

ARMÓNICOS

INTRODUCCIÓN

[Introducción/Fuentes/Efectos Límites/Medida/Soluciones](#)

Una función periódica no senoidal puede ser descompuesta en la suma de una función senoidal de la frecuencia fundamental y de otras funciones senoidales, cuyas frecuencias son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental. Estas funciones adicionales son conocidas como componentes armónicas o simplemente como Armónicos.

En sistemas eléctricos la palabra Armónicos se utiliza para designar corrientes o tensiones de frecuencias múltiplos de la frecuencia fundamental de la alimentación.

Si la frecuencia de la señal eléctrica es inferior a la fundamental, recibe el nombre de subarmónico, ésta podría ocasionar parpadeos luminosos, perceptibles visualmente, denominados Flicker.

FUENTES DE ARMÓNICOS

[Introducción/Fuentes/Efectos Límites/Medida/Soluciones](#)

Las cargas no lineales conectadas a la red eléctrica absorben corrientes en impulsos bruscos. Estos impulsos crean ondas de corriente distorsionadas que originan a su vez corrientes de armónicos de retorno hacia otras partes del sistema de alimentación.

Como ejemplos más típicos de cargas no lineales podemos destacar:

Rectificadores Monofásicos

La tensión alterna de entrada, una vez rectificada por los diodos, se utiliza para cargar un condensador. Después de un semiperiodo, el condensador se carga a la tensión de pico de la onda senoidal. Entonces el equipo electrónico absorbe corriente de esta elevada tensión de continua para alimentar al resto del circuito. El equipo puede absorber corriente hasta alcanzar un límite mínimo regulado. Básicamente el condensador sólo absorbe un impulso de corriente durante la cresta de la onda.

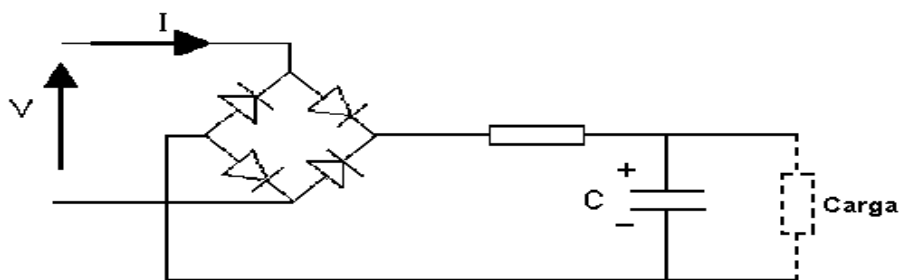


fig. 1

Los equipos que poseen fuente de alimentación con condensador y diodos son ordenadores, impresoras, aparatos de medicina y televisores. Los armónicos que generan son de orden impar con una amplitud inversamente proporcional al orden del armónico. Estos contaminantes adquieren importancia cuando un gran número de unidades están simultáneamente activadas.

Rectificadores Trifásicos

La configuración típica de los rectificadores trifásicos corresponde al puente de Graetz, cuyo esquema aparece en la figura 2.

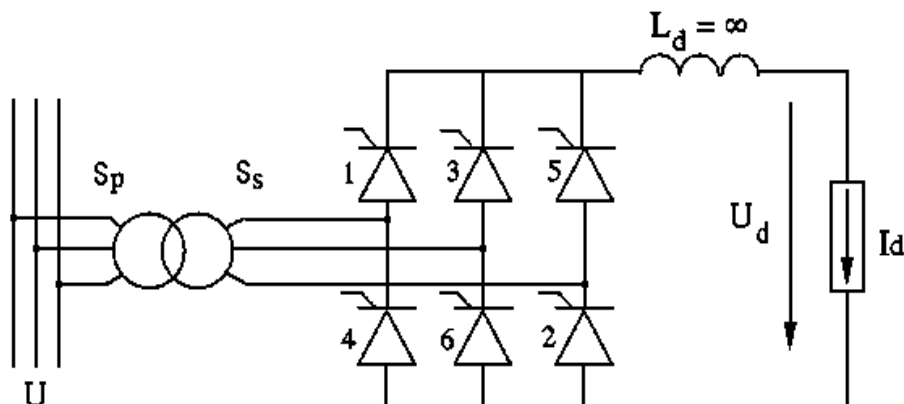


fig. 2

Estudios teóricos, confirmados por la práctica, determinan que estos rectificadores inyectan armónicos de orden:

$$n = k \cdot p \pm 1$$

donde:

- n = orden del armónico
- p = número de pulsos del rectificador
- k = entero positivo 1, 2, 3 ...

Las amplitudes de corrientes armónicas características son inversamente proporcionales al orden del armónico, al igual que en el rectificador monofásico.

Los equipos más difundidos que incluyen rectificador trifásico son SAIs (Sistemas de Alimentación Ininterrumpida) y Variadores de Velocidad o Convertidores de Frecuencia.

Reguladores de Tensión

Son dispositivos con aplicaciones muy variadas, entre las que se incluye la variación de intensidad luminosa o la regulación de determinados aparatos, como calefactores eléctricos. Estos equipos producen armónicos, subarmónicos e interarmónicos cuya amplitud varía con la posición de regulación.

Hornos de Arco

El retraso en el encendido del arco, y sobre todo su característica negativa (resistencia no lineal) hacen que el arco eléctrico pueda considerarse como una importante fuente perturbadora conectada a la red.

En la fase inicial de fusión las perturbaciones son máximas. Mediciones efectuadas en diferentes hornos de arco muestran que las intensidades contienen casi todos los armónicos.

Transformadores

El circuito magnético de los transformadores posee una característica no lineal a partir del codo de saturación que puede distorsionar las ondas de tensión e intensidad. En la práctica razones económicas suelen imponer trabajar con valores de inducción entrados en el codo de saturación. Por tanto, la aplicación de una tensión senoidal no producirá excitación senoidal, e inversamente el flujo de intensidades senoidales será acompañado de tensiones no senoidales entre primario y secundario del transformador.

EFFECTOS DE LOS ARMÓNICOS

[Introducción/Fuentes/Efectos](#) [Límites/Medida/Soluciones](#)

Los principales inconvenientes causados por los armónicos se pueden resumir en:

Efectos cuasi-instantáneos

- Fallo de interruptores automáticos por efecto di/dt
- Operación incorrecta de contactores y relés
- Interferencia con sistemas de comunicación (telemandos y sistemas telefónicos).
- Reseteo de ordenadores y errores en PLCs.

Efectos medios o cuadráticos

- Calentamiento y hasta destrucción de condensadores por sobretensión. Su impedancia decrece proporcionalmente con el orden de los armónicos presentes.
- Sobrecalentamiento y averías en transformadores
- Calentamiento de motores de inducción
- Pérdidas en el cobre de los conductores por efecto skin. Efecto proporcional a la frecuencia, en corriente alterna la intensidad se acumula en los extremos del cable por lo que se reduce la sección efectiva del mismo.
- Pérdidas dieléctricas en condensadores
- Intensidades en los conductores de neutro, incluso en redes equilibradas producido por los armónicos triples (3, 6, 9, 12, ...)

Efectos de resonancia

La impedancia de inductancias y condensadores depende de la frecuencia. La conexión en serie o en paralelo de inductancias y condensadores da lugar a situaciones singulares, denominadas de resonancia, en las cuales la impedancia se hace mínima o máxima

Errores en equipos de medida

- Errores de medición de energía activa, reactiva y factor de potencia.
- Lecturas erróneas con multímetros basados en el valor medio o con poco ancho de banda.

La magnitud de los costes originados por la operación de sistemas y equipos eléctricos con tensiones y corrientes distorsionadas puede percibirse considerando lo siguiente:

- Una elevación de sólo 10°C de la temperatura máxima del aislamiento de un conductor reduce a la mitad su vida útil.
- Un aumento del 10% de la tensión máxima del dieléctrico de un condensador reduce a la mitad su vida útil.

LÍMITES DE DISTORSIÓN

[Introducción/Fuentes/Efectos](#) [Límites/Medida/Soluciones](#)

La CEI (Comisión Electrotécnica Internacional) y el CENELEC (Comité Europeo de Normalización Electrotécnica) han establecido normas que limitan perturbaciones de baja frecuencia en redes industriales y domésticas, como las normas IEC 61000 y EN 61000.

Los parámetros manejados por la normativa para establecer los límites de la perturbación por armónicos son:

Orden de un armónico (n): Relación entre la frecuencia del armónico (fn) y la frecuencia fundamental (f1).

$$n = fn/f1$$

Tasa de distorsión individual (%U ó %I): Relación entre el valor eficaz de la tensión o corriente armónica (Un ó In) y el valor eficaz de la correspondiente componente fundamental.

$$\%U_n = 100 U_n/U_1$$

$$\%I_n = 100 I_n/I_1$$

Distorsión Armónica Total (THD%U ó THD%I): Relación entre el valor eficaz de las componente armónicas de tensión o intensidad y el correspondiente valor fundamental.

En EEUU ya está vigente la normativa IEEE 519 que limita la cantidad de corriente armónica inyectada a la red general, y responsabiliza al cliente por la misma.

En España, el límite aceptado por UNIPEDA (Unión de productores y distribuidores de energía eléctrica) es de THD(U) = 5% para redes industriales en baja tensión, mientras que en alta tensión el nivel máximo recomendado por los organismos internacionales es de THD(U) = 3%.

$$THD\%(U) = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{n=50} U_n^2}}{U_1} 100$$

$$THD\%(I) = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{n=50} I_n^2}}{I_1} 100$$

EQUIPOS DE MEDIDA

[Introducción/Fuentes/Efectos Límites/Medida/Soluciones](#)

Cuando se habla de valores de corriente alterna deben referirse al valor RMS (valor cuadrático medio) o calentamiento efectivo. Esta magnitud es equivalente al valor de una corriente continua con el mismo calentamiento que el producido por la corriente alterna que está siendo medida. La manera más habitual de medir este valor RMS con un multímetro es rectificar la corriente alterna, determinar el valor medio de la señal rectificada y multiplicar este valor por 1.1. Este factor es la constante que relaciona el valor medio y el valor RMS de una señal senoidal perfecta. Sin embargo, si la forma de la señal está distorsionada esta relación es falsa. Esta es la razón por la cual los medidores que están basados en el valor medio dan lecturas incorrectas en presencia de armónicos. Fluke ofrece una amplia gama de medidores de verdadero valor eficaz.

SOLUCIONES

[Introducción/Fuentes/Efectos Límites/Medida/Soluciones](#)

Resonancia con condensadores

Cuando la reactancia inductiva del sistema y la reactancia capacitiva de la batería de condensadores son iguales en alguna frecuencia ocurre resonancia paralelo. Esta frecuencia se conoce como frecuencia de resonancia, y viene dada por:

$$f_r = f_1 \sqrt{\frac{S_k}{Q_c}}$$

donde: f1 = frecuencia fundamental (en España 50 Hz)

Sk = Potencia de cortocircuito

Qc = Potencia de la batería de condensadores

La solución está en la utilización de filtros de armónicos, Suomitec dispone de tres tipos de filtros con condensadores Nokian Capacitors.

Filtros de rechazo (BT/AT): Están formados por baterías de condensadores con reactancias de rechazo. Este conjunto forma un circuito serie resonante sintonizado a una frecuencia inferior a la del armónico más común (5º). A frecuencias armónicas el valor de la reactancia es dominante y el escalón es, por tanto, inductivo. No hay amplificación armónica, ya que no existe circuito resonante paralelo entre el circuito serie condensador-reactancia y la red exterior. La batería actúa también como filtro de absorción, eliminando parcialmente (15 a 20%) las corrientes armónicas de menor frecuencia del sistema.

Filtros de absorción (BT/AT): Están formados por tantas ramas L-C como armónicos se desee filtrar. El valor de la inductancia de la reactancia (L) es aquel que asegura un bajo valor de impedancia para el circuito resonante serie a la frecuencia armónica. De esta forma la mayor parte de la intensidad armónica se dirige hacia el filtro (80 a 90%).

Filtros Activos: Los filtros activos Maxsine de Nokian Capacitors eliminan los armónicos (desde el 2º hasta el 50), tanto en las fases como en el neutro en tiempo real (tiempo de respuesta inferior a 1 ms), pudiendo compensar también la potencia reactiva. Están basados en un sistema patentado denominado "CONTROL DIRECTO DE FASE DE CORRIENTE DPCC".

SVC Compensadores estáticos de potencia reactiva (A.T.): Cuando existen muy rápidas fluctuaciones en potencia reactiva, incluso en unos pocos ciclos, los métodos tradicionales de control de potencia reactiva no son adecuados por ser demasiado

lentos para estas variaciones. En esos casos son adecuados los compensadores estáticos.

Los compensadores estáticos Nokian Capacitors consisten en una batería de condensadores con filtro de armónicos y una reactancia controlada por tiristores. De esta forma los armónicos generados por la carga y los tiristores son eliminados consiguiendo así minimizar las fluctuaciones en potencia reactiva y los armónicos.

Armónicos en Convertidores de Frecuencia

La mayoría de los convertidores de frecuencia disponen de un rectificador de puente de diodos en el lado de la alimentación de potencia. La principal desventaja de puente rectificador es la alta distorsión armónica de la intensidad de alimentación que provoca. Si se utiliza una reactancia, bien calculada, de corriente alterna en la entrada del puente rectificador, la distorsión total de intensidad se puede limitar a $THD(I) = 30\%$. Pero sin esta reactancia valores de distorsión de intensidad de hasta el 70% no son raros.

Con la nueva gama Vacon CXR (CX Regenerativo) se puede conseguir fácilmente valores $THD(I) = 4\%$, gracias a su puente rectificador de entrada activo.

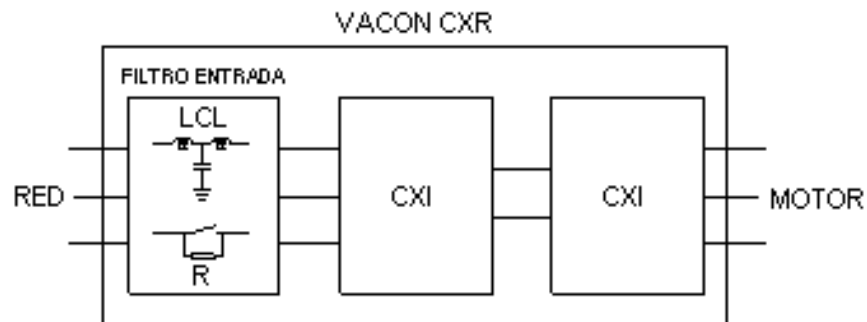


Fig. 3

El punto de partida para el diseño del CXR fue la creación de un convertidor de frecuencia que, al contrario que los convertidores con un rectificador de diodos, pudiera devolver energía a la red causando sólo una mínima distorsión armónica en la intensidad de alimentación. El Vacon CXR está equipado con un puente de entrada activo (inversor basado en IGBTs), se utiliza el convertidor básico CX, se eliminan la bobina de inductancia de corriente alterna y el puente de diodos, creando el Vacon CXI (CX Inversor). Como se ve en la figura 3, el CXR está formado por dos CXI unidos y un filtro de línea dispuesto entre la entrada del puente activo y la red.

Suomitec les ofrece el servicio de medición, análisis, informe y, caso de ser necesario, el diseño e instalación de filtro de armónicos.

[ARRIBA](#)