

Ingeniería Energética General

Ahorro Energético Integral

Aplicado a la Mediana y Pequeña Industria, a los Centros Comerciales, a los Edificios

Eficiencia Energética de los Sistemas Eléctricos

Conjunto informativo. Documentación básica y procesador online

Contiene la información técnica básica para entender cómo:

Realizar un análisis de la carga instalada

Determinar los parámetros característicos

Conocer soluciones para elevar la eficiencia

Procesador de cálculo - Análisis de la carga instalada en el sistema eléctrico

Si necesita optimizar su sistema eléctrico, reducir el importe de la factura mensual que paga, influir en atenuar la contaminación atmosférica que genera el consumo de la electricidad, saber cómo utilizar mejor cada kWh, esta es la herramienta que usted necesita. Si tiene dudas, contáctenos : info@energianow.net

Resumen

Este documento consiste en una completa, seleccionada y ordenada recopilación de información, los procedimientos de cálculo y ejemplos prácticos que son necesarios para analizar, monitorear y tomar decisiones correctas que tengan por resultado elevar la eficiencia energética de los Sistemas Eléctricos.

El objetivo al publicar este conjunto informativo es facilitar la comprensión rápida y dirigida a objetivos específicos, apoyado en una herramienta de cálculo online que simplifique las operaciones que son necesarias realizar para estudiar un Sistema Eléctrico, desde las tareas de registro de los parámetros del equipamiento instalado, los cálculos que se realizarán para determinar los principales parámetros del comportamiento energético y el análisis del resultado, mostrando sugerencias de posibles soluciones prácticas para elevar la eficiencia de explotación. El conjunto de documentos digitalizados está estructurado en los 3 títulos siguientes:

- 1- Eficiencia Energética de los Sistemas Eléctricos
- 2- Eficiencia energética. Parámetros característicos del sistema eléctrico.
- 3- Eficiencia Energética- Soluciones para elevar la eficiencia de operación de los sistemas eléctricos.

Para poder actuar sobre los Sistemas Eléctricos se requiere tener un conocimiento básico de la carga instalada. Registrar los parámetros de cada uno de los equipos conectados y de su modo de operación. Por eso se requiere partir del registro de las cargas que están instaladas en el sistema, integrarlas hora a hora y determinar los principales parámetros que caracterizarán al servicio a prestar. La herramienta SE-CInstal tiene ese objetivo. Una vez registradas las cargas instaladas, realiza los cálculos y muestra que posibilidades de mejoras se pudieran introducir en el sistema en estudio. Las salidas del procesador muestran los parámetros o indicadores calculados en Tablas y un gráfico de carga instalada horaria ilustra el comportamiento de la demanda durante las 24 horas del día.

El documento está dirigido a todos los que necesitan tener información y herramientas para actuar sobre los sistemas eléctricos, reducir los costos de las facturas y atenuar la contaminación ambiental inducida que se genera.

El índice de contenido a continuación describe los temas que se abordan en los 3 títulos o documentos.

Para la comprensión de este instructivo se requiere una formación básica técnica o profesional ya que no entra en definiciones teóricas ni sus demostraciones.

el Autor:

René Ruano es director y fundador de Ingeniería Energética General, tiene más de 35 años de experiencia en la realización de proyectos de Ahorro Energético y de Energías Renovables.

René Ruano is Manager and founder of General Energetic Engineering with more than 30 years making Save Energy and Renewable Energy Project.

Índice del contenido

1- Eficiencia Energética de los Sistemas eléctricos

1. Introducción
CO2 emitido por cada KWh generado.
2. Desplazamiento de cargas
3. Cómo controlar y mejorar la eficiencia

2- Eficiencia energética. Parámetros característicos del sistema eléctrico.

1. Demanda reactiva inductiva
2. Demanda aparente
3. Demanda, potencia instalada, energía. ¿Cuáles son las diferencias?
4. Equipos que consumen la demanda reactiva en el SEN
5. Factor de potencia
6. ¿Cómo se comportará el voltaje en el SE.?

3- Eficiencia Energética- Soluciones para elevar la eficiencia de operación de los sistemas eléctricos.

1. Determinación de los ckVAR a conectar
2. Aumento de la capacidad con igual caída del voltaje
3. Motor de inducción
4. Grado de utilización del motor
5. Factor de Potencia en línea con el motor a plena carga
6. Otras formas de mejorar el factor de potencia de los motores de inducción.
7. Transformadores
8. Las pérdidas en transformación
9. El analizador de redes eléctricas
10. Bibliografía

4- Eficiencia Energética- Herramienta online. Análisis de la carga instalada y soluciones para elevar la eficiencia de operación de los sistemas eléctricos

Los indicadores de salida son:

1. Totales de la carga aparente y la potencia instalada.
2. Sumatoria de las cargas horarias instaladas
3. Diagrama de la potencia horaria instalada.
4. Factor de potencia
5. Demanda aparente, activa y reactiva
6. Posible reducción de la demanda reactiva
7. Reducción de la corriente y de las pérdidas en el sistema eléctrico
8. Demanda reactiva capacitiva requerida para compensar el factor de potencia.

Si quiere saber más de esta herramienta de cálculo, siga el vínculo

http://www.energianow.net/tools/tool3/sistema_electrico_eficiencia.php

Eficiencia Energética de los Sistemas eléctricos

Objetivos:

- ✚ CO2 emitido por cada KWh generado.
- ✚ Desplazamiento de cargas
- ✚ Cómo controlar y mejorar la eficiencia

¿Qué objetivos persigue este contenido?

Facilitar los conocimientos esenciales para comprender como podemos diagnosticar, controlar y operar eficientemente los sistemas de alimentación eléctrica a los consumidores energéticos. En resumen, sacar de cada kwh final la mayor cantidad de kwh útiles que podamos.

Iniciamos el tema informando sobre el portador electricidad.

La electricidad es un portador energético que se obtiene de la transformación energética de un portador dado. Si el portador utilizado para generar electricidad se extrae directamente de los pozos de combustibles fósiles o de las minas de carbón (sólido, líquido o gaseoso), se califica como portador primario. Si el primario se transporta a una Termoeléctrica, la electricidad la genera un portador primario fósil.

Por lo general los portadores primarios se refinan y mejoran. Si el portador primario se lleva a una refinería donde se eliminan sus impurezas y se mejora su composición química, en fin, se procesa y beneficia, se produce un portador secundario (ej., los derivados del petróleo y el coque). Los portadores secundarios ya tienen asociados pérdidas energéticas, las que se producen en el proceso de refinación realizado. La energía atómica también se refina y enriquece, para posteriormente ser empleada la generación eléctrica.

También podemos generar electricidad de fuentes renovables. La energía hidráulica, la energía eólica, la fuerza de las mareas, la energía solar, la biomasa y los biocombustibles son portadores energéticos renovables (naturales) primarios que pueden ser utilizados para transformarse en electricidad.

Entonces podemos calificar a la electricidad cómo un portador derivado de otro portador energético que se ha transformado, que puede ser:

- ✚ un portador fósil primario,
- ✚ o un portador fósil secundario, (diesel, fuel-oil bajo azufre, GN)
- ✚ o un portador renovable primario, energía solar, eólica, hidráulica, biogás, biomasa, etc,
- ✚ o un portador renovable secundario, cómo el biodiesel, el alcohol,
- ✚ o una fuente de energía atómica.

El origen energético de la generación eléctrica es muy importante para el desarrollo sostenible de la humanidad. Un kwh que llegue a la red generado con energía fósil, tiene asociado un volumen de emisiones de CO2 muy superior a un kwh que ha sido generado de fuentes renovables. Podemos decir que tenemos en la red kwh limpios y kwh contaminados o sucios.

Si estudiamos al portador electricidad cómo tal, comprendemos rápidamente que es un portador limpio, no emite gases a la atmósfera al utilizarlo, de cada kwh puede extraerse como energía

útil hasta el 100 %, es muy fácil de transportar hasta cualquier punto de consumo y podemos fácilmente ajustar sus parámetros a diferentes capacidades de utilización. En resumen, es el portador ideal. Pero, un análisis integral, dónde abarquemos toda la cadena energética que ha sido necesaria para generar un kWh, pone al relieve las pérdidas de transformación y el efecto externo o huella sobre el ambiente que ha producido el proceso que engendró el kWh.

En el año 2009 se generaron 20 093.6 TWh de electricidad, de ellos 2700 TWh nuclear, 3272 hidráulicos y sólo 23 TWh PV, 160 eólicos y 10,7 Geotérmicos. El grueso de la generación sigue estando del lado fósil y lo que es más preocupante, del lado carbón que a su vez, es el mayor emisor de CO2 a la atmósfera.

Los 20 093.6 TWh fueron causantes de no menos de 20 000 GTon de CO2 a la atmósfera de unas 31 130 GTon de CO2 que se emitieron el el año 2009. Esto hace que la electricidad sea el portador que mayor atención demanda. Paradójicamente es el de más alta calidad para realizar un trabajo útil, pero a su vez, de alto potencial contaminante.

Cómo necesitamos a la electricidad y sin ella no podemos vivir hay que dedicarle toda nuestra inteligencia y recursos.

¿Y cómo es esa relación kwh fósil o kwh renovable con las emisiones de CO2 que inducidamente se producen?

Portador - insumo energético	ton CO2 eq/GWh generados	Calidad de la energía
Gas Natural low	398	Fósil
Gas Natural high	469	Fósil
Fuel Heavy, low Nox	774	Fósil
Carbon low	834	Fósil
Carbon high	1026	Fósil
Lignito	1372	Fósil
Nuclear low	3	Limpia
Nuclear high	40	Limpia
Hidorenergía low	5	Renovable
Hidorenergía high	90	Renovable
Viento high	15	Renovable
Biomasa (IGCC) low	15	Renovable
Biomasa (IGCC) high	49	Renovable
Fotovoltaica low	13	Renovable
Fotovoltaica high	104	Renovable

Notemos en la Tabla anterior que aunque el portador empleado como fuente de la generación eléctrica sea renovable, siempre hay una cuota de emisiones de CO2 que inducidamente se generan. Esa cuota está formada por las materias primas y los materiales que se emplean en los sistemas de generación eléctrica, así como otros insumos no energéticos, los que siempre tienen asociados un gasto de energía fósil, que ha sido empleada para su obtención o producción.

En la medida que la estructura energética mundial vaya desplazando la energía fósil por energía renovables, esta cuota irá tendiendo a cero.

Pero son impresionantes las diferencias de emisiones de CO₂, entre el kwh base carbón o fuel oil, y el kwh base GN, el kwh fotovoltaico o el kwh generado con biomasa. Es decir, vemos que si cambiamos la estructura energética, podríamos reducir el nivel de emisiones sensiblemente, todo está en eso, en cambiar la estructura de consumo energético.

Además de la realidad anterior, hay fórmulas que de aplicarlas podrían reportar enormes beneficios, fórmulas sencillas, nada complicadas para entenderlas y captar rápidamente sus enormes ventajas operativas. Estas fórmulas ahorrarían energía, independientemente del origen fósil o renovable del kwh. Hay que tener claro que si ahorramos un kwh fósil, dejamos de emitir entre 2 o 3 kg de CO₂ a la atmósfera, en dependencia del origen de la generación. Pero si ahorramos un kwh renovable, desplazamos del consumo un kwh fósil e inductivamente dejamos de emitir la misma cantidad de CO₂. Es decir, además de bajar el importe de la factura eléctrica, pagar menos lo que para todos es muy interesante, el ahorro brinda ventajas medioambientales sensibles.

El ahorro o uso eficiente de la electricidad es una fórmula que tiene aplicación universal, independiente de la magnitud del sistema que estudiemos. En los sistemas eléctricos, sean mega sistemas, cómo el de las grandes ciudades, o sistemas medianos, cómo el de una industria o el edificio comercial, o micro sistemas, cómo el de una residencia, si aplicamos los conocimientos que aquí se proporcionan y empleamos las herramientas que hemos diseñado para facilitar el cálculo y la toma de decisiones, se estará obteniendo cómo resultado una mejora en la operación y estaremos ahorrando kWh, sean de origen fósil o renovable.

Hay muchas soluciones a la mano, por lo que no hay que estar esperando más:

1-Si determinamos la eficiencia sistemáticamente con la que opera un sistema electro energético y rectificamos los parámetros fuera del entorno aceptable, estaremos tomando decisiones al momento y evitando perder dinero y contaminar aún más la atmósfera.

2- Podemos desplazar el uso de un kwh en las horas de mayor intensidad energética y de consumo a horas de menor demanda. A la vez los kwh horas desplazados nos costarán menos, ya que las tarifas eléctricas consideran que el kwh tiene menor precio a las horas en que la demanda es menor. Por lo general a las horas de menor demanda el kWh tiene asociado menos pérdidas de transmisión y distribución, y se genera en plantas con mayor eficiencia, todo lo que influye en el ahorro de kWh perdidos y menos emisiones. Una solución para sustituir kWh a las horas de mayor demanda (horas picos del día), es almacenar la energía generada en las horas valle (digamos la madrugada) y emplearla en las horas pico. El almacenamiento de la energía se puede realizar en diferentes formas, e integrándolo a diferentes sistemas energéticos.

- Almacenamiento por bloque de baterías secas.
- Almacenamiento mediante la acumulación de agua en embalses sobre nivel.
- Almacenamiento de aire comprimido.
- Almacenamiento de frío y de calor.

¿Cómo es eso de desplazar las cargas?

Hay diferentes formas. Un equipo alto consumidor de electricidad que trabaje 12 horas darías, entre las 6 de la mañana y las 6 de la tarde, podemos desplazar su operación a un horario donde la demanda general del sistema sea menor, digamos, desde las 10 pm hasta las 10 am. Aunque se consume la misma cantidad de kwh para la operación del equipo, ya vimos antes que

los kwh utilizados durante la madrugada tienen asociados menores pérdidas eléctricas y son generados en sistemas cuyos indicadores de consumo son más favorables. También generan mucho menos emisiones de CO₂. Por eso en todos los países, la tarifa eléctrica tiene un precio inferior para los kWh de madrugada comparativo con los kWh en el resto del día.

¿Y qué se puede hacer para mejorar la eficiencia del sistema eléctrico interno?

Muchas cosas que conviven con nosotros a diario pudieran andar mucho mejor. Si la demanda instalada disminuye, podemos reducir la capacidad de transformación de las subestaciones, recontratando la factura eléctrica y disminuyendo la demanda pico.

Esa es la temática que trataremos en las páginas que forman el análisis del Sistema Eléctrico. En ellas se explicará sobre:

- 1- Equipos consumidores de energía reactiva
- 2- Demanda instalada, demanda real, demanda pico
- 3- Demanda aparente, reactiva y capacitiva.
- 4- Factor de potencia
- 5- Corrección del factor de potencia
- 6- Variaciones del voltaje a causa de aumentar la carga capacitiva
- 7- Aumento de la capacidad con igual caída del voltaje
- 8- Motor sincrónico como compensador de energía reactiva
- 9- Transformadores
- 10- Medición de la demanda reactiva y del factor de potencia.
- 11- Analizador de redes
- 12- Sistema inteligente de control y mejoramiento eléctrico

Eficiencia energética. Parámetros característicos del sistema eléctrico.

Introducción.

Demanda reactiva inductiva

Demanda aparente

Demanda, potencia instalada, energía. ¿Cuáles son las diferencias?

Equipos que consumen la demanda reactiva en el SEN

Factor de potencia

Cómo se comportará el voltaje en el SE.?

Introducción.

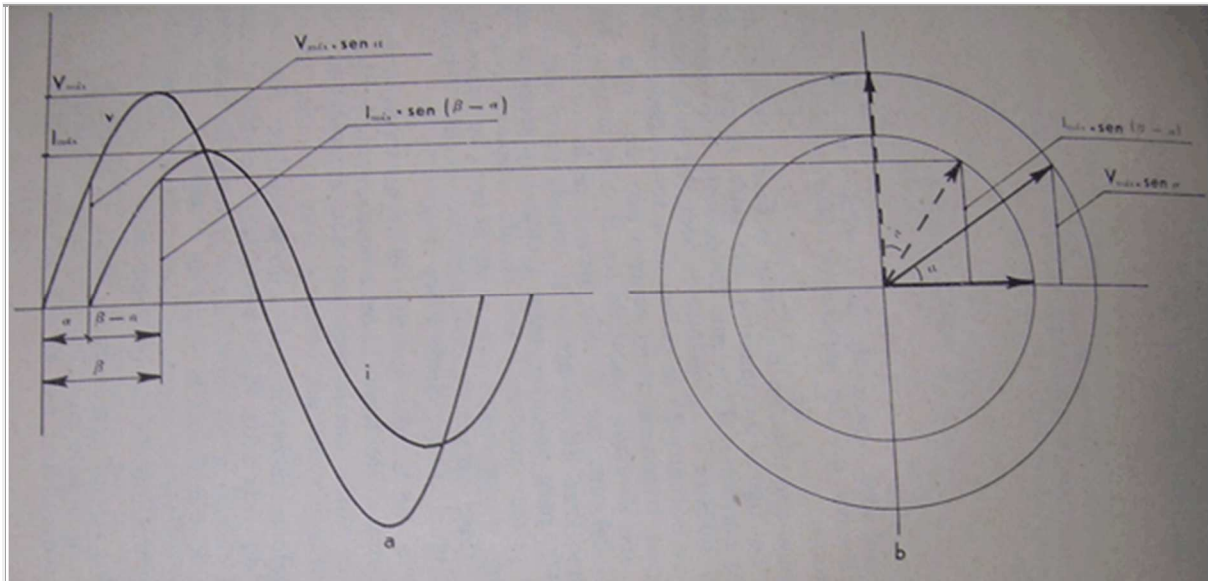
El voltaje que generan las máquinas que están conectadas al Sistema Electroenergético de un país o una ciudad (SE o SEN), varía entre un valor máximo positivo y un valor máximo negativo, pasando por cero, lo que se llama un ciclo. Este ciclo se representa por una onda sinusoidal.

Hay SEN que repiten el ciclo 50 veces en un segundo, otras en 60. Por ese motivo se dice que la frecuencia de voltaje es de 50 ó de 60 ciclos/seg. Un generador que opere a 50 c/s, rota 3000 veces en un minuto y el que funciona a 60 lo hace 3600 veces.

El voltaje a pesar de ser variable, tiene un valor efectivo, que es el que indica el voltímetro con el cuál medimos el voltaje alterno. Ese valor efectivo se deduce y se calcula, siendo igual a dividir el voltaje máximo entre la raíz cuadrada de 2. ($V_{\text{max}}/\sqrt{2}$) dicho de otro modo, el valor efectivo de la onda sinusoidal es igual al 70.7% del valor máximo positivo o negativo. El valor promedio en un ciclo completo, resultará cero, pues positivo y negativo se cancelan. Por eso tiene sentido hablar del valor promedio efectivo en la mitad del ciclo.

El valor promedio se corresponde con el área debajo de la curva de la senoide, dividida entre el intervalo de tiempo correspondiente. El valor promedio para una onda sinusoidal para medio ciclo es, 63,6% de su valor máximo.

Tanto el voltaje como la corriente siguen un comportamiento sinusoidal, defasados 90 grado entre ellos, Cuando la senoide del voltaje ha avanzado 90°, la corriente parte desde el origen. En la imagen siguiente se muestra el comportamiento de ambas sinusoides, el defasaje de 90° entre ellas y la representación vectorial.



Demanda reactiva inductiva

Si conectamos una bobina (cómo puede ser la bobina de un interruptor magnético, o a un transformador, o a un motor de inducción,) a un sistema eléctrico que desarrolla un voltaje como el representado por la sinusoide voltaje de la figura, se producirá una demanda de energía eléctrica que será fundamentalmente reactiva inductiva. También existe una pequeña componente activa a causa de la resistencia del alambre de la bobina o del enrollado del transformador y de las láminas del núcleo de hierro.

Todo enrollado conectado a un voltaje alterno, demandará energía reactiva inductiva, necesaria para crear y mantener el campo magnético. Es el campo magnético el que acciona el vástago de la bobina o el rotor del motor de inducción para realizar un trabajo. En el caso del transformador, se induce un campo magnético desde el primario al secundario para transformar las propiedades y características de la corriente, aumentando o disminuyendo sus parámetros.

La unidad de medida de la energía reactiva inductiva es el volt ampere reactivo y se escribe VAR o kVAR. Esta demanda se calcula multiplicando el valor máximo del voltaje por el valor máximo de la corriente y dividiendo el producto entre 2. La onda sinusoidal de la energía reactiva tiene una frecuencia que es el doble superior a la del voltaje y la corriente, de manera que pasa por cero cada un cuarto de ciclo, recorriendo un ciclo completo en 180 °.

Demanda reactiva capacitiva

Si ahora conectamos en el sistema anterior, un capacitor (condensador de corriente) se producirá una demanda que generalmente es reactiva capacitiva. También existe una pequeña demanda activa a causa de las pérdidas del dieléctrico del capacitor o condensador. La unidad de la demanda reactiva capacitiva es el VAc ó kVAc. La abreviatura más utilizada es ckVA. La curva o sinusoide que representa la demanda reactiva capacitiva, tiene iguales características que la de la demanda reactiva inductiva. Su valor promedio es cero, realiza un ciclo completo en 180 °.

Ahora, el comportamiento reactivo capacitivo se diferencia con la curva reactiva inductiva, en que están opuestas, es decir, cuando la primera está en la posición máxima positiva, la segunda se encuentra en el máximo negativo lo que podemos resumir en que los ciclos positivos de una se corresponden con los ciclos negativos de la otra.

Este efecto contrario es la base de la compensación de la demanda reactiva inductiva mediante la incorporación al sistema eléctrico de capacitores estáticos o dinámicos y máquinas sincrónicas.

Demanda aparente.

De lo anterior tenemos que ya conocemos que existe una demanda activa, la que todos conocemos, que se mide en Watt o kWatt. Además, se explicó que existe una demanda reactiva inductiva, que se mide en VAR o KVAR y una reactiva capacitiva, medida en cKVA, según se trate del consumo de un enrollado o de un capacitor. Vimos también que estas demandas reactivas pueden ir acompañado de una demanda activa.

¿Ahora, que es la demanda? ¿Y la energía? ¿Cuál es su diferencia?

La demanda. Es la necesidad instantánea de potencia, bien sea ésta reactiva o activa.

La energía es el resultado de una demanda actuando un tiempo t sobre un equipo y por ello, realizándose un trabajo. Así la potencia es la cantidad de energía eléctrica instantánea que requerimos para que funcione el equipo y la energía la cantidad consumida durante un tiempo t determinado. Por eso la potencia se expresa en KW y la energía consumida en KWh. A su vez la unidad de energía reactiva es el KVarh, sea inductivo o capacitivo. La combinación resultante de la demanda activa y reactiva, es la demanda aparente. La unidad de medida de la demanda aparente es el Volt. Ampere (VA o kVA). En esta unidad de medida se expresa generalmente la capacidad de los transformadores (abreviando trafo) y otros equipos básicos de un sistema electroenergético.

Las demandas activas y reactivas no se pueden sumar, puesto que ambas están totalmente defasadas, se comportan como magnitudes vectoriales. Si medimos 20 KW y 30 KVAR, sean inductivos o capacitivos, la resultante no es 50 KVA de demanda aparente, sino 36 kVA. Esto es debido a que la demanda activa (kW) y la demanda reactiva (kVAR) son vectores que están defasados 90° y colocados perpendicularmente uno con respecto al otro. La demanda reactiva es proporcional al seno del ángulo de defaseaje y la activa al coseno del mismo ángulo.

Cómo las demandas inductivas y capacitivas tienen una frecuencia igual pero en dirección opuesta, los vectores que las representan también son opuestos y perpendiculares a la demanda activa.

La demanda aparente se obtiene en la práctica multiplicando el valor del voltaje por el amperaje, ya que en realidad esta demanda está compuesta vectorialmente por la demanda activa y la reactiva.

Es el componente activo el que en realidad realiza trabajo útil. De aquí que es sumamente importante conocer en cualquier sistema electroenergético la demanda aparente y qué cantidad de demanda reactiva y activa la componen. A mayor demanda reactiva, menor kWh útil de cada kVA.

Veamos, si estamos en presencia de un valor de demanda aparente, por ejemplo de 500 kVA, cuya componente reactiva es sumamente grande, por ejemplo 250 kVAR, entonces el componente que puede realizar trabajo útil estará en función del coseno del ángulo. Veamos:

- Los vectores kVAr y KW decimos son perpendiculares, lo que es igual a formar un ángulo de 90°
- La demanda aparente está formada por el vector componente activo y reactivo, por lo que la hipotenusa del triángulo rectángulo formado entre el vector demanda activa y reactiva, será la demanda aparente.
- De ahí que el ángulo formado entre los vectores de la demanda reactiva (250 kVAr) y la demanda aparente (500 kVA) sea igual al seno del ángulo cuyo cociente es 250 kVAr/500 kVA. (0.5). El ángulo será de 30°
- la componente activa será igual al valor de la demanda aparente multiplicado por el coseno del ángulo de 30°, es decir 433 kW activos.

Esta situación la podemos comparar con otro SE que tenga la misma cifra de demanda aparente (500 kVA), pero con un componente reactiva menor a 250 kVAr, digamos, 150 kVAr. Comparativamente, este segundo sistema tendrá mucha más capacidad de realizar un trabajo útil por cada kVA disponible que el primero. Veamos:

- el ángulo formado entre los vectores de la demanda reactiva (150 kVAr) y la demanda aparente (500 kVA) es igual al seno del ángulo cuyo cociente es 150 kVAr/500 kVA (0.3). El nuevo ángulo será de 17,45°
- la componente activa será igual al valor de la demanda aparente multiplicado por el coseno del ángulo de 17,45°, es decir 477 kW activos.

Si calculamos la diferencia entre el segundo y el primer escenario, podemos decir que el segundo tiene una capacidad mayor para realizar trabajo útil y la diferencia es de 44 kW activos más. Si se nos ocurre calcular un indicador de eficiencia, podríamos decir que este escenario tiene una eficiencia de (44/500) 8.8 por ciento superior al anterior.

Cómo hemos visto, las demandas aparente y sus componentes reactivo y activo, forman un triángulo rectángulo. Por eso le podemos aplicar la relación de Pitágoras.

$$kVA = \text{sq}[\text{pow}(kW,2) + \text{pow}(kVAr,2)]$$

De manera que si conocemos dos de los componentes, podemos calcular el tercero.

Tipo de equipamiento que se conecta a cualquier SE y consumen demanda reactiva

Se dividen en cuatro clases:

- 1- Equipamiento que consumen fundamentalmente reactivo, cómo las lámparas incandescentes, hornos por resistencia, planchas eléctricas, y todo el equipamiento que funcione con resistencias puras.
- 2- Los equipos que consumen energía reactiva inductiva. Esto son los más generalizados y los de mayor peso en el consumo energético. Entre ellos tenemos los reactores de luz fluorescentes, bobinas de interruptores magnéticos de corriente alterna, bobinas en general conectadas al SE, los devanados de los motores de inducción, los enrollados de los trafo.
- 3- Los que consumen energía reactiva capacitiva, cómo son los capacitores y condensadores.
- 4- Equipamiento que consumen los 3 tipos anteriores, o una combinación de dos. Estos son los más.

Factor de potencia.

La relación entre la demanda real y la aparente se denomina factor de potencia. Si vamos al triángulo rectángulo formado por las tres demandas, encontramos que esa relación es igual al coseno del ángulo entre la demanda activa y la demanda aparente. En la medida que ese ángulo es mayor, mayor es la demanda aparente y menor la demanda activa. Es decir, se hace el ángulo mayor, el coseno del ángulo menor y por consiguiente, el factor de potencia será menor.

$$\cos \varphi = (kW/kVA)$$

$$kW = kVA * \cos \varphi$$

El factor de potencia es menor que la unidad, ya que el coseno del ángulo siempre es menor que uno. Se comprobará entonces que la demanda activa tiene que ser menor que la aparente, ya que por lo general los equipos conectados al SE consumen energía activa y reactiva.

Bien, ya sabemos que midiendo el factor de potencia podemos deducir el valor del componente de la demanda activa.

El conocimiento de las relaciones anteriores es muy útil, ya que con su ayuda podemos determinar los parámetros del SE que nos interesan, saber relacionarlos entre sí y conocer cómo podemos mejorar la eficiencia de utilización de la energía eléctrica. Todo lo antes dicho se cumple tanto para el caso de que la componente reactiva se inductiva como capacitiva.

Por lo que hemos visto antes, es sumamente importante tener un factor de potencia alto, ya que la demanda activa se acercará al valor de la demanda aparente. Eso equivale a poder realizar más trabajo útil por cada KVA aparente que se consume.

Se da mucho el caso que tenemos una demanda equivalente a la capacidad o carga instalada. Asumamos 433 kW de demanda activa e instantánea, según el primer ejemplo de cálculo anterior. Si servimos a esa demanda con un factor de potencia de 0.8, estaremos consumiendo en nuestro SE los siguientes kVA aparentes:

$$kVA = kW / \cos \varphi$$

$$kVA = 433 / 0.8 = 541.3 \text{ kVA}$$

si el SE en cuestión opera con un voltaje de 2 400 volt, el valor de la corriente (amperes) consumida para servir a la demanda activa instantánea de 433 kW es:

$$I = 541.3 / 2,4 = 225.5 \text{ amp}$$

Si quisiéramos calcular la demanda reactiva, podemos partir de que conocemos la demanda activa. Conocido el factor de potencia de 0.8, calcularíamos el valor del ángulo cuyo coseno es 0.8. Ese ángulo es de 36.86°. Como la demanda activa y reactiva forma los vértices del triángulo rectángulo, puede calcularse una de ellas conociendo la otra, relacionándolo con la tangente del ángulo. Así la tangente del ángulo 36.86°, es igual a 0.75 y el valor de kVAR será igual al producto de la demanda activa kW por el valor de la tangente, $433 * 0.75 = 324.8 \text{ kVAR}$

Ahora, si aumentamos el factor de potencia a 0.94, para suministrar la misma demanda activa de 433 kW, el nuevo valor de la corriente sería:

$kVA = kW / \cos \varphi$
$kVA = 433 / 0.94 = 460.6 \text{ kVA}$

Y la corriente para servir la misma demanda habrá disminuido desde 225.5 a 191.9 amperes (33.6 amperes menos). Las pérdidas en los conductores, las pérdidas en transformadores y la demanda en el SE, y por supuesto, en el sistema de la ciudad, se habrán reducido también. Por eso es importante tener un factor de potencia alto, y Compañías de Electricidad penalizan aquellas instalaciones que operan con un bajo factor de potencia.

Si quisiéramos calcular la demanda reactiva bajo las nuevas condiciones, después de mejorar el factor de potencia, entonces emplearíamos nuevamente la relación con la tangente del ángulo cuyo coseno es 0.94. Ese ángulo es 19.9° y el valor de su tangente es igual a 0.36. El nuevo valor de los kVAR serán igual al producto de 433 * 0.36 = 155.8 kVAR comparado con 324.8 kVAR del escenario inicial. La diferencia se corresponde con los cKVAR instalados, 169 cKVAR, para elevar el fp desde 0.8 a 0.94

Podemos cuantificar las pérdidas en los conductores antes y después de mejorar el factor de potencia, conociendo que estas se calculan multiplicando el valor de la intensidad (corriente) elevado al cuadrado y multiplicado por la resistencia del conductor. De esta manera. Consideremos que la resistencia del conductor es constante y tenemos:

$Perdidas1 = I_1^2 * R = 50\ 860 * R$
$Perdidas2 = I_2^2 * R = 36\ 825 * R$
$Perdidas1 / Perdidas2 = 50\ 860 * R / 36\ 825 * R$
$Perdidas2 = Perdidas1 * 0,72$

Las pérdidas se habrán reducido en 100-72 = 28 por ciento.

También se puede llegar al mismo resultado, basándonos en la relación del factor de potencia anterior y el actual, estableciendo la siguiente relación:

$Perdidas1 / Perdidas2 = \text{pow}(fp2 / fp1, 2)$
$Perdidas2 = \text{pow}(0.8 / 0.94, 2)$
$Perdidas2 = Perdidas1 * 0,72$

Como resultado de las mejoras del factor de potencia, en una relación entre 0.8 y 0.94 (un 15 por ciento) se habrán reducido las pérdidas en conductores en casi un 30%.

¿Ahora, cómo se comportará el voltaje en el SE dónde hayamos aumentado la carga de capacitores y elevado su factor de potencia?

La caída de voltaje en una línea está determinada por la siguiente expresión:

$V = I * R * \cos \varphi + I * XL * \sin \varphi$
--

donde:

I : es la intensidad o corriente, en amp.

R : la resistencia del conductor, en ohm

XL : la resistencia inductiva de línea, en ohm.

Cómo al mejorar el factor de potencia en el SEN, disminuye el ángulo de defasaje entre la demanda aparente y la activa, y por consiguiente, entre la corriente y el voltaje, y por eso disminuye la corriente total, (ver cálculos anteriores de los dos escenarios, antes y después) ambos fenómenos inciden en la disminución de la caída de voltaje y por consiguiente, aumenta el voltaje en la línea.



Eficiencia Energética- Soluciones para elevar la eficiencia de operación de los sistemas eléctricos.

Introducción.

Determinación de los ckVAR a conectar

Aumento de la capacidad con igual caída del voltaje

Motor de inducción

Grado de utilización del motor

Factor de Potencia en línea con el motor a plena carga

Otras formas de mejorar el factor de potencia de los motores de inducción.

Transformadores

Las pérdidas en transformación

El analizador de redes eléctricas

Bibliografía

Introducción.

Ya conocemos sobre los parámetros principales que debemos determinar en el SE para calificar la eficiencia energética de su operación. También ha sido explicado que es el factor de potencia y cómo influyen sus mejoras en la cantidad de energía útil, en las pérdidas en conductores, en la demanda activa y en la caída de voltaje.

En este documento estudiaremos cómo proceder para mejorar el factor de potencia. Existen tres métodos fundamentales para mejorarlo:

- 1- Mediante la conexión al SE de capacitores o condensadores estáticos.
- 2- Mediante la instalación de sistemas dinámicos, cómo sistemas de capacitores o condensadores y/o motores sincrónicos.
- 3- Limitando o sustituyendo los equipos altos consumidores de energía reactiva que estén conectados al SE.

La forma más empleada es la primera.

El capacitor es un equipo consumidor de energía reactiva, casi pura, si despreciamos las pérdidas de su dieléctrico. Lo peculiar de esta demanda reactiva es que tiene la misma magnitud, pero en sentido contrario que la demanda reactiva inductiva. Esta característica de la demanda reactiva capacitiva se aprovecha para anular o reducir, la demanda reactiva inductiva. La parte anulada será igual a la demanda reactiva capacitiva conectada. Al disminuir la demanda reactiva inductiva, se producen efectos positivos, ya descrito antes. Recordemos que aumenta la capacidad de realizar trabajo útil, se reducen las pérdidas en los conductores y se reduce la caída de voltaje, cualidades positivas para la operación eficiente del SE.

Determinación de los ckVAR a conectar para corregir el factor de potencia.

En el triángulo rectángulo compuesto por la hipotenusa demanda aparente, y los lados perpendiculares, demanda reactiva y demanda activa, podemos establecer la siguiente relación:

$$\tan \varphi = \text{kVAR} / \text{kW}$$

Asumiremos, cómo antes hemos hecho, que la demanda activa no variará.

$$\text{Tan } \varphi 2 = \text{kVAr}2 / \text{kW}$$

La cantidad de ckVA a instalar deberá ser igual a la cantidad de kVAr a descontar.

$$\text{ckVAr} = \text{kVAr}1 - \text{kVAr}2$$

$$\text{ckVAr} = \text{kW} * \text{tan } \varphi 1 - \text{kW} * \text{tan } \varphi 2$$

$$\text{ckVAr} = \text{kW} * (\text{tan } \varphi 1 - \text{tan } \varphi 2)$$

En el ejemplo visto antes, habíamos mejorado el factor de potencia desde 0.8 a 0.94 satisfaciendo una demanda activa de 433 kW. El ángulo inicial era de (cos 0.8) 36.7 ° y su tangente de 0.75. El factor de potencia lo habíamos mejorado a 0.94, correspondiéndole un ángulo de 19.9 °, y su tangente era de 0.363. Ya estamos listos para calcular los ckVAr capacitivos a conectar.

$$\text{ckVAr} = 433\text{kW} * (0.75 - 0.36) = 169,0$$

valor calculado antes, coincidiendo.

Si conectamos 169 ckVAr capacitivos en el SEN, llevaremos el factor de potencia desde 0.8 a 0.94 y reduciremos las pérdidas eléctricas en casi un 30%.

Este cálculo lo hemos hecho sobre la base que la demanda activa es invariable, pero por lo general no ocurre así, cada hora varía tanto la demanda activa cómo el factor de potencia. De ahí la necesidad de medir hora a hora las características eléctricas del SE. Para compensar una instalación que la carga varía con el tiempo el método de análisis es el siguiente:

1- Para determinar la cantidad de ckVAr a conectar, debemos guiarnos por un gráfico general de demanda real vs demanda instalada, tomando los datos de un día representativo de trabajo del SE. De este gráfico obtenemos los valores de la demanda real y del factor de potencia de la madrugada y compensamos para factor de potencia unitario para esa hora de la demanda mínima. Cómo a esa hora (madrugada) las demandas activas y reactivas son las más bajas del ciclo, esto asegura que a la hora de mínima demanda el factor de potencia no sobrepase la unidad y se haga capacitivo. Recordemos que al mejorar el factor de potencia, también se reducía la caída de voltaje. Al reducirse la caída, el voltaje de punta aumenta y si sobrepasa ciertos límites puede ser dañino para el funcionamiento de la maquinaria eléctrica.

2- Determinar el factor de potencia que se obtendría en el resto de las horas del día al conectar los ckVAr anteriores. Ese cálculo podemos efectuarlo ya que conocemos los ckVAr instalados fijos, la demanda activa horaria y el factor de potencia horario, medido antes de conectar los ckVAr fijos. Entonces, el nuevo factor de potencia horario sería:

$$\text{ckVAr fijos} = \text{kWi} * (\text{tan } \varphi 1 - \text{tan } \varphi 2)$$

de donde

$$\text{tang } \varphi 2 = (\text{kW} * \text{tan } \varphi 1 - \text{ckVAr}) / \text{kW}$$

Realicemos esta determinación en el siguiente ejercicio. En una curva de demanda - factor de potencia de un SE tenemos que la demanda mínima se produce entre las 4.30 y 5.30 am y su valor es de 35 kw. El factor de potencia resulta en 0.67 en ese mismo periodo. La demanda máxima ocurre entre las 3.30 y las 4.00 pm, reportando a esa hora 185 kW activos y un factor de potencia de 0.76.

Si establecemos que compensaremos el reactivo para factor unitario, entonces podemos determinar cuántos ckVAR fijos debemos instalar. Veamos:

1- determinaremos el valor de la demanda reactiva en la madrugada	a) Valor del áng. arcos (0.67) = 48° kVAR = KW * sen (48°) = 35 * 0.742 = 26
2- Para factor unitario (cos φ =1) determinaremos los ckVAR a conectar	ckVAR = kw[tan (48°) - tan (0°)]
3- El resultado es 30 ckVAR. En el mercado existen capacidades modulares, 10, 14, 20, 50,etc ckVAR.	ckVAR = kw (1.11- 0) = 35 * 1.11 = 39 Instalaremos dos de 20 para un total de 40 ckVAR
4- Recalcularemos el nuevo factor de potencia a la hora pico, sobre las 3.30 pm, cuando el valor graficado reportaba 0.76 inicialmente	El ángulo cuyo cos es 0.76 es 40.5° y su tangente de 0.855. tan φ 2 = [(185 * 0.855) - 40 ckVAR] / 185 = 0.638 arc tan(0.638) = 32.5° Nuevo factor de pot = cos (32.5°) = 0.84
Al instalar 40 ckVAR, se elevará el factor de potencia a la unidad durante la madrugada y a la hora pico desde 0.76 a 0.84	

Así podremos ir calculando el factor de potencia para el resto de las horas de la curva de demanda real.

La ventaja de este método de compensación central es que con una cantidad limitada de ckVAR se logra compensar toda la carga.

3- Otro método de compensación es el de conectar capacitores independientes, directamente a la fuente de la demanda reactiva.

La fuente más común de la demanda reactiva y la más importante, es el motor de inducción y a sus bornes se conectan los capacitores para compensación directa de la fuente de reactivo. Al aplicar este tipo de solución directa, debe compensarse la demanda reactiva del motor en vacío, ya que el consumo mínimo de energía reactiva se produce en vacío. De esta forma la línea de alimentación del motor nunca se hará capacitiva, evitando los sobrevoltajes.

Aumento de la capacidad con igual caída del voltaje

Cómo los condensadores instalados en el SE aumentan el voltaje de línea al reducir su caída, es común emplear la instalación de capacitores en un SE para elevar el voltaje de línea, además de corregir el factor de potencia. Estudiemos cómo es ese comportamiento.

Tanto la caída como el aumento de voltaje, tienen dos componentes vectoriales: una resistiva, en fase con la corriente, y otra inductiva, perpendicular a la corriente. La caída de voltaje es la diferencia absoluta del voltaje de entrada a la línea y el voltaje final en línea. La caída de voltaje puede expresarse mediante la relación entre los dos componentes resistivo e inductivo, según la ecuación;

$$\Delta V = I * R * \cos\phi + I * X_L * \sin\phi$$

Conocemos que $I * \cos\phi$ es proporcional a la demanda activa y que $I * \sin\phi$ a la demanda reactiva. Entonces podemos escribir:

$$\Delta V = R * kW - X_L * kVAr$$

$$ckVAr/kW = R/X_L + \tan\phi$$

Esta expresión nos dice que cantidad de ckVA capacitivo debemos instalar al circuito de alimentación por cada kW de carga que se quiere adicionar, manteniendo invariable la caída de voltaje

También se puede hallar la cantidad de ckVA capacitivo debemos instalar en el SE, cuándo queremos agregar kVA, manteniendo la carga resultante invariable. Estas relaciones consideran que la nueva carga a conectar tendrá el mismo factor de potencia que las existentes.

$$\Delta kw = kW_2 - kW_1 = kVA * \cos\phi_2 - kVA * \cos\phi_1$$

Esta expresión nos dice que cantidad de ckVA capacitivo debemos instalar al circuito de alimentación por cada kW de carga que se quiere adicionar, manteniendo invariable la demanda aparente kVA

$$ckVAr/kVA = \cos\phi_2(\tan\phi_1 - \tan\phi_2) / (\cos\phi_2 - \cos\phi_1)$$

Motor de Inducción

Es la fuente más importante de la energía reactiva en los SE. Para que el motor de inducción funciones es necesario mantener su campo magnética giratorio, aún cuando el motor esté operando en vacío sin efectuar ningún trabajo. Esto hace que el equipo se convierta en el consumidor de energía reactiva más importante de las instalaciones eléctricas. El consumo de energía de un motor de inducción depende de:

- Grado de utilización del motor
- Tamaño del equipo
- Número de polos
- Momento máximo del motor.

Grado de utilización del motor.

La demanda en kVA reactivo del motor crece a medida que el factor de demanda crece, son proporcionales, pero la relación demanda reactiva y la demanda real se hace mucho menor a plena carga. A plena carga el $\cos\phi$ es más pequeño y se entrega más potencia con un menor consumo de reactivo. Se puede comprobar que el consumo de reactivo a plena carga no es superior al 20 o 30% del consumo en vacío. Al aumentar la corriente, aumenta el flujo disperso entre los cabezales de las bobinas, hay más líneas magnéticas que se cierran a través del aire y, por tanto, aumenta algo el consumo de reactivo.

De ahí que se pueda compensar el factor de potencia de un motor para la operación en vacío, utilizando los datos de chapa del equipo, sin necesidad de realizar ningún tipo de medición. Veamos un ejemplo. Si queremos compensar un motor de 100 HP, cuyo factor de potencia de chapa es 0.88,

El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General
La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como

© Derechos Reservados Ingeniería Energética General.- 2011

info@energianow.net

necesitaremos instalar un capacitor de:

Calculamos kVAR o reactivo del motor a plena carga.

$$\arcsin(0.88) = 28,35^\circ$$

$$\sin(28,35^\circ) = 0.475$$

Calculando la demanda aparente (kVA). Llevemos los HP a kW multiplicando por 0.746 kW/HP

$$kVA = 100 * 0.746 / 0.88 = 84.78 \text{ kVA}$$

Valor de demanda reactiva (kVAR) = $84.78 * 0.475 = 40.3 \text{ kVAR}$. Esta será la demanda reactiva a plena carga.

$$\text{La relación kVAR/kW a plena carga será de } (40/74.6) * 100 = 54$$

Ahora podemos estimar la demanda reactiva del motor en vacío mediante la relación respecto a los kW. Si asumimos que en vacío el motor consumirá un 20% menos de reactivo, el indicador en vacío será $54 - 20 = 34\%$

$$kVAR \text{ en vacío} = 0.34 * kW = 0.34 * 74.6 = 25.4 \text{ kVAR}$$

El valor del condensador recomendado se encuentra entre 20 y 25 ckVA. Nos inclinamos por uno de 25 ckVA

Factor de Potencia en línea con el motor a plena carga

Continuemos con el ejemplo anterior. Conocemos por cálculo que la cantidad de reactivo que el motor consume a plena carga es de 40 kVAR. Se han conectado a los bornes del motor un condensador de 25 ckVAR. La diferencia es el reactivo que no se ha compensado = 15 ckVAR.

Ahora calcularemos la tangente del ángulo formado por la demanda reactiva a plena carga, que resta sin compensar 15 ckVAR y la demanda activa, que es 74.6 kW. La tangente de ese ángulo es de 0.21, y el arctan de 11.4° . El coseno de 11.4° es 0.98.

Así hemos elevado el factor de potencia al instalar en los terminales del motor un condensador en paralelo. Este aumento es válido en la línea desde los bornes del motor hasta la fuente de alimentación.

Otras formas de mejorar el factor de potencia de los motores de inducción.

a) Reduciendo el voltaje aplicado a sus bornes

El voltaje óptimo de utilización, es igual a la raíz cuadrada de la carga relacionada con la potencia nominal. Así un motor que desarrolla una carga activa de 1.44 kW, el voltaje óptimo debe ser $\sqrt{1.44} = 1.2 \text{ volt}$

Al reducir el voltaje se reducen las pérdidas de hierro del motor por lo que mejora su eficiencia. Los inconvenientes de reducir el voltaje es que no es fácil operacionalmente y por otra parte, reduce el momento de arranque de la máquina, de manera cuadrática.

Otra forma de reducir el voltaje es reconectar el motor de delta a estrella. Cuando se reconecta en estrella, el voltaje aplicado a cada una de las bobinas será el voltaje de línea dividido por la raíz de 3, $\sqrt{3}$. Por ejemplo un motor que opera a 440V, cuando se conecta en estrella el voltaje se reduce en los enrollados a $440 / 1.73 = 254 \text{ volt}$

c) Mediante la limitación del giro en vacío, utilizando variadores de velocidad.

El documento, marcas, logo es propiedad de su Autor e Ingeniería Energética General
La utilización de estos por parte del usuario requiere que se haga referencia a nuestra propiedad y se debe señalar en el destino como
© Derechos Reservados Ingeniería Energética General.- 2011

Transformadores

El transformador se basa en la energía que se puede transportar desde una bobina a otra mediante inducción electromagnética y por medio de un flujo variable, con un mismo circuito magnético y a la misma frecuencia.

La potencia nominal o aparente de un transformador (trafo) es la que él puede suministrar sin que se produzca el recalentamiento en régimen de trabajo.

Debido a las pérdidas que se producen en el bobinado por el efecto joule [i^2R] y en el hierro por histéresis, el transformador deberá soportar todas las pérdidas más la potencia nominal para la que ha sido proyectado.

En la práctica, en un transformador en vacío, conectado a una red eléctrica, las bobinas ofrecen una resistencia al paso de la corriente eléctrica, provocando una caída de tensión que se deberá tener en cuenta en ambos bobinados.

Las pérdidas en transformación.

Esta maquinaria eléctrica estática trabaja produciendo una determinada pérdida de energía. En un trafo se producen las siguientes pérdidas:

- 1- Pérdidas por corriente de Foucault (Pf)
- 2- Pérdidas por histéresis (PH)
- 3- Pérdidas en el cobre del bobinado (Pcu)

Las dos primeras pérdidas son las llamadas pérdidas en el hierro.

Cuándo un trafo está en vacío, la potencia que medimos con el circuito abierto es igual a la suma de la energía perdida en el circuito magnético más la pérdida de energía en el cobre de los bobinados.

Al ser nula la intensidad en el secundario, no aparece en él pérdida de energía. Por otra parte al ser muy pequeña la intensidad del primario en vacío, las pérdidas resultan mucho menor que las pérdidas durante la carga.

Las corrientes de Foucault se producen en cualquier conductor debido a las variaciones del flujo magnético y se clasifican cómo pérdidas parásitas. Las pérdidas por este concepto se calculan mediante la siguiente expresión:

$$P_f = \frac{2,2 * \text{pow}(f,2) * \text{pow}(\beta_{\text{max}},2) * \text{pow}(\Delta,2)}{\text{pow}(10,11)}$$

donde:

Pf: Pérdidas de Foucault, en W/kg de hierro

f: frecuencia en HZ

β_{max} , inducción magnética en Gauss

Δ , espesor de las láminas de hierro del núcleo, en mm.

De la fórmula anterior se deduce que el cambio de frecuencia de 50 a 60 ciclos, aumenta las pérdidas

en proporción cuadrática. Si aplicamos esta expresión a transformadores que tengan un espesor de láminas de hierro con diferentes concentraciones de Si (entre 0,5 a 4,5 %) y de espesor entre 0.5 y 0.35 mm, trabajando a 50 HZ, tenemos que para capacidades de 10 000 Gauss (1 Weber/m²) y de 15 000 Gauss (1,5 Weber/m²), las pérdidas varían entre 0.9 y 7.4 W/kg. La Tabla siguiente precisa el valor de estas pérdidas:

Nota: 1 Weber/m² = 1 Tesla

Espesor, mm	Tolerancia	Si, %	1 Tesla, W/kg	1.5 Tesla, W/kg
0,5	0,10	0,5-1	2,9	7,4
0,5	0,10	2,5	2,3	5,6
0,35	0,10	2,5	1,7	4
0,35	0,10	4,0	1,3	3,25
0,35	0,10	4,5	1,2	3
0,35	0,10	4,5	0,9	2,1

Las pérdidas por histéresis dependen esencialmente del tipo de material, y en menor grado de la frecuencia, pues esta siempre se mantiene constante o con pocas variaciones en un mismo SE. La expresión para calcularlas es mediante:

$$PH = kh * f * \text{pow}(\beta_{\text{max}}, n)$$

donde:

kh: coeficiente de cada material que oscila entre 0.0015 a 0.003.

f: frecuencia, en HZ

β_{max} : Inducción máx. en Tesla.

n: el exponente es de 1,6 para $\beta_{\text{max}} < 1$ Tesla y de 2 para $\beta_{\text{max}} > 1$ Tesla

Las pérdidas del hierro se pueden determinar midiendo la potencia o consumo de energía cuándo el transformador está en vacío. El análisis en vacío proporciona, a través de las medidas de tensión, corriente y potencia en el bobinado primario, los valores directos de las pérdidas del hierro, y deja abierto el bobinado del secundario. Los principales indicadores a determinar:

Las pérdidas de hierro que son iguales a las que marca el watímetro.

La intensidad en vacío del primario, reportada por el amperímetro.

En un análisis realizado en Argentina, año 2007, se llegaron a determinar que las pérdidas en trafo estaban alrededor del 2,4 % del valor de la energía vendida. De 64 806 GWh vendidos en ese año, se perdieron 1 550 GWh, considerando un factor de carga de más del 60% para el SEN.

En un SEN que el factor de carga sea menor, las pérdidas serían superiores. Por ejemplo una fábrica que tenga instalado un banco de trafo de 10 MVA y en el momento actual por reducción productiva sólo requiere de 4 o 5 MVA, las pérdidas del trafo estarán en función de la capacidad en vacío para el bobinado primario que se corresponde con 10 MVA. Midiendo su potencia en vacío se puede encontrar que sus pérdidas estarán entre 2 y 3 %. Pero, llevando esas pérdidas a la capacidad real actual, se duplicarán.

Otro aspecto que no podemos dejar a un lado, es que el transformador es un consumidor de energía reactiva inductiva y en la medida que su capacidad es mayor, mayor es la energía reactiva que demanda y esto afecta con fuerza el factor de potencia del SE.

Un trafo de 2 MVA en vacío demanda unos 80 kVAr, y a plena carga, alrededor de 100 kVAr. Si subutilizamos su capacidad, además de aumentar el índice de pérdidas por kVA empleado, cargaremos con reactivo el sistema innecesariamente, lo que a su vez es más pérdidas en línea.

Es por eso que las capacidades ociosas de transformadores generan un indicador de pérdidas muy superior respecto a las condiciones nominales de operación.

El analizador de redes eléctricas

Los analizadores de redes tal y como sus identificaciones transmiten, realizan los análisis de calidad de la potencia del sistema eléctrico donde se conectan.

Poseen una CPU que contiene funciones de análisis de circuitos y herramientas avanzadas de software de análisis incluidas. A la vez que tienen posibilidades de ser conectados a una red interna (Ethernet Interno / Web Ready) para transmitir información, muestran resultados a través de una pantalla digital. El Dispositivo es ideal para realizar monitoreo de carga, bancos de transformación, análisis y auditorías de variables eléctricas y de calidad de potencia en interiores o exteriores. El analizador de redes por lo general está inmerso en su propio embalaje de transporte y emplea conectores especiales de intemperie, para la conexión de puntas de voltaje y corriente.

Estos instrumentos miden todos los aspectos de potencia y provee herramientas extensivas para la grabación de tendencias y eventos de calidad de energía. Es normal que estos equipos ofrezcan salidas de grabación, incluyendo el análisis de Voltaje, Fallas de Corriente, Armónicos e Inter Armónicos, Grabación Gráfica de Formas de Onda, Eventos Transitorios en Base Ciclo a Ciclo. A la vez facilitan que se visualice la información con algún Software Avanzado.

El analizador tiene grabación de datos extensiva a bordo para cualquier análisis histórico deseado. Los más corrientes monitorean los parámetros siguientes, sobre cualquier intervalo de registro seleccionado:

- a) Voltajes
- b) Distorsión de Corriente
- c) Factor de Potencia
- d) Watt/VAR/VA
- e) Frecuencia
- f) Energía Acumulada

Algunos cuentan con modos de alarma para alerta cuándo los parámetros del sistema analizado sobrepasan ciertos límites.

Aplicaciones

Medición en empresas eléctricas, en industrias consumidoras, en centros comerciales y edificios.

Medición comercial Sub estaciones

Medición industrial Generación

Medición en campus

Sub medición

Reemplazo de medición análoga

La dotación de estos equipos cuentan con un parque de pinzas amperimétricas para mediciones en diferentes rangos:

- pinza tipo clamp o con Terminales tipo Banana, de 1 a 2 metros (Rango 10-100A, a 600V)
- idem con Rango 100-1000A, a 600V
- idem con Rango 1000-3000A, a 600V

Bibliografía empleada

Analizador de redes eléctricas NEXUS 1272. <http://www.amperis.com/images/analizadores-redes-eléctricas/analizador-redes-eléctricas-nexus-1272-g.jpg>

Analizador de redes eléctricas NEXUS 1272. PDA-1252 <http://www.amperis.com/images/analizadores-redes-eléctricas/analizador-redes-eléctricas-pda-1252-g.jpg>

Pérdidas técnicas de Transformadores de Distribución. MR consultores. International Copper Association, Ltda. Abril 2008

Manual de Motores Eléctricos. Web catálogo 511,11/1089 PE
Electric Machinery. A.E. Fitzgerald.1970



Sobre el Autor: René Ruano Domínguez tiene más de 35 años de experiencia en actuaciones en sistemas y equipos energéticos, tanto en los que utilizan energía fósil como fuentes renovables. Se inició como operador, posteriormente tecnólogo y Gerente Técnico en la Industria de Conversión y Refinación de los Combustibles. Ha sido fundador y Gerente Técnico de varios Equipos de Ingeniería Energética dirigidos al Proyecto, Montaje y los Servicios Técnicos en los Sistemas de Calor y Frío, abarcando la generación, distribución y uso del vapor y el agua caliente en mediana y pequeñas instalaciones, hasta 10 bar de presión; y en los sistemas de Frío las bajas temperaturas (refrigeración y producción de hielo industrial), medianas temperaturas (conservación) y altas temperaturas (Aire Acondicionado) para instalaciones industriales y comerciales. Ha realizado múltiples actuaciones en proyectos, ejecución y servicios de Ingeniería Energética General.