



La importancia de las pruebas de descargas parciales en el desarrollo y operación de transformadores de potencia

Ulrike Broniecki

OMICRON Energy Solutions GmbH, Berlin

Los transformadores de potencia están expuestos a intenso estrés de diversas fuentes a lo largo de su larga vida útil. Este estrés incluye altas intensidades de campo eléctrico, fluctuaciones de temperatura, e intensas fuerzas mecánicas. Entre otras cosas, esto daña el aislamiento eléctrico, que es muy importante para el funcionamiento seguro y confiable del transformador.

Una serie de métodos de diagnóstico dieléctrico constituyen un aporte crucial a la garantía de la calidad y al mantenimiento de la seguridad y la confiabilidad del funcionamiento de los transformadores de potencia, ya que aportan pruebas sobre los cambios del estado del aislamiento. El rango de mediciones para el diagnóstico incluye la medición de respuesta dieléctrica, análisis de respuesta en frecuencia, resistencia del devanado, impedancia de corto circuito, corriente de excitación, relación, resistencia del aislamiento, medición de capacidad, factor de disipación y medición de descargas parciales.

Calidad verificada

Antes de pedir un nuevo transformador, hay que dejar claros los requisitos de aseguramiento de la calidad: el cliente quiere asegurarse de adquirir un producto impecable. Para comprobar el diseño y garantizar la calidad, los transformadores de potencia se someten en fábrica a varias pruebas estandarizadas, durante su desarrollo y producción, desde inspecciones de materiales entrantes, pasando por pruebas de investigación y desarrollo hasta pruebas de tipo.

La complejidad en la tecnología de alta tensión y equipos permite solo una simulación limitada y requiere muchas pruebas empíricas. Para demostrar el límite y el comportamiento a largo plazo de los equipos y materiales utilizados, se realizan pruebas e inspecciones de alta precisión en condiciones de laboratorio.

Los dispositivos fabricados a gran escala, también se someten a pruebas de rutina individualmente. Esto garantiza que el producto final cumple todos los requisitos de calidad de producción y montaje. Además de las pruebas estándar que puedan requerir las normas aplicables, también pueden especificarse pruebas adicionales mediante acuerdo entre el cliente y el fabricante para verificar requisitos especiales.

Pequeños daños con grandes consecuencias

En comparación con otros métodos de diagnóstico



Diagnóstico de descarga parcial del transformador



El ruido de la subestación o del equipo eléctrico adyacente puede comprometer la confiabilidad de las mediciones de DP.

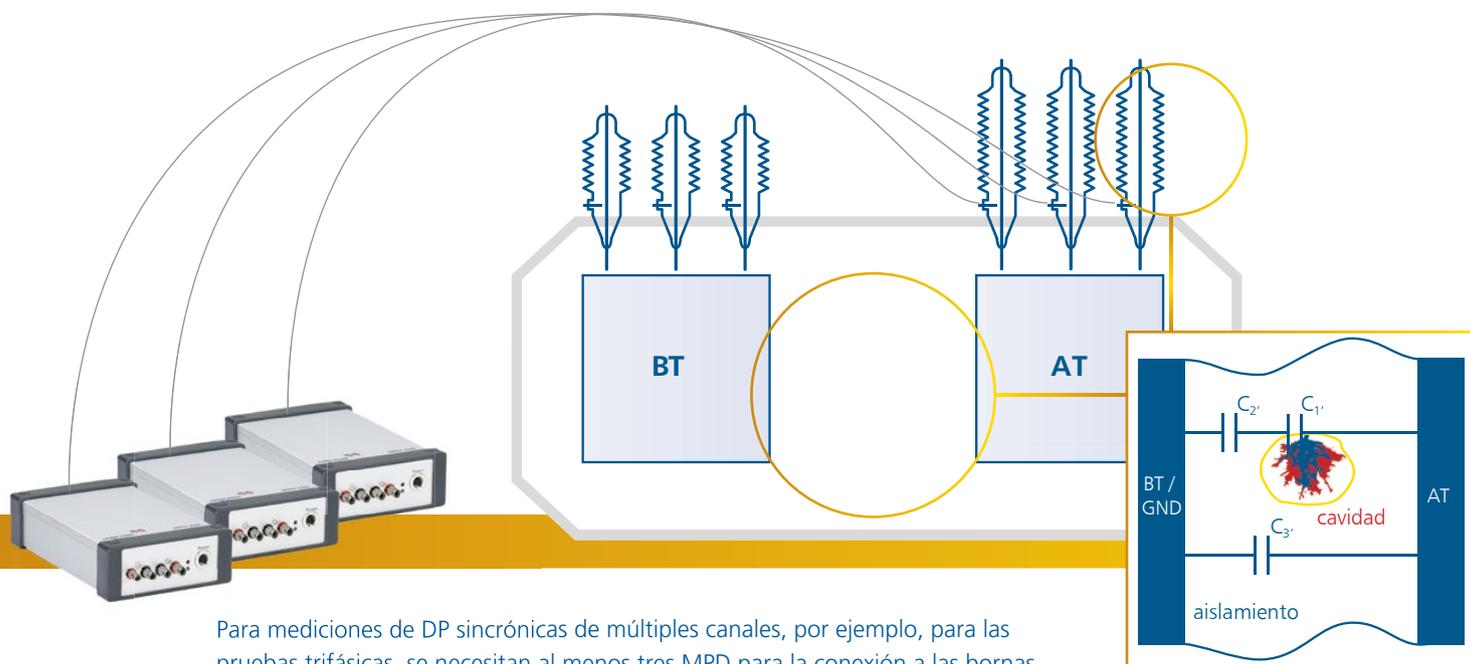
dieléctrico, el sistema de medición de DP proporciona a los ingenieros de pruebas información muy sensible para ayudarles a detectar eficazmente incluso los puntos débiles más pequeños del sistema de aislamiento.

Según la norma IEC 60270, las descargas parciales son "descargas eléctricas localizadas que puentean solo parcialmente el aislamiento entre conductores y pueden producirse o no de forma adyacente a un conductor." Las descargas parciales son en general una consecuencia de las concentraciones de estrés eléctrico local en el aislamiento o en la superficie del aislamiento.

Se observan descargas parciales en las bornas de transformadores de potencia y devanados si el material de aislamiento entre los diferentes potenciales de tensión envejece, se contamina o es defectuoso. Se pueden deber a vacíos, grietas o inclusiones dentro de un dieléctrico sólido,

interconexiones dentro de dieléctricos sólidos o líquidos, burbujas dentro de dieléctricos líquidos o a lo largo de la línea de contacto entre distintos materiales de aislamiento. Las DP pueden dañar progresivamente los materiales de aislamiento de las bornas y los devanados de los transformadores de potencia, lo que provoca al final su falla y costosas interrupciones. Por lo tanto, es importante reconocer la fuente de las DP, encontrarla y eliminarla si es necesario.

La medición de DP es un método confiable y no intrusivo que puede utilizarse en cualquier momento para diagnosticar el estado del aislamiento de los transformadores de potencia. Pueden realizarse o bien, fuera de línea, energizando cada fase sucesivamente con una fuente de alta tensión, o en línea durante el funcionamiento normal. Con dispositivos de registro de DP adicionales pueden realizarse mediciones trifásicas para ahorrar tiempo al identificar la actividad de cada una de las fases.



Para mediciones de DP sincrónicas de múltiples canales, por ejemplo, para las pruebas trifásicas, se necesitan al menos tres MPD para la conexión a las bornas de alta tensión.

Los pulsos de DP tienen una duración corta y tiempos de elevación en el rango de los nanosegundos. Los criterios más importantes para evaluar las DP son:

- > El nivel de carga, medido en picoculombios (pC) o nanoculombios (nC)
- > Posición de fase relativa al voltaje aplicado
- > Tasa de repetición de pulsos

Un aumento en cualquiera de estos criterios indica la presencia de puntos débiles ubicados en el aislamiento, lo que puede provocar un daño mayor y una eventual falla. En laboratorios de alta tensión y sobre el terreno pueden desplegarse técnicas avanzadas de supresión de ruido para minimizar los datos irrelevantes y simplificar el análisis.

Última comprobación durante la puesta en servicio

Es importante comprobar la integridad funcional y dieléctrica después del transporte, especialmente en transformadores grandes. Los métodos más comunes son el Análisis de Respuesta en Frecuencia (véase el recuadro de información) y la medición de DP. Una manipulación incor-

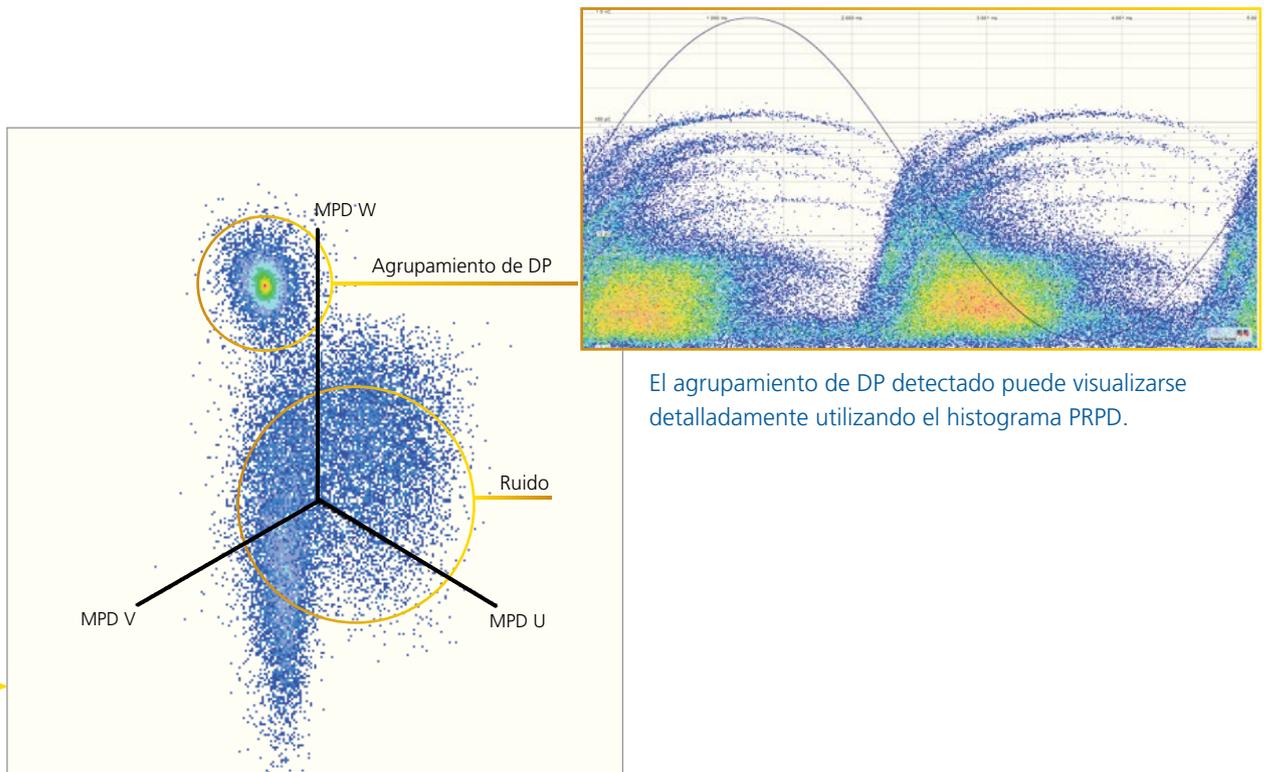
recta durante el transporte y la instalación puede provocar daños mecánicos internos y puede detectarse mediante comparación con las mediciones de referencia de fábrica.

Cuando se realiza una medición de DP durante la puesta en servicio, se pueden detectar las posibles influencias del transporte en el dieléctrico. También permite un control de calidad de todos los componentes de alta tensión, tales como bornas, instalados en sitio.

Garantizar un funcionamiento seguro y confiable

Si un equipo ha superado con éxito todas las pruebas durante la puesta en servicio, se puede poner en funcionamiento, y comienza la segunda etapa de la garantía de calidad. A medida que aumenta su edad, los transformadores requieren controles periódicos en campo de las condiciones de funcionamiento. Durante toda la vida útil hay que tomar decisiones estratégicas sobre el mantenimiento y el monitoreo.

Como parte de la gestión, para aumentar la disponibilidad y la seguridad de la planificación, también para la conser-



Un 3PARD (Diagrama trifásico de relación de amplitudes) separa las fuentes de DP del ruido.

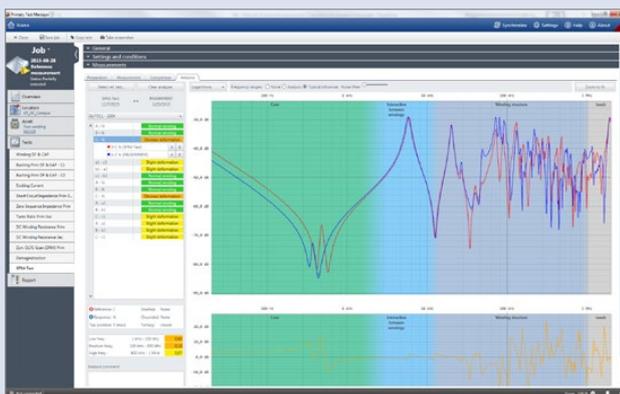
El agrupamiento de DP detectado puede visualizarse detalladamente utilizando el histograma PRPD.

Análisis de respuesta en frecuencia (FRA)

El análisis de respuesta en frecuencia (FRA) se realiza para verificar la integridad eléctrica y mecánica del componente activo (devanados, núcleo, conexiones y conductores). El FRA es un método de diagnóstico recomendado para comprobar la integridad mecánica. Cada vez más compañías eléctricas utilizan el análisis FRA en las pruebas de rutina porque permite detectar numerosas fallas de una manera no invasiva.

Utilizando el equipo FRANE0 800 de OMICRON, se compara una medición actual con una medición de referencia (huella dactilar) realizada en un momento anterior. Si no hay huella digital disponible, se puede usar otra fase o un transformador de construcción idéntica para la comparación.

www.omicronenergy.com/FRANE0800



El software Primary Test Manager™ ofrece evaluación y comparación automáticas de los resultados, y también pueden visualizarse las influencias típicas de las desviaciones.

vación de valor, un mantenimiento periódico es lo recomendado para grandes transformadores y otros equipos de alta tensión. Sin embargo, las opciones de diagnóstico normalmente aplicadas se limitan a una pequeña selección de la gama de opciones de diagnóstico dieléctrico.

Se pueden usar mediciones de la respuesta dieléctrica (ver cuadro de información) para evaluar el contenido de agua en el aislamiento de aceite-papel, por lo tanto, es una her-

ramienta útil para evaluar el envejecimiento de la celulosa. El análisis de gases en el aceite es un método de análisis eficaz, pero se debe complementar con la ubicación de las fallas que indiquen un exceso de gases de hidrocarburos en el aceite. Así se podrá efectuar a tiempo un mantenimiento eficaz que evite una avería grave. La ubicación de la falla se puede lograr con éxito utilizando un equipo de prueba moderno para la resistencia, relación del devanado, impedancia de cortocircuito, C, tan delta, FRA y mediciones de DP.

La mejor indicación del deterioro del aislamiento

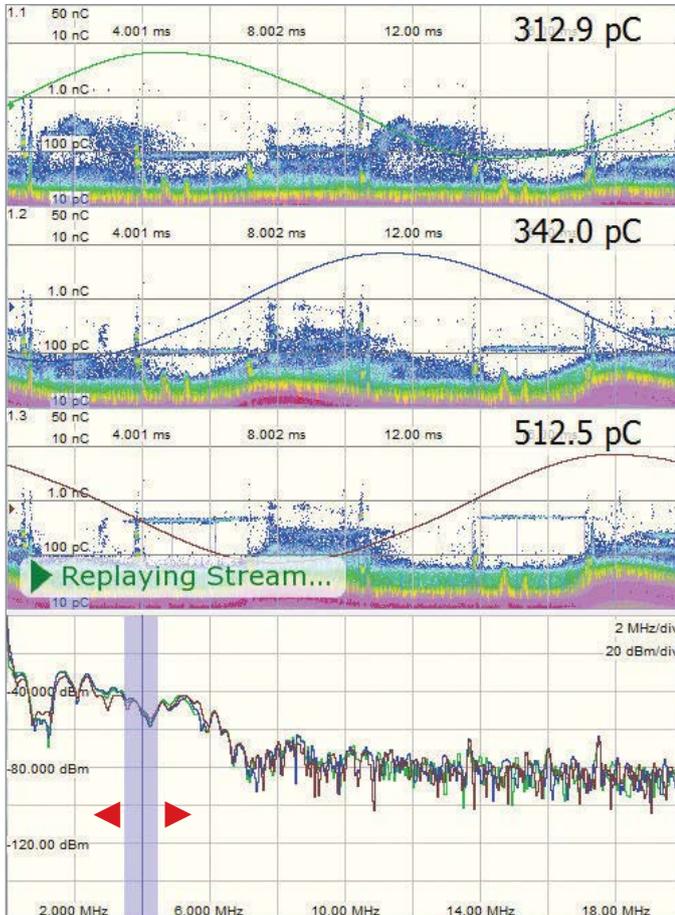
Debido a que la actividad de DP a menudo se presenta con bastante antelación a la falla del aislamiento, proporciona la indicación más evidente de defectos y deterioro. Los administradores de activos pueden evaluar la actividad de DP en función al tiempo y tomar decisiones estratégicas informadas con respecto a la reparación oportuna o el reemplazo del equipo antes de que ocurra una interrupción inesperada.

Al realizar la medición y el análisis de la actividad de DP en los transformadores de potencia en campo, los ensayos particulares y configuraciones de prueba son determinados por el tipo de transformador y el estándar al que se realizan las mediciones. Dependiendo del tipo de bornas utilizadas, el sistema de análisis de DP se conecta a la toma capacitiva de las bornas o a un condensador de acoplamiento externo para mediciones eléctricas de DP estándar en transformadores de potencia.

Minimizar el efecto del ruido en campo

Fuera de los laboratorios homologados, los pulsos de ruido se imponen muy a menudo a las señales de DP, un hecho que dificulta el análisis de los datos de DP. Por lo tanto, la minimización adecuada de las perturbaciones es una de las tareas principales cuando se mide las DP en campo.

Nuestro sistema de medición y análisis de DP, el equipo MPD 600 de OMICRON, permite una sensibilidad muy alta de detección y medición, usando varios métodos de supresión de ruido eléctrico en las difíciles condiciones en campo. Con las opciones de filtro libremente seleccionables, la frecuencia central y el ancho de banda se pueden ajustar para obtener una alta relación señal / ruido y un re-



Frecuencia central y ancho de banda ajustables

ducido nivel de ruido de fondo para un análisis y medición de DP confiables.

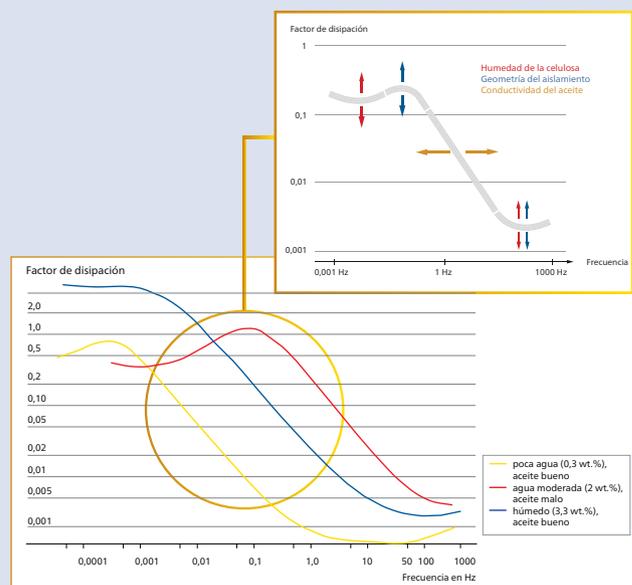
Al usar tres o más unidades de registro de DP, el sistema MPD 600 garantiza una medición de DP multicanal sincrónica completamente digital. Esto no solo minimiza el tiempo durante el cual es necesario aplicar alta tensión durante las pruebas, sino que acelera el tiempo de medición y permite aprovechar nuestras exclusivas herramientas para la separación, tales como 3PARD (diagrama trifásico de relación de amplitudes). Las señales de DP originadas de fuentes de diferente tipo o lugar aparecen en diferentes partes del 3PARD y pueden analizarse separadamente. Esto permite una eficaz supresión del ruido, así como una fácil separación de las señales de DP solapadas en el correspondiente PRPD (Phase-Resolved Partial Discharge) diagrama.

Medición de la respuesta dieléctrica

Si se mide el factor de disipación de un transformador en un amplio rango de frecuencias, pueden establecerse las conclusiones sobre el estado del aislamiento basándose en la medición de la respuesta dieléctrica. El análisis de las características dieléctricas permite evaluar el contenido de agua en el aislamiento sólido (celulosa) y monitorear su estado. Saber el contenido de agua es importante para determinar el estado de las bornas y el componente activo de un transformador.

El equipo DIRANA de OMICRON mide la respuesta dieléctrica en un rango muy amplio de frecuencias (10 μ Hz – 5 kHz). Reduce los tiempos de prueba mediante una combinación de espectroscopia dieléctrica (FDS) para altas frecuencias con el procedimiento del dominio del tiempo (PDC) para frecuencias bajas. Los valores medidos también permiten el diagnóstico del aislamiento no solo para transformadores, sino también para generadores, motores, convertidores y cables.

www.omicronenergy.com/DIRANA



La curva de respuesta dieléctrica permite extraer conclusiones sobre los diferentes factores que influyen en el resultado de la medición.

Para los transformadores de potencia con aislamiento líquido, se pueden utilizar las mediciones DP de UHF como un método efectivo de apantallamiento tanto en laboratorios de AT o en campo para verificar los resultados de las mediciones eléctricas de DP. Usando este método, las DP se miden directamente dentro del tanque del transformador usando sensores de ultra-alta frecuencia (UHF). Los pulsos de DP de una medición eléctrica en las bornas se aceptan solamente si también hay presente un pulso de UHF procedente de la cuba del transformador. Una vez que se detecta la actividad de DP, se pueden realizar mediciones acústicas de DP con un dispositivo de localización de DP y varios sensores UHF conectados al exterior del tanque del transformador para localizar con precisión defectos del aislamiento.

Ampliación de la vida útil

Al final de la vida útil del transformador, los datos recopilados en mediciones anteriores de DP y otras mediciones de diagnóstico pueden utilizarse para una gestión eficaz. La información permite a los administradores de activos anticipar un comportamiento de servicio continuo en condiciones operativas similares. Como resultado de los datos basados en el estado, el mantenimiento continuo oportuno y el reemplazo de componentes pueden permitir un funcionamiento prolongado de los transformadores de potencia más allá de su vida útil de diseño.

Ulrike Broniecki estudió ingeniería eléctrica centrándose en tecnología eléctrica en la Universidad Técnica de Berlín. Trabajó como ayudante de investigación en el grupo de tecnología de alta tensión en la Universidad Técnica de Berlín 2008-2014. Se centró principalmente en la detección acústica de descargas parciales en transformadores. Ha trabajado en OMICRON desde 2014 como Application Engineer de medición de descargas parciales en la división de diagnóstico y monitoreo. Sus responsabilidades van desde la asistencia técnica a los clientes hasta el análisis de los datos de medición.

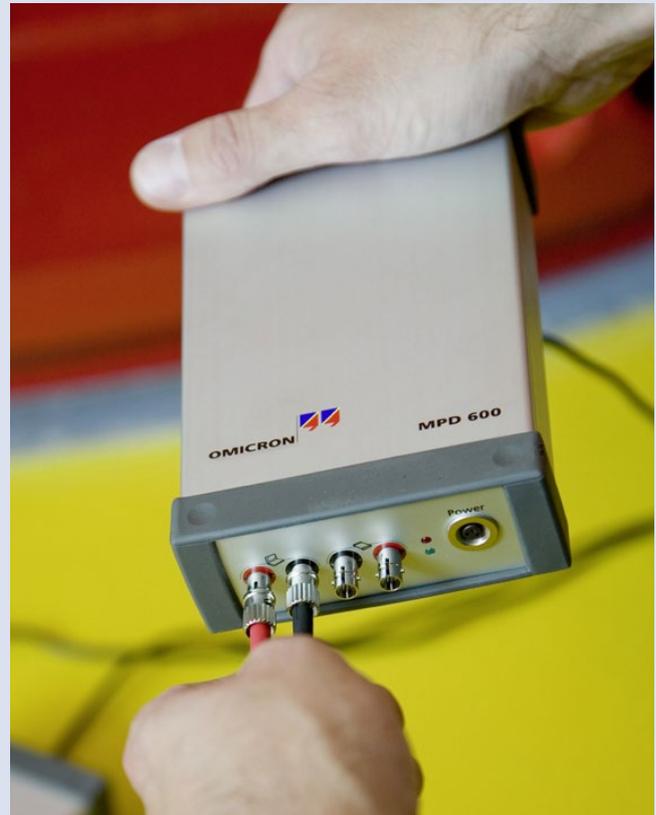


MPD 600

- > Medición de descargas parciales conforme a la IEC 60270
- > Transmisión de datos por fibra óptica para un manejo seguro y una mejor relación señal-ruido
- > Medición de DP simultánea y sincrónica de múltiples canales para realizar un análisis más completo
- > Métodos activa de supresión y puertas de ruido para lograr una exactitud óptima a pesar de las altas interferencias
- > Potentes herramientas (3PARD y 3FREQ) para separar el ruido y las fuentes múltiples de DP
- > Grabación y reproducción de mediciones para posterior análisis detallados

OMICRON Academy ofrece capacitación práctica sobre DP con la que puede aprender cómo usar sistema de medición y análisis de DP del MPD 600 en diversos activos eléctricos.

www.omicronenergy.com/mpd600



OMICRON es una compañía internacional que presta servicio a la industria de la energía eléctrica con innovadoras soluciones de prueba y diagnóstico. La aplicación de los productos de OMICRON brinda a los usuarios el más alto nivel de confianza en la evaluación de las condiciones de los equipos primarios y secundarios de sus sistemas. Los servicios ofrecidos en el área de asesoramiento, puesta en servicio, prueba, diagnóstico y formación hacen que la nuestra sea una gama de productos completa.

Nuestros clientes de más de 150 países confían en la capacidad de la compañía para brindar tecnología de punta de excelente calidad. Los Service Centers en todos los continentes proporcionan una amplia base de conocimientos y un extraordinario servicio al cliente. Todo esto, unido a nuestra sólida red de distribuidores y representantes, es lo que ha hecho de nuestra empresa un líder del mercado en la industria eléctrica.