

Métodos de diagnóstico de averías para transformadores con cambiadores de tomas en carga

Edwin Rivas
Trujillo¹

Juan Carlos
Burgos²

Juan Carlos
García Prada³

Resumen

Existen una gran variedad de técnicas de diagnóstico en Cambiadores de Tomas en Carga (CTC), algunas de ellas pueden usarse solo con el transformador fuera de línea y otras técnicas con el transformador en línea. Este artículo describe los diferentes métodos de diagnóstico de fallos en CTC y reporta la implementación del método de diagnóstico de la medida de la vibración en la cuba del transformador.

Palabras clave: Cambiador de tomas en carga, transformador, métodos de diagnóstico.

Methods of diagnosis of for failures power On- load tap changer

Abstract

There is a great variety of diagnosis techniques for on load tap changer (OLTC), some of them can be used only in power transformers off-line and other techniques in power transformers on-line. This paper describes the different failure diagnosis method on OLTC, and gives a report of the implementation of the diagnosis method of vibration measurement into the transformer tank.

Key words: On-load tap changer (OLTC), transformer, diagnosis method.

1. Introducción

El cambiador de tomas (taps) en carga de un transformador (CTC) está sometido a unos esfuerzos mecánicos y eléctricos importantes; por ello, el CTC es uno de los elementos del transformador con un mayor índice de fallos: de acuerdo a una encuesta internacional [1] el 40% de los fallos del transformador se producen en el CTC.

El estado de algunos de los elementos del cambiador (resistencias de conmutación, contactos, etc.) puede ser evaluado mediante ins-

pecciones periódicas. Sin embargo estas inspecciones requieren tener el transformador en descargo, es decir fuera de servicio, un tiempo relativamente prolongado; esto supone un gasto considerable y requiere de un equipo de técnicos y operarios cualificados. Además, algunas de las partes de un CTC (contactos del selector, preselector, etc.) no pueden ser inspeccionadas debido a su localización dentro de la cuba del transformador.

Actualmente algunas compañías utilizan el método de la medida de la “resistencia dinámica de conmutación” para comprobar el estado de los CTC. Este método fue desarrollado y patentado por UNION FENOSA en colaboración con la Universidad Carlos III de Madrid bajo el denominado “Proyecto Contact). El principal inconveniente de esta técnica es que solo se puede utilizar en transformadores fuera de servicio.

El estado de un CTC en servicio se puede conocer por medio de un registro de vibraciones en la cuba. En la actualidad se ha implementado un sistema de medida de dichas vibraciones y se desarrolla una metodología para el tratamiento de la señal de vibración e interpretación de resultados.

2. Componentes de un CTC

Los CTC tienen los siguientes componentes esenciales:

- Armario de accionamiento y mando
- Transmisión (Figura 3)
- Cabeza del regulador (Figura 1)
- Selector de tomas (Selector Switch) (Figura 1)
- Conmutador o ruptor (Diverter Switch) (Figura 1)

Conmutador o ruptor: realiza la conmutación, es decir pasa de una toma a otra sin interrumpir el servicio, para ello utiliza unas resis-

¹ Magíster en Ciencias de la Información y las Comunicaciones, Universidad Distrital. Perteneció al Grupo de Investigación GCEM.

² Ph.D. de la escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid, España.

³ Ph.D. de centro UNED, Escuela Superior de Ingenieros Industriales de Madrid, España.

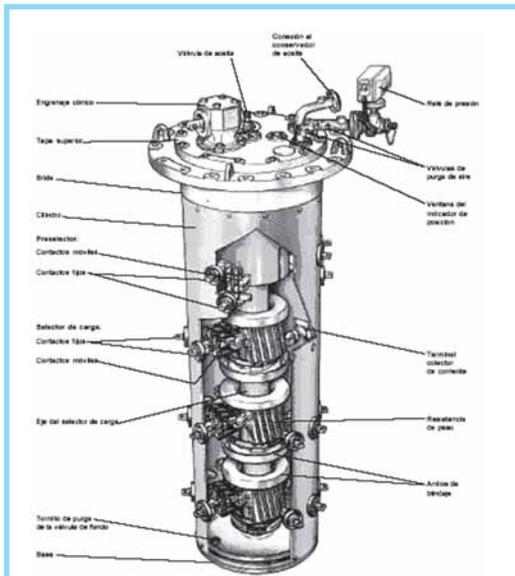


Figura 1. Cabeza del regulador, selector y conmutador (cortesía de ABB) [7]

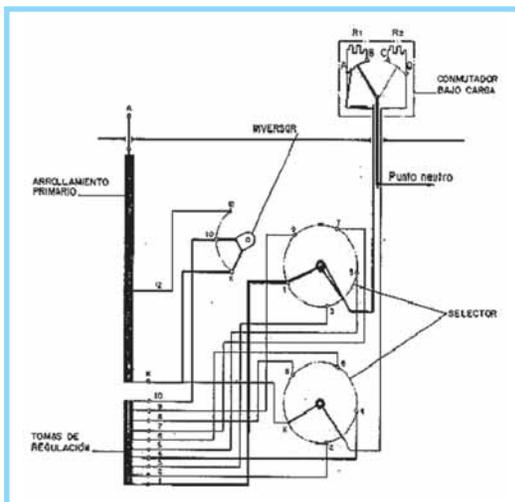


Figura 2. Operación del CTC

tencias transitorias que limitan la corriente cuando éste opera cortocircuitando dos tomas temporalmente durante el cambio (Figura 2). El conmutador esta inmerso en un depósito de aceite el cual es independiente de la cuba del transformador.

Selector de tomas: Conduce la corriente de carga de la toma en servicio y selecciona la próxima toma. Puede contener un preselector o inversor el cual conecta el devanado principal con el devanado de regulación de forma aditiva o de forma sustractiva, permitiendo con ello duplicar las n posiciones. Armario de accionamiento o mando, que contiene los elementos de mando y maniobra, motor eléctrico,

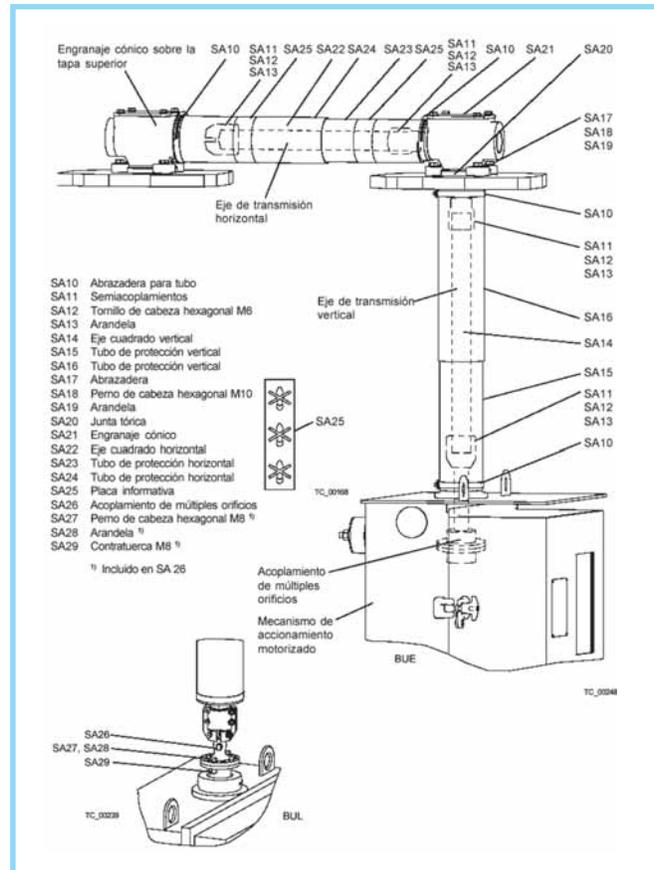


Figura 3. Mecanismo de accionamiento motorizado (cortesía ABB) [5]

co, reductores de velocidad, indicadores de posición y contador de maniobras.

La actuación del cambiador de tomas puede ser Automático (SCADA-PANTAM), Manual (lcal-distancia) o Emergencia (manivela)

3. Métodos de diagnóstico

3.1 Medida de la resistencia dinámica de contacto

La llamada “resistencia dinámica de contacto” es la resistencia de una fase del transformador (incluyendo los contactos del cambiador de tomas y la resistencia de conmutación) durante el proceso de cambio de tomas [2]. Para realizar la medida se aplica entre una fase del transformador y el neutro una tensión constante de valor reducido (en torno a 5 V de DC), y se registra la corriente durante el proceso de cambio de toma. Para identificar el mayor número de fallos posible, se realizan dos tipos de medidas:

- La medida de la resistencia dinámica durante el cambio de una toma a la siguiente pue-

de utilizarse para detectar problemas en la resistencia de conmutación y tiempos anormales de conmutación como los debidos a un mal estado de ciertos elementos del sistema mecánico. En un cambiador sin averías el registro de intensidad debe ser inversamente proporcional a la resistencia de conmutación (ya que durante todo el proceso de conmutación la tensión aplicada permanece constante). En la Figura 4 a se muestra el registro obtenido en una cambiador sin fallos y en la Figura 4b en uno defectuoso.

- La medida de la resistencia dinámica durante el margen completo de regulación (desde la primera toma a la última y viceversa) puede ser utilizada para identificar fallos en el selector, el preselector o el inversor. El registro obtenido en este caso debe mostrar una variación de resistencia uniforme, progresivamente creciente o decreciente Figura 5 a; una discontinuidad en el registro es síntoma de un mal estado de los contactos de los mencionados elementos (Figura 5b).

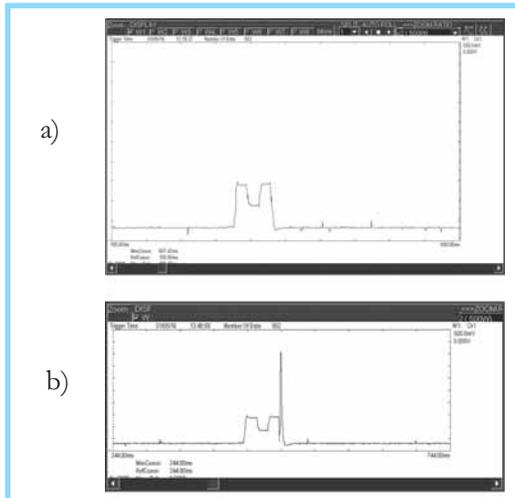


Figura 4. Registro de corriente durante la medida de la resistencia dinámica durante el cambio de una toma a la siguiente. a) Transición en un cambiador sin averías. b) Transición en un cambiador averiado.

- La medida de las resistencias se ha de realizar en cada una de las tres fases del arrollamiento, pues la medida de una sola fase sólo aporta información sobre las averías en los elementos comunes a las tres fases y en los elementos propios de la fase medida. Sin embargo, es posible aplicar la misma tensión a las tres fases en paralelo y con ello realizar la medida de la resistencia de las tres fases simultáneamente.

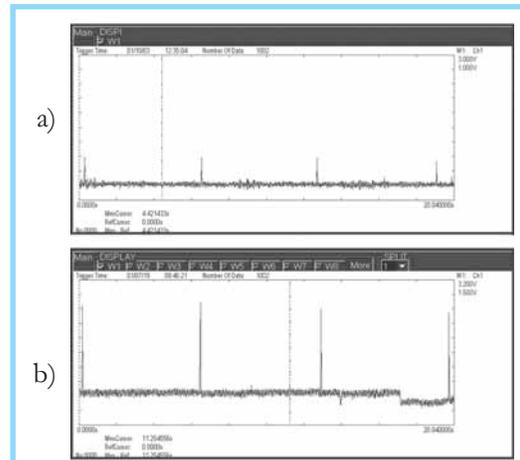


Figura 5. Detalle del registro de corriente durante la medida de la resistencia dinámica de contacto en el margen completo de regulación. a) Resistencia dinámica de regulación (detalle) en un cambiador sin averías. b) Resistencia dinámica de regulación (detalle) en un cambiador averiado.

3.2 Medida del consumo de potencia del accionamiento del CTC

Los fallos en el mecanismo accionador del CTC pueden ser detectados midiendo o calculando el par desarrollado por el motor de accionamiento, ya que esta magnitud es muy sensible a los problemas mecánicos. La medida del par es cara y difícil. La estimación (o cálculo) de este par a partir de la corriente consumida por el motor no es difícil pero para ello se precisa conocer los parámetros del motor (inductancias, constante de tiempo del rotor), lo cual no es posible habitualmente. Por estas razones, en lugar de utilizar el par del motor, para el diagnóstico de fallos se utiliza el consumo de potencia.

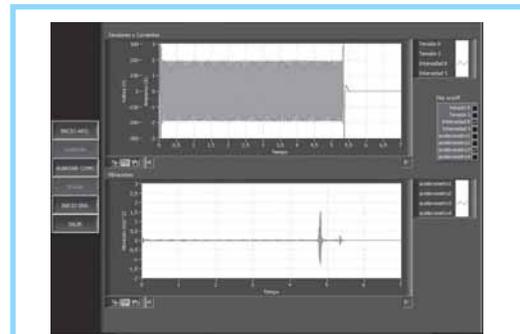


Figura 6. Corriente en una fase del motor de accionamiento (parte superior) y vibraciones durante una transición entre dos tomas consecutivas.

Para calcular el consumo de potencia se registra la tensión y la corriente en dos fases del mismo mediante pinzas amperimétricas y sondas voltimétricas de efecto Hall. Debido a ello, este sistema se puede utilizar en transforma-

dores en servicio sin necesidad de desconectar el transformador de la red en ningún momento. En la parte superior de la Figura 6 se muestra la corriente en una fase del motor durante el cambio de tomas.

3.3. Medida de la vibración en la cuba

El sistema mecánico de un cambiador de tomas es un sistema mecánico complejo (Figura 3) en el cual se producen unos fenómenos transitorios producidos por

- El arranque del motor
- El movimiento de los contactos
- La parada del motor, etc.

Un análisis detallado del sistema es muy laborioso. Sin embargo, junto a la señal de vibración debida al movimiento del eje y de los engranajes, en el registro de vibraciones aparecen unos pulsos (o grupos de pulsos) de vibración debidos a los transitorios mecánicos mencionados. En la parte inferior de la Figura 6 se muestra un registro de las vibraciones durante el transitorio de cambio de toma y en el se distinguen los pulsos mencionados. En particular, el grupo de pulsos central, que corresponde al instante de movimiento de los contactos del cambiador está compuesto por varios pulsos secundarios (Figura 7).

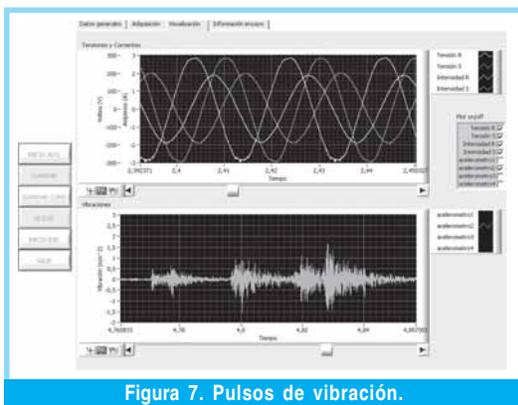


Figura 7. Pulsos de vibración.

Cuando hay fallos en el CTC el número de pulsos de cada grupo, su magnitud y el tiempo entre los pulsos secundarios del grupo cambia, y ésta es la base del diagnóstico de fallos. En general, en un CTC defectuoso la vibración es más amortiguada que en un CTC en buen estado. También ha de tenerse en cuenta que si se registran las vibraciones durante la transición de una toma determinada a la siguiente el registro obtenido no es totalmente repetible, sino que, como cualquier transitorio, la vi-

bración depende de las condiciones iniciales del sistema. La firma de vibración también es un poco diferente de una toma a otra (esto es especialmente cierto en cambiadores con inversor en aquella transición en la que se produce el funcionamiento del inversor), lo que obliga a admitir ciertas tolerancias en el análisis de la vibración.

La magnitud y el número de pulsos de vibración también es función del fabricante del cambiador, de su tipo y del grado de carga del transformador. De todo lo anterior, se deduce que el distinguir la firma de vibraciones de un cambiador de tomas en carga defectuoso de uno sin fallo requiere disponer de un gran número de casos previos de estudio y de una gran experiencia.

El diagnóstico de la condición mecánica de los cambiadores de tomas en carga se realiza a partir de comparaciones de registro de señales recientes de medida en diferentes puntos de las paredes del tanque del transformador a través de acelerómetros piezoeléctricos con mediciones previas de patrón o de referencia preestablecido. Esto permite valorar el grado de degradación del cambiador durante el periodo de tiempo en que se realizan las dos pruebas. Los elementos de hardware y software que componen el sistema de adquisición de datos para el monitoreo de cambiadores de tomas en carga básicamente son los siguientes

- Acelerómetros piezoeléctricos precondicionados.
- Un Amplificador de Señal
- Dos sondas hall de tensión 600V/10 V
- Dos pinzas amperimétricas valor instantáneo 100mV/A
- Una tarjeta de adquisición de datos
- Un ordenador portátil
- Accesorio de conexiones
- Aplicación de base de datos

Los acelerómetros usados tienen un rango de frecuencia nominal de 1 a 12 KHz. Estos acelerómetros se montan a través de una base imantada que se adhiere firmemente en cada uno de los puntos de medición del tanque del transformador, Figura 8, las señales de vibración obtenidas a partir de los acelerómetros se amplifican utilizando el amplificador de señales, Figura 9, y se envía al sistema de adquisición de datos, Figura 10. La frecuencia de muestreo es de 50 KHz.



Figura 8. Acelerómetro en la pared del tanque del transformador



Figura 9. Amplificador de Señal de Cuatro canales



Figura 10. Tarjeta de Adquisición de Datos



Figura 11. Acelerómetro encima de la cabeza del regulador

En la actualidad, el proyecto se encuentra en una fase de toma de datos en campo para analizar la influencia de todos los factores mencionados. En este sentido, el objetivo es conseguir una base de datos de “firmas” de cambiadores de tomas en carga defectuosos y sanos.

Otro objetivo importante del estudio actual es determinar la mejor ubicación de los acelerómetros. En principio el medidor de vibraciones se debería colocar en la cabeza del regulador (figura 11). Sin embargo, esto no sería compatible con el requisito de que la medida de vibraciones se pueda hacer sin interrumpir el servicio del transformador. Por ello se ha de buscar un punto de la cuba alejado de las zonas en tensión en el que se pueda tomar una señal de vibraciones suficientemente representativa de las vibraciones del cambiador.

4. Conclusiones

El estado del cambiador de tomas en carga puede ser verificado tanto en transformadores en servicio como en transformadores fuera de servicio.

Para el diagnóstico de transformadores fuera de servicio es posible utilizar la medida de la resistencia dinámica de contacto. Se precisan dos tipos de medidas para distinguir entre los diferentes tipos de fallo: La medida de la resistencia dinámica de contacto entre dos tomas consecutivas y la medida de la resistencia dinámica de contacto en todo el margen de regulación. En ambos casos las medidas se realizan tanto au-

mentando el número de toma como disminuyéndola.

Para el diagnóstico de transformadores en servicio es posible utilizar la medida de la potencia consumida por el motor de accionamiento y también la medida de las vibraciones durante la operación del cambiador. Ambas técnicas son complementarias, no alternativas. El análisis de la firma de vibraciones de un cambiador de tomas en carga es algo muy complejo, pues intervienen muchos factores, por lo que se necesita un gran número de medidas de campo para ganar experiencia para realizar el diagnóstico.

Referencias bibliográficas

- [1] CIGRE SC 12 WG 12.05. An International Survey on Failures in Large Power Transformers in Service, ELECTRA No 88(1983), pp 2147
- [2] Pérez Moreno, E. "Predictive Maintenance Tools for Power Transformers" Proc ARWtr 2004. Oct 2004. Vigo, España
- [3] Bengtsson, T.; Kols, H.; Foata, M. "Monitoring Tap Changer Operations" CIGRE. Paris 1998. paper 12-209.
- [4] Kang, P. Et al "Non Invasive On-line Condition Monitoring of On Load Tap Changers" Power Engineering Society Winter Meeting, 2000. IEEE, Volume: 3, 23-27 Jan. 2000
- [5] OLTC ABB guía de mantenimiento
- [6] Franklin and Franklin, The J&P Transformer Book. Butterworths
- [7] ABB Cambiadores de tomas en carga tipo UBB. Guía Técnica

Edwin Rivas Trujillo

Ingeniero, Universidad del Valle. Magíster en ingeniería eléctrica, Universidad de Valle, Colombia y de la Universidad Carlos III de Madrid, España. Profesor Universidad Distrital y pertenece como investigador al grupo Gcem. Actualmente realiza sus estudios de doctorado en la ingeniería eléctrica, electrónica y automática en la Universidad Carlos III de Madrid-España. Sus áreas de interés son análisis de señales aplicados, sistemas de potencia y compatibilidad electromagnética. erivas@udistrital.edu.co

Juan Carlos Burgos

Ph.D. de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid, España. Actualmente es profesor titular de la Universidad Carlos III de Madrid. Su área de interés es monitoreo de transformadores de potencia. jcburgos@ing.uc3m.es

Juan Carlos Garcia Prada

Ph.D. de Centro UNED-Escuela Superior de Ingenieros Industriales de Madrid, España. Actualmente es profesor catedrático de la Universidad Carlos III de Madrid, España. Su área de interés es análisis de señales de vibración aplicado a máquinas. Jcprada@ing.uc3m.es