

motor tico

BOLETÍN TRIMESTRAL PREPARADO POR WWW.MOTORTICO.COM, COSTA RICA



ENERO-MARZO 2018

Experiencias prácticas usando la prueba de Tangente Delta en máquinas rotativas de MT

La prueba de Tangente Delta aplicada a máquinas eléctricas de media tensión, también llamada Factor de Disipación, es una medida de las pérdidas dieléctricas de un sistema de aislamiento, relacionadas con la condición del mismo. Por tratarse de una evaluación del sistema completo, entrega una valoración promedio de todos los materiales presentes. Su valor puede verse influido por distintos factores, los cuales serán tratados en este artículo.

Introducción

La estructura del sistema de aislamiento de una máquina de media tensión (MT) puede modelarse como un arreglo capacitivo, donde un terminal corresponde al bobinado, y el otro a la carcasa (conocido como tierra o masa). El dieléctrico de ese "capacitor" lo constituye el sistema de aislamiento sólido (barniz, resina, aislantes base, aislantes flexibles y cintas). Durante las pruebas de aislamiento que se realizan fuera-de-línea (con la máquina apagada), el modelo permite entender lo que sucede en los materiales (interior y superficie exterior). La Fig. 1 muestra el modelo del aislamiento durante las pruebas en corriente continua (CC) con el megohmetro, o en corriente alterna (CA), con una representación en "paralelo" de la capacitancia (C) y la resistencia (R).

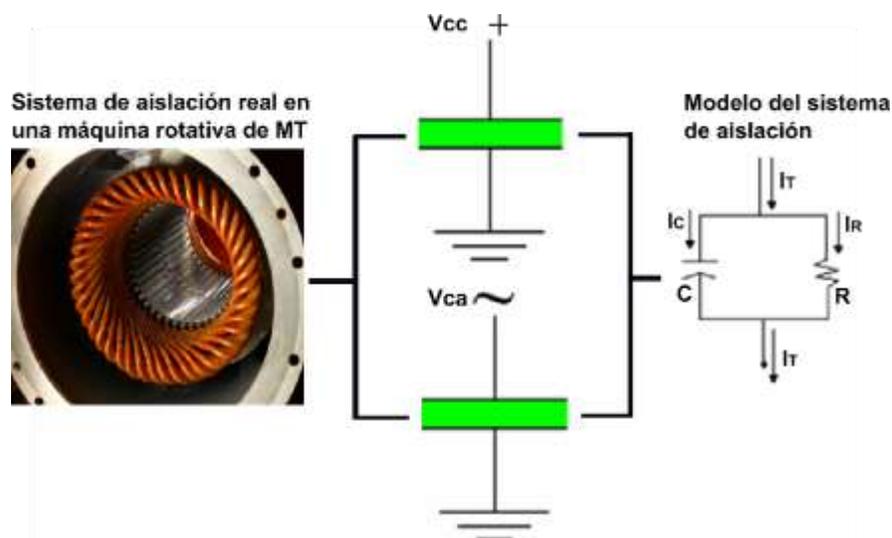


Figura 1 Modelo de un sistema de aislamiento en una máquina rotativa de MT

Cuando el aislamiento se somete a la tensión de prueba (sea de CC o CA), circula por éste una muy pequeña corriente I_T , la cual se representa con dos componentes: una corriente capacitiva (I_C), y una corriente resistiva (I_R) debido a la conductancia transversal, la cual es la causa fundamental de las pérdidas del dieléctrico. Si la tensión es en CC, la corriente capacitiva decae con el tiempo, hasta alcanzar un valor nulo. Pero, cuando la tensión es en CA, las componentes capacitiva y resistiva permanecen en el tiempo. En este sentido, todo dieléctrico puede representarse utilizando un capacitor ideal, junto con una resistencia, los cuales pueden conectarse en serie o paralelo. En este artículo se usará la representación en paralelo para estudiar la prueba de *Tangente Delta* ($\tan \delta$) que se realiza aplicando CA a la máquina, entre el bobinado y carcasa.

Prueba de Tangente Delta

Como se explicó antes, al aplicar una tensión en CA al aislamiento, aparece una corriente que pasa por éste, la cual no está completamente en cuadratura respecto de la tensión. Esto es, forma un ángulo complementario δ . La Fig. 2 presenta esta situación. Este ángulo aparece a causa de las pérdidas de polarización y conducción en el aislamiento. A frecuencia industrial (50 o 60Hz), el parámetro definido como *Factor de Disipación* corresponde a la $\tan \delta$ (llamada la tangente delta del ángulo de pérdidas).

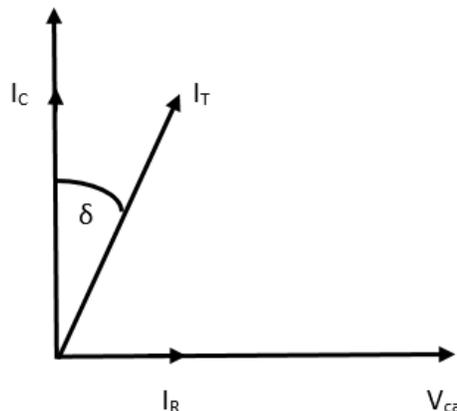


Figura 2 Componentes de corriente en una prueba de aislamiento en CA

En términos de las componentes de corriente y de las impedancias, el factor de disipación (*DF* por sus siglas en inglés) toma las siguientes formas:

$$DF = \tan \delta = \frac{I_R}{I_C}$$

$$DF = \tan \delta = \frac{1}{\omega RC}$$

Nótese que el factor de disipación no tiene unidades, y muchas veces se multiplica por 100, para expresarlo en porcentaje (%).

Los equipos de prueba calculan la $\tan \delta$ midiendo la corriente usando puentes balanceados de Schering. La razón de usar la función tangente, y no el coseno (factor de potencia), es que la tangente crece a medida que el ángulo aumenta (idealmente $\delta = 0^\circ$, es decir: $I_R = 0$), lo que se relaciona de manera más directa con una condición deficiente del aislamiento.

Una de las características de esta prueba, es que se debe realizar a distintas tensiones, registrando el valor de la $\tan \delta$ para cada uno. Según el valor de la tensión línea-línea de la máquina (V_n), se sugiere realizar las pruebas desde $0,2 V_n$ hasta $1,0 V_n$, con incrementos de $0,2 V_n$.

Esta forma de realizar la prueba, permite establecer el concepto de "Tip-up", el cual es un parámetro adicional de diagnóstico. El Tip-up es la variación de la $\tan \delta$ en cualquier incremento de $0,2 V_n$, es decir, entre dos escalones consecutivos de tensión. Es de esperar que el valor de la $\tan \delta$ sea influenciada por la actividad de descargas parciales, por lo que su valor tiende a crecer, con el aumento de la tensión.

En el pasado, los límites aplicados a los valores de $\tan \delta$ fueron desarrollados por los fabricantes y usuarios finales. Sin embargo, hoy en día, distintas organizaciones establecen los valores recomendados y métodos de prueba, los cuales se utilizan de forma extensiva. Así, según la revisión de distintas normativas, la Tabla I resume los parámetros relacionados. Las normas utilizadas son preparadas por entidades como el IEEE, IEC y otros organismos. Nota: el símbolo @ significa "a", por ejemplo: a $0,2 V_n$.

Tabla 1 Valores recomendados de los parámetros de la $\tan \delta$

Parámetro	Valor recomendado
$\tan \delta @ 0,2 V_n$	2 - 4 %
$0,5 * (\tan \delta @ 0,6 V_n - \tan \delta @ 0,2 V_n)$	0,25%
Tip-up $\tan \delta$	0,50%

Con la prueba de $\tan \delta$ es posible detectar los siguientes procesos deterioro y contaminación, que incrementarán las pérdidas dieléctricas:

- Contaminación del sistema de aislamiento, incluyendo humedad.
- Deterioro químico.
- Daños por sobrecalentamiento.
- Carbonización.

Por su parte, el parámetro Tip-up es sensible a:

- Inclusiones gaseosas en el sistema de aislamiento.
- Daños por descargas parciales.
- Calidad del proceso de impregnación en sistemas tipo resina.
- Delaminación, como resultado del estrés térmico.

Finalmente, se recomienda usar el análisis de tendencia de los parámetros (en el tiempo), lo que ayudará a la detección de problemas en el sistema de aislamiento. Para ilustrar estos aspectos se presenta el siguiente caso de estudio real.

Caso de estudio

El equipo evaluado corresponde a un motor eléctrico de 255 [HP], 6,6 [kV], 8 polos, IP65/IC411, de un triturador. El mismo fue probado directamente en las dependencias del usuario, utilizando distintos ensayos dieléctricos. Las pruebas de Resistencia de Aislamiento, Índice de Polarización, e Impulso alcanzaron niveles adecuados, según la normativa utilizada. Por otro lado, la prueba de Descarga Dieléctrica presentó un valor por encima de lo recomendado. En el caso de la prueba de $\tan \delta$ el resultado lo que muestra la Fig. 3.

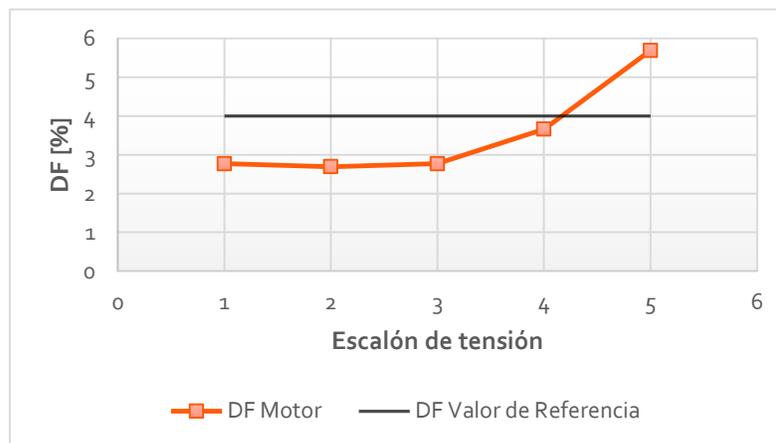


Figura 3 Resultado de la prueba de $\tan \delta$ (DF)

Como se ve en la Fig. 3, en los primeros tres escalones de tensión, el valor de la $\tan \delta$ estuvo por debajo del valor de 3%, lo que es altamente recomendado. Sin embargo, el cuarto y quinto escalón presentaron un salto importante, lo que hace prever que el sistema de aislamiento puede presentar un deterioro avanzado, o bien, contener excesiva contaminación. Como ninguno de estos dos elementos puede ser verificado con el motor armado, se sugiere programar una rutina completa de mantenimiento preventivo en el corto plazo.