

DIAGNOSTICO Y MONITOREO DE DESCARGAS PARCIALES EN GENERADORES Y MOTORES

Detlev W. Gross and Markus Söller
Power Diagnostix Systems GmbH



Partner: Inducor Ingeniería S. A. - Buenos Aires Argentina - www.inducor.com.ar

Resumen

El sistema tradicional de aislación de epoxi-mica de las máquinas rotantes, es un sistema de aislación clasificado como del tipo "tolerante". Por consiguiente, la actividad de las descargas parciales, se utiliza con frecuencia como un indicador para otros mecanismos de defectos, tales como el mecánico térmico o de influencia ambiental. Los distintos patrones de DP y sus correspondientes mecanismos de defectos, son puestos en debate en el presente escrito. El bobinado de una máquina rotante es una red compleja y no un componente más. Por lo tanto, las posibilidades y las limitaciones de una calibración eficiente, deben ser consideradas en relación a la carga. El monitoreo on-line continuo de la actividad de las DP ayuda a localizar la degradación del sistema de aislación.

1 Introducción

El uso de las mediciones de descargas parciales (DP), para evaluar el estado de la aislación de las máquinas rotantes, se ha incrementado desde 1960. Con el progreso de las técnicas de medición de las décadas anteriores, los instrumentos modulares se hicieron comercialmente disponibles para adaptarse a las demandas de las mediciones on line de DP in situ. Paralelamente, el conocimiento y la comprensión de la física de la descarga gaseosa, y el control de su actividad, tuvieron un fuerte incremento.

2 Patrón de Descargas Parciales Propiedades y Análisis

Normalmente, los impulsos de las descargas parciales son capturados mediante el uso de capacitores de acoplamiento. De manera alternativa, los transformadores de alta frecuencia y, las bobinas Rogowski, son aplicables en su mayoría sobre grandes motores. En las máquinas rotantes, frecuentemente los capacitores de acoplamiento son instalados en las terminales de la máquina, o cerca de las mismas.

De acuerdo a las diferentes propiedades de los detectores de DP, se ha utilizado una variedad de displays y gráficos de la actividad de DP [3]. Durante la década pasada, se hizo popular el patrón φ - q - n , o patrón de las DP "en fase resuelta".

Con el patrón φ - q - n , cada impulso de DP es computado de acuerdo a su ángulo de fase detectado, y a su máxima amplitud adquirida. De este modo, puede ser visualizada una distribución tridimensional de amplitud-fase-número de repeticiones. Entre las diferentes representaciones gráficas posibles para dicha información, el gráfico tridimensional con el número de repeticiones de DP, codificado con colores, y visualizado contra la fase y la amplitud, es el más utilizado. La Fig. 1 muestra dicho patrón de DP con la frecuencia de repeticiones codificada con color.

Aquí, la resolución en los ejes de la fase y de la carga es de 256 cada una, mientras que la profundidad de las repeticiones es de 16 Bits (65.536).

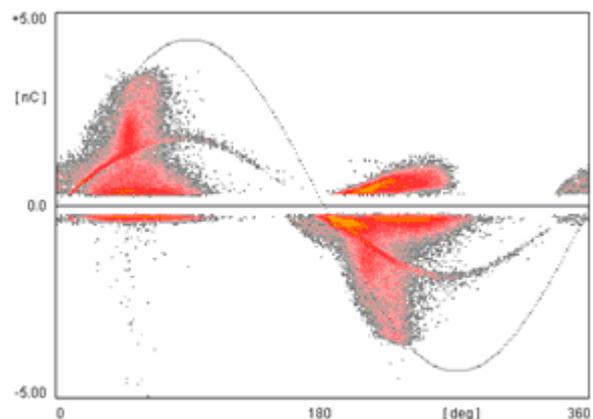


Fig. 1 Patrón φ - q - n con repeticiones de DP codificadas con color, contra la amplitud máxima del impulso y el ángulo de la fase.

Una resolución adecuada del patrón, es esencial para identificar los tipos de defectos. Alternativamente, es posible una visualización tridimensional real del patrón de las DP. Sin embargo, se descubrió que la infinidad de visualizaciones puestas sobre el mismo patrón, confunde más de lo que ayuda en el análisis. La Fig.2 muestra un ejemplo de dicha proyección 3D.

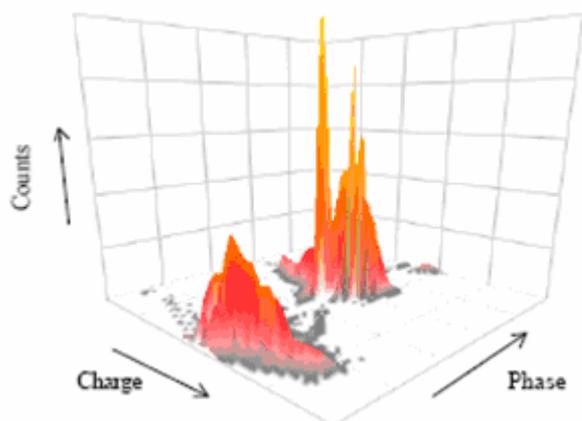


Fig. 2 Proyección 3D del patrón φ - q - n .

2.1 Mediciones Off-line vs. Mediciones On-line

Las mediciones de DP pueden realizarse en forma off-line, o bien on-line. Con las mediciones off-line, la máquina es desconectada de la red, la conexión de neutro es abierta, y el bobinado es energizado utilizando un transformador. En este caso, cada fase puede ser evaluada individualmente. Mientras la tensión pueda controlarse libremente, es muy posible determinar las tensiones de ignición/extinción para cada diferente actividad de descarga. Sin embargo, con los ensayos off-line, el bobinado no es probado bajo las condiciones normales de funcionamiento. En primer lugar, mientras el bobinado entero es energizado, las secciones del bobinado cercanas al neutro son expuestas a la máxima tensión. En segundo lugar, los ensayos off-line no muestran los efectos térmicos y mecánicos de la corriente de la carga.

Con los ensayos de DP on-line, la máquina es conectada a la red. De este modo, pueden ser estudiadas por ejemplo, la dependencia de corriente de la actividad de descarga, o la influencia de de las vibraciones. Sin embargo, las mediciones on-line requieren capacitores de acoplamiento previamente instalados.

Ambas mediciones tienen sus ventajas y desventajas respectivamente. A su vez, las mediciones de DP off-line no pueden reemplazar completamente a las mediciones on-line, ni viceversa.

2.2 Actividad de DP de Máquinas Rotantes

El sistema de aislación de epoxi-mica es un sistema "tolerante". Es decir, la aislación compuesta por las barreras de mica, está diseñada para resistir en forma segura, una actividad prolongada de DP.

De este modo, la actividad de las DP a menudo puede ser utilizada como un indicador para otros mecanismos de defectos y/o procesos, que degradan el sistema de aislación. Dichos procesos pueden ser de origen térmico, mecánico o ambiental. Por ejemplo, la contaminación del "overhang" con suciedad conductora, y que invalida el control de campo eléctrico que ofrece la pintura semiconductor en el tramo final, es uno de los denominados "procesos ambientales de degradación".

El proceso de envejecimiento normal de la aislación de mica impregnada de resina, crea una gran cantidad de pequeñas áreas con capas de mica (o láminas de mica) delaminadas. El ciclo de carga térmico causa este típico proceso de delaminación. Normalmente, esta delaminación toma lugar principalmente dentro de la aislación.

La Fig. 3 muestra un patrón de descarga de un sistema de aislación de mica impregnada, térmicamente envejecido. En este caso, la medición fue tomada off-line en una máquina antigua con impregnación de laca. Generalmente, el mecanismo de defecto es similar, a pesar de la impregnación de resina.

Sin embargo, la tolerancia frente al sobrecalentamiento local, es diferente para la impregnación de epoxi, poliéster, laca o impregnación de asfalto. El patrón muestra la típica forma triangular con su máximo cercano al cruce por cero de la tensión. Más aún, el patrón de DP exhibido junto a la Fig. 3 es simétrico, es

decir, que el patrón del ciclo positivo, es muy similar al patrón del ciclo negativo.

Esto indica que la actividad de las DP ocurre en la aislación y no en el conductor ni en la ground wall.

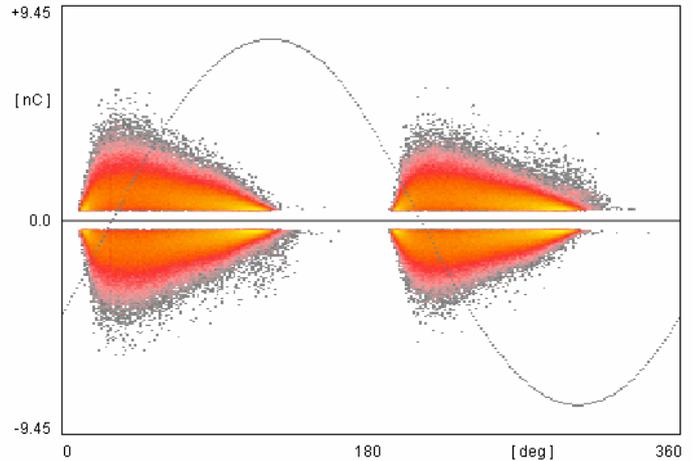


Fig. 3 Patrón de DP simétrico de una aislación de mica térmicamente envejecida.

La holgura de las cuñas "wedges", que mantienen a las bobinas en el slot, causa vibraciones en las bobinas, erosionando la protección anti corona externa, en el área de las ranuras "slot".

Las denominadas descargas del slot, que conforman un patrón típico de DP, indican este proceso. En un estado inicial, el ajuste de los wedges o un reemplazo, puede parar este proceso de degradación. La Fig. 4 muestra un patrón de descargas en los slots (on-line).

Aquí, la configuración del electrodo es asimétrica, es decir, la descarga ocurre entre la superficie de la aislación y la pared metálica (a tierra). Por lo tanto, el patrón de DP es también asimétrico y muestra el predominio típico de la actividad, durante el semi-ciclo negativo.

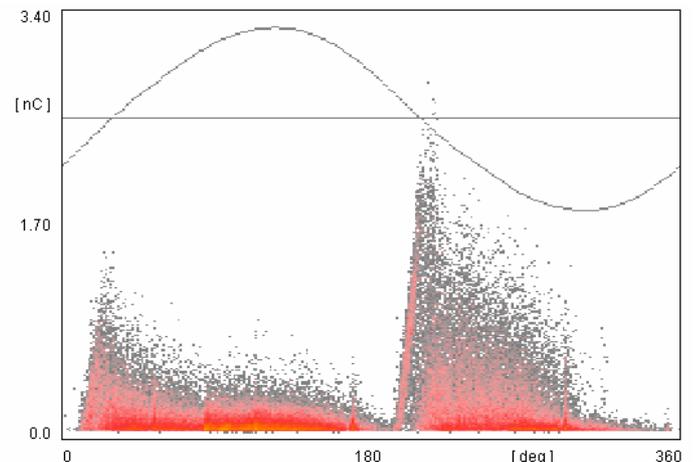


Fig. 4 Patrón asimétrico: Descargas en las ranuras (slot discharge) en un hidro-generador (on-line).

Con frecuencia, las actividades de descargas originadas en diferentes sitios, o causada por diferentes defectos, están superpuestas. Se requiere un operador entrenado para diferenciar los distintos tipos, y para calcular su riesgo potencial para la integridad de la máquina.

La Fig. 5 muestra un patrón de DP (off-line), de una turbina de un generador aislada por epoxi-mica. La medición muestra- tal como en la Fig.3- la actividad típica de una aislación térmicamente envejecida. Sin embargo, el origen de la actividad de descarga superficial se presente en el *overhang*. Usualmente, este patrón tiene una forma triangular, pero con su actividad máxima más centrada hacia el máximo de la U de fase.

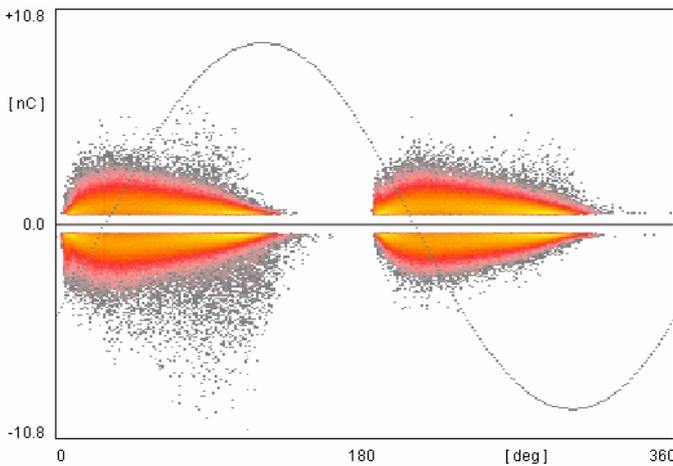
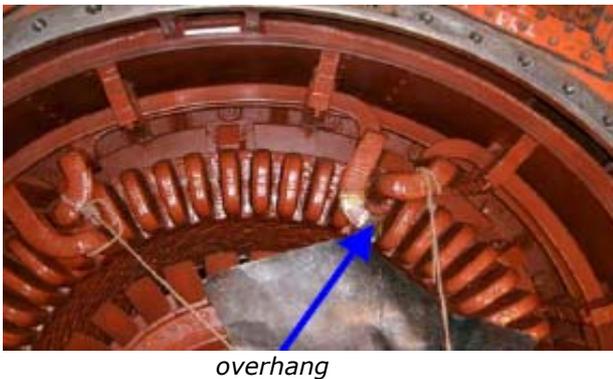


Fig. 5 Descarga interna, superpuesta con descargas en el *overhang* (off-line).



La figura 6 muestra una actividad de descarga en la superficie. Aquí, la medición fue realizada en forma off-line, sobre una bobina de motor, con una tensión superior a la nominal.

Generalmente en los bobinados de los motores, una fuerte descarga en la superficie, ocurre al final del tramo, en la salida de la ranura (*slot*). Además, la medición muestra los trazos restantes del patrón de descarga, de varias inclusiones de gas en el bobinado.

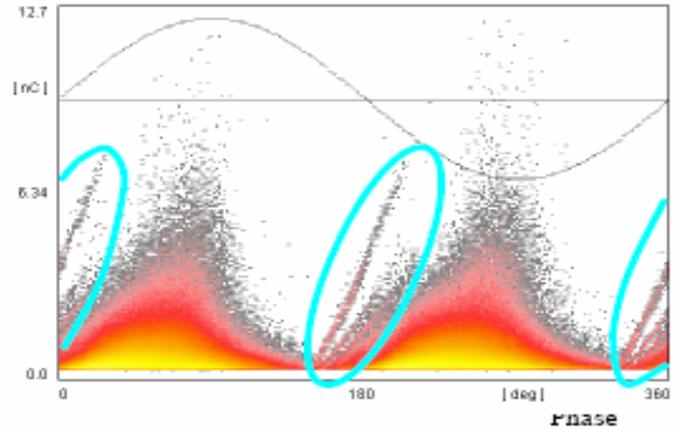


Fig. 6 Descarga en la superficie superpuesta con descargas de varios voids. (Color celeste).

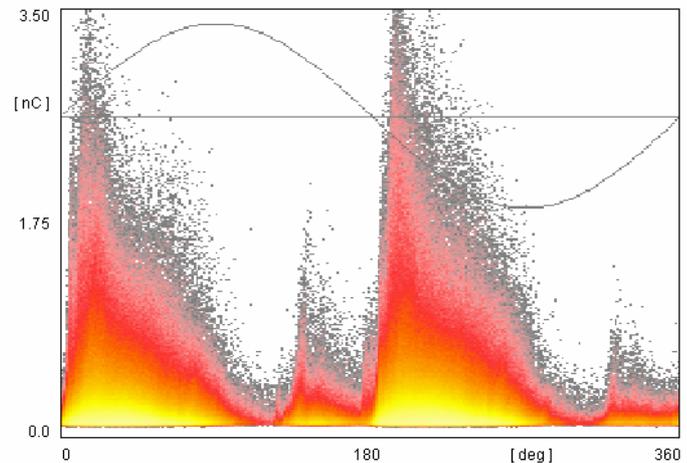


Fig. 7 Hidrogenerador envejecido térmicamente. Actividad acoplada con la de otra fase (on-line).

El patrón $\phi-q-n$ de la Fig. 7 muestra la actividad que fue capturada on-line, en un hidro-generador. En general, esas máquinas están térmicamente envejecidas debido a un frecuente ciclo de carga, lo cual provoca que las capas de mica se delaminen. A menudo, las vibraciones durante los frecuentes procesos de inicio y parada de la máquina, deterioran el bobinado. La Fig. 7 muestra la actividad luego de la puesta en marcha de la máquina, antes de que la expansión térmica de los bobinados, hagan que se auto ajusten en el interior de las ranuras, disminuyendo así su actividad. Más aún, puede observarse el acoplamiento de una actividad similar, proveniente de otra fase.

3 Calibración

El bobinado de una máquina rotante, es una red compleja y no un componente más. Por lo tanto, la atenuación, el tiempo de viaje, y las reflexiones de los impulsos de las DP con el bobinado, deben ser tomados en cuenta.

Ejemplificar un bobinado estático con secciones diferentes de cables y conductores con diferentes impedancias y atenuaciones, ayudará a entender el funcionamiento en altas frecuencias de un bobinado. La calibración, en cuanto a la carga, requiere una integración directa o indirecta del impulso capturado.

Usualmente, esto es llevado a cabo con la denominada cuasi-integración en un filtro pasa bajo. Un efecto comparable es logrado utilizando técnicas moduladoras con un filtrado apropiado.

La calibración de un detector de DP, en una máquina rotante, utilizando un calibrador de impulso de carga, limita la influencia de las propiedades de la máquina y de la instalación, en los resultados de las mediciones, y ayuda a comparar los resultados tomados en las otras máquinas. Sin embargo, dicha calibración seguramente no sea tan precisa como una de laboratorio, en un objeto de tamaño limitado, y por consiguiente, será considerada como la determinación del orden de la magnitud.

Generalmente, la información más importante, se encuentra mediante la identificación del patrón de las DP y luego, con la tendencia de la condición evaluada.

4 Monitoreo de Descargas Parciales

Cuanto antes sea establecida la actividad de las DP en un sistema de aislación de mica impregnada en resina, no sólo señalará los problemas de aislación eléctrica, sino que también ayudará a identificar otros problemas del sistema de aislación, como por ejemplo el recalentamiento. Por lo tanto, el monitoreo de la actividad de DP, es una herramienta valiosa para mantener el buen funcionamiento del sistema de aislación. La necesaria instalación de capacitores de acoplamiento (*couplers*), que en su gran mayoría son instalados en, o cerca de, los terminales de la máquina, requiere de un corte (des-energizado) de la unidad. Este corte debe ser utilizado para realizar un ensayo profundo off-line, junto con una inspección visual y pruebas adicionales off-line, como por ejemplo el factor potencia ($\tan \delta$), o espectrometría dieléctrica.

El dispositivo de monitoreo de DP, es instalado con la reactivación de la máquina. La Fig. 8 muestra la unidad de adquisición ICM Monitor, en un gabinete metálico, junto con la unidad de módem opcional, la caja de terminación (conexión) de los couplers (coupler termination box), y un transformador de alta frecuencia para captura y filtrado de las señales de interferencias.



Fig. 8 Unidad de adquisición ICM monitor, instalada en un Gabinete, con un módem opcional, caja de terminación/conexión de couplers, y un HF-CT.

El instrumento es diseñado como una unidad independiente, que continuamente adquiere y calcula la actividad de descarga de todas las fases. Las curvas de la actividad son mantenidas en el display del sistema.

Una alarma es activada en el caso de que la actividad alcance el umbral de una alarma pre-programada. Alternativamente, la unidad puede ser configurada para mandar una llamada de alarma a una computadora remota, o a un teléfono celular.

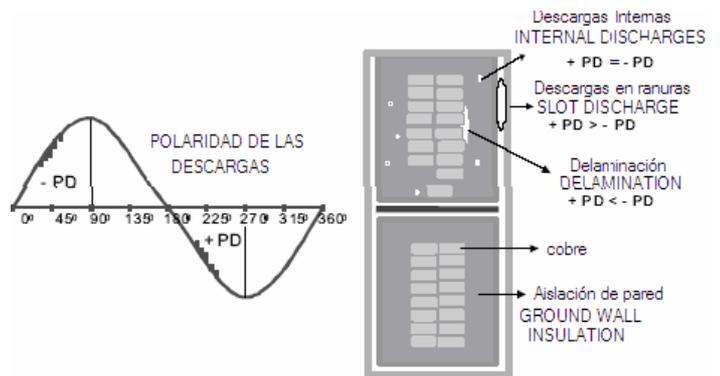
Adicionalmente, un programa de PC puede contactar automáticamente una multitud de unidades de adquisición, basado en un programa, y utilizando las características remotas vía módem. Este programa de PC mantiene, la información de la actividad así como los patrones de DP de fase resuelta para cada máquina. Más aún, el software del ICM monitor, permite repasar el historial de la actividad de las DP. También es posible acceder a la información del funcionamiento, como por ejemplo condiciones de la carga, temperaturas, y presión de hidrógeno.

Desde 1995, alrededor de 70 sistemas de monitoreo de DP que utilizan el ICM Monitor, y han sido instalados en máquinas rotantes en todo el mundo.

5 Conclusión

El análisis de la actividad de las DP en máquinas rotantes, no sólo muestra la degradación eléctrica, sino que también ayuda a identificar otros problemas del bobinado, como por ejemplo, los que son causados por vibración, sobrecalentamiento, o por contaminación.

El monitoreo on-line continuo de la actividad de las DP, ayuda a hacer un seguimiento de la degradación del sistema de aislación.



FUENTE: INDUCOR INGENIERIA S.A.

ELECTRICAL TESTING GROUP
 H.V. PARTIAL DISCHARGE
 Power Diagnostix Systems GmbH
 Latin American Sales & Applications
www.inducor.com.ar