

ANÁLISIS EN RESPUESTA A FRECUENCIA EN TRANSFORMADORES

1. INTRODUCCIÓN.

El análisis en respuesta a frecuencia (frequency response analysis, FRA), es un método que permite detectar deformaciones en los componentes del transformador, especialmente en los devanados. Estas deformaciones se deben al estrés mecánico, térmico y eléctrico al que están sometidos los transformadores durante su operación en servicio.

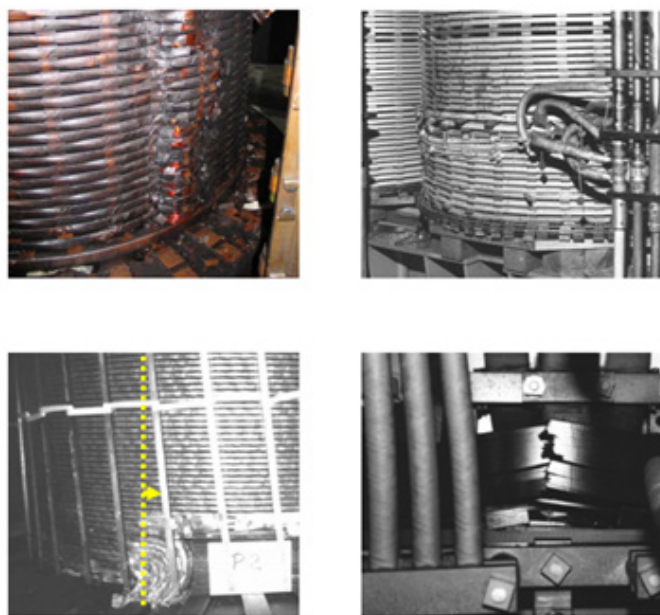


Fig. 1. Diferentes tipos de deformaciones en los devanados de un transformador (Cortesía de CIGRE)

El FRA es único para cada transformador e invariable, siempre y cuando este no haya sufrido daños en su interior. Por lo que la detección de deformaciones se da mediante la comparación de dos FRA, pudiendo ser estas mediciones de un mismo devanado en diferentes periodos de tiempo o de dos transformadores idénticos. El circuito equivalente del transformador es una compleja red de elementos pasivos, los cuales incluyen resistencia, capacitancia e inductancia.

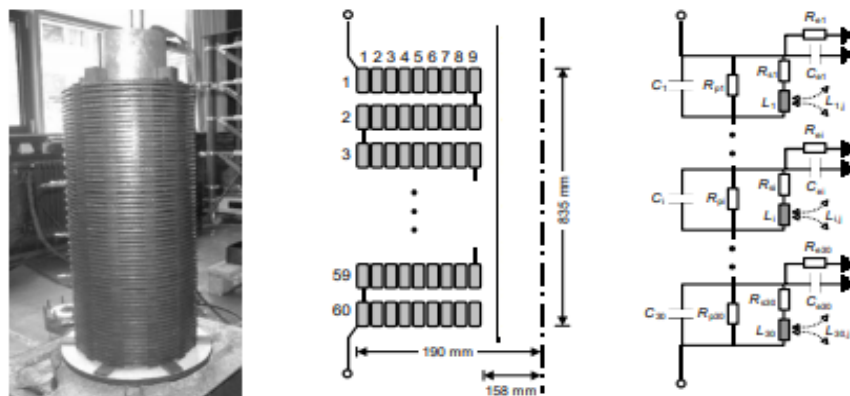


Fig. 2. Modelo de parámetros concentrados para simulación matemática (Cortesía de CIGRE)

La resistencia representa a las pérdidas dieléctricas de los materiales aislantes, pérdidas en los conductores y pérdidas por corrientes parásitas en el núcleo del transformador. La capacitancia representa la energía eléctrica almacenada y suele darse entre las espiras vecinas del mismo devanado, entre las espiras de diferentes devanados y entre las espiras vs masa. La inductancia representa la energía magnética almacenada y se debe a la autoinductancia y a la inductancia mutua de los devanados. Entre los factores que influyen en el circuito equivalente se encuentra el espacio entre fases, espacio entre bobinados, tamaño de conductores, tipo de núcleo, la manufactura del fabricante, etc.

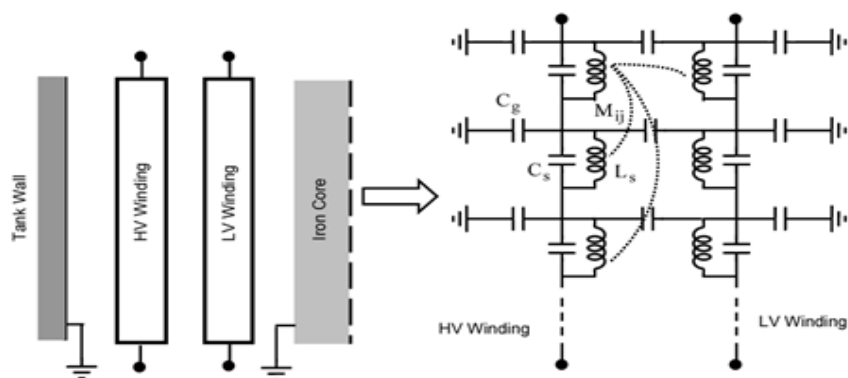


Fig. 3. Circuito equivalente para un transformador de 2 devanados.

El FRA consiste básicamente en inyectar una señal (a frecuencia creciente) a este circuito equivalente del transformador en el extremo de uno de los devanados del transformador y medir la señal de salida en el otro extremo de dicho devanado (atenuación). La relación entre señal de salida y entrada se conoce como función de transferencia, el FRA toma el comportamiento de la función de transferencia en un amplio rango de frecuencia como la huella dactilar del transformador.

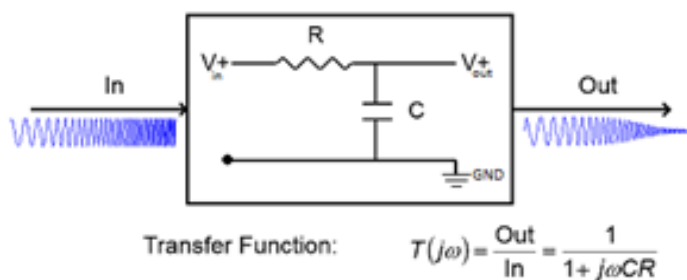


Fig. 4. Función de transferencia en un circuito RC.

La función de transferencia está descrita por la magnitud y el ángulo de fase.

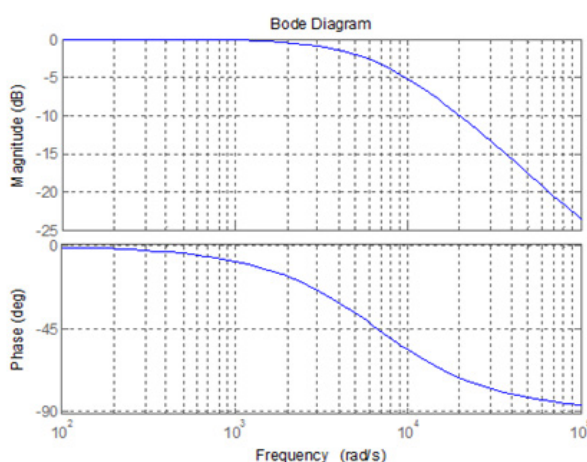


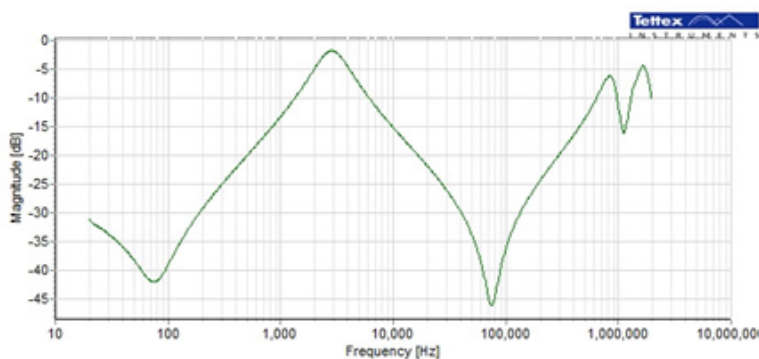
Fig. 5. Diagrama de Bode de un circuito RC ideal.

A. ¿CÓMO SE REALIZA ESTÁ MEDICIÓN?

Existen dos formas de realizar las mediciones del FRA:

- Medición en Circuito Abierto.

Esta medición se aplica entre los extremos de un devanado permaneciendo el resto abierto. A bajas frecuencias el efecto capacitivo es insignificante y el devanado se comporta como un inductor. Por lo tanto, la atenuación y el cambio de fase de las señales sinusoidales de baja frecuencia que pasan por el devanado se determinan por naturaleza inductiva del núcleo y la naturaleza resistiva del devanado.



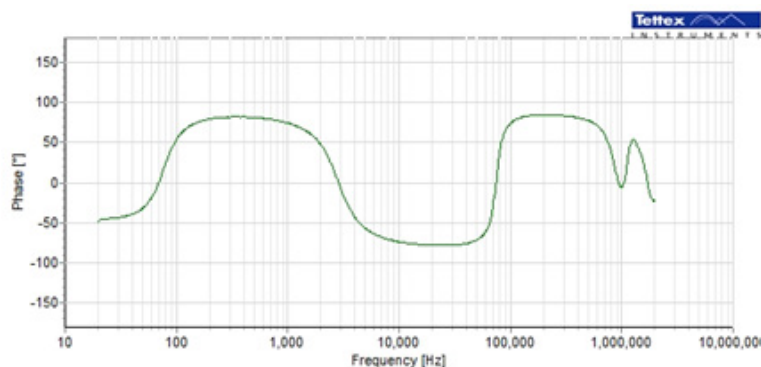


Fig. 6. FRA realizado a un transformador de corriente de 15VA (Cortesía Silicon Technology)

A medida que aumenta la frecuencia (por encima de los 100 kHz), las señales sinusoidales viajan principalmente fuera del devanado y reflejan los otros elementos que se encuentran en el transformador, por ejemplo, cables, soporte de aislamiento, etc. La magnitud y la fase de la función de transferencia en esa región de frecuencia son influenciadas por la naturaleza R-L-C de estos elementos.

- Medición en Cortocircuito.

El objetivo de esta medición es permitir la comparación directa entre las tres fases de un transformador trifásico en donde no existan mediciones previas. Esta medición se aplica entre los extremos de un devanado permaneciendo el resto en cortocircuito. A frecuencias inferiores a los 10-20KHz el efecto del núcleo es despreciable por lo que las respuestas de los tres devanados deben similares.

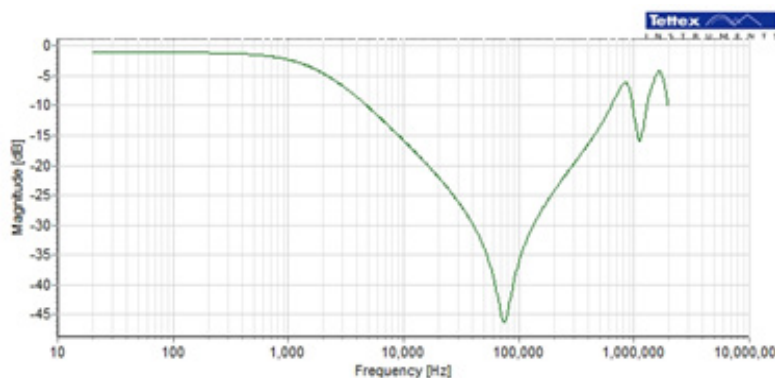


Fig. 7. FRA realizado a un transformador de corriente de 15VA (Cortesía Silicon Technology)

B. ANÁLISIS DE LAS MEDICIONES

El análisis de los datos de FRA se basa solo en una comparación subjetiva de las curvas. Para la medición inicial, se analizan las curvas para detectar cambios entre las respuestas de las tres fases del mismo transformador y cambios entre las respuestas de transformadores del mismo diseño.

B. ZONA DE ANÁLISIS

Después de la comparación entre dos FRA y en caso se halla encontrado desviaciones en las curvas, se puede determinar el daño y su origen de acuerdo a la siguiente tabla.

Rango de frecuencia	10Hz-30kHz	30Hz-200kHz	200Hz-500kHz	500kHz<
Falla	-Deformación del núcleo -Circuitos abiertos en los devanados. -Corto entre espiras. -Magnetismo residual	-Deformación en los devanados.	-Deformación generalizada en los devanados.	-Pérdida general de presión de sujeción. -Movimiento de cables de bobinado.
Origen	Núcleo y circuito magnético.	Geometría del devanado.	Geometría del devanado.	Interconexiones.

4. CONCLUSIÓN.

- El FRA es un método comparativo el cual va depender de la experiencia del personal a realizar el servicio.
- Es un método no destructivo ya que no requiere de elevadas tensiones.
- Este método complementa a las mediciones tradicionales de transformadores (aislamiento, resistencia, relación de transformación, etc)
- Se recomienda realizar este análisis antes y después del transporte del transformador, después de una falla en el sistema eléctrico.
- Actualmente en el Perú no disponemos de una normativa para FRA, por lo que se espera que profesionales con experiencia contribuyan con la creación de una normativa en los próximos años.

5. BIBLIOGRAFÍA.

- (1) IEEE Standars Association. (2012). IEEE C57.149-2012 - IEEE Guide for the Application and Interpretation of Frequency Response Analysis for Oil-Immersed Transformers.
- (2) Haefely Test AG. (2005). FRA 5310 Frequency Response Analyser.
- (3) CIGRE. (2008). Working Group A2.26 Mechanical-Condition Assessment of Transformer Windings using Frequency Response Analysis (FRA).
- (4) IEC. (2012). IEC 60076-18 Power transformers - Part 18: Measurement of frequency response.
- (5) Omicron. Folleto de equipo FRANEO 800.

Autor: Ing. Alonso Portella Retuerto.

Edición: Bach. Francie Salazar Mandamiento, Responsable de Medios e Imagen Institucional