

CALIBRACIÓN DE TRANSFORMADORES DE MEDIDA DE TENSIÓN ENTRE 18 kV y 150 kV

Haig Arabadján, Leonardo Trigo, Alejandro Santos, Daniel Slomovitz

LABORATORIO de UTE, Montevideo, Uruguay, harabadjián@ute.com.uy

Resumen: Se describe un diseño desarrollado en el Laboratorio de UTE para la media de transformadores de alta tensión (capacitivos e inductivos) de tipo comercial en un entorno de tensiones alternas de 18 kV a 150 kV a frecuencia industrial, normalmente utilizados en estaciones de transformación. Este método permite calibrar transformadores hasta clase 0,2 y el funcionamiento del mismo es independiente de la temperatura (evitando derivas por este concepto) ya que el sistema de medida es calibrado in situ antes del ensayo del transformador a calibrar.

Palabras clave: Divisor capacitivo, transformador patrón, incertidumbre.

1. INTRODUCCIÓN

Muchos sistemas de medida de tipo convencional, mediante sistema de puente diferencial, necesitan de diferentes transformadores patrones para la calibración de un determinado tipo de transformador. Esto además de engorroso también resulta caro, ya que es necesario tener varios transformadores patrones según sea el caso.

El método que se describe en este trabajo propone una idea diferente. Se basa en un sistema de medida diferencial que compara las tensiones que se derivan de los secundarios de los transformadores a calibrar contra la tensión que se deriva del capacitor de baja tensión de un divisor capacitivo de alta precisión. Esto tiene como ventaja no tener que utilizar diferentes tipos de transformadores patrones.

Para que el método sea válido es necesario calibrarlo previamente, antes de realizar la medida. En este sentido se puede apreciar que no habrá que preocuparse por variaciones de temperatura ambiente ya que la calibración del transformador a medir se realiza inmediatamente a la calibración previa..

2. DESARROLLO

A. MÉTODO DE MEDIDA

En la figura 1 se puede observar que el transformador bajo ensayo se encuentra directamente conectado a la alta tensión, al igual que el divisor capacitivo (se omite la fuente alimentadora de alta tensión). El secundario está directamente vinculado con un divisor inductivo que permitirá cambiar el valor de tensión con fines de ajuste,

minimizando la diferencia de tensiones anteriormente descrita. El elemento que mide esta diferencia es un analizador de redes que tiene la facilidad de poder seleccionar el armónico deseado para la medida. Éste será entonces el galvanómetro que se utilizará solamente a 50 Hz, evitando de esa manera frecuencias indeseables. Como este analizador necesita de una tensión de referencia para su funcionamiento, ésta se proporciona a través del secundario del transformador a ensayar, por medio de una unidad optoacopladora que funciona como transformador aislador, evitando la posibilidad de existencia de corrientes parásitas.

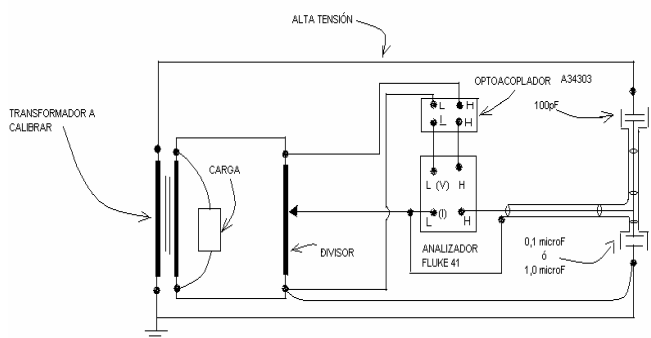


Figura 1

B. ANÁLISIS

La figura 2 muestra que la tensión V_{AT} aplicada se divide según la relación de transformación del transformador a ensayar R_X , y será ajustada a través del divisor inductivo, de relación R_D . Los capacitores C_1 y C_2 se eligen acorde a la relación de transformación del transformador a ensayar, siendo R_N la relación del divisor capacitivo. La diferencia de tensión V_1-V_2 , es evaluada de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$R_N = C_1 / (C_1 + C_2) \tag{1}$$

$$V_1 = (V_{AT} / R_X) \cdot R_D \tag{2}$$

$$V_2 = V_{AT} / R_N \tag{3}$$

siendo V_D a la diferencia de tensiones medida

$$V_D = V_1 - V_2 \tag{4}$$

Por tanto, se concluye

$$R_x = \frac{R_D}{\frac{1}{R_N} + \frac{V_D}{V_{AT}}} \quad (5)$$

Debe notarse que estos valores son complejos, correspondiendo la parte real a los errores en relación, y la imaginaria a los errores de fase.

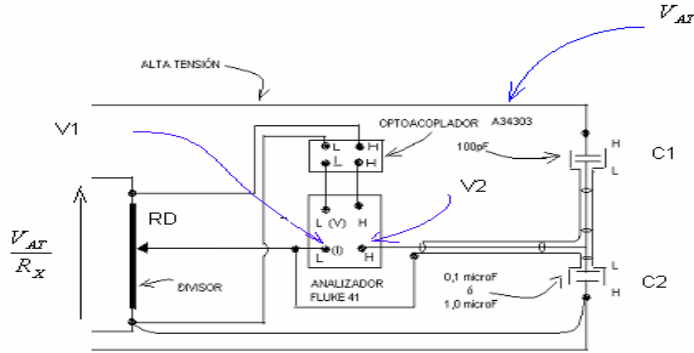


Figura 2

C. MÉTODO DE CALIBRACIÓN

Se procede en dos etapas.

Primera etapa: se conecta, en lugar del transformador a ensayar, un transformador inductivo de alta precisión que oficiará de patrón, con la finalidad de calibrar el método de medida. En la ecuación (5), el valor de R_x será conocido y corresponde a la relación del transformador patrón. Es posible entonces hallar el valor de R_N , resultando

$$R_N = \frac{1}{\frac{R_D}{R_x} - \frac{V_D}{V_{AT}}} \quad (6)$$

Para la evaluación de esta nueva ecuación la tensión aplicada es de 18 kV, valor suficiente para el método en el rango declarado.

Segunda etapa: se retira el transformador que sirvió para calibrar el método de medida y en su lugar se coloca el transformador a ser ensayado.

D. CÁLCULO DE INCERTIDUMBRES

Se consideran incertidumbres tipo A y tipo B. La incertidumbre tipo A es debida a la dispersión de la medida y se valora por métodos estadísticos, mientras que para la incertidumbre tipo B se toma en cuenta la incertidumbre en la relación del divisor capacitivo y la incertidumbre en la relación del divisor inductivo. La incertidumbre agregada por el detector en general resulta despreciable para ensayos

de transformadores hasta clase 0.2. Otros factores suelen ser despreciables.

Nuevamente, se deberán calcular las incertidumbres que se evalúan a partir del calculo de R_N , según la ecuación (6).

E. EJEMPLO

Se muestra como ejemplo la calibración de un transformador de tensión de 30 kV/0.1 kV. Los valores medidos de R_N se muestran en la Tabla I.

Tabla I

Nº	R_N Componente real	R_N Componente imaginaria
1	1001.0	0.085
2	1001.2	0.096
3	1001.1	0.084
4	1001.0	0.091
5	1001.1	0.097

El divisor capacitivo tiene capacidades de C1: 100 pF, C2: 100 000 pF. La medida del valor de R_N es

$$R_N = (1001,08 + 0,09j) \pm (0,083 + 0,14j)$$

con un factor de cobertura $k=2$.

La tabla II muestra los valores medidos de R_x .

Tabla II

Nº	R_x Componente real	R_x Componente imaginaria
1	299.85	0.21
2	299.90	0.23
3	299.83	0.19
4	299.91	0.24
5	299.88	0.21

La medida del valor de R_x es

$$R_x = (299,87 + 0,21j) \pm (0,042 + 0,048j)$$

con un factor de cobertura $k=2$.

Una vez obtenido el valor de R_x , se completa el cálculo del error de relación y ángulo, en la forma que establecen las normas internacionales.

$$\epsilon_x = 0.04\%$$

$$\delta_x = -2.4'$$

Este cálculo de error se aplica al transformador a ensayar en el estado de carga correspondiente.

3. CONCLUSIONES

Este trabajo muestra que usando un método de medida basado en un divisor capacitivo de alta tensión se pueden

calibrar transformadores en campo o en laboratorio sin necesidad de utilizar una serie de transformadores patrones.

4. REFERENCIAS

IEC 60044-2 (2003).

Reglamento de prueba del PTB, “Transformadores de Medición”

BIOGRAFÍAS



Leonardo Trigo (M'98) nació en Montevideo, Uruguay, en 1969. Se graduó en Ingeniero Tecnológico en Electrónica, expedido por Instituto Tecnológico Superior en 1993. Desde 1994 se desempeña funciones en el Departamento de Electrotecnia, Subgerencia Laboratorio UTE.



Daniel Slomovitz (M'86–SM'89) nació en Montevideo, Uruguay, en 1952. Recibió el título de Ingeniero Eléctrico en 1977 y Doctor en Ingeniería en 2000, en la Universidad de la República, Uruguay. Actúa como Profesor Catedrático en la misma universidad. En 1977, se incorporó al Laboratorio de UTE como Ayudante de Ing., ocupando actualmente el cargo de Jefe del Laboratorio. Ha llevado a cabo investigación en mediciones de baja frecuencia y alto voltaje, habiendo publicado más de 100 trabajos y el libro “Mediciones Eléctricas” del IEEE.



Haig Arabadjian, nació en Montevideo, Uruguay en 1957. Se graduó en Per. Ing. Eléctrico en 1980, expedido por Facultad de Ingeniería.

Desde 1980 se desempeña en el Departamento de Electrotecnia, Subgerencia de Laboratorio UTE.



Alejandro Santos nació en Montevideo, Uruguay, en 1959. Recibió el título de Perito en Ingeniería Eléctrica de la Universidad de la República, Uruguay, en 1983 y el grado del Ingeniero Eléctrico de la misma universidad en 2003. Trabaja en el Laboratorio de UTE como Ingeniero, y está actualmente a cargo de la Sección Baja Tensión. Ha llevado a cabo investigaciones en el campo de transformadores