeto con una grúa, moviendo aire si es un ventilador, o moviendo material si estuviésemos hablando de una correa transportadora.
- El calor creado por la energía perdida por la resistencia del bobinado de un motor.
- El calor desarrollado en el acero por pérdidas debido a las corrientes de Eddy e histéresis.
- Pérdidas por fricción en los rodamientos de un motor.
- Pérdidas por la fricción del aire al arrancar el rotor de un motor.

Ahora observamos que con un motor monofásico, la potencia aparente obtenida es mayor que la potencia real. Esta diferencia es el factor de potencia.

El factor de potencia refleja la diferencia que existe entre cargas. La soldadura de hierro es una carga puramente resistiva que absorbe la corriente, la cual es a su vez absorbida directamente en calor. La corriente es llamada corriente real porque ésta contribuye directamente a la producción de la potencia real.

Por otro lado, el motor eléctrico monofásico representa una carga parcialmente inductiva consistente de corriente real la cual será convertida en potencia real, y corriente magnetizante que genera el campo magnético requerido para operar el motor eléctrico.

La corriente magnetizante, llamada la corriente reactiva, corresponde a un

intercambio de energía entre el generador y el motor, pero no es convertida en potencia real.

Potencia Reactiva de Compensación

La potencia reactiva de compensación se refiere a los valores capacitivos requeridos para corregir valores bajos del factor de potencia y llevarlos lo más cercano a la unidad (1.0) posible. La mayoría de las cargas industriales son inductivas, por lo tanto la corriente está retrasada del voltaje por algunos grados. Con el objeto de llevar el valor lo más cercano posible a la unidad, algo debe ser añadido a la carga para "generar" una corriente mandante. Esto se hace conectando capacitor en paralelo con la carga. Debido a que el capacitor no disipará ninguna potencia real, la carga para la potencia real será la misma.

Muchos instrumentos de monitoreo de potencia mostrarán directamente los valores reales del factor de potencia corregidos con capacitor. AEMC recomienda consultar a un fabricante de capacitores de corrección de factores de carga antes de hacer cualquier instalación para reducir los posibles efectos en armónicos, resonancia, etc.

Armónicos Eléctricos

Hasta muy recientemente, la calidad de la potencia se refería a la habilidad de las utilidades eléctricas de suministrar potencia eléctrica sin interrupción. Hoy en día, la frase incluye cualquier desviación de una forma sinusoidal perfecta. La calidad de la potencia ahora se relaciona a transitorios de corta duración así como también a distorsiones de estado continuo. Los armónicos de los sistemas de potencia son un problema de estado continuo con peligrosos resultados. Los armónicos pueden estar presentes en corriente, voltaje o ambas. Está estimado que un el 60% de todos los dispositivos eléctricos operan con corrientes no lineales.

Las compañías proveedoras de electricidad invierten millones de dólares cada año para asegurar que el voltaje suministrado a sus clientes es lo más cercano posible a una onda sinusoidal. Si la potencia usada conecta cargas resistivas al sistema, tales como bombillas de luces

incandescentes, la onda de la corriente resultante será también sinusoidal. Sin embargo, si las cargas son no lineales, lo cual es el caso típico, la corriente será usada en cortos pulsos y la onda de la corriente será distorsionada. La corriente total consumida por la carga no lineal será la fundamental así como todas los armónicos.

La distorsión armónica puede causar serios problemas para los usuarios de potencia eléctrica, desde un disparo inadvertido de los interruptores de los circuitos hasta un peligroso sobrecalentamiento de transformadores y conductores de tierra, así como también calentamiento en motores y fallas en los capacitores. Los armónicos pueden causar problemas que son fáciles de reconocer pero difíciles de diagnosticar.

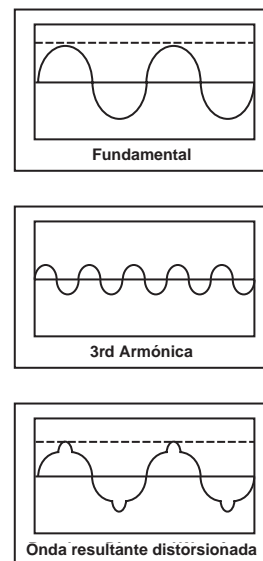


Figura 6. Onda compuesta

Hoy en día es algo muy importante comprender los fundamentos de los armónicos, y ser capaz de reconocer y monitorear la presencia de armónicos dañinos. Los armónicos dentro de un sistema eléctrico varían en gran manera dentro de diferentes partes del mismo sistema de distribución y no están simplemente limitados al suministro del dispositivo que produce el armónico. Los armónicos pueden interactuar dentro del sistema a través de conexiones directas del sistema o incluso a través de enlaces inductivos o capacitivos.

Un armónico puede ser definido como un múltiplo entero de una frecuencia

fundamental. Los armónicos son designados por el número armónico. Para nuestra discusión, nos enfocaremos en la frecuencia de 60Hz. El segundo armónico será dos veces el fundamental o lo que es igual 120Hz, el tercero será tres veces el fundamental o sea 180Hz y así sucesivamente.

Los equipos no lineales generan armónicos de frecuencias. La naturaleza no lineal de un dispositivo genera ondas de corriente que no siguen la onda de voltaje. Los equipos electrónicos son un buen ejemplo. Mientras esta categoría abarca muchos tipos distintos de equipos, la mayoría de estos dispositivos tienen una característica en común. Todos dependen de una fuente de potencia CC interna para su funcionamiento.

Entre las cargas que producen corrientes armónicas se encuentran:

- Balastos de alumbrado electrónicos
- Variadores de velocidad ajustables
- Hornos de arco eléctrico
- Computadores personales
- Equipos de soldadura eléctrica
- Rectificadores de estado sólido
- Controladores de procesos industriales
- Sistemas UPS
- Transformadores saturados
- Controles de estado sólido de elevadores
- Equipos médicos

Esta no es de ninguna manera una lista extensa de equipos que generan armónicos. Cualquier equipo cuya base de funcionamiento sea electrónica debe ser sospechoso de producir armónicos.

Debido al incremento en el uso de equipos electrónicos, el porcentaje de equipos que generan corrientes armónicas han incrementado notablemente. EL problema armónico mismo se manifiesta con la proliferación de equipos que usan fuentes de alimentación con entradas de diodos capacitivos. Este tipo de equipo consume corriente en pulsos cortos solamente durante el pico de la onda

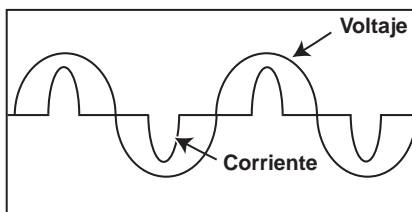


Figura 7 Gráfico de corriente no lineal

sinusoidal. El resultado de esta acción, además de mejorar la eficiencia, hace que las altas frecuencias de armónicos sean súper impuestas sobre la frecuencia fundamental de 60Hz.

Los armónicos son producidos por la sección de entrada diodo-capacitor la cual rectifica la señal CA en una CC. El circuito toma corriente de la línea solamente durante los picos de la onda voltaje, y de esta forma cargando un condensador al pico de la línea de voltaje. Los requerimientos CC del equipo son alimentados desde el condensador y como resultado la onda de la corriente se distorsiona.

Los armónicos en los sistemas de potencia eléctrica se combinan con la frecuencia fundamental para crear distorsión. El nivel de distorsión está directamente relacionado a las frecuencias y amplitudes de las corrientes armónicas. La contribución de todas las frecuencias armónicas de corrientes a la corriente fundamental es conocida como "Total Harmonic Distortion" (THD) en español: distorsión armónica total. El THD es expresado como un porcentaje de la corriente fundamental. Todos los valores de THD sobre el 10% son motivo de preocupación.

El THD es calculado como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de todas los armónicos dividido por la señal fundamental (50 ó 60Hz). Este cálculo da el valor de distorsión como porcentaje de la fundamental.

Matemáticamente, el %THD es la relación de la suma de la raíz media de los cuadrados (RMS) del contenido de armónicos con el valor cuadrático medio (RMS) de la señal fundamental 50 ó 60Hz, y expresado en porcentaje.

Otro parámetro muy útil es el factor de distorsión (DF por sus siglas en inglés), o %DF. El factor de distorsión es la distorsión armónica total referida a la señal RMS total. El THD es expresado como un porcentaje y no puede ser mayor que la fundamental. El % DF nunca excede 100%. Se provee este término por la necesidad del mercado y requerimiento de este valor bajo el estándar IEC-555. Matemáticamente es la relación de la suma de las raíces medias cuadráticas (RMS) del contenido armónico con el valor de raíz cuadrática media (RMS) de toda la señal, expresado en porcentaje.

Se debe tomar en cuenta que nuestro %DF no es el mismo valor que el de factor de distorsión expresado en el estándar IEEE 519-1992 (en el cual el factor de distorsión es el mismo THD).

DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL

$$\%THD = \sqrt{\frac{\text{Suma de los cuadrados de las amplitudes de todas armónicas}}{\text{el cuadrado de la amplitud de la fundamental}}} \times 100$$

$$\%THD \text{ (corriente)} = \sqrt{\frac{[(I_2)^2 + (I_3)^2 + (I_4)^2 + (I_5)^2 \dots / (I_{RMS})^2]}{}} \times 100$$

$$\%THD \text{ (voltaje)} = \sqrt{\frac{[(V_2)^2 + (V_3)^2 + (V_4)^2 + (V_5)^2 \dots / (V_1)^2]}{}} \times 100$$

FACTOR DE DISTORSIÓN

$$\%DF = \sqrt{\frac{\text{Suma de los cuadrados de las amplitudes de todas las armónicas}}{\text{el cuadrado del total de RMS}}} \times 100$$

$$\%DF \text{ (corriente)} = \sqrt{\frac{[(I_2)^2 + (I_3)^2 + (I_4)^2 + (I_5)^2 \dots / (I_{RMS})^2]}{}} \times 100$$

$$\%DF \text{ (voltaje)} = \sqrt{\frac{[(V_2)^2 + (V_3)^2 + (V_4)^2 + (V_5)^2 \dots / (V_1)^2]}{}} \times 100$$

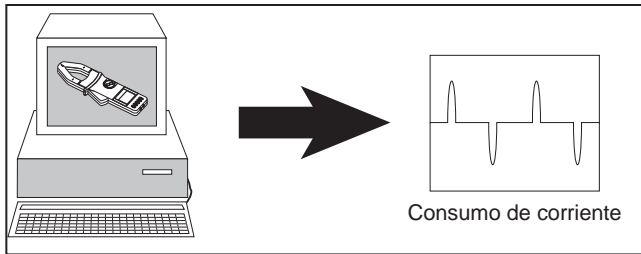


Figura 8. Onda de corriente de computadora

En cualquier lugar en donde y gran número de cargas no lineales, deberá haber con seguridad armónicos en el sistema de distribución. Los equipos productores de armónicos se encuentran en gran variedad de lugares desde oficinas de administración hasta instalaciones industriales. En el ambiente industrial, los convertidores de potencia electrónicos como los variadores de velocidad, SCR drives, etc., son los más contribuidores grandes a las distorsiones armónicas. No es poco común conseguir valores de THD tan altos como 25% dentro de algunos complejos industriales.

La mayoría de los equipos de oficina monofásicos generan corrientes no lineales. Mientras que el alumbrado fluorescente con balastos electrónicos y muchos otros tipos de equipos de oficinas contribuyen a crear armónicos, las fuentes de alimentación de las computadoras personales son los mayores contribuidores dentro del ambiente de las oficinas administrativas. Aunque los niveles de THD serán menores que en un complejo industrial, la susceptibilidad de los equipos de oficina a las variaciones de la calidad de la energía es extremadamente alta.

En el ambiente industrial pueden haber muchas cargas trifásicas no lineales que generan altos niveles de cargas de corrientes. Los armónicos de frecuencias que más prevalecen son los múltiplos enteros impares de la frecuencia de 60Hz. El tercer armónico ($60\text{Hz} \times 3 = 180\text{Hz}$) es siempre el que más prevalece y el más problemático.

Los grandes edificios comerciales tienen cargas de diferentes tipos y tamaños. En la mayoría de las instalaciones la potencia es distribuida con transformadores 208/120V en configuración delta/estrella. Cuando las múltiples cargas son abastecidas, cada una genera corrientes triple armónicas en el conductor neutral, las cuales son mandadas al transformador secundario y reflejadas al delta

primario. Estas corrientes circulan dentro del delta primario causando sobrecalentamiento y una vida de servicio más corta.

Los armónicos pueden causar una variedad de proble-

mas a cualquier usuario de potencia eléctrica. Para grandes usuarios, el problema puede ser intenso. Para equipos electrónicos que usan el cruce de la onda sinusoidal, como los dispositivos de cronometraje de reloj, un contenido pesado de armónicos puede causar un desajuste del cruce de cero.

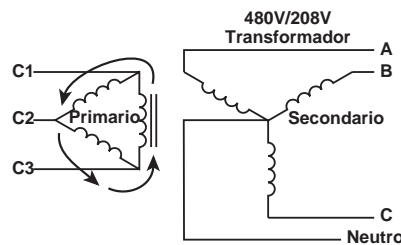


Figura 9. Primario delta, corriente circulante

Los armónicos de números impares (3, 5 y 7) causan la mayor preocupación en los sistemas de distribución eléctrica. Debido a que la onda de la armónica "ondea" de igual forma en ambos lados, negativo y positivo, los armónicos de números pares se mitigan.

Los efectos de calentamiento son los causantes de los mayores problemas en los equipos eléctricos. Muchas veces, los equipos de distribución eléctrica han fallado incluso cuando

están operando muy por debajo de los requerimientos de los rangos sugeridos. El incremento en la temperatura está directamente relacionado al incremento de la corriente RMS.

Debido a que las frecuencias de los armónicos son siempre mayores que los 60Hz de la frecuencia fundamental, el "efecto superficie" (skin effect) también entra en juego. El "efecto superficie" es un fenómeno en donde la frecuencia más alta hace que los electrones fluyan hacia las partes exteriores del conductor, efectivamente reduciendo el diámetro de la sección transversal del conductor y por lo tanto reduciendo el rango de amplitud del cable. Este efecto incrementa cuando la frecuencia y la amplitud aumentan. Como resultado, las grandes frecuencias de los armónicos, causan un mayor grado de calentamiento en el conductor.

En sistemas trifásicos balanceados, sin contenido de armónicos, las líneas de corrientes están desfasadas en 120° , cancelándose unas con las otras resultando esto en una corriente neutra muy pequeña. Sin embargo, cuando hay distorsión en cualquiera de las fases de corriente, los armónicos de las corrientes aumentan y el efecto de cancelación es reducido. El resultado es típicamente una corriente de neutro que es significativamente mayor que lo planeado. Los armónicos triples (múltiplos impares de tres) son un aditivo en el neutro y pueden rápidamente causar un sobrecalentamiento peligroso.

En teoría la corriente máxima que el neutro debería cargar es 1,73 veces la

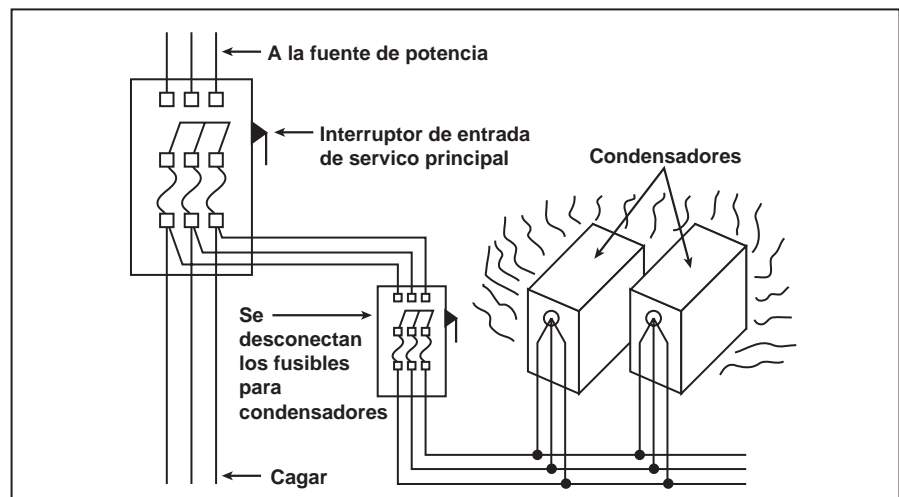


Figura 10. Capacitores de factor de potencia a frecuencia de resonancia

corriente de fase. Si no es dimensionado correctamente, esto resultará en un sobrecalentamiento. Un valor de corriente de neutro al normal causará caídas en el voltaje entre el neutro y tierra los cuales están muy por encima de lo normal. Las lecturas por sobre cuatro voltios indican alta corriente de neutro.

El falso disparo de interruptores de circuitos es también un problema con las altas frecuencias que los armónicos producen. Interruptores de circuitos sensibles a picos se dispararán aunque el valor de amperaje no ha sido excedido. Los valores de picos de corriente armónicos pueden ser muchas veces mas grandes que los de una onda sinusoidal.

La falla del condensador de corrección del factor de potencia en muchos casos puede ser directamente atribuida al contenido armónico. Los condensadores aparecen como valores de impedancia extremadamente bajos y son mas susceptibles a los armónicos. La reactancia inductiva varía directamente con la frecuencia ($X_L = 2\pi fL$). La resonancia paralela entre el banco de condensadores y la impedancia de fuente pueden causar resonancia en el sistema resultando en valores de corrientes y voltajes mayores que los normales. Las altas corrientes armónicas son conocidas por sobrecalentar los condensadores de corrección causando fallas prematuras y algunas veces resultando en explosiones.

La mayoría de los problemas de armónicos aparecen cuando la frecuencia de resonancia esta cercana a la quinta o séptima armónica. Sucede que éstos son los más grande números de amplitud de armónicos que los variadores ajustables de velocidad pueden crear. Cuando esta situación aparece, los bancos de capacitores deben ser redimensionados para cambiar el punto de resonancia a otra frecuencia.

Detección y Medición

En análisis de armónicos, los análisis de campo son realizados para identificar la frecuencia y la magnitud de los armónicos de corrientes generadas por equipos susceptibles (equipos electrónicos, variadores de velocidad de motores, etc...). Recordemos que la mayoría de los sistemas de distribución están específicamente diseñados para llevar 60Hz.

La mayoría de los problemas no lineales pueden ser detectados en los paneles eléctricos. Los flujos de corrientes

excesivos en el neutro pueden ser detectados con un amperímetro True RMS, pero éste puede ser indicado por un sonido de zumbido resonante o por una conexión descolorida en el buss neutral.

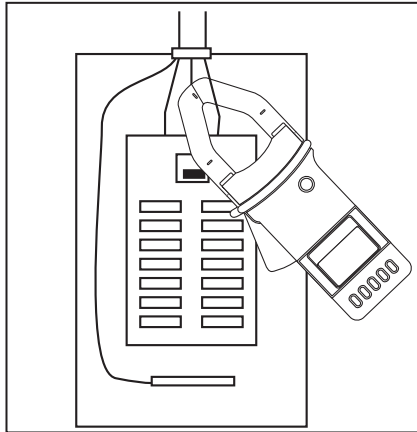


Figura 11. Midiendo a la entrada del panel de servicio

Empezando en la entrada de servicio del panel, podemos medir y registrar la corriente True RMS en cada fase, así como el neutro del secundario del transformador de distribución. Luego comparamos estos valores medidos de corriente de neutro al valor anticipado de corriente debido a desbalance en la fase. Si las corrientes de las fases son iguales, la suma vectorial de las corrientes neutrales resultará en cero. Si hay cantidades excesivas de armónicos triples en el neutro, la corriente neutral puede exceder la corriente de fase. Se recomienda consultar al NEC para la amplitud máxima para cada uno de los conductores probados.

Mida el contenido armónico de cada alimentador. Un alto grado en esta ubicación puede ser comunmente escuchado como un zumbido. Una lectura de THD de voltaje puede también ser útil en esta ubicación.

El estándar IEEE 519-1992 especifica los valores máximos de distorsión y los valores recomendados de corrección. Un límite de distorsión armónico de 5% es el punto en donde los armónicos empiezan a tener un efecto en detrimento en los sistemas de distribución eléctricos.

Las mediciones de armónicos de corrientes definen la característica de generación de armónicos de la carga, por lo tanto las medidas las cargas deben ser de tomadas cuando sea posible. Las mediciones de voltajes definen la respuesta del sistema y son usualmente tomadas en los buses individuales.

Efectos en el sistema

Para componer los problemas que las corrientes armónicas presentan al sistema, la carga armónica no lineal tiene también una relación con la ley de Ohm con la impedancia de fuente del sistema para producir voltajes armónicos. Consideremos un transformador muy cargado el cual es afectado por un ramal del circuito alimentando una carga no lineal. La creación de voltajes armónicos puede ser entonces traspasada a todos los circuitos que son alimentados por el transformador.

Los armónicos del voltaje pueden causar estragos dentro del sistema eléctrico. Los motores son típicamente considerados como cargas lineales; sin embargo, cuando el voltaje de alimentación suministrado es rico en armónicos, el motor generará armónicos en la corriente. El resultado típico es una temperatura de operación mayor que la normal y un tiempo de servicio más breve.

La existencia de diferentes frecuencias de armónicos de corrientes puede crear campos de rotación adicionales en el motor. Dependiendo de la frecuencia, el motor rotará en la dirección opuesta. El quinto armónico, el cual es muy común, es una secuencia armónica negativa que causa una rotación inversa en el motor acortando la vida de servicio.

Cuando armónicos en frecuencias de radio o audio son enlazados inductivamente o capacitivamente en líneas de comunicación o líneas de datos se puede escuchar una gran cantidad de ruido en los equipos de comunicación y sistemas de teléfonos.

Cuando medidores de Watt-horas de disco de inducción están monitoreando cargas no lineales, dependiendo en el contenido de armónicos, el disco puede correr más despacio o más rápido, resultando en lecturas erróneas.

Transformadores (Derating)

La mayoría de los generadores y transformadores basan sus características de operación en ondas de 60Hz no disturbadas. Cuando las ondas son ricas en armónicos, lo que sigue por lo general es un acortamiento de la vida de servicio o un fallo completo del equipo.

El factor K con capacidad reducida puede ser aplicado específicamente a transformadores para asegurar que el calentamiento peligroso no ocurrirá debido a que la corriente de suministro

de la carga del transformador es rica en contenido armónico.

El factor K está determinado con la medición de True RMS de la corriente de cada armónico, multiplicado por el orden del armónico y elevado al cuadrado. La suma total de esto es entonces multiplicada por las pérdidas por corrientes de Eddy. El calentamiento parásito del transformador debido a las corrientes armónicas es dependiente de la frecuencia, ejemplo, a una mayor frecuencia de armónica de corriente existirá un más alto grado de calentamiento y fallos del transformador.

El factor K es básicamente un índice de la habilidad total del transformador para manejar las cargas de corrientes no lineales sin calentamiento anormal. Algunos transformadores de distribución están actualmente siendo diseñados con centros magnéticos y devanados para ajustarse a los contenidos armónicos. Un transformador especificado como tipo K está especialmente diseñado para manejar cargas no lineales. A mayor factor K, mejor habilidad del transformador para manejar cargas no lineales.

El IEEE C57.110-1986 es un procedimiento prescrito usado para reducir la capacidad normal de la carga de los transformadores basado en el contenido armónico específico. Cada aplicación eléctrica específica es única en tipo y cantidad de interacción armónica.

El IEEE C57.1200-1987 ha propuesto un límite de 5% para factor de corriente armónico de transformadores.

Un método alterno para reducir la capacidad nominal de los transformadores está disponible para edificios con alimentación monofásica con toma de corriente de 120V. Este método está establecido por la Asociación de fabricantes de equipos para computación y negocios (CBEMA por sus siglas en inglés).

$$\text{CBEMA Factor Derating} = \frac{1.414}{\text{Crest Factor}}$$

Medidor de Lecturas

Los problemas de armónicos pueden ser analizados más fácilmente cuando se utiliza el equipo adecuado para la prueba.

El término "True RMS", o en español, verdadero valor eficaz, se relaciona al valor de calentamiento CC de la onda

corriente o el voltaje. Si una onda puramente sinusoidal y una onda distorsionada fueran aplicadas a una carga resistiva, el punto en que ambas crean el mismo valor de calor es el punto en donde ambas tienen el mismo valor RMS.

La capacidad True RMS es requerida para medir con exactitud sistemas en donde hay corrientes armónicas presente. Los instrumentos de respuesta estándares manejarán mediciones erróneas hasta un 25 a 40% menores al valor real cuando una distorsión armónica está presente.

Muchos instrumentos en el mercado miden valores picos o promedios de una onda e internamente multiplican por 1,11 o 0,707 respectivamente para indicar valores RMS. Estos dispositivos trabajan bien cuando se está midiendo una onda puramente sinusoidal.

Los instrumentos con True RMS toman la muestra en muchos puntos distintos de la onda y proveen lecturas precisas de las ondas distorsionadas. Un circuito de muestreo basado en un microprocesador, digitaliza y eleva al cuadrado cada muestra, la suma a la muestra previa elevada al cuadrado y saca la raíz cuadrada del total. Este proceso arroja un valor True RMS sin importar la cantidad de distorsión de la onda.

Factor Cresta

El factor cresta es la relación del valor pico de una onda sinusoidal con su valor RMS.

$$\text{Factor Cresta (CF)} = \frac{\text{Valores Pico}}{\text{Valores RMS}}$$

El factor de cresta indica el nivel de picos que un instrumento puede manejar sin errores de medición. Para una onda sinusoidal perfecta el factor de cresta será de 1,414. Esto se relaciona con la amplitud de pico que un instrumento puede medir valores más precisos. Los rangos típicos del factor de cresta son desde 2,0 a 6,0. Cuanto más alto es el factor de cresta el instrumento está más capacitado para medir una onda compleja correctamente. Cuando hay armónicos presentes el factor de cresta puede ser menos de (CF de una onda cuadrada = 1) o mayor de 1,414.

Limitando el efecto de los Armónicos

Bajando el rango nominal de ciertos equipos eléctricos es la manera más fácil de limitar los efectos que el incremento de calor tiene en los equipos. Una reducción del 25% para los transformadores y los generadores es el valor más comúnmente utilizado en la industria.

La filtración es actualmente el método más común usado para limitar los efectos que los armónicos presentan al resto del sistema. Los filtros típicamente consisten de circuitos serie

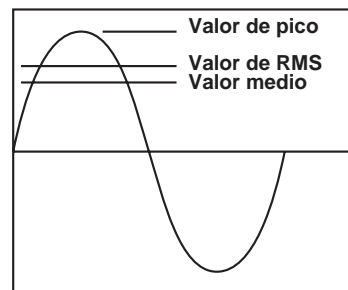


Figura 12. Relaciones RMS – Avg – Pico en una onda

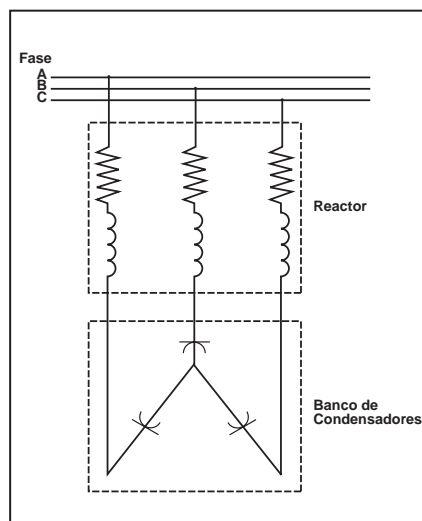


Figura 13. Filtro shunt mono sintonizado

L-C sintonizados. Filtrar la impedancia es insignificante con respecto al resto del sistema, limitando su efecto de interacción para control armónico. Los filtros son dimensionados para dejar "filtrar" la corriente RMS así como los valores de corriente de los armónicos.

En el futuro, los sistemas pueden llegar a venir listos para anular a los armónicos aplicando señales que son iguales en amplitud pero opuestas en fase, cancelándolas de esta manera o limitando severamente los efectos de los armónicos.

©2002 Chauvin Arnoux® Inc.
d.b.a. AEMC® Instruments

Contactos

América del Sur, América Central, Mexico, Caribe, Australia y Nueva Zelanda:

Chauvin Arnoux[®], Inc.
d.b.a. AEMC[®] Instruments
15 Faraday Drive
Dover, NH 03820 USA
(978) 526-7667 • Fax (978) 526-7605
export@aemc.com
www.aemc.com

Servicio al Cliente – para hacer un pedido, obtener precio y envíos:
customerservice@aemc.com

Departamento de Ventas – para información de ventas en general:
sales@aemc.com

Servicio de Reparación y Calibración – para información en reparación y calibración, obtener manual del usuario:
repair@aemc.com

Soporte Técnico y aplicación de Producto – para soporte técnico y aplicación:
techinfo@aemc.com

Webmaster – para información referente a www.aemc.com:
webmaster@aemc.com

Estados Unidos y Canadá:

Chauvin Arnoux[®], Inc.
d.b.a. AEMC[®] Instruments
200 Foxborough Blvd.
Foxborough, MA 02035 USA
(508) 698-2115 • Fax (508) 698-2118
www.aemc.com

Otros Países:

Chauvin Arnoux
190, rue Championnet
75876 Paris Cedex 18, France
33 1 44 85 45 28 • Fax 33 1 46 27 73 89
info@chauvin-arnoux.com
www.chauvin-arnoux.com