TITULO: **CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA: ANÁLISIS ARMÓNICO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**

AUTORES: Vicente Gastón Nieto Gallino[1], Otto Alvarado Moreno[2].
|
[1]Ingeniero Eléctrico en Potencia 1998
[2]Director de Tesis, Ingeniero Eléctrico en Potencia, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Master of Science in Electrical Engineering, University of Texas At Arlington USA, Profesor de la ESPOL.

RESUMEN

Estudio y análisis del comportamiento de un sistema eléctrico de potencia bajo los efectos de las corrientes y voltajes armónicos, las fuentes que las originan, sus efecto en los equipos eléctricos y en el sistema, las respuesta del sistema a las distorsiones armónicas, así como las mediciones y estándares para el análisis armónico y las técnicas para su control. Por ultimo se utiliza el programa WHARMZW para el estudio de las distorsiones armónicas, en un sistema eléctrico de ejemplo.

INTRODUCCION

Los sistemas eléctricos tienen como finalidad básica, dar atención a los consumidores dentro de padrones de continuidad, grados de adecuación, seguridad aceptables y al menor costo global posible. Evidentemente a pesar de todo los esfuerzos que se vayan a realizar, los sistemas estarán siempre sujetos a problemas que puedan llevar a la interrupción y mala calidad del suministro de energía a los consumidores. Como la energía eléctrica es un insumo para cada uno de los consumidores, la interrupción y mala calidad de esta puede originar serios trastornos, como por ejemplo: perdida de la producción, perdida de la materia prima, ociosidad de las instalaciones y de mano de obra, etc. Siendo por tanto importante que se entiendan los problemas causados por estas interrupciones, así como los costos asociados a estas.
Un problema de calidad de energía, es cualquier fenómeno de origen eléctrico que interrumpe el correcto funcionamiento de los sistemas y equipos eléctricos.

CONTENIDO

1.1 Identificación de el problema

El análisis de las señales armónicas en los sistemas eléctricos de potencia ciertamente no es un tópico moderno, antiguamente la inyección de armónicas al sistema eléctrico solo consideraba a los circuitos rectificadores y los transformadores saturados como fuente de las señales armónicas. Actualmente gracias a una serie de estudios realizados sobre armónicas, se conoce que cualquier carga no lineal produce armónicos es decir, es una verdadera fuente de corriente armónica.
En los sistemas eléctricos de potencia A.C, las corrientes armónicas fluirán por el camino de menor impedancia. Estas armónicas se dividirán de acuerdo a la razón de impedancia de las ramas. Normalmente la fuente de potencia es el camino de baja impedancia, por lo tanto la mayoría de las corrientes armónicas fluirán hacia ella, sin embargo si existen instalaciones de capacitores de potencia, un problema podría ocurrir cuando la reactancia capacitiva de los capacitores de potencia es igual a la reactancia inductiva equivalente del sistema.

La resonancia en paralelo produce una alta impedancia al flujo de corriente cuya frecuencia corresponde a la frecuencia de resonancia. La resonancia en serie produce en cambio un circuito de baja impedancia. La condición de resonancia paralelo puede causar oscilaciones de corriente que son excitadas por la corriente de resonancia en paralelo, Estas corrientes que fluyen a través de impedancias producen voltajes armónicos, produciendo entonces formas de onda de voltaje distorsionado.
Hay que tener presente el acoplamiento inductivo entre las líneas de transmisión de potencia A.C y las líneas telefónicas (verdaderos circuitos abiertos). Este acoplamiento induce voltajes armónicos en los sistemas telefónicos, en los cuales se producen altos niveles de ruido, haciendo prácticamente imposible entender los mensajes telefónicos.
Los sobrevoltajes producidas por las señales armónicas en los sistemas de potencia, pueden producir daños a los bancos de condensadores utilizados ya sea para mejorar el factor de potencia en la barra que se encuentran conectados ó como trampa de estas señales armónicas. Estos sobrevoltajes provocan un incremento de temperatura en el dieléctrico, resultando así una disminución de la vida útil de estos equipos.
Dependiendo de el nivel de armónicos, la influencia de estas señales en la exactitud de los instrumentos de medición de energía activa ó reactiva y factor de potencia, es prácticamente despreciable
Cuando existen condiciones de resonancia, ahí es verdad cuando los instrumentos de medición son realmente afectados debido a la producción de sobrevoltajes por la presencia de estas señales armónicas.
Los dispositivos tales como voltímetros y relés de sobrecorriente, que funcionan mediante disco de inducción, solo ven circulando la corriente fundamental pero debido a las fases desbalanceadas que son producto de la distorsión armónica, puede producir lo operación errónea de estos dispositivos.
Cuando un banco de transformadores es energizado, una elevada corriente de excitación se produce, el valor de esta corriente puede ser muchas veces la magnitud de la corriente a plena carga. Si un capacitor esta en serie con el transformador cuando ocurre la energización, una condición de resonancia puede ocurrir, la cual produce que persista una elevada corriente. esta condición es conocida como ferrorresonancia.
Las corrientes armónicas pueden ocasionar un excesivo calentamiento en las maquinas rotativas. Las corrientes armónicas de secuencia de fase positiva y negativa, ambas causan calentamiento adicional en el rotor sólido de las grandes maquinas sincrónicas

1.2 Mediciones y estándares para el análisis armónico

La norma IEEE 519 es una practica recomendada para la corrección del factor de potencia y para la limitación del impacto armónico en los convertidores de potencia AC/DC. (e.j. rectificadores e inversores).
Un aspecto fundamental e innovador es la división de responsabilidades de problema de armónicos entre los consumidores y la empresa de suministro de energía, Consecuentemente ella establece limites de distorsión de tensión en el punto de unión, que son responsabilidad de la concesionaria y limites de distorsión de corriente, en le punto de unión que son responsabilidad del consumidor, Como el problema de armónicos representa siempre características particulares, esa norma propone índices basados en un sistema supuestamente real que no siempre es encontrado en la practica.
De acuerdo con la norma los índices de calidad de armónicos deben tener significado físico, tener relación con la severidad de los efectos, deben ser simples y prácticos. En tanto como la norma estuvo basado en un sistema ideal, la simple observación de los índices establecidos no es una garantía de la prevención del problema. En realidad los

limites establecidos por la norma deben ser encarados como un primer indicativo a seguir. Excepciones son posibles, mas bien deben ser basadas en cuidadosos estudios.
La esencia de la practica recomendada esta relacionada con la calidad de la energía eléctrica en una barra A.C, esta contenida en dos tablas. La primera (tabla I), es un limite máximo recomendado en la corriente armónica en el punto donde el convertidor estático de potencia (o cualquier otra carga no lineal) esta conectado a la empresa de suministro de energía eléctrica. Este punto se denomina "punto de acoplamiento común" (PCC) y el PCC esta indicado en la fig 1. Los limites recomendados varían en función del porte del consumidor (carga). Esta variación fue expresada en función de la relación de la corriente de cortocircuito en el punto de acople común y la corriente de demanda máxima del consumidor, es importante observar que los limites de distorsión de corriente son normalizados con relación de la corriente de demanda máxima. De esta forma la distorsión de corriente puede ser mayor a la corriente de carga pero inferior a la corriente de demanda máxima

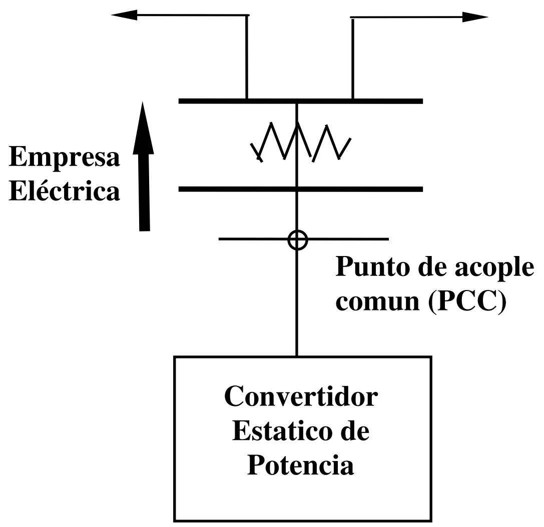


FIG: 1 Punto de acople común

Las tablas I y I I, las cuales son las principales características de esta norma, desde el punto de vista de los limites de señales armónicas en los sistemas de potencia. Los limites tabulados en la distorsión de corriente están divididos dentro de dos tipos: un limite de distorsión armónica el la banda de frecuencia, y una distorsión armónica total (THD), la limitación en la banda de frecuencia se calcula de la misma forma que el THD, excepto que el numerador contiene solo las amplitudes de las corrientes armónicas en la frecuencia de banda especificada. Los limites de corriente armónica dependen de la " rigidez " en la barra AC en el PCC. Esta rigidez es medida en términos de una razón de cortocircuito (SCR) la cual es definida como la división de la corriente de cortocircuito en la barra para la corriente fundamental en la barra.

$$SCR = \frac{I_{SC}}{I^{1}} \tag{98}$$

La corriente de cortocircuito es fácilmente calculada de un estudio de cortocircuito o del calculo de:

$$I_{sc} = \frac{1}{\left|Z^{+}_{pcc}\right|} \qquad \text{(Amp)} \qquad (99)$$

Donde X_{PCC} es la reactancia de secuencia positiva en el PCC, vista desde adentro de la red. Esta reactancia es el equivalente Thevenin de la reactancia de la red externa, esta expresión debe ser expresada en por unidad (p.u.). En la tabla I la distorsión armónica y los limites de THD en el PCC son mas bajos para las barras mas débiles (SCR pequeño) porque en tales barras el impacto de la distorsión armónica de la corriente, vendría a ser muy grande. En barras rígidas el SCR es alto y el impacto armónico de la corriente de carga en el voltaje de la barra vendría a ser bajo, de ahí que las barras de un gran SCR, los limites de distorsión armónica se vuelven mayores.

La tabla I I es la segunda característica principal de la norma IEEE 519, esta tabla pone limites recomendados para la distorsión armónica de voltaje en las barras PCC, esta demuestra los limites recomendados en la distorsión de los voltajes armónicos para cada armónico y los limites en la distorsión armónica total. La distorsión armónica para un solo armónico se escribe en la tabla como una fracción de la amplitud de la frecuencia fundamental. La tabla esta dividida en rango de diferentes voltajes de transmisión y distribución, para la tabla I I una recomendación adicional se hace en el documento IEEE 519 de que los sistemas de alto voltaje DC pueden tener asta un 2% de distorsión armónica total el los terminales HVDC, si es que la red DC puede atenuar los armónicos prioritariamente o alcanzar una barra de carga.

Los limites aplicados son el 3% para cada armónico individual y el 5% para la distorsión total de tensión. Estos valores son definidos como los valores máximos aceptables en el peor de los caso de operación normal con duración superior a una hora. Valores de distorsión armónica total de tensión 50% mayores son aceptables en condiciones anormales de operación de corta duración como partida de equipamientos y/o maniobras del sistema. Este problema es importante porque el problema de armónicos es un problema de régimen permanente.

TABLA: I DISTORSION ARMONICA DE CORRIENTE EN %

ORDEN ARMONICO					
$\frac{I_{sc}}{I^{1}}$	< 11	11 - 22	23 - 35	> 35	Distorsión armónica Total
< 20	4.0	1.5	1.0	0.5	5.0
20 -49.9	7.0	2.5	1.5	0.8	8.0
50 -99.9	10.0	4.0	2.0	1.2	12.0
100-999	12.0	5.0	2..5	1.5	15.0
>1000	15.0	8.0	4.0	1.8	20.0

TABLA: I I DISTORSION ARMONICA DE VOLTAJE EN EL PCC

	2.3 - 68.9 KV	69 - 138 KV	> 138 kV
Valor para armónicos individuales	3.0	1.5	1.0
Distorsión Armónica Total	5.0	2.5	1.5

Es interesante conjeturar asta donde la responsabilidad recae, para el respaldo de las normas recomendadas. Ciertamente el control de la corriente de carga puede ser solamente responsabilidad del consumidor o del comprador, así la responsabilidad para el cumplimiento de la norma de la tabla I es del usuario, Similarmente la compañía de suministro de energía o compañía cogeneradora, tienen la responsabilidad de mantener la onda de voltaje (tabla I I). La situación no es tan simple como anunciar como enunciar que la corriente debe ser mantenida por el usuario y el voltaje por la compañía de suministro de energía. Es posible que un problema de distorsión armónica ambiental exista a lo largo del sistema de potencia, este puede ser causado por alguna carga distante o por alguna condición resonante no planeada. En este caso un usuario puede tener una carga puramente resistiva y la corriente de carga puede estar distorsionada, porque el voltaje de barra puede estar distorsionado. En algunos casos puede ser algo dificultoso de determinar el ultimo punto de responsabilidad, mas allá, si el cumplimiento no ocurre " que recursos pueden tener las varias partes"
La respuesta a esta pregunta recae parcialmente en el hecho de que la documentación de la norma IEEE 519, es solamente una practica recomendada, seguramente el documento representa el consenso colectivo de los ingenieros, compañías de servicio, el gobierno y los usuarios como un modo recomendado de operación. Si algunas de las partes no se une a la recomendación podría haber recurso legal si es que ocurren daños, afortunadamente la situación rara vez alcanza este escenario ya que la función de la compañía y de la comisión de servicios públicos (gobierno) es resolver o mejorar los problemas llevando al usuario y a la compañía proveedora a un acuerdo.

1.3 Control de armónicos en sistemas eléctricos de potencia

El tiempo optimo para la planeación de la calidad de la energía es durante el diseño de construcción; los reajustes son a menudo costosos e imprácticos.
Los procedimientos para la evaluación de las perturbaciones provocadas por una carga no lineal en las fases de planificación, pre-operacional y de operación son presentadas a continuación.

1.31 Construcción de Sistemas eléctricos

Fase de planeamiento.- Antes de realizar un estudio mas detallado, son necesarias algunas informaciones sobre el comportamiento de la carga especial, tales como característica de la carga, potencia y régimen de trabajo. Esas informaciones deben ser suministradas por el consumidor o por el fabricante del equipo en una fase de negociación que antecede la asignatura del contrato de suministro.

Después de este paso la empresa de suministro debe evaluar la necesidad de realizar estudios de penetración de armónicos tratando de establecer los limites de las corrientes armónicas inyectadas por la carga especial en el punto de entrega, Este estudio sirve también para entregar al consumidor el comportamiento de la impedancia armónica de la red vista desde la barra donde será conectada la carga especial.
El consumidor debe suministrar las corrientes armónicas generadas por los equipos causantes de las distorsiones, las que serán consideradas en el estudio. En el caso en que no se cumplan los limites de tensión por consumidor o los limites de corriente inyectadas en el punto de entrega, el consumidor deberá instalar equipos de filtrado de modo de cumplir con los limites
En la aplicación de estos limites a una carga especial en fase de implantación, se debe buscar el cumplimiento de los limites por consumidor considerando los estudios de simulación apenas con solo su presencia en el sistema, o sea despreciando las distorsiones causadas por las demás cargas. En el caso que este no se cumplan los limites, posiblemente será necesario mejorar los dispositivos de atenuación y filtrado de aquella carga.
Después de que esta definida la configuración de las instalaciones de la carga especial la empresa deberá realizar estudios de penetración de armónicos para verificar se esas alteraciones topológicas no acarrean problemas para otros consumidores o para el sistema eléctrico. En caso afirmativo ella debe proponer y negociar medidas correctivas con el consumidor que se esta instalando.
Para permitir futuras evaluaciones de las instalaciones de la carga especial, la empresa debe mantener un historial de datos de el proyecto, de los equipos de filtrado y de las corrientes armónicas generadas por la carga especial que fueron consideradas en el estudio y servirán de base para su aprobación.
Definidas las medidas correctivas y la verificación de instalación, deben ser establecidos los procedimientos operativos en caso de emergencia del equipo de atenuación de los armónicos, bien como flexibilidades temporales de los criterios , Estos procedimientos deben ser parte de un acuerdo operacional entre la empresa suministradora y el consumidor elaborado por el área de operación de la empresa suministradora.
En este acuerdo deben estar incluida las responsabilidades de la empresa en la corrección de los problemas que surgan " posteriormente ", debido a cambios no previstos en la evolución del sistema. El consumidor debe ser identificado como responsable en el caso de que surgan problemas debido al cambio en las características de sus equipos causantes de distorsión armónica o del equipo de atenuación de las distorsiones.
Para facilitar los procedimientos de medición rutinaria de las distorsiones armónicas en las instalaciones de los consumidores con cargas especiales y en las subestaciones de la propia empresa deben ser realizada la instalación definitiva de transductores de tensión y de corriente específicos, dedicados a la mediciones de armónicos.

Fase pre-operacional.- Con información actualizada de el sistema, la empresa debe hacer un revisión de los estudios de penetración de armónicos con el objetivo de identificar los puntos críticos dela red para efecto de la medición de las tensiones armónicas.
Es recomendable que sean realizadas mediciones antes de la entrada en operación de la carga especial para fines de comparación. Para eso deben ser realizadas mediciones previas en los puntos críticos de la red identificados por los estudios.

Durante la fiscalización deben ser medidas, además las tensiones en los puntos críticos de la red, las corrientes armónicas generada por la carga especial y las corrientes armónicas inyectadas en el punto de entrega.
Las tensiones armónicas medidas deben ser comparadas con los limites globales definidos anteriormente. Las corrientes armónicas generadas por la carga especial deben ser comparadas con los valores suministrados por el consumidor u adoptados en los estudios de penetración de armónicos. Las corrientes armónicas inyectadas en el punto de entrega deben ser comparadas con los limites establecidos anteriormente por la empresa de suministro.

Fase de operación.- La verificación de los criterios a través de mediciones no es posible realizarlo en todos los puntos de la red . Pero ese problema puede ser controlado en parte por la observación de los puntos críticos de el sistema identificado por los estudios.
Periódicamente, u siempre que se juzgue necesario, en base en mediciones topológicas actualizadas y en las corrientes armónicas generadas por las cargas especiales existentes en la red, La empresa debe de realizar estudios de penetración de armónicas analizando e identificando los puntos criticas.
En estos puntos deben ser realizados mediciones de los niveles de tensión armónica que deben ser comparados con los limites globales, establecidos anteriormente, que garantizan el nivel de compatibilidad, En el caso de que se superen estos limites se debe proceder con una investigación de las causas, el que puede exigir estudios mas detallados o mediciones mas especificas en los puntos de conexión de las cargas especiales mas significativas.
La empresa se debe reservar el derecho de exigir, siempre que juzgue necesario, la comprobación por los consumidores de la adecuación de sus equipos de filtrados y de las corrientes armónicas generada por sus equipos e inyectadas en el sistema eléctrico. Esa comprobación debe ser hecha a través de mediciones. de las cuales la empresa suministradora podrá participar. En caso de que se constate algún desvío. la empresa deberá exigir las debidas correcciones al consumidor.
Cabe a la empresa de suministro adoptar medidas de reducción de los niveles de distorsión armónica, en caso en que la violación de los limites globales no fueran atribuidos a un consumidor especifico.

1.32 Diseño de equipo eléctrico y electrónico.

Cualquier equipo electrónico o accionado por electricidad puede diseñarse y construirse para soportar los problemas que mas puedan esperarse de calidad de la energía. Los fabricante de equipo deben tomar un decisión de negocios pare fabricar sus productos de manera que soporten las situaciones que pueden esperarse normalmente. Si equipo tiene altos márgenes, el costo agregado puede reducir la competitividad del equipo del mercado. Algunos fabricantes ofrecen dispositivos protectores suplementarios a un costo adicional para el cliente. Otros, reconociendo la actual recientemente alerta de sus clientes, están comenzando a agregar ciertas características de mitigación por calidad de energía a sus productos, sacando modelos nuevos y mejorados.

1.4 Técnicas de cancelación de armónicos

1.41 Transformadores.

1.4.1.1Transformadores conectados en delta.

Pero cuando se cierra la malla, o se conecta un resistor entre sus terminales abiertas , la malla cerrada sirve como "trampa" para las corrientes armónicas. Todas las corrientes impares que se generan por la corriente de excitación del transformador se suman entre si y forman corrientes de circulación alrededor de la delta, como lo hacen las corrientes fundamentales normales de fase de la delta. Si bien es cierto que la corriente adicional circulante que crean las armónicas se suman a las perdidas óhmicas de potencia de los transformadores. La conexión en delta o malla tiene la ventaja, en los sistemas delta - estrella, de mantener el neutro en el centro geométrico de los voltaje de fase y de línea de la estrella del secundario

1.4.1.2 Transformadores conectados en estrella.

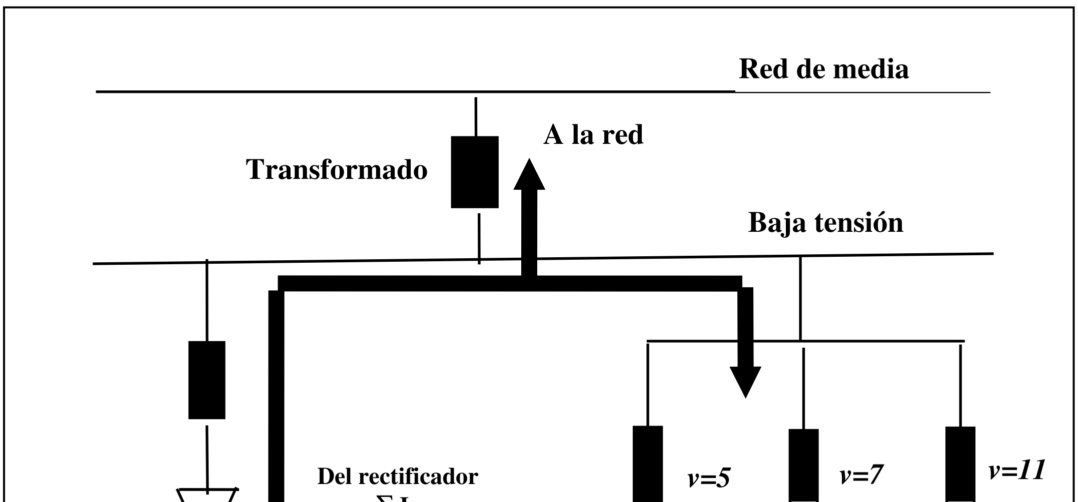
En los transformadores conectados en estrella no aterrizada, se suman entre si las terceras armónicas y las armónicas de orden de múltiplos impares, que tienden a forzar al neutro para sacarlo de su centro geométrico. Esto ocasiona un desequilibrio de los voltajes secundarios, tanto de fase como de línea. Además como no hay trayectoria cerrada para la circulación de las armónicas tanto en el primario como en el secundario de un transformador conectado en estrella - estrella, las ondas de voltaje de salida también se distorsionan,. Por este motivo, prácticamente nunca se usan conexiones en estrella sin aterrizar en sistemas de transmisión y distribución de potencia.

El neutro se mantiene en su centro geométrico si simplemente se conecta a tierra ya sea en el primario o en el secundario, o en ambos. Con ello se tiene un circuito cerrado para cualquier corriente desbalanceada, o corriente armónica al conductor neutro

1.4.2 Convertidores.

1.4.2.1 Multiplicación de fases

El termino multiplicación de fases se refiere a la practica de usar altos ordenes de fase en los circuitos de potencia. La reducción de fase es un método para reducir el impacto armónico de los convertidores (se analizo en el Capitulo I). La progresión a un alto orden resulta en un bajo THD en la corriente del convertidor y altas frecuencias que deben ser filtradas. Estas altas frecuencias son fáciles de filtrar debido a que se requieren pequeñas capacitancias y inductancias en el filtro. También las altas frecuencias ocurren a una amplitud baja y esto reduce los requerimientos de filtración.



1.43 Filtros armónicos

El efecto de las corrientes armónicas en la red de alimentación superpuesta puede se puede reducir a un niveles insignificantes conectando circuitos de filtrado directamente a la parte de baja tensión (fig 2). Dichos circuitos en resonancia que emplean reactancias en serie con los condensadores. Los circuitos en resonancia deben estar sintonizados de tal forma que presentan una impedancia para las corrientes armónicas individuales que se aproxime a cero y que sea muy reducida en comparación con la impedancia del sistema de suministro de energía. Las corrientes armónicas de los convertidores son absorbidas de esta forma en gran medida por los circuitos de filtrado, Solamente un pequeño resto entra en el sistema superpuesto de forma que el voltaje se distorsiona en menor grado y las interferencias con otras
cargas se evitan en gran medida. Puestos que los circuitos de filtrado representan una carga capacitiva para la frecuencia básica del sistema tráfico toman además de las corrientes armónicas también una corriente capacitiva a la frecuencia de la corriente básica, como resultado contribuyen a compensar la potencia reactiva de los convertidores y de otras cargas del sistema.

CONCLUSIONES

Los armónicos son creados por cargas no lineales que absorben corrientes en impulsos bruscos en vez de hacerlo suavemente en forma sinusoidal. Estos impulsos crean ondas de corriente distorsionadas que originan a su vez corrientes armónicas de retorno hacia otras partes del sistema de alimentación.

Este fenómeno se manifiesta especialmente en los equipos provistos de fuente de alimentación de entrada con condensadores y diodos, es decir, ordenadores personales, impresoras y material eléctromedico.

Los armónicos son corrientes o tensiones cuya frecuencia son múltiplos enteros de frecuencia fundamental de la alimentación

En la actualidad, los armónicos son un subproducto de la electrónica moderna, se manifiestan donde hay un gran numero de ordenadores personales, motores de velocidad regulable y otros equipos que absorben corriente en forma de impulsos.

Cuando hay armónicos la forma de la onda no presenta una forma sinusoidal, la forma de la onda aparece distorsionada. Decimos que estas ondas son no sinusoidales.
La propia red de alimentación puede ser una fuente indirecta de los armónicos de tensión.
Las armónicas generadas en los sistemas de potencia son producidas por diferentes fuentes conectadas a la red, como son: convertidores estáticos, maquinas rotativas transformadores y equipos de arco.
Junto a los convertidores estáticos hay dos cargas no - lineales que debido a su contribución de armónicas necesitan ser consideradas, estos son los equipos de arco y lamparas fluorescentes.
La resonancia en paralelo produce una alta impedancia al flujo de corriente cuya frecuencia corresponde a la frecuencia de resonancia. La resonancia en serie produce en cambio un circuito de baja impedancia. La condición de resonancia paralelo puede causar oscilaciones de corriente que son excitadas por la corriente de resonancia en paralelo, Estas corrientes que fluyen a través de impedancias producen voltajes armónicos, produciendo entonces formas de onda de voltaje distorsionado.
La proliferación de equipos causantes de perturbaciones es una preocupación creciente como sus efectos, llevan a la necesidad de establecer criterios y procedimientos que posibiliten la convivencia armoniosa entre los equipos perturbadores y equipos sensibles a las perturbaciones de tensión
Estos criterios y procedimientos suministran elementos que permiten a las empresas de energía evaluar la calidad del servicio con respecto de los niveles de distorsiones armónicas, controlar las perturbaciones causadas por las cargas no lineales en operación y cuantificar el impacto de la instalación u ampliación de cargas generadoras de armónicos en el horizonte planeado, identificando la necesidad de medidas correctivas. Además de esto, posibilita a los consumidores adecuar sus equipos y sistemas de proceso al padrón de servicio garantizado por la empresa.
También estas recomendaciones pueden servir como orientación a los consumidores y a los fabricantes de los equipos electro- electrónicos, para que no sean producidos o utilizando dispositivos o procesos excesivamente causantes o excesivamente sensibles a las perturbaciones.
En el presente tiempo no existe una especificación uniforme sobre los limites admisibles del contenido de armónicas existente en los sistemas de potencia. El incremento en la industria del uso de dispositivos semiconductores cada vez se hace mayor, pudiendo producirse un difícil problema en el futuro, lo cual debe ser previsto ahora.
En la mayoría de las normas existentes, el requerimiento mas importante consiste en limitar la distorsión de tensión en el punto de conexión común PCC del convertidor con otros consumidores
La norma IEEE 519 es una practica recomendada para la corrección del factor de potencia y para la limitación del impacto armónico en los equipos y en los sistemas eléctricos.
Un aspecto fundamental e innovador es la división de responsabilidades de problema de armónicos entre los consumidores y la empresa de suministro de energía, Consecuentemente ella establece limites de distorsión de tensión en el punto de unión, que son responsabilidad de la concesionaria y limites de distorsión de corriente, en le punto de unión que son responsabilidad del consumidor,
Los limites de tensión y de corriente por consumidor pueden ser violados en algunos casos, a criterio de las empresa eléctricas, en base de un análisis técnico económico

La violación de los limites globales de tensión solo deben ser aceptados con carácter temporal y en casos excepcionales, tales como indisponibilidad del equipo de filtrado o contingencias, en estos casos debe haber un monitoreo continua de los niveles de distorsión existentes en el sistema.
El monitoreo de la calidad de la energía en las primeras etapas de planeación de una planta o de la instalación de cargas sensibles, proporciona información sobre si existe o no problemas de calidad de la energía. El monitoreo puede consistir inicialmente en
El tiempo optimo para la planeación de la calidad de la energía es durante el diseño de construcción
Cualquier equipo electrónico o accionado por electricidad puede diseñarse y construirse para soportar los problemas que mas puedan esperarse de calidad de la energía. Los fabricante de equipo es deben tomar un decisión de negocios pare fabricar sus productos de manera que soporten las situaciones que pueden esperarse normalmente.
Los filtros de las corrientes armónicas pueden reducir apreciablemente el flujo de corrientes armónicas al sistema de potencia, y presentan la ventaja adicional de compensar la potencia reactiva asociada a los procesos de conmutación y control de los convertidor. Dichos circuitos de filtrado en resonancia que emplean reactancias en serie con los condensadores. En general, los filtros de armónicas son diseñados para servir dos procesos.

1.- Reducir los niveles del flujo de las corrientes armónicas
2.- Proporcionar toda o parte de la potencia reactiva requerida por el convertidor.
Al realizar un análisis de un sistema eléctrico de potencia, asumir de barras de voltaje del tipo sinusoidal, puede ser no adecuada debido a la interacción entre las corrientes y los voltajes de las señales armónicas, y muy en especial cuando se producen condiciones de resonancia.

REFERENCIAS

1.- G.T. Heydt, " Electric Power Quality ", Stars in a Circle Publications, 1991

2.- GCOI / SCEL / CECE / GCPS /GCTST / GTCP, " Criterios y procedimientos para la atención a consumidores con cargas especiales", Seminario de Calidad de Energía Eléctrica, Espol, FIEC. Noviembre 1996.

3.- Donald g. Fink y H.Wayne Beaty, " Manual de Ingeniería Eléctrica ", Décima Tercera Edición, Tomos I, I I, I I I, y IV, McGraw-Hill, 1993.

4.- IEEE Guide for Harmonic Control and Reactive Compensations of Static Power Convers, " IEEE Proyect No,519, July, 1979, Institute of Electrical and Electronics Engineers. Inc.

5,- J. Arrillaga, D. Bradley y P. Bodger, " Power System Harmonic, Jhon Wiley and Sons, ChinChester U.K, 1979.

6.- Georg Will, " Corrección del Factor de Potencia, Principios Básicos, Aplicaciones Practicas y Supresión de Armónicos " Cuadernos 5, 6 y 7. Elektrodienst, Año Vigésimo, 1978.

7.-William D. Stevenson, " Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia ", Segunda Edición, McGraw-Hill, 1979.

8.- Irving L. Kosow, " Maquinas Eléctricas y Transformadores ", Capítulos 12, 14, Segunda Edición, Prentice-Hall Hispanoamericana, 1993.

9.- Whestinghause Corporation, " The Whestinghause Transmission and Distribution Handbook", Westinghause, E. Pittsburgh, PA, 1965.

10.- American National Institute (ANSI), " National Electrical Code ", ANSI / NFPA 70-1990.

11.- IEEE, " Estándares y Bibliografía ", www. standards.ieee.org y www. biblio.ieee.org, IEEE Home Page. 1997.