

# MEDICIONES Y MONITOREO DE DESCARGAS PARCIALES EN MAQUINAS ROTANTES

## Otros Conceptos Claves – Similitud entre cables y maquinas rotantes

### Resumen:

Más allá de las experiencias en laboratorios, durante los ensayos de Descargas Parciales, y hablando en términos y propiedades de las altas frecuencias, una máquina rotante actúa como una red altamente compleja, y la desigualdad de sus impedancias, y otros efectos, dificultan su medición bajo distintas bandas de frecuencias.

Dado que un sistema de aislación epoxi-mica, tolera suficientemente las DP, la actividad de las mismas, a menudo sirve como un indicador para otros mecanismos de defectos, como por ejemplo: mecánicos, térmicos, o de influencia ambiental.



### INTRODUCCION

La actividad de las DP, es el indicador más destacado para evaluar el deterioro de la aislación. Con las máquinas rotantes, el uso de las técnicas de medición de DP fue incrementándose a partir de 1960, debido al progreso en el procesamiento de las señales obtenidas, las nuevas técnicas de medición, y a los instrumentos más poderosos que se volvieron disponibles durante la última década.

### PROPIEDADES DE LA SEÑAL

#### CAPTAR LA MAYOR INFORMACION

Una medición de DP en una gran máquina eléctrica, no es un tema tan sencillo, dado que los impulsos de DP son fuertemente distorsionados mientras viajan a través del bobinado, hasta que un mecanismo de acoplamiento los capture. En su origen, los impulsos de DP son simples pulsos abruptos, en tanto que el tiempo de subida del impulso es principalmente determinado por las propiedades del gas que llena la cavidad, delaminación, o grieta en donde ocurren las descargas. En caso de que el aire esté llenando esa cavidad, su componente dominante de nitrógeno, causará un aumento de pocos nanosegundos en la avalancha de electrones. Por lo tanto, en su origen, el espectro de amplitud de la señal de DP estará distribuido uniformemente desde cero, hasta varios cientos de MHz.

### Funcionamiento en Altas Frecuencias

Sin embargo, un bobinado estático, no es un buen conductor de altas frecuencias. Para estudiar aún más el funcionamiento en altas frecuencias de un estator, es útil considerar tal bobinado como una red de secciones de cables, y de conductores con diferentes propiedades. Dentro del slot, una resistencia del stator puede ser considerada como un "pobre" cable coaxial. Un cable de alta frecuencia es caracterizado por su impedancia, y su atenuación, es siempre una función de la frecuencia.

La diferencia entre la dimensión del conductor y el grosor de la aislación, así como la constante dieléctrica de la aislación, determina la impedancia del cable. Como resistencia simple, la impedancia se encuentra en un rango por debajo de los  $10\Omega$ , hasta por encima de los  $20\Omega$ , mientras que las máquinas con menor tensión, muestran siempre una impedancia aún menor.

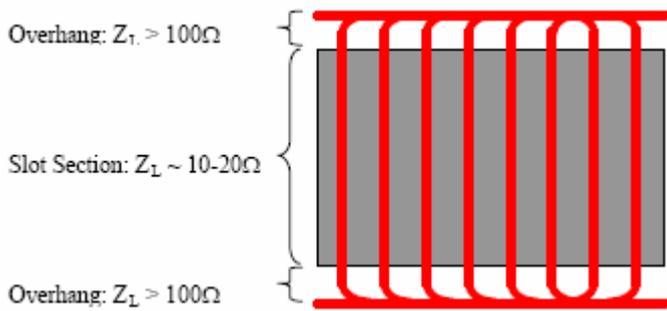
El diseño del conductor (bobinado), y especialmente las propiedades de las capas semi-conductoras, determinan la atenuación de las señales a captar, lo cual es el segundo parámetro importante.

Mediante el conductor, los encintados aislados, incrementan la atenuación por las altas frecuencias, mientras las capas semi-conductoras, actuando como la denominada "protección corona", introducen una dispersión, lo cual añade una atenuación mucho más fuerte.



La frecuencia resultante depende del grosor y conductividad de la capa semi-conductora. Esta operación es similar a la aplicada para obtener cables de potencia extruídos (aplicación de una o más capas de polímeros termofundidos aislantes o semiconductores).

Dejando de lado la resistencia del *slot stator*, el conductor puede considerarse como un conductor individual, con un potencial contra tierra, lo cual ofrece una impedancia por encima de los  $100\Omega$ . La figura 1 ofrece un panorama de las diferentes secciones.



Manipular el funcionamiento en alta frecuencia de un equipo de parámetros distribuidos, tal como un

bobinado estático con cables seccionados, se torna relevante cuando las dimensiones de estos seccionados, están al menos en función de la magnitud de la sintonía de interés (1). De este modo, con un slot section de 5m de longitud y  $\epsilon = 4$ , por ejemplo, el modelo se torna relevante solo para frecuencias superiores a los 3MHz.

$$\lambda = c / 2\pi f \quad (1)$$

Donde:  $\lambda$  es la sintonía,  $c$  es la velocidad de fase con  $c = c_0 / \sqrt{\epsilon_r}$ , y  $f$  es la frecuencia.

En caso de una variación de la impedancia del cable, los impulsos, que viajan a lo largo del mismo, se encuentran con una fuerte reflexión, Un factor de reflexión positivo (2), es descubierto con un incremento de la impedancia del cable.

$$r = (Z_2 - Z_1) / (Z_2 + Z_1)$$

Donde:  $r$  es el factor de reflexión,  $Z_1$  es la impedancia del cable anterior, y  $Z_2$  es la impedancia del cable posterior al cambio.

**Por lo tanto, en un turbogenerador de mediano porte, y para frecuencias por encima de los 20MHz, más del 80% de las señales que viajan desde el slot section, hacia el overhang, serán reflejadas, y quedarán atrapadas dentro de ese slot section, y no llegarán al sistema de medición!!**

De la misma manera, se ha encontrado el mismo efecto, pero con un factor de reflexión negativo, cuando la señal busca entrar al slot section (etapa de calibración)

Las mediciones de campo de varias clases de generadores, verificaron utilizando un analizador de espectros, una fuerte atenuación en las frecuencias superiores a los 40MHz [4].

Por lo tanto, las técnicas de medición de banda ultra ancha (UWB). no resultan adecuadas para analizar el estado de un bobinado estático completo, en las bandas VHF y UHF superiores.

Sin embargo, utilizando técnicas del tipo near-field (antenas), esas frecuencias ofrecen excelentes medios para ubicar puntos particulares de actividad de D.P.

### Funcionamiento en Bajas Frecuencias

Los ensayos en varias máquinas rotantes, han mostrado que el bobinado estático es relativamente transparente para las frecuencias de 40kHz e inferiores.

La ecuación (1) demuestra que el bobinado de una máquina rotante, es relativamente pequeño si se lo compara con la longitud de ondas de esas frecuencias, y por consiguiente, las reflexiones de la señal no son relevantes para esta baja banda de frecuencia.

Más aún, la atenuación es baja, y el efecto de dispersión introducido por las capas semiconductoras no afectará por lo tanto a las frecuencias por debajo de un par de MHz

Sin embargo, eligiendo un ancho de banda, llevado a frecuencias más bajas, otras propiedades de la señal dificultarían la adquisición de los impulsos de carga /DP.

Luego de traspasar el filtro de banda pasante, normalmente, el ancho de banda de los impulsos de descargas, muestran un tiempo de subida reducido (*rise time*), que está correlacionado con la frecuencia de corte superior (*upper cut-off frequency*), mientras la frecuencia de corte inferior (*lower cut-off frequency*), determina el entorno de amortiguación del tamaño de los pulsos, así como ambas frecuencias de esquina (*corner frequencies*), filtran las de mayor orden. (se define el *corner frequency*, como la frecuencia en donde la potencia de señal de entrada caerá por debajo de un factor de 2).

De este modo, la frecuencia de corte inferior, limitan el máximo intervalo de repetición de impulsos consecutivos, los cuales pueden ser correctamente procesados, sin la distorsión de amplitud que produciría el llamado efecto *pulse pile-up* (apilado - cuando los pulsos arriban muy próximos en el tiempo, más allá de la rapidez del tiempo de resolución del sistema ).

La Fig. 2 ilustra el efecto del *pulse pile-up*. En este caso, el segundo impulso cae dentro del periodo de amortiguación del primero. En consecuencia, la amplitud del segundo impulso es adquirida en forma incorrecta, ya que contiene el pico de su amplitud, más (o menos) la amplitud residual del impulso previo.

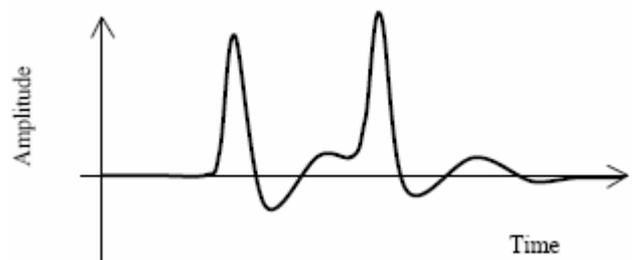


Figura 2- Conformación del impulso. El segundo impulso cae en el entorno de amortiguación del primero.

El sistema de aislamiento epoxi-mica de una máquina rotante, térmicamente envejecido, produce altos intervalos de repetición de impulsos de descargas, originados por huecos (*voids*), o áreas delaminadas.

La mayoría de las veces, los intervalos de repeticiones de 20,000 a 100,000 impulsos por segundo, se encuentran en maquinas rotantes con aislaciones epoximica envejecidas.

Por consiguiente, para evitar una adquisición errónea de la amplitud del pico del impulso, y su factor de carga, es necesario establecer una menor frecuencia de corte (*cut-off frequency*) del orden de los 100kHz o superior.

**VISUALIZACION**

La visualización de la actividad de DP adquirida, es uno de los aspectos más importantes para ayudar al operador a analizar la actividad de descarga, y para calcular su riesgo.

El display del osciloscopio tradicional de laboratorio (Fig.3), ofrece comúnmente alguna información sobre la posición de la fase, pero no revela la estructura interna (patrón) de DP, ni tampoco el índice de la actividad de descarga.

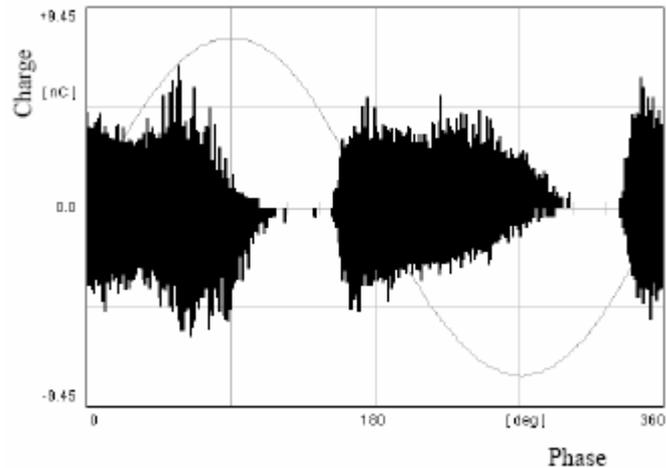


Figura 3- Display de osciloscopio. Los impulsos de DP adquiridos son almacenados como líneas verticales de acuerdo a su polaridad, amplitud y posición de la fase.

Otra manera tradicional de presentar la actividad de descarga, es mostrando el índice contra la amplitud (de carga o de tensión), como se muestra en la Fig. 4.

Este gráfico ofrece información concerniente a la configuración del electrodo, pero por supuesto, carece de información sobre la fase.

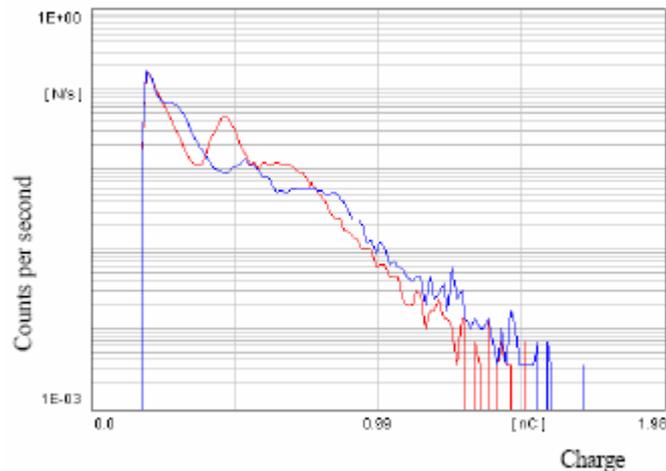


Figura 4-Count rate distribution. La curva roja (azul) muestra la distribución de los puntos positivos (negativos) Vs. la carga.

El patrón de DP, o patrón  $\phi-q-n$ , (fase resuelta), ofrece la distribución de los puntos en función de la fase y la carga. Este gráfico tridimensional, puede visualizarse como un gráfico bidimensional con los puntos- del eje z- codificados con color (Fig. 5).

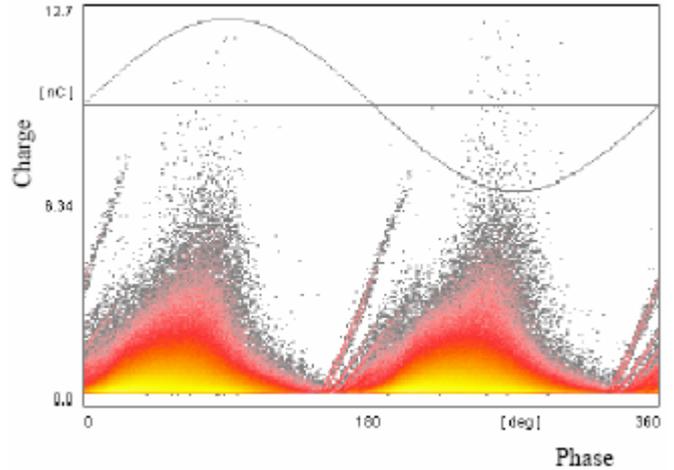


Figura 5- Descargas superficiales y huecos (voids) en un bobinado de motor nuevo. Los puntos son codificados con color, con una intensidad de 16Bits. La fase y la amplitud son de 8Bits de ancho cada una. Para dar la orientación de la fase, se expone una onda sinusoidal congelada.

Alternativamente, el patrón  $\phi-q-n$  puede ser expuesto como un gráfico tridimensional (Fig.6). Sin embargo, introducir aquí distintas vistas del mismo patrón  $\phi-q-n$ , es más confuso que útil para su análisis.

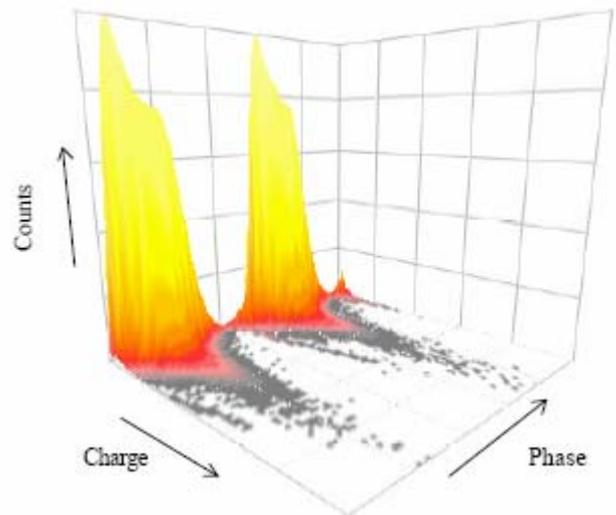


Figura 6- Patrón  $\phi-q-n$  como gráfico tridimensional.

Por lo tanto, se insiste en que la resolución del patrón visualizado de DP, es el parámetro esencial para permitir que el sistema pueda mostrar detalles relevantes de la actividad de DP.

## MONITOREO DE DP – BUSQUEDA DE TENDENCIAS

Como el sistema de aislación epoxi-mica tolera suficientemente la actividad de DP, la actividad de descarga a menudo puede tomarse como un indicador para otros mecanismos de defectos, tales como la degradación térmica o mecánica (vibración, delaminación, etc.).

De este modo, el énfasis es puesto principalmente en la "tendencia" de la degradación, mediante la instalación de dispositivos de monitoreo continuo de la máquina. El dispositivo de monitoreo, debe ofrecer además un acceso remoto para evitar problemas en el viaje, y para permitir un diagnóstico remoto en caso de que una alarma programada haya sido activada.

Preferentemente, los capacitores de acoplamiento son utilizados para acoplar la actividad de las DP. Para simplificar la instalación, dichos *couplers* generalmente son instalados en las terminales de la máquina.



De manera alternativa, pueden ser utilizados los capacitores de acoplamiento instalados previamente. Además, los transformadores HF y las bobinas Rogowski, pueden ser utilizados también con un fin de acoplamiento.

En el caso de motores que son alimentados por cables de media tensión, el uso de bobinas Rogowski es ventajoso, ya que la impedancia del cable de alrededor de  $20\Omega$ , sirve como una excelente terminación, para las corrientes de altas frecuencias, que son tomadas por las bobinas Rogowski.

Tecnológicamente, un monitor de DP, se compone de una unidad de adquisición, una unidad de módem opcional, y la caja de terminación (*coupler termination box*), todos ellos usualmente preinstaladas en un gabinete de metal, para simplificar la instalación in situ.

Un cable coaxial tipo RG58 estándar, es utilizado para conectar los tres *couplers* instalados en barras, con los terminales del monitor.

El largo del cable coaxial es irrelevante. Los cables RG58 pueden ser utilizados para una distancia de hasta 100m. (desde el generador hasta la sala de comando).



La mayoría de las veces, el instrumento es equipado con un amplificador de pre-procesamiento de banda ancha, que module la energía de la señal hallada en una banda de frecuencia de entre 2 y 20MHz. Esto es de acuerdo a las conclusiones de la aplicabilidad de diferentes bandas de frecuencias para el monitoreo on-line, como se ha mencionado anteriormente.

En parte, para ambientes tranquilos, se utiliza un acoplamiento directo en la banda de frecuencia de entre 100 y 800kHz.

Adicionalmente, un programa de PC es provisto para analizar las actividades registradas de descargas, almacenadas en la unidad de adquisición.

Siguiendo un esquema programado, este programa se contacta con el monitor, mediante el módem análogo, o mediante una interfase TCP/IP. De este modo, una PC central puede cuidar una multitud de unidades de adquisición.

## CONCLUSIONES:

Las señales de DP de altas frecuencias, que ofrecen un amplio espectro en su origen, son atenuadas severamente mientras viajan por el bobinado de una máquina rotante.

Modelar el funcionamiento de alta frecuencia de cada bobinado con secciones de cables de diferentes propiedades, ayuda a comprender el funcionamiento en alta frecuencia de un bobinado de una máquina rotante.

El patrón  $\varphi$ - $q$ - $n$ , con los puntos visualizados codificados a color, contra la amplitud de la fase y de la carga, se utilizan para realizar un análisis más profundo de la actividad de DP, siempre y cuando se mantenga una resolución mínima de fase y amplitud.

FUENTE: **INDUCOR INGENIERIA S.A.**

ELECTRICAL TESTING GROUP  
Latin American Sales & Applications  
[www.inducor.com.ar](http://www.inducor.com.ar)