Análisis dieléctrico de transformadores de potencia de alta tensión

Martin Anglhuber, OMICRON electronics GmbH, Klaus/Austria
Michael Krüger, OMICRON electronics GmbH, Klaus/Austria

Índice – Resumen

En este documento se ofrece una visión general de las pruebas dieléctricas que pueden aplicarse a los transformadores de potencia y las bornas. Se presentan los diferentes tipos de pruebas de campo y sus antecedentes, destacando cada prueba individual, dónde y cómo se aplica y qué información se puede derivar de ella.

Resumen

Las pruebas dieléctricas llevan décadas utilizándose para el diagnóstico de transformadores de potencia y bornas. Además de las pruebas tradicionales a la frecuencia de la red, han evolucionado tipos modernos de pruebas dieléctricas que utilizan diferentes frecuencias y tensiones. En el artículo se trata el alcance de este principio, explicando los procedimientos de prueba más comunes y describiendo qué tipo de información se puede derivar de los valores medidos.

Palabras clave: respuesta dieléctrica, factor de potencia, factor de disipación, tan(δ), FDS, PDC, DFR, transformador de potencia, borna

1 Introducción

Los transformadores de potencia son los activos más costosos que se utilizan en la transmisión y distribución de energía eléctrica. Sus propietarios esperan una larga vida de servicio sin interrupciones no planificadas. Para cumplir esta tarea, el transformador tiene que estar en condiciones saludables que deben verificarse por medio de diagnóstico. Si los resultados no son óptimos, se podrán emprender acciones para evitar fallas. Uno de los grupos de métodos de diagnóstico lo constituyen las mediciones dieléctricas. Su finalidad es identificar el estado del aislamiento del transformador de potencia y sus bornas. La integridad de sus aislamientos es un requisito básico para un funcionamiento seguro.

Durante las últimas décadas, se han desarrollado diferentes tipos de mediciones dieléctricas. La base común de todas estas técnicas de medición de diagnóstico dieléctrico es que son no invasivas e identifican la capacitancia y las pérdidas del aislamiento en el que se aplican. Se diferencian en el rango de frecuencias que comprueban, la tensión aplicada y la técnica de evaluación utilizada para interpretar los resultados. En conjunto, estas diferentes técnicas proporcionan diferente información sobre el aislamiento medido.

2 Propiedades dieléctricas de los sistemas de aislamiento

Las propiedades dieléctricas del papel y el cartón prensado se ven influidas por su temperatura y contenido de agua. La influencia del agua es alta, especialmente para la tan(δ) a frecuencias más bajas en las que el agua aumenta la polarización y la conductividad (Figura 1) [1] [2]. La influencia sobre las propiedades dieléctricas a la frecuencia de la red y por encima de ella es escasa; solo es visible una influencia significativa cuando el contenido de agua es mayor.

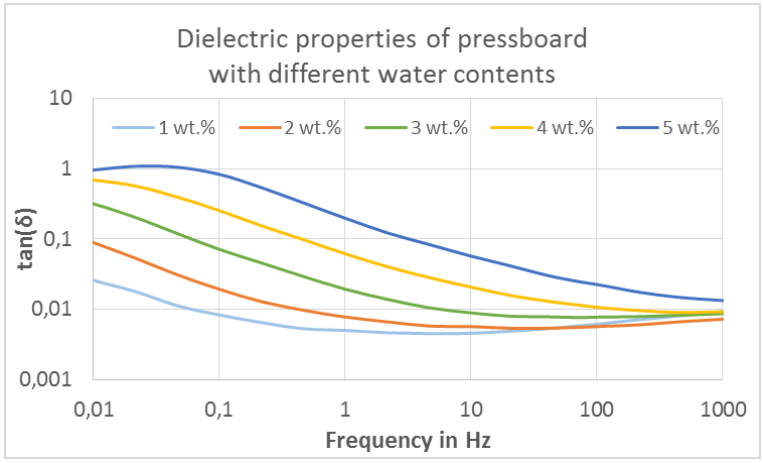

Figura 1. Propiedades dieléctricas del cartón prensado impregnado en aceite con diferentes contenidos de agua a 20 °C. (Propiedades dieléctricas del cartón prensado con diferentes contenidos de agua. Frecuencia en Hz, 1 % en peso)

La respuesta dieléctrica del papel y el cartón prensado también depende de la temperatura. Por lo tanto, la medición de la temperatura siempre es esencial en la medición de las propiedades dieléctricas.

Las propiedades dieléctricas del aceite mineral muestran un comportamiento más simple que el del cartón prensado y puede modelizarse suficientemente con una sola conductividad y permitividad para bajas intensidades de campo [1] [2].

Las propiedades dieléctricas de un aislamiento combinado de papel y aceite de un transformador de potencia dependen de un amplio rango de parámetros, como:

- Temperatura
- Conductividad del aceite
- Geometría interna (cantidad de barreras y separadores)
- Contenido de agua en el aislamiento de papel y cartón prensado

Un análisis más detallado indica que estos factores de influencia son dominantes a diferentes frecuencias (Figura 2). Una mayor conductividad del aceite o una temperatura más alta harán que la curva de tan(δ) se desplace hacia frecuencias más altas, mientras que un mayor contenido de agua aumentará la tan(δ) en las frecuencias más altas y más bajas, pero mostrará una influencia muy limitada entre ambas. En cuanto a la evaluación de la humedad, la parte dominante del contenido de agua a frecuencias más bajas proporciona resultados mucho más confiables. No es recomendable el uso de altas frecuencias para determinar el contenido de agua ya que sus propiedades dieléctricas dependen más de la conductividad del aceite que del contenido de agua (Figura 3). Un valor alto de la tan(δ)/factor de potencia a la frecuencia de la red no proporciona información sobre si el motivo es un alto contenido de agua o una alta conductividad del aceite (Figura 3). Esta última puede alcanzar valores de 0,1 pS/m e inferiores para el aceite nuevo y hasta cientos de pS/m para el aceite envejecido.

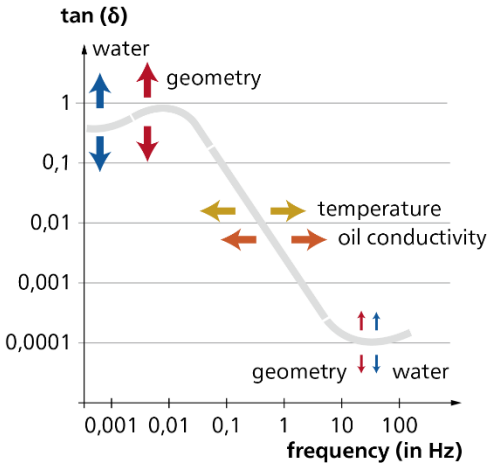

Figura 2. Propiedades dieléctricas del aislamiento de papel-aceite entre el devanado de alta y el de baja tensión de un transformador de potencia (C HL)

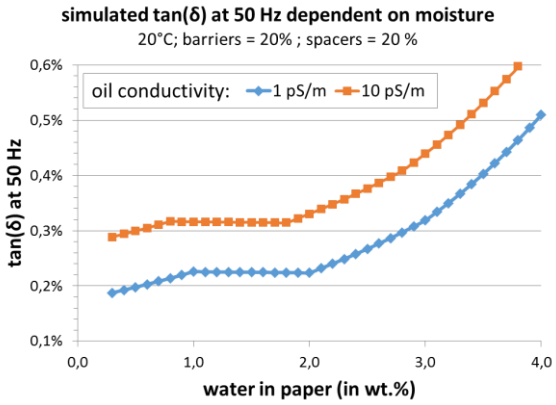

Figura 3. Dependencia simulada del factor de disipación a 50 Hz para un transformador de potencia con dos conductividades de aceite diferentes (tan(δ) simulada a 50 Hz dependiente de la humedad; 20 °C; barreras = 20 %; separadores 20 %; conductividad del aceite 1 pS/m, 10 pS/m; tan(δ) a 50 Hz; agua en el papel (en % en peso))

3 Métodos de medición dieléctrica para pruebas de campo

Aunque en teoría es posible realizar una medición dieléctrica a cualquier frecuencia y cualquier tensión, existen varios grupos de dispositivos de medición con parámetros de prueba similares para pruebas de campo de equipos de alta tensión. Por lo tanto, en las siguientes secciones se destacarán las características y el uso práctico de cada uno de los métodos de prueba.

Mediciones a una sola frecuencia

Las mediciones dieléctricas a una sola frecuencia se realizan generalmente a la frecuencia de la red del sistema, por lo general de 50 Hz o 60 Hz. Como en el uso en campo hay que prever la interferencia a la misma frecuencia de un sistema bajo tensión cercano, por lo general se requiere una fuente de alta tensión para lograr una relación señal-ruido

adecuada, motivo por el cual el equipo de prueba a menudo es bastante grande y pesado. La ventaja de las pruebas a la frecuencia de la línea del activo es que todos los parámetros determinados (capacitancia, pérdidas...) se aplican también en el uso real del activo.

Mediciones en un rango de frecuencias limitado (15 Hz a 400 Hz)

Una versión mejorada de la medición a la frecuencia de la red es la medición en un rango de frecuencias que incluya la frecuencia de la red. Un rango de frecuencias típico es de 15 Hz a 400 Hz. Al aumentar el rango de frecuencias, puede analizarse la dependencia de la frecuencia de las propiedades dieléctricas. Aunque el limitado rango de frecuencias no permite una separación de los múltiples factores de influencia (véase Figura 2), a menudo pueden extraerse algunas conclusiones adicionales relativas al estado del activo.
Las propiedades dieléctricas a la frecuencia de red pueden medirse directamente o bien pueden obtenerse por interpolación; por tanto, también es posible comparar los valores medidos con los valores de referencia a la frecuencia de la red.

Mediciones que utilizan tensión variable ("prueba de Tip-Up")

La usualmente denominada "prueba de Tip-Up" es una medición a una sola frecuencia, donde se aumenta la tensión y se miden los parámetros dieléctricos en un rango de tensiones. Principalmente se utiliza la frecuencia de la red, pero también es posible una combinación con un rango de frecuencias (véase la sección anterior). Pueden detectarse algunos defectos con una prueba de este tipo, como un contacto deficiente en una toma de medición de una borna (véase Figura 9).

Mediciones dieléctricas de banda ancha (DFR)

Las mediciones dieléctricas de banda ancha (a menudo denominadas "DFR" por las siglas en inglés de Dielectric Frecuency Response, respuesta dieléctrica en frecuencia) se utilizan para medir las propiedades dieléctricas de un activo en un rango de frecuencias muy amplio, por lo general desde la región inferior de los kHz a unos cuantos mHz o incluso µHz. Existen diversos principios que utilizan mediciones en el dominio de la frecuencia, así como en el del tiempo. También son posibles las combinaciones y pueden servir para combinar las ventajas de los diferentes principios [3]. Cuando se realiza de una manera similar y correcta, los resultados de un método pueden convertirse a los de otro [4] [5]. La forma más utilizada de presentar los datos obtenidos se encuentra en el dominio de la frecuencia, es decir, se muestra en un gráfico la propiedad comparada con la frecuencia.

La gran ventaja de la utilización de una gama de frecuencias muy amplia es la alta sensibilidad para diferentes factores de influencia (véase Figura 2). Esto hace que el método sea altamente sensible para la detección de agua y envejecimiento, por ejemplo [6]. Con la ayuda de una computadora, este método también puede determinar la cantidad absoluta de contenido de agua en el aislamiento de papel/cartón prensado [1] [7] [3]. De esta manera, también se determina la conductividad del aceite.

4 Configuración y guarda de la medición

Dependiendo de la conexión, se miden diferentes partes del aislamiento del transformador de potencia. El transformador del tipo núcleo condos devanados es un muy buen ejemplo para mostrar las diferentes partes de los aislamientos que se pueden medir en un transformador. También se utiliza aquí para explicar el principio de guarda.

Un transformador de dos devanados con devanado de alta y de baja tensión dispone de 3 aislamientos diferentes que se pueden medir: El aislamiento entre el devanado de alta y el de baja tensión CHL, el aislamiento entre el devanado de alta tensión y el núcleo y la cuba CH y el aislamiento entre el devanado de baja tensión y el núcleo y la cuba CL.

El aislamiento CHL en el caso de los transformadores de tipo núcleo se compone de barreras y separadores que aportan la estabilidad mecánica del aislamiento y permiten el flujo de aceite para enfriar los devanados. En comparación con las otras partes del aislamiento, la principal cantidad de celulosa (papel y cartón prensado) se encuentra en el asilamiento CHL por lo que sus propiedades se ven muy influidas por las de la celulosa. Por lo tanto, cuando hay que analizar las propiedades de la celulosa como el contenido de agua, CHL es de la mayor importancia.

El aislamiento CH, que está entre los devanados de alta tensión y la cuba, consta principalmente de aceite. Por lo general, la influencia de la celulosa procede principalmente de las partes de la estructura de sujeción. El aislamiento CL, que está en gran parte entre los devanados de baja tensión y el núcleo también consta de aceite y celulosa, pero por lo general hay mucha menos celulosa presente que en el aislamiento CHL.

Si se mide el aislamiento CHL solo inyectando tensión en el lado de alta tensión y midiendo la corriente en el lado de baja tensión (o viceversa) sin una conexión de guarda, también debería medirse la corriente a través de las bornas y a través de CH y CL (Figura 4 a).

Para eliminar las influencias adicionales y poder medir las propiedades de CHL solo, se utiliza la técnica de guarda. Esta técnica utiliza una conexión adicional de guarda en el dispositivo de medición a través de la cual pueden "derivarse" las corrientes no deseadas. Al conectar la cuba a la guarda en el ejemplo anterior, solamente se mide la corriente que pasa a través del aislamiento CHL (Figura 4 b).

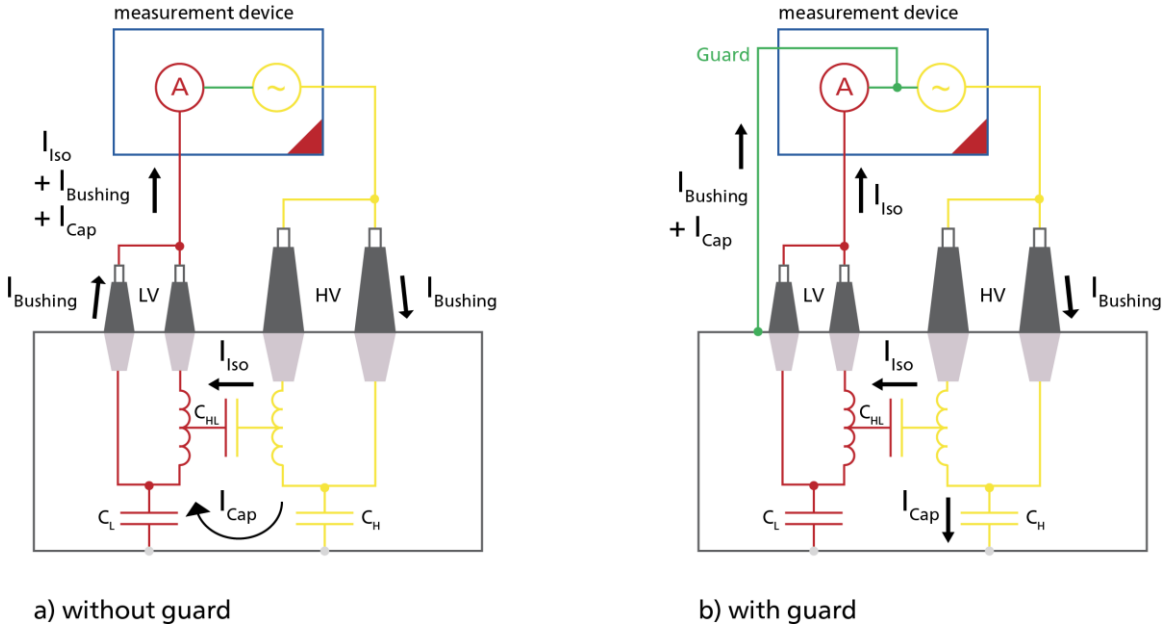

Figura 4. Medición de CHL en un transformador de dos devanados con y sin guarda (dispositivo de medición; ais; borna; Cap; sin guarda; Guarda; con guarda)

5 Realización de mediciones dieléctricas en transformadores de potencia

Preparativos

Antes de realizar una medición dieléctrica en un transformador de potencia, hay que desconectar completamente todas las conexiones eléctricas a las bornas. Esto no es solo por razones de seguridad, sino también porque las mediciones dieléctricas medirán todas las partes conectadas al sistema y las tensiones inducidas pueden causar perturbaciones en la medición. Hay que cortocircuitar todos los devanados del mismo grupo (AT, BT...) antes de la medición. Dado el caso, también hay que incluir en el cortocircuitado la borna del neutro.

Hay que tener en cuenta que la temperatura tendrá una influencia significativa en el resultado de todos los tipos de medición dieléctrica. Por lo tanto, es esencial medirla y tomar nota.

Mediciones realizadas a la frecuencia de la red

Las mediciones realizadas a la frecuencia de la red proporcionan parámetros que se pueden comparar con los valores de referencia con el fin de ver si hay diferencias visibles. Aunque las capacitancias por lo general no se ven influidas significativamente por pequeñas desviaciones de la temperatura entre la medición real y la de referencia, las mediciones del factor de disipación/potencia solo pueden compararse si se han realizado a la misma temperatura.

Un estudio realizado en más de 100 transformadores de potencia incluía la relación del factor de disipación a 50 Hz con el contenido de agua (Figura 5). Las pérdidas dieléctricas tienden a aumentar para contenidos de agua más altos, pero no es posible derivar un contenido en agua específico a partir de un valor de la tan(δ) medido. Por ejemplo, se midió un factor de disipación del 0,5 % en un transformador con un bajo contenido de agua del 1,4 % en peso, pero también en un transformador con un alto contenido de agua del 4 % en peso.

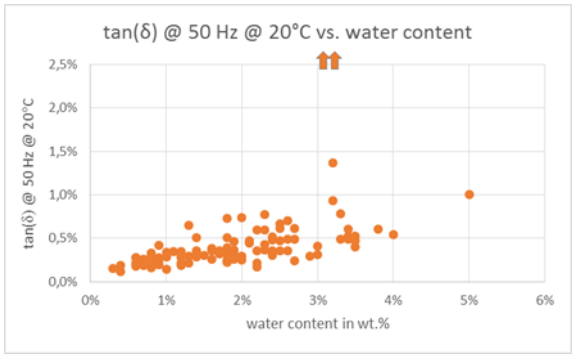

Figura 5. Relación de la tan(δ) a 50 Hz y 20 °C con el contenido de agua en la celulosa en más de 100 transformadores de potencia, evaluada a través de medición dieléctrica de banda ancha utilizando el sistema de pruebas DIRANA de OMICRON. (tan(δ) a 50 Hz a 20 °C y contenido de agua; contenido de agua en % en peso)

Mediciones realizadas de 15 Hz a 400 Hz

La medición de la tan(δ) en un pequeño rango de frecuencias cercanas a la frecuencia de la red, por ejemplo de 15 Hz a 400 Hz no solo proporciona información sobre las pérdidas dieléctricas a la frecuencia de alimentación, sino también muestra la pendiente de la curva de la tan(δ). Esto proporciona información adicional acerca de la conductividad del aceite y puede servir para analizar si la causa de la tan(δ) alta es el aceite. No obstante, la información de este valor de frecuencia de la red no es suficiente para determinar de forma confiable el contenido de agua.

En la Figura 6 se muestra la tan(δ) de 4 transformadores de potencia en un rango de frecuencias de la región de los µHz hasta algunos cientos de Hz. A 50 Hz, los activos con el 0,7 % y el 2,3 % de agua en el aislamiento del papel muestran valores idénticos de tan(δ) (0,164 % y 0,172 %), pero cuando el valor se mide a diferentes frecuencias, la diferencia de las curvas es claramente visible, incluso en el limitado rango de frecuencias de 15 Hz a 400 Hz. Una alta pendiente negativa de la curva en este rango es un indicador de una alta conductividad del aceite como muestra la curva roja. Las pendientes positivas en todo el rango de frecuencias indican generalmente una conductividad muy baja del aceite.

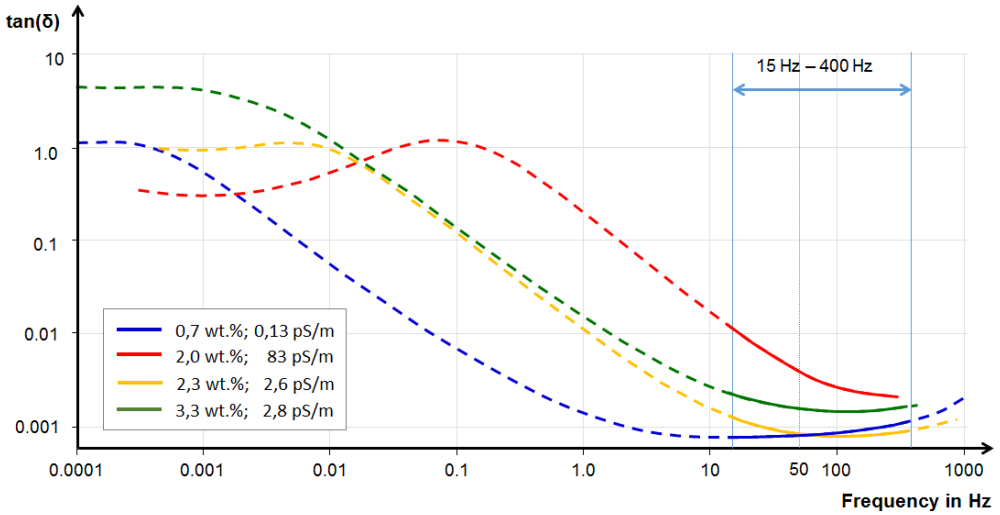

Figura 6. Respuesta dieléctrica de banda ancha de 4 transformadores de potencia diferentes a 20 °C. (Frecuencia en Hz)

Mediciones que utilizan tensión variable ("prueba de Tip-Up")

Las mediciones con tensión variable, también denominadas "pruebas de Tip-Up", por lo general no se realizan en el propio transformador de potencia, sino en las bornas donde ayudan a detectar, por ejemplo, problemas de contactos o roturas entre las capas de graduación [8] [9].

Mediciones dieléctricas de banda ancha

Las propiedades dieléctricas de un rango de frecuencias grande, incluidas las propiedades a frecuencias más bajas (región de mHz o µHz) permiten la separación e identificación de las propiedades del aceite y el cartón prensado en un transformador de potencia.

Por lo general, la curva medida muestra la forma característica que incluye una "joroba" a frecuencias más bajas (Figura 6). La región por debajo de la "joroba", alrededor de 1 - 2 décadas desde la cima de la "joroba", se ve muy influida por el contenido de agua en el aislamiento de celulosa. La determinación de esta región de frecuencias es esencial y la medición, que por lo general comienza en las frecuencias más altas, no deberá interrumpirse hasta que se haya medido esta región de frecuencias. Por lo tanto, es muy importante ajustar una región de frecuencias suficientemente grande.

Un enfoque práctico consiste en ajustar el rango más grande posible e interrumpir la medición una vez que el usuario compruebe que se han medido todos los datos necesarios. Otro esquema que se utiliza con frecuencia es realizar la medición durante la noche una vez establecidas las medidas de seguridad necesarias.

Un estudio sobre más de 100 mediciones en transformadores de potencia muestra claramente que la frecuencia de parada no se puede derivar de la temperatura del activo, ya que incluso los transformadores de potencia bastante calientes pueden requerir frecuencias muy bajas de parada en la región de los µHz (Figura 7). La frecuencia de parada se define como la frecuencia 1,5 décadas por debajo de la frecuencia de la "joroba".

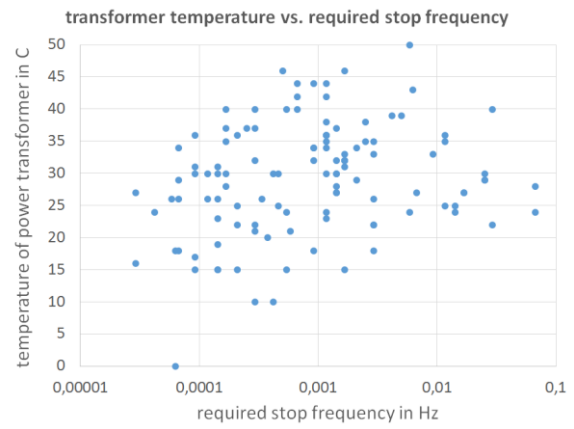

Figura 7. Frecuencia de parada requerida, dependiendo de la temperatura del transformador en un estudio que incluye más de 100 transformadores de potencia (temperatura del transformador frente a frecuencia de parada requerida; temperatura del transformador de potencia en C; frecuencia de parada requerida en Hz)

La temperatura del aislamiento es fundamental para el análisis de humedad y, por ello, debe anotarse cuidadosamente. Sin la temperatura del aislamiento correcta, no es posible una evaluación confiable de la humedad del aislamiento sólido. La temperatura superior del aceite se correlaciona mejor con la temperatura media del aislamiento; por lo tanto, se recomienda el uso de este valor para la evaluación de la humedad.

La evaluación de las curvas se suele automatizar con la ayuda de una computadora y una base de datos para la celulosa impregnada de aceite que contiene las propiedades dieléctricas del cartón prensado con contenidos de agua y temperaturas diferentes. El resultado de esta evaluación es el contenido de agua en el aislamiento de celulosa y la conductividad del aceite. La vida útil restante del activo depende de muchos factores, sin embargo, el contenido de humedad es un parámetro importante. Por lo tanto, esta medición es muy útil para el cálculo de la vida útil restante del aislamiento del transformador y muestra si es necesario emprender acciones como el secado o el procesamiento del aceite.

6 Mediciones en las bornas

En un transformador de potencia, por lo general hay más de una borna del mismo tipo y edad, lo que permite la comparación de las propiedades dieléctricas entre las unidades idénticas, además de la comparación con los límites fijados. Por tanto, si por ejemplo, tres bornas idénticas muestran propiedades dieléctricas idénticas, la existencia de un problema (que pueda detectarse por mediciones dieléctricas) también es poco probable que en cualquiera de ellas.

Además, cuando se realizan mediciones dieléctricas en bornas, hay que tener en cuenta la dependencia de la temperatura. Las investigaciones mostraron que incluso técnicas de compensación complejas no son capaces de realizar esta compensación en todos los casos [10]. Por tanto, la mejor manera de comparar los valores dieléctricos de las bornas, es decir con otras bornas o con los límites fijos, es realizar las mediciones a la misma o similar temperatura.

Mediciones realizadas a la frecuencia de la red en las bornas

La medición de la capacitancia y del factor de disipación/potencia a la frecuencia de la red ha sido un procedimiento muy común durante muchas décadas. Si bien un cambio en la capacitancia indica una rotura entre las capas capacitivas, un aumento del factor de disipación/potencia también puede indicar problemas tales como agua, envejecimiento, partes carbonizadas o contactos deficientes. Las normas IEEE e IEC sobre bornas requieren la medición del factor de disipación a temperatura ambiente como prueba de rutina en las nuevas bornas. La Tabla 1 muestra los límites a la frecuencia de la red según las normas IEC 60137 [11] e IEEE C57.19.01 [12] para diferentes tipos de bornas nuevas.

	Resin impregnated paper (RIP)	Oil impregnated paper (OIP)	Resin bonded paper (RBP)
Tan δ (source IEC 60137)	< 0.7 %	< 0.7 %	< 1.5 %
PF (source IEEE C57.10.01)	< 0.85 %	< 0.5 %	< 2 %
Typical values for new bushings	0.3 % - 0.4 %	0.2 % - 0.4 %	0.5 % - 0.6 %

Tabla 1. Valores límite y típicos de factor de disipación (tan(δ)) y de factor de potencia (PF) a la frecuencia de la red según IEC 60137 y IEEE C57.19.01 a 1,05 Um√3 y 20 °C (Papel impregnado en resina (RIP); Papel impregnado en aceite (OIP); Papel ligado con resina (RBP); Tan(δ) (fuente IEC 60137) ; PF (fuente IEEE C57.10.01); Valores típicos para nuevas bornas)

Mediciones realizadas de 15 Hz a 400 Hz en las bornas

La medición de las propiedades dieléctricas, especialmente el factor de disipación/potencia a frecuencias más bajas aumenta la sensibilidad hacia la humedad y el envejecimiento. La Figura 8 muestra el factor de disipación para una borna seca y húmeda entre 20 Hz y 400 Hz. Aunque la diferencia es también visible a la frecuencia de la red y por encima, es más significativa a frecuencias más bajas.

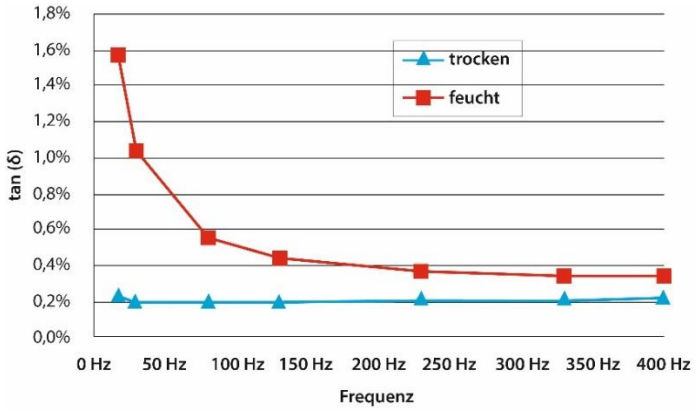

Abbildung 1: Verlustfaktor in Abhängigkeit von der Frequenz bei einer trockenen und einer feuchten 33 kV-OIP-Durchführung bei 30 °C (Daten aus **Invalid source specified.**)

La Tabla 2 muestra los límites indicativos a diferentes frecuencias de la guía de mantenimiento de transformadores de potencia de Cigré [9].

	Resin impregnated paper (RIP)		Oil impregnated paper (OIP)		Resin bonded paper (RBP)	
Frequency	**new**	**aged**	**new**	**aged**	**new**	**aged**
15 Hz	< 0.6 %	< 0.7 %	< 0.5 %	< 0.7 %	< 0.7 %	< 1.5 %
50 Hz / 60 Hz	< 0.5 %	< 0.5 %	< 0.4 %	< 0.5 %	< 0.6 %	< 1.0 %
400 Hz	< 0.6 %	< 0.7 %	< 0.5 %	< 0.7 %	< 0.7 %	< 1.5 %

Tabla 2. Valores indicativos de límites de tan(δ) para las bornas a 20 °C [9] (nueva, antigua)

Mediciones utilizando tensión variable (prueba "Tip-Up") en bornas

Las mediciones de las bornas a diferentes tensiones pueden revelar problemas como contactos deficientes de las tomas de medición. Si existe este tipo de problema, el factor de disipación/potencia disminuye ante tensiones más altas (Figura 9).

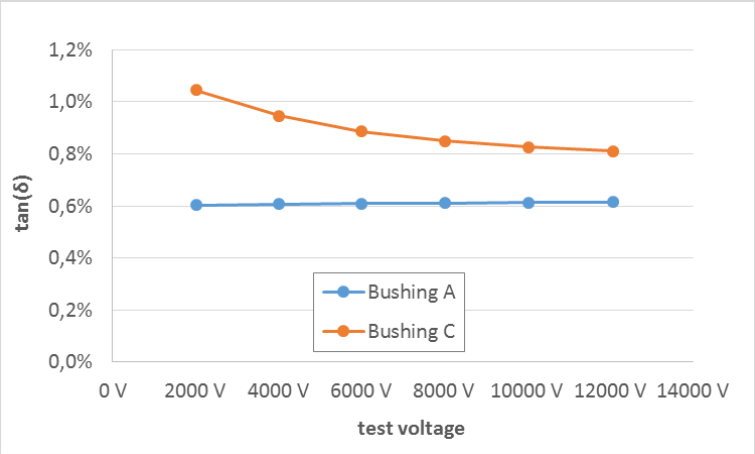

Figura 9. Mediciones de la tan(δ) de dos bornas RBP 123 kV del mismo tipo a diferentes tensiones con problemas de contactos en la toma de medición de la borna C (datos de [8]) (Borna A, Borna C; tensión de prueba)

Mediciones dieléctricas de banda ancha en las bornas

Como el área de baja frecuencia es más sensible al agua y al envejecimiento, las mediciones dieléctricas de banda ancha se pueden utilizar para detectar pequeños cambios en el contenido de agua y son, por tanto, también aplicables a las nuevas bornas; por ejemplo, para el control de calidad.

Las mediciones dieléctricas de banda ancha de bornas de papel impregnado en aceite (OIP) también permiten una evaluación del contenido absoluto de agua con un procedimiento que es similar a la evaluación de transformadores de potencia [13]. No es posible la determinación del contenido absoluto de agua para otros tipos de bornas como RIP o RBP, ya que la base de datos solo es válida para los aislamientos de celulosa-aceite puros [3]. Sin embargo, el contenido de agua también influye en las propiedades dieléctricas de esos sistemas de aislamiento de manera que pueden detectarse los cambios comparando las diferentes mediciones.

7 Conclusión

Las mediciones dieléctricas ayudan a detectar varios problemas en los transformadores de potencia y las bornas. Los diferentes tipos de mediciones dieléctricas permiten la identificación de problemas específicos (Tabla 3). Para el aislamiento del transformador, por ejemplo, una medición dieléctrica de banda ancha proporcionará no solo el contenido absoluto de agua del aislamiento de celulosa, sino también la conductividad del aceite. En las bornas, una prueba de "Tip-Up" con aumento de la tensión podría revelar posibles problemas de los contactos que difícilmente pueden detectarse mediante otras pruebas. Eligiendo las pruebas correctas, los ingenieros pueden detectar problemas en los transformadores de potencia y las bornas y proponer el mantenimiento antes de que se produzcan fallas.

Test range	... can be applied to determine ...	
	at power transformers	at bushings
line frequency	general condition	general condition, breakdowns between capacitive layers, detection of a high water content
15 Hz - 400 Hz	general condition, statements regarding the oil conductivity	general condition, breakdowns between capacitive layers, detection of a high water content
tip-up test (variable voltage)	problems at the bushings	contact problems, breakdowns between capacitive layers, general condition
broadband dielectric measurement	absolute water content, absolute oil conductivity, general condition	absolute water content (OIP only), detect influence of water and aging, general condition, breakdowns between capacitive layers

Tabla 3. Resumen de los problemas detectables con los diferentes tipos de pruebas dieléctricas (... pueden aplicarse para determinar ...; Rango de pruebas; en transformadores de potencia; en bornas; frecuencia de la red; condición general; condición general, roturas entre las capas capacitivas, detección de un alto contenido de agua; 15 Hz – 400 Hz; condición general, determinaciones con relación la conductividad del aceite; prueba de Tip-Up; tensión variable; problemas en las bornas, problemas de contactos; medición dieléctrica de banda ancha; contenido absoluto de agua, conductividad absoluta del aceite, condición general; contenido absoluto de agua (OIP solamente), detectar influencia del agua y el envejecimiento)

Referencias

[1] M. Koch, Reliable Moisture Determination in Power Transformers, Sierke Verlag, 2008.

[2] CIGRE, Technical Brochure 254: Dielectric Response Methods for Diagnostics of Power Transformers, CIGRE, 2002.

[3] M. Krueger and M. Koch, A fast and reliable dielectric diagnostic method to determine moisture in power transformers, in IEEE International Confrerence on Condition Monitoring and Diagnosis (CMD), 2008.

[4] W. S. Zaengl, Dielectric spectroscopy in time and frequency domain for HV power equipment. I. Theoretical considerations, IEEE Electrical Insulation Magazine, vol. 19, no. 5, pp. 5-19, 2003.

[5] A. K. Jonscher, Dielectric relaxation in Solids, Chelsea Press, 1983.

[6] W. S. Zaengl, Applications of Dielectric Spectroscopy in Time and Frequency Domain for HV Power Equipment, IEEE Electrical Insulation Magazine, vol. 19, no. 6, pp. 9-22, 2003.

[7] CIGRE, Technical Brochure 414: Dielectric Response Diagnoses For Transformer Windings, 2010.

[8] M. Krueger, A. Kraetge, M. Puetter and L. Hulka, New diagnostic tools for high voltage bushings, in CIGRE VI Workspot – international workshop on power transformers, Foz do Iguacu, Brazil, 2010.

[9] CIGRE, Technical Brochure 445: Guide for Transformer Maintenance, 2011.

[10] M. Puetter, I. Hong, M. Anglhuber, M. Krueger and M. Koch, New Diagnostic Tools for High Voltage Bushings by Considering the Temperature Dependency, in International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, Jeju, Korea, 2014.

[11] IEC 60137: Insulated bushings for alternating voltages above 1000 V, 2008.

[12] IEEE Std C57.19.01: Performance Characteristics and Dimensions for Outdoor Apparatus Bushings, 2000.

[13] S. Raetzke, M. Koch, M. Krueger and A. Talib, Condition assessment of instrument transformers using Dielectric Response Analysis, in CIGRE paper B2: PS2, Paris, 2012.

[14] U. Graevert, Dielectric Response Analysis of Real Insulation Systems, in Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Solid Dielectrics (ICSD), 2004.

[15] T. Leibfried, A. J. Kachler, A. Küchler, W. S. Zaengl, V. D. Houhanessian and B. Breitenbauch, Ageing and Moisture Analysis of Power Transformer Insulation Systems, in CIGRE Session, Paris, 2002.

Autores

El Dr. Martin Anglhuber obtuvo su diploma de grado en Ingeniería Eléctrica en la Universidad Técnica de Múnich en 2007. De 2007 a 2011 trabajó como ayudante científico en el Instituto de Tecnología de Alta Tensión y Transmisión Eléctrica de la Universidad Técnica de Múnich, Alemania y realizó una investigación sobre sobre nanocompuestos poliméricos como material aislante en aparatos de alta tensión. Se doctoró (Ph.D.E.E.) en 2012. Se unió a OMICRON en 2012 como Ingeniero de Aplicaciones y en la actualidad ocupa el cargo de Director de Producto en el área de diagnóstico dieléctrico de transformadores. Es miembro de VDE y IEEE.

El Dr. Michael Krüger es responsable de los servicios de ingeniería de OMICRON electronics GmbH, Austria. Estudió ingeniería eléctrica en la Universidad de Aquisgrán (RWTH) y la Universidad de Kaiserslautern (Alemania) y se graduó en 1976 (Dipl.-Ing.). En 1990 recibió el Dr. techn. de la Universidad de Viena. Michael Krüger tiene una experiencia de más de 25 años en ingeniería de alta tensión y diagnóstico de aislamiento. Es miembro de VDE y IEEE.

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.

Para obtener más información, documentación adicional e información de contacto detallada de nuestras oficinas en todo el mundo visite nuestro sitio web.

www.omicronenergy.com

© OMICRON