Megger
Power on

BOLETÍN DE GESTIÓN DE LA VIDA ÚTIL DEL TRANSFORMADOR (TLM):

Mediciones dinámicas en los cambiadores de tomas bajo carga (OLTC)

Un cambiador de tomas de transformador permite controlar la relación entre la tensión de salida de un transformador y su tensión de entrada. Se trata de un dispositivo mecánico y uno de los pocos componentes de un transformador con piezas móviles (entre otras, se incluyen bombas y ventiladores). Un cambiador de tomas cambia la relación de transformación añadiendo o disminuyendo secciones de derivación del devanado de los devanados principales de AT o BT del transformador. Un cambiador de tomas también se puede usar para cambiar la configuración de los devanados, como se proporciona a través del uso de un cambiador de tomas desenergizado (DETC): una de las dos (2) clases de cambiadores de tomas. Nunca se debe mover un DETC mientras el transformador esté energizado. Sin embargo, la segunda clase de cambiador de tomas e, indudablemente la más indispensable —cambiadores de tomas bajo carga (OLTC)—, permite la selección de un cambio de relación mientras el transformador se encuentra en servicio. Al variar la relación de un transformador bajo carga sin interrupción, los cambiadores OLTC permiten la regulación de la tensión y/o el cambio de fase.

Los estudios respaldan el caso para probar los cambiadores de tomas. [1] Existen varias pruebas disponibles para evaluar el estado de un cambiador de tomas, o diagnosticar un problema, entre las que se incluyen: corriente de excitación, relación de transformación, resistencia de devanados, SFRA, análisis de gases disueltos (DGA), continuidad, temporización y mediciones dinámicas

Mediciones estáticas: las pruebas de corriente de excitación, relación de transformación, resistencia de devanados y SFRA se realizan mientras el OLTC (y DETC) se encuentra estático en cada una de las diferentes posiciones de las tomas seleccionadas. Con respecto al diagnóstico del cambiador de tomas, estas pruebas resultan valiosas para determinar la integridad de las partes adicionales de devanados incluidos en la medición, los contactos (por ejemplo, los móviles y los estáticos no están con incisiones, no tienen residuos de calentamiento, no están sueltos y están totalmente acoplados) y, en el caso de los OLTC de tipo reactivo, la condición del autotransformador preventivo (PAAP), el autotransformador o el transformador de series, etc. A diferencia de los OLTC de tipo resistivo, los OLTC de tipo reactivo usan la posición de puente[1] como una posición de servicio, por lo que, el realizar una medición estática en una posición de toma de numeración impar, los componentes del puente se incluyen en el circuito de prueba y se pueden evaluar. Un OLTC de tipo resistivo nunca pasa más de aproximadamente 40 - 60 ms en un estado de puente, por lo que, al realizar una medición estática, los componentes de puente, como las resistencias del conmutador, no se incluyen en el circuito de prueba.

Mediciones dinámicas (solo para OLTC): las pruebas de continuidad, las pruebas de temporizado y las mediciones dinámicas se realizan durante el funcionamiento del OLTC (es decir, mientras se ejecuta un cambio de toma). Durante años se han usado comprobaciones de continuidad, que verifican el cierre de los contactos antes de que se abran otros. Las mediciones dinámicas en los OLTC, incluyendo el tiempo de la operación, son más recientes y están ganando aceptación. En el caso de las mediciones dinámicas, se tiene más experiencia con los OLTC de tipo resistivo, que se usan más en todo el mundo, a diferencia de los OLTC de tipo reactivo, que se usan de forma más destacada y amplia en Norteamérica. En este boletín se trata sobre estas mediciones dinámicas.

Mediciones dinámicas de OLTC

Los métodos y las técnicas existentes para las mediciones dinámicas en los OLTC se basan en medir la corriente o la tensión en el lado principal del transformador (o en el secundario, según el bobinado con el que esté asociado[2] el OLTC) mientras se cortocircuita con frecuencia el lado secundario (o principal) para minimizar la inductancia en el circuito. Una técnica nueva y patentada consiste en combinar la medición de corriente con las mediciones de tensión tanto en el lado primario como en el secundario del transformador y, a continuación, usar los parámetros del transformador para calcular las tensiones inductivas y resistivas con el fin de calcular la resistencia dinámica durante un cambio de tomas. [2]

[1] Una posición de puente es aquella en la que se seleccionan dos tomas consecutivas al mismo tiempo y hay presente cierta forma de impedancia, resistiva o reactiva, para limitar la corriente resultante en circulación.

[2] Los cambiadores de tomas bajo carga de tipo resistivo, habituales en Europa, Asia, África y Sudamérica, se conectan al devanado de AT del transformador. Los cambiadores de tomas bajo carga de tipo reactivo, habituales en Norteamérica, se conectan casi siempre al lado de BT del transformador.

Mediciones dinámicas en los cambiadores de tomas bajo carga (OLTC)

Todos los métodos de mediciones dinámicas en un OLTC tienen en común que la corriente se inyecta en el cambiador de tomas, tanto en una fase como en todas, y, durante la operación del cambiador de tomas, se mide la corriente o la tensión como una función de tiempo. La corriente de prueba varía aproximadamente desde 0,1 A hasta una magnitud estándar para las mediciones de resistencia de devanados, normalmente entre el 1 y el 10 % de la corriente nominal del devanado del transformador. La prueba puede realizarse al mismo tiempo que la prueba de resistencia de devanados o como una prueba por separado. Los métodos estándar son:

- Prueba de continuidad/apertura antes de cierre
- Mediciones dinámicas
  - Corriente dinámica/"rizado" (se suele denominar "DRM")
  - Tensión dinámica (como una forma de calcular la resistencia dinámica)
  - Resistencia dinámica, DRM

Comprobaciones de continuidad (detección de pérdida de continuidad)

Este método se utiliza para detectar si hay un estado de apertura antes de cierre en el OLTC mediante monitoreo del cambio de corriente o tensión. La medición normalmente se efectúa al mismo tiempo que las mediciones de la resistencia de devanados y el instrumento detecta la continuidad en la conmutación de contactos o si hay una interrupción en el paso de la corriente.

La detección de un contacto abierto se puede efectuar mediante la detección del cambio de corriente, la detección de cambios di/dt o la detección del cambio de tensión en la salida del generador o el lado opuesto del transformador (es decir, si el cambiador de tomas se encuentra en el lado de AT, la detección se efectúa mediante la medición de las tensiones transitorias en el devanado de BT respectivo).

Medición de corriente dinámica

La medición de corriente dinámica es similar a la prueba de pérdida de continuidad. Sin embargo, además de la detección de pérdida de continuidad, se mide la corriente de prueba y el resultado se presenta en un diagrama de corriente-tiempo (gráfico 1) o como un valor de rizado porcentual. El rizado es la magnitud por la que se reduce la corriente de ensayo durante el cambio de tomas y se expresa como un porcentaje de la corriente de ensayo, indicada mediante:

$$\frac{\text{[(corriente de ensayo) – (corriente mínima medida durante la operación de cambio de tomas)]}}{\text{(corriente de ensayo)}}$$

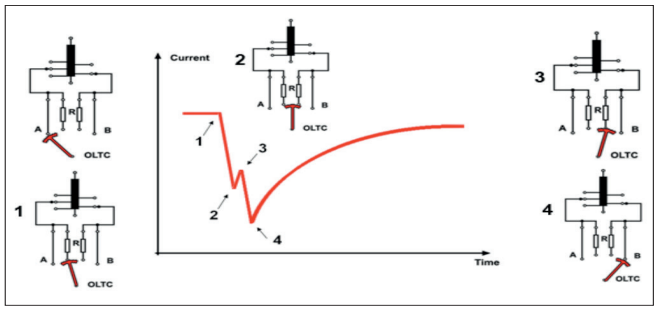

Gráfico 1. Diagrama corriente-tiempo para la operación de un conmutador típico (se identifica el rizado, R)

La intención es proveer un valor que describa las condiciones durante la operación y proporcionar los tiempos de contacto. Por ejemplo, si el rizado es atípicamente grande, esto indica un aumento en la resistencia en la trayectoria de transición y/o que la operación de las tomas es más lenta de lo que debería ser. [3] El porcentaje de rizado se grafica para cada transición del OLTC para las tres fases (gráfico2).

Las mediciones de corriente dinámica dependen de la corriente de prueba y de la impedancia de la fuente del equipo de pruebas. El núcleo debe estar saturado y la corriente estable para poder alcanzar resultados de prueba representativos y repetibles. Si la prueba se realiza en un nivel de corriente por debajo del nivel de saturación, la inductancia del devanado del transformador es alta y suaviza el cambio de corriente. Si la comprobación se realiza en un nivel de corriente o por encima del nivel de saturación, la inductancia es baja y el cambio de nivel de corriente será más alto [4].

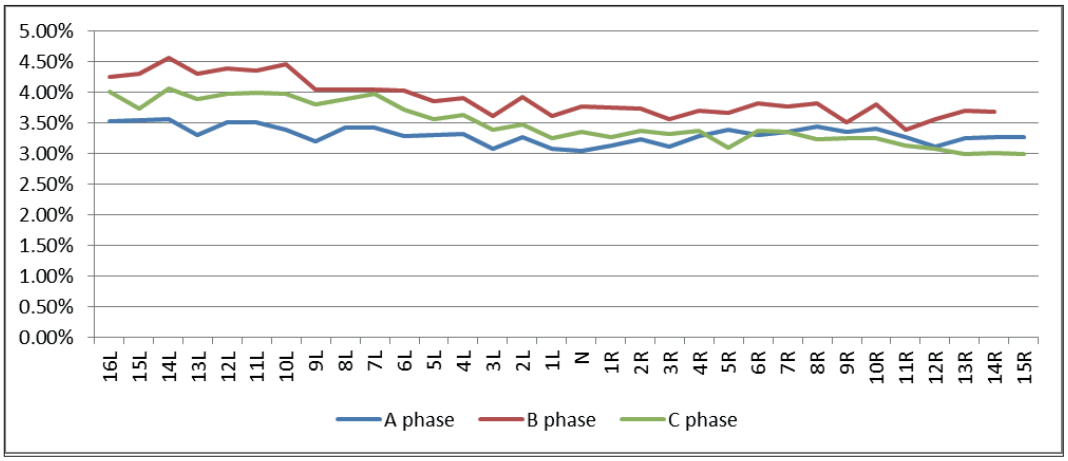

Gráfico 2. Resultados de corriente dinámica, mostrados como un porcentaje de rizado

Un método para reducir la inductancia del transformador al realizar las mediciones en el cambiador de tomas consiste en cortocircuitar los devanados BT (o AT) correspondientes que no se prueban. Esta acción consiste principalmente en "sustituir" la inductancia del devanado con la impedancia del cortocircuito. La inductancia se reduce considerablemente y los cambios de la corriente se pueden medir de forma más precisa. En la nota de la aplicación de Megger, "Guía para las pruebas del cambiador de tomas del transformador", se muestran mediciones de corriente dinámica en un transformador de 30 MVA, 130/46 kV, YNyn0 usando distintas corrientes de ensayo y con los devanados de BT abiertos y cortocircuitados [5], lo que ilustra la incoherencia de los resultados con variables diferentes [6].

Medición de resistencia dinámica

Las pruebas de medición de resistencia dinámica (DRM) se han usado para el diagnóstico de interruptores automáticos durante más de 20 años. Si se observan las similitudes entre un OLTC y un interruptor, el conocimiento de las DRM en las pruebas de interruptores puede resultar útil para la incorporación de este método como una herramienta para diagnosticar los problemas de OLTC. Cuando un interruptor se encuentra en una posición estática, por ejemplo, está cerrado (que es un estado en el que el interruptor está más del 99 % de su vida), las mediciones de resistencia de contacto son un diagnóstico útil. También se desea realizar más adelante la evaluación de cómo se comportará el interruptor cuando esté "operando" (por ejemplo, para cerrar o abrir el circuito, abrir y luego cerrar inmediatamente, etc.). Con este fin, se usan las pruebas temporizadas y movimiento para evaluar el estado mecánico de un interruptor. Cuando los resultados temporizados y movimiento indican una anomalía, la prueba de medición de resistencia dinámica (DRM) puede ofrecer una forma eficaz de diagnosticar el estado interno de los contactos del interruptor. La medición de resistencia dinámica (DRM) es una técnica interesante que también se puede usar para verificar la operación de conmutación de los cambiadores de tomas bajo carga (OLTC).

Medición de tensión dinámica (para calcular la resistencia dinámica)

Se inyecta una corriente de prueba relativamente pequeña (de 0,1 a 1 A) a través del cambiador de tomas bajo carga mediante una fuente de corriente de alta impedancia y colocando en cortocircuito los devanados de BT (o AT, es decir, los devanados opuestos de los que se están probando). Se mide la tensión sobre el circuito de prueba y se puede calcular la resistencia con respecto al tiempo. También se pueden medir los tiempos de contacto, así como los valores de resistencia del conmutador, se pueden observar rápidamente las irregularidades (en los valores de resistencia del conmutador) y las interrupciones. En los gráficos 3 y 4 se muestra un ejemplo de un transformador de 20 MVA, 22/10 kV.

Mediciones dinámicas en los cambiadores de tomas bajo carga (OLTC)

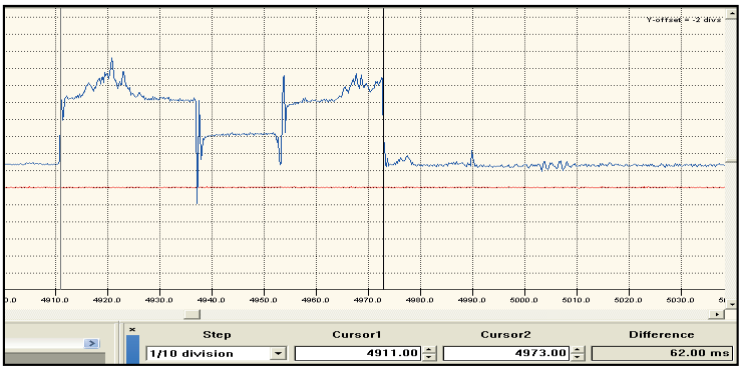

Gráfico 3. DRM en OLTC, corriente de prueba de 0,1 A, fuente de corriente constante, BT en cortocircuito. Corriente (rojo), resistencia (azul)

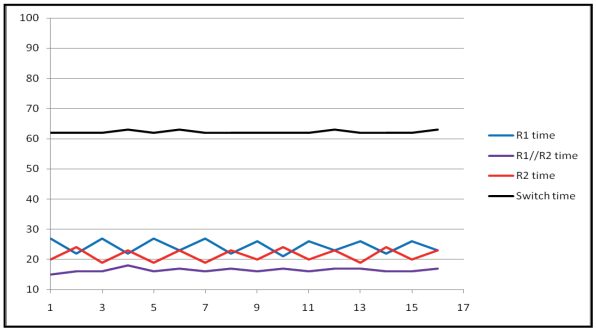

Gráfico 4. Tiempos de transición (ms) de H1 OLTC; cambio de tomas de 1-2 a 16-17

Medición de resistencia dinámica (con BT abierto)

Un nuevo método patentado consiste en medir la resistencia dinámica en el cambiador de tomas bajo carga mediante la medición simultánea de la corriente de prueba junto con tensiones en los devanados de AT y de BT, y combinar los resultados con el modelado del transformador. La diferencia en esta configuración de prueba y el método anterior radica en que el devanado de BT se deja abierto. En el gráfico 5 se muestra un ejemplo de una medición.

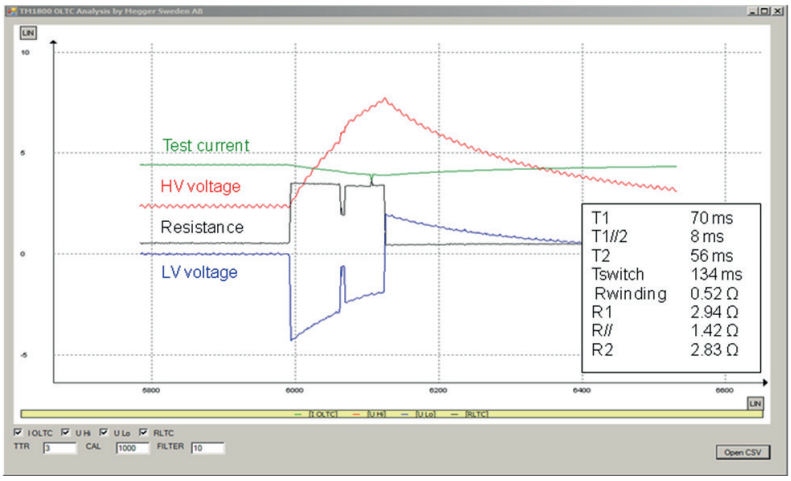

Gráfico 5. DRM en OLTC usando una corriente de prueba de 5 A e impedancia de fuente de 10 Ω , [Corriente de prueba (verde); tensión medida por el devanado AT (rojo); tensión medida por el devanado BT (azul), Resistencia (negro)]

La impedancia de la fuente en este ejemplo es de aproximadamente 10 ohmios y podemos observar un pequeño cambio de corriente durante el cambio de tomas (traza verde en el gráfico 5). Debido a la inductancia en el circuito (recuperando para esta medida lo opuesto o que el devanado BT se quede abierto), el cambio de tensión medido en el devanado AT (traza roja en el gráfico 5) es más bien grande. Esta tensión es la suma de la tensión inductiva y resistiva, y no se puede usar para calcular directamente la resistencia del circuito. No obstante, la tensión medida en el devanado BT es puramente inductiva y, si usamos los parámetros de modelo de transformador para calcular la tensión inductiva en el primario, podemos deducir este valor de la tensión del devanado AT medida y calcular la resistencia del circuito. El resultado se ofrece en el gráfico 5.

Referencias

[1] Cigre_WG 12-05 "*An international survey on failures in large power transformers in service*" (Encuesta internacional sobre averías en grandes transformadores potencia en servicio), Electra n.º 88, 1983.

[2] Matz Ohlen, Nils Wäcklen, Rene Yvrard, *"New Techniques for Dynamic Resistance Measurements on Load Tap-Changers"* (Nuevas técnicas para las mediciones de resistencia dinámica en los cambiadores de tomas bajo carga), ISH – 18.º Simposio Internacional sobre Alta Ingeniería, Seúl, Corea, 2013.

[3] Duplessis, J. (2013) *Electrical Field Tests for the Life Management of Transformers, Austria: Omicron (Pruebas de campos eléctricos para la gestión de la vida útil de los transformadores, Austria: Omicron)*

[4] D. Chajer y Matz Ohlen, *"Preventive Maintenance of Transformer Accessories - Bushings & Tap Changers"* (Mantenimiento preventivo de los accesorios de transformadores: bornas y cambiadores de tomas), Conferencia Técnica Anual de Soluciones de Diagnóstico de WEIDMANN, Las Vegas, NV, EE. UU., octubre de 2011.

[5] J. J. Erbrink et al, "*Reproducibility of Dynamic Resistance Measurement Results of On-Load Tap Changers – Effect of Test Parameters"* (Capacidad de reproducción de los resultados de medición de resistencia dinámica de los cambiadores de tomas bajo carga: efecto de los parámetros de prueba), Ponencias de la Conferencia Internacional sobre Monitor y Diagnóstico de la Condición 2010, Tokio, Japón, del 6 al 11 de septiembre de 2010.

[6] Nota de aplicación de Megger, *"Guía para las pruebas del cambiador de tomas del transformador"*, 2014.

La palabra "Megger" es una marca registrada.

Boletines TLM - Copyright © Megger Limited, Dover, CT17 9EN, Reino Unido