

Descargas Parciales en Generadores de Gran Porte

Jorge A. Zarate Armando Ortiz

Itaipu Binacional

Paraguay

RESUMEN

En este artículo se detallan las principales características y conceptos del fenómeno de las descargas parciales (DP) en unidades generadoras, específicamente en el devanado estatorico. Algunos de los factores detallados en el artículo son: la frecuencia de las DP, la magnitud en picoCoulombs de los pulsos de DP, el tiempo de duración, el comportamiento de los devanados para pulsos de DP en alta y baja frecuencia, entre otros. Estos factores son estudiados con el objetivo de profundizar conceptos de los profesionales para tener en cuenta en la especificación e implementación de un sistema efectivo de detección y medición de DP en unidades generadoras de gran porte, como son las de la Itaipu Binacional. Todo esto centrándose específicamente en el método de detección de pulsos tanto de tensión como de corriente utilizando capacitores de acoplamiento o transformadores de corriente de alta frecuencia. También se explican los diferentes tipos de falla que pueden ocurrir en el aislante del devanado estatorico así como la forma de localizar y diagnosticar estas fallas a través del método de detección de DP.

PALABRAS CLAVES

Descarga parcial, Capacitor de acoplamiento, Transformador de corriente de alta frecuencia.

1 INTRODUCCION

El buen mantenimiento y monitoreo de diversos factores de las maquinas rotativas, específicamente los generadores de energía eléctrica son de vital importancia para asegurar un confiable suministro de energía eléctrica a particulares y empresas. Existen diversos factores que son monitorados normalmente como diversos puntos de medición de temperatura, vibración del eje, estado del sistema de refrigeración, entre otros. En este trabajo, trata sobre uno de los factores que es muy determinante en el fallo anticipado en el sistema de aislamiento del bobinado estatorico y por ende, el responsable de paradas no programadas, dicho factor son las descargas parciales (PD – *PartialDischarge*).

Las PD, son descargas eléctricas que cortocircuitan solo parcialmente el material aislante que se encuentra entre dos puntos a diferente potencial. La existencia de este fenómeno es una gran desventaja, pues está documentado que las descargas parciales son un fenómeno que degrada progresivamente el material aislante generando averías, y con el tiempo causar su destrucción total [1]. Estas pequeñas descargas, son producidas con niveles de tensión nominal sobre las maquinas en cuestión. Por otro lado, existe la posibilidad de la detección y medición de PDs, obteniendo así, datos importantes de la degradación que sufre la máquina, pues la actividad de las descargas parciales crece a la vez que aumenta el envejecimiento del material aislante. Mediante esto, y analizando las mediciones, es posible planificar tareas de mantenimiento y detectar posibles averías.

Esta más que demostrado que el fenómeno de PD realmente actúa como indicador de fallos anticipados. El objetivo de este artículo es el de estudiar el comportamiento de las PD para así profundizar conceptos de los profesionales para tener en cuenta en la especificación e implementación de un sistema efectivo de detección y medición de DP en unidades generadoras de gran porte, como son las de la Itaipu Binacional.

Existen diversos métodos de detección y medición de descargas parciales, en este artículo se da un énfasis especial al método de detección de pulsos tanto de tensión como de corriente utilizando capacitores de acoplamiento o transformadores de corriente de alta frecuencia respectivamente.

2 DESCARGAS PARCIALES

Las descargas parciales “DP” son descargas eléctricas que cortocircuitan sólo parcialmente el material aislante que se encuentra entre dos conductores a diferente potencial.

Pueden originarse en el interior de aislantes sólidos, líquidos y gaseosos. Estas descargas son responsables directas de la degradación progresiva que se produce en los materiales dieléctricos utilizados en los sistemas de aislamiento de los equipos y componentes de alta tensión. La degradación originada depende de la naturaleza del aislamiento, de manera que los materiales de naturaleza orgánica o compuesta son muy sensibles al fenómeno, mientras que los inorgánicos se degradan menos [1].

2.1 Características de las descargas parciales.

Las PDs se caracterizan por tener un comportamiento de pulsante, y se manifiesta como unos pulsos de corriente en un circuito externo; este proceso está catalogado de estocástico ya que sus propiedades son dependientes de variables aleatorias dependientes del tiempo (una de ellas es el tamaño de la cavidad, el cual varía con el pasar del tiempo).

Las descargas parciales producen desplazamientos de corriente de corta duración (0.1-10ns) en el aislante [2]. Esto se traduce en muy altas frecuencias que van desde el orden de los KHz hasta las decenas de MHz.

Las PDs en aislantes poliméricos se caracterizan por la degradación de los mismos conforme pasa el tiempo, esta degradación, normalmente se manifiesta agrandando cada vez más la cavidad y formando micro-canales de gases o de material con baja densidad que puede ser rápidamente vaporizado, a este fenómeno se lo conoce como treeing por su parecido con las raíces de los árboles como se puede observar en la figura 1.

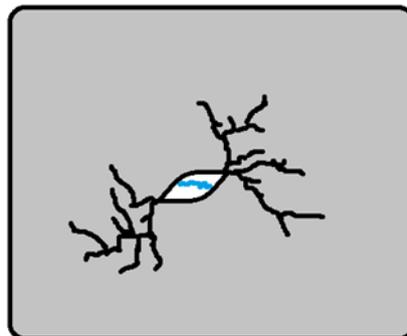


Figura 1: Treeing causado por Descargas Parciales

Vale la pena mencionar que si una de las “raíces” llega a conectar un extremo del aislante al otro se producirá una descarga total llevando a consecuencias catastróficas. Además, cabe mencionar que existen algunas descargas parciales que se manifiestan con muy poca regularidad y bajo condiciones muy específicas, por lo que el nivel de degradación del aislante en el tiempo es muy bajo y por ende se considera a la descarga como inofensiva.

2.2 Tipos de descargas parciales

Las descargas parciales se dividen en tres grupos principales que se mencionan a seguir.

2.2.1 Descarga en corona

Causadas cuando se sobrepasa la tensión de ruptura del aire y causan la producción de gases corrosivos (ozono) así como la producción de un ruido audible. Es considerada inofensiva en exteriores ya que los gases son dispersados por el viento. Un ejemplo de este tipo de descarga puede ser observado en la figura XX.



Figura 2: Descarga en corona.

2.2.2 Descarga superficial

Son causadas por la contaminación en los aislantes (polvo, partículas, etc) causando así un camino para entre diferentes tensiones, estas descargas producen daños considerables a los aisladores y reducen su eficacia, por lo que deben ser tratadas ni bien detectadas, un ejemplo de este tipo de descarga puede ser observado en la figura 3.

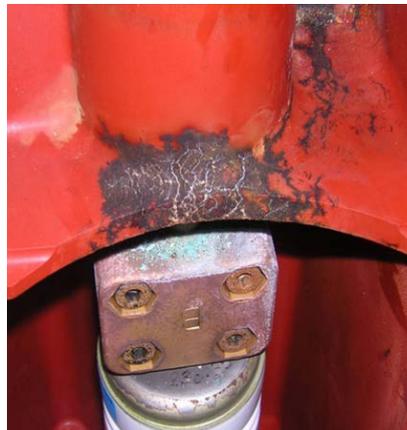


Figura 1: Descarga superficial.

2.2.3 Descarga interna

Es la estudiada en este artículo, son causadas normalmente por vibraciones, defectos de fábrica, variaciones en la temperatura, etc.. En la figura 4 se observa un corte transversal de una barra estatorica de un generador que presenta una cavidad con una descarga parcial interna. Estas descargas tienen la característica de ser inofensivas al comienzo de su formación, pero van desgastando progresivamente el material, pudiendo llegar inclusive hasta la ruptura total del dieléctrico, trayendo consigo todas las consecuencias catastróficas ya conocidas.

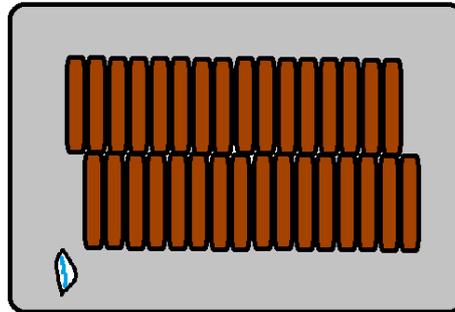


Figura 2: Descarga interna

2.3 Descargas parciales en devanado estatorico

Si bien las PDs existen en diversas partes del generador, para este artículo, solo son consideradas las ocurrentes en el devanado del estator, más específicamente en las barras estatoricas que son tratadas como descargas del tipo interno.

En la figura 5 se puede observar un corte transversal de una barra estatorica y los distintos tipos de cavidades causantes de descargas parciales [3].

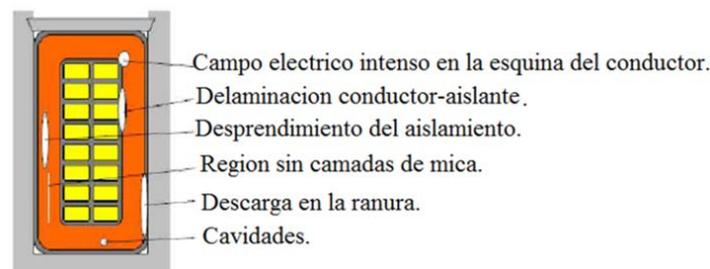


Figura 3: Tipos de PD en barras estatoricas.

Estas cavidades normalmente son debidas a defectos en la fabricación o producidas por vibración excesiva, envejecimiento natural o acelerado del material por variaciones de temperatura, etc.

3 DETECCION DE DESCARGAS PARCIALES EN EL ESTATOR

Existen diversos métodos para la detección de PDs, entre ellos podemos nombrar la detección por radio frecuencia (RF), el método del ultrasonido utilizando micrófonos direccionados, el método de detección de ozono, el método de blackout, entre otros. Este artículo trata sobre el método de detección de pulsos de PDs, ya que este ofrece la posibilidad de ser usado tanto de manera online como offline.

3.1 Detección de pulsos

En la prueba de DP, el medio más común de detectar las corrientes de DP es utilizar un condensador de alta tensión conectado a los terminales del estator cuyas capacidades típicas son de 80 pF a 1000 pF. El condensador es una impedancia muy alta para la corriente de 50Hz, mientras que una impedancia muy baja para las corrientes de impulsos de alta frecuencia de DP. El actual pulso DP que pasa por el condensador va a crear un pulso de voltaje en la impedancia de medida, la cual se puede mostrar en un osciloscopio, analizador de espectro de frecuencias, o de otro dispositivo de visualización. Cada DP creará su propio pulso. En general, la magnitud de un determinado pulso de DP es proporcional al tamaño de la vacuola en el que se produjo. En consecuencia, cuanto mayor sea el pulso detectado, más grande es el defecto que causó la descarga. [1]

Existen varios circuitos para la captación de estas señales, el más utilizado se muestra en la figura 6. En la que puede observarse la fuente de tensión, un generador de pulsos para motivos de calibración, el capacitor de acoplamiento C_k , la impedancia de medición R_m , el cable coaxial, el detector de descarga D y un condensador C_a que representa nuestro objeto de ensayo.

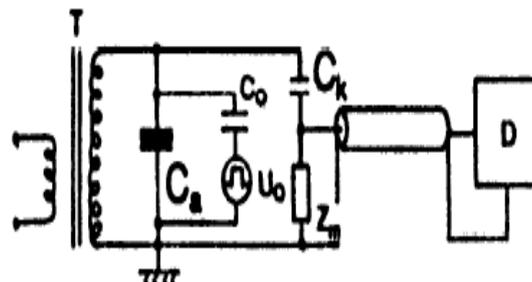


Figura 4: Circuito de medición de PD con capacitor de acoplamiento.

4 CONSIDERACIONES A SER TOMADAS

A seguir se mencionan algunas de las consideraciones más importantes para la instalación de un sistema confiable de detección y medición de PD.

4.1 Capacitor de acoplamiento

El requisito principal del capacitor de acoplamiento es que la capacitancia debe ser, como mínimo, mayor que la capacitancia del objeto a prueba (devanado estatorico) [2].

Es común encontrar en textos, valores estandarizados del condensador de acoplamiento, estos normalmente mencionan valores que tienen un mínimo de 80 pF hasta un máximo de 1000 pF [3]. Esto, si bien cubre un gran rango de máquinas, no arrojaría resultados satisfactorios en máquinas de gran porte como las de Itaipu (700 MW), considerando que, la capacitancia de cada barra estatorica en la Itaipu ronda los 5 nF y sumando las capacitancias en paralelo de cada barra tendríamos un resultado de aproximadamente 1675 nF (1008 barras, 336 por fase). Es por ello que no es posible

implementar este método en máquinas de gran porte utilizando el estándar recomendado en varios textos. Está claro que para este cálculo no se tomaron en cuenta los efectos capacitivos producidos por el acoplamiento entre fases, pero aun así, el resultado sin lugar a dudas sería mayor a los 1000 pF del estándar. En la figura 7 se pueden observar algunos ejemplos de capacitores de acoplamiento.



Figura 7: Diversos capacitores de acoplamiento; 80 pF [4]; 220 pF [5]; 500 pF [6].

Otras características que debe cumplir el capacitor es que debe resistir el impulso y los voltajes bajo el rango de las posibles temperaturas de operación y poseer dimensiones y masa para asegurar que no se presente resonancia mecánica en la posición de instalación.

4.2 Frecuencia, atenuación y propagación de pulsos en devanados estatoricos

El contenido de frecuencia de un pulso de PD es en función de su tiempo de subida y su anchura de impulso. Cada fuente de PD produce pulsos que son característicos de su lugar. La frecuencia del pulso es una función de la localización y del tamaño de la cavidad. Como cada lugar de PD tiene una frecuencia asociada, el ancho de banda del sistema de medición es muy importante.

4.2.1 Altas frecuencias

Por un lado, a altas frecuencias normalmente los pulsos son acoplados capacitivamente durante todo el circuito. En muchos devanados, los pulsos acoplados capacitivamente y que tienen un rápido tiempo de subida quedan sujetos a una rápida atenuación. Entonces, a altas frecuencias, las capacitancias parasitas y de interconducción se vuelven importantes.

Los sistemas de detección que operan por debajo de los 30 MHz pueden beneficiarse de la atenuación de señales de ruido. Estos sistemas son sensibles para PD en barras y bobinas cercanas al acoplador.

Además, en muy alta frecuencia, el devanado es considerado como una red de capacitancias en paralelo (capacitancia a tierra predomina). Entonces, mientras más viaje el pulso en el devanado, más se distorsionan su magnitud y forma por las impedancias de alta frecuencia del devanado.

4.2.1 Bajas frecuencias

Por otro lado, para pulsos de baja frecuencia (descargas más lentas), el devanado del estator es tratado como una línea de transmisión, esto es, cada bobina o barra con su respectiva inductancia y capacitancia. Entonces, dependiendo de la longitud de cada bobinado o barra y el número de circuitos en paralelo, cada devanado poseerá su único conjunto de frecuencias de resonancia. Si el filtro pasa banda del detector coincide con una de estas frecuencias, la magnitud de las descargas serán anormalmente altas. Resumiendo, en descargas más lentas existe un aumento de ruido.

Para pruebas en el devanado completo se recomienda test offline donde los ruidos son bajos. Para estas mediciones es preferible la medición por debajo de los 500 kHz para mejorar la detección de pulsos lejos del dispositivo.

Además, para bajas frecuencias dependiendo de la respuesta en frecuencia del detector, pulsos de menor frecuencia y magnitud pueden contaminar la señal o pueden proveer señales adicionales que pasan desapercibidas.

Esto se debe tener en cuenta al seleccionar el dispositivo de acoplamiento.

4.3 Magnitud de los pulsos de PD

Los niveles aceptables de actividad de DP varían con el tipo de sistema de aislamiento. Por ejemplo, un determinado nivel de PD interna a un sistema de aislamiento podría ser aceptable para el asfaltomica pero peligroso para la mica-epoxica.

Es difícil determinar el nivel máximo de PD ya que es una característica particular del sistema de aislación y revestimientos externos. Sin embargo, estableciendo un banco de datos con muchas mediciones se pueden estimar las magnitudes inusualmente grandes de descargas parciales. Otras pruebas e inspecciones son requeridas para establecer la significancia de estos niveles de PD.

4.4 Reducción de ruidos

En mediciones on-line, como la maquina está en operación, no es el ambiente ideal para medir este tipo de señales. Es posible que se capte señales de otras fuentes, como equipamientos conectados, estaciones de radio, ruidos del conmutador, etc. Para esto, los detectores utilizan varios métodos para la supresión de ruido, pero ninguno es capaz de asegurar la eliminación completa de ellos.

Un método de discriminar el ruido es la de comparar el tiempo de llegada de cada pulso con dos acopladores por fase. Se estima que el pulso viaja a $3E8$ m/s. Esto diferencia el ruido externo.

5 CONCLUSION

Es importante el conocimiento de los diversos componentes del circuito de medición de descargas parciales para poder así adecuarlos a los equipos que se desean diagnosticar. Cabe destacar, que un diagnóstico correcto de este tipo de fenómenos no solo depende del tipo de medición que uno está realizando ni de la correcta adecuación del sistema implementado, sino también de la capacidad y experiencia que tenga el usuario en la interpretación de las descargas parciales.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Álvaro Sancho Blázquez, *Monitorización continua de Descargas Parciales para caracterización de sistemas de aislamiento en máquinas eléctricas.*
- [2] Dr. Mario A. Pecorelli, *Medición de descargas parciales.*
- [3] VictorDmitrev, Paulo Roberto Moutinho de Vilhena, *Sistemas de monitoramento on-line de descargas parciais, da isolação dos enrolamentos estatoricos de hidrogeradores: umavisiãogeral do estado atual.*
- [4] www.irispower.com
- [5] www.pd-systems.com
- [6] www.adwel.com