

Tangente del ángulo de pérdidas ($Tg \delta$) en aceites aislantes

Andrés Granero



Las pérdidas dieléctricas son función directa de la cantidad de impurezas y compuestos polares debidos al envejecimiento del aceite.

Las impurezas pueden proceder de un refinado defectuoso o por contaminación por agua u otros productos en contacto con el aceite.

Un aumento de la $tg \delta$ en un aceite en servicio se debe generalmente a envejecimiento por oxidación y viene acompañado de otros síntomas como aumento del índice de neutralización y del contenido en lodos y reducción de la tensión interfásica.

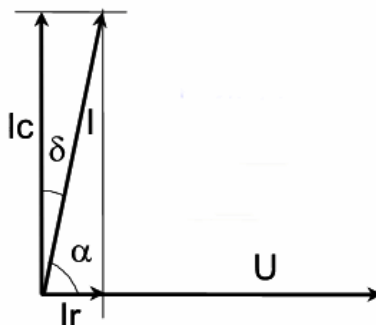
Eléctricamente, un aumento de las pérdidas del aceite origina un calentamiento del aceite y del papel impregnado, acelerando sobre todo en el papel, el proceso de degradación térmica de estos materiales.

La medida de la $tg \delta$ de un aceite, a temperatura próxima a la ambiente y a 90°C . es útil para detectar la presencia de agua de otros compuestos precipitables en frío, distinguiéndolas así de otros productos polares solubles debidos generalmente a envejecimiento del aceite.

Cuando se aplica un voltaje alterno a un condensador, el dieléctrico queda sometido a tensiones y desplazamientos periódicos. Si el material fuera perfectamente elástico, no habría pérdida de energía debido a que la almacenada durante los periodos de aumento de tensión seria cedida al circuito cuando esta disminuye. Pero la elasticidad eléctrica de los circuitos no es perfecta, de modo que el voltaje aplicado tiene que vencer fricciones moleculares además de las fuerzas elásticas; este trabajo de fricción se transforma en calor representando una pérdida de energía útil.

Cuando las pérdidas de energía no son excesivas, la elevación de temperatura del dieléctrico es moderada (3 a 5°C.), pero si estas pérdidas se elevan, la temperatura puede incrementarse hasta 50°C con las consiguientes modificaciones en el dieléctrico que pueden conducir a fallos en el condensador. Por ello la medida de esta energía u otra magnitud relacionada con ella es de suma importancia.

Considerando el caso particular de un voltaje sinusoidal aplicado a un condensador perfecto, las ondas de intensidad de corriente están desfasadas con las de voltaje en 90°. En la práctica, a causa de que los dieléctricos son imperfectos, una pequeña cantidad de energía se disipa y el ángulo de fase entre U e I se hace menor de 90°. (Véase figura).



Al ángulo δ se le denomina “ángulo de pérdida dieléctrica” y al valor de la $\text{tg } \delta$ se conoce con el nombre de “factor de disipación” o “tangente del ángulo de pérdida”.

Si consideramos un condensador de capacitancia C y frecuencia f al que se aplica un voltaje U, la pérdida de energía vendrá dada por:

$$P = 2 \pi f C U^2 \text{tg } \delta$$

Es decir, que la energía disipada en el dieléctrico es proporcional al ángulo de pérdidas dieléctricas y al cuadrado del potencial. Esta fórmula es aplicable a las pérdidas eléctricas disipadas en forma de calor en un transformador.

El valor cuantitativo de la $\text{tg } \delta$ para un aceite dado aumenta con la temperatura y también con la degradación o envejecimiento del aceite (unas 100 veces desde 20° C a 90°C).

En un transformador de bajo voltaje (hasta 50 kV.) la influencia del ángulo de pérdidas es pequeña, debido a que el valor del primer término ($2\pi f C U^2$) es bajo y en consecuencia la disipación de calor en el dieléctrico es relativamente débil. En estos casos, el aceite del transformador actúa más como refrigerante que como dieléctrico.

Ahora bien, en transformadores de alto voltaje (superior a 100 kV.), el primer término adquiere unas magnitudes considerables, por lo que si se desea mantener una disipación de calor mínima, es necesario que el valor de la tangente del ángulo de pérdidas del aceite fresco sea bajo y su evolución durante el servicio muy pequeña; en caso contrario se origina un fuerte desprendimiento de calor que eleva la temperatura del aceite y en consecuencia incrementa el valor de la tangente con lo que se empeora aún más este fenómeno.

Como índice de la posible evolución del ángulo de pérdidas de un aceite durante el servicio, se determina el valor de esta magnitud a 90°C., antes y después de un ensayo de oxidación a 100°C durante 164 horas.

En razón de lo anterior, el concepto de tangente del ángulo de pérdidas y su evolución durante el servicio es fundamental en aceites destinados a transformadores de alto voltaje. Por ello, la mayor parte de los fabricantes de transformadores especifican como límite máximo de la tangente del ángulo de pérdidas del aceite oxidado valores entre 0.05 y 0.1.

Es costumbre expresar las pérdidas de un condensador por su factor de potencia (power factor), que viene dado por la razón entre la potencia disipada en el circuito y la potencia aparente $U \cdot I$. En la figura, observamos que para ángulos pequeños, se cumple:

$$\text{Power factor} = \cos \alpha = \sin \delta \cong \text{Tg } \delta$$

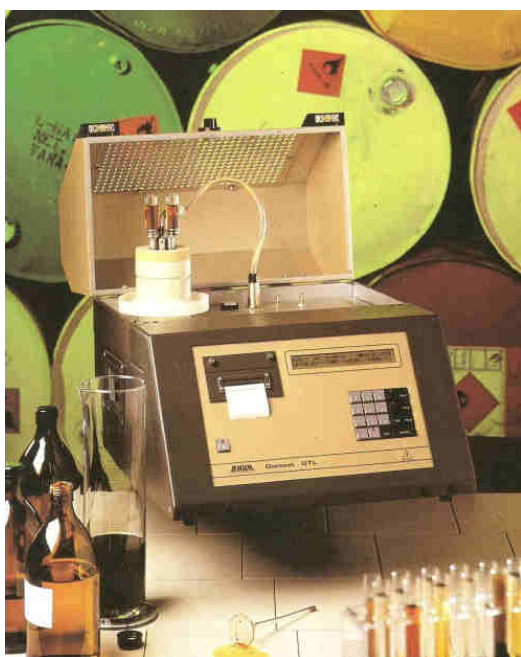
Como podemos observar el efecto directo de una elevada $\text{tg } \delta$ es el incremento de la temperatura de trabajo, pero existen además otros efectos indirectos que pueden ocasionar:

- Incremento de la corrosión metálica.
- Aceleración de la degradación de la celulosa.
- Aumento de la solubilidad y emulsividad del agua
- Incremento de la velocidad de oxidación del aceite.

Todos estos factores conducen a una serie de fenómenos en cadena que pueden dar lugar a problemas en el transformador durante el servicio.

Así pues la tangente del ángulo de pérdidas es la propiedad que más información proporciona acerca de las características dieléctricas del aceite, por lo que su valor es indicativo de la calidad de este, siendo la propiedad normalmente utilizada para la aceptación de un aceite nuevo y para conocer la calidad dieléctrica de un aceite en servicio.

Para su determinación, se ponen 40 cm de aceite en un vaso perfectamente limpio provisto de electrodos separados 2 mm, actuando el aceite como dieléctrico y el vaso como condensador de un puente de Shering. La medida se hace con corriente alterna a 2000 V. y 50 Hz. y a una temperatura de 90 °C.



Equipo DIELTEST DTL DE BAUR para la medida de la resistividad y la $\text{tg } \delta$ de los aceites aislantes

Las pérdidas dieléctricas como criterio de envejecimiento

Dado que el aceite puede fallar como dieléctrico por inestabilidad térmica cuando las pérdidas dieléctricas son elevadas, interesa conocer cuáles son las causas que motivan los altos valores de las mismas. Existen dos criterios, el que hace depender las pérdidas de la calidad original del aceite, y el que las hace depender de las impurezas disueltas procedentes de los materiales de construcción del transformador.

Hay autores que las consideran dependientes de la calidad del aceite o de su envejecimiento, habiendo encontrado relaciones entre $\tan \delta$ y el índice de acidez y entre $\tan \delta$ y la intensidad de absorción en el infrarrojo a 1.710 cm^{-1} , en ambos casos en ensayos artificiales de envejecimiento.

Otros autores opinan que estas correlaciones no se aprecian en aceites envejecidos en servicio y que eliminando los metales disueltos en el aceite, sobre todo los iones Na y Fe, las pérdidas dieléctricas se reducen enormemente (la influencia de las sales de cobre es menos pronunciada), sin que se modifique la intensidad de la banda C=O en el infrarrojo, lo que viene a significar que las pérdidas no dependen de la calidad del aceite y que el empleo de inhibidores no disminuirá aquellas.

En realidad parece ser que las pérdidas proceden de compuestos formados por las combinaciones obtenidas al reaccionar las impurezas metálicas con moléculas de aceite. De acuerdo con ello las impurezas en primer lugar, pero también la calidad del aceite y su grado de refino, influirán en la formación de tales combinaciones y por tanto en las pérdidas.

FUENTE:

Lubricantes CS: Los aceites aislantes