

Calibración in situ de transformadores de medida en la red eléctrica

Por Ricardo I. García y Eduardo Zaretsky - CONIMED

Resumen

Este trabajo describe el instrumental y operación de las calibraciones de transformadores de medida in situ. Se presentan los comparadores de corriente y tensión que pueden operar en distintas condiciones climáticas, cuyos componentes principales son divisores de tensión inductivos o comparadores de corriente, que se caracterizan por su exactitud prácticamente independiente de las condiciones ambientales.

Se detallan y analizan las interferencias producidas por el campo eléctrico y lazos de tierra y la forma de eliminarlas. Se estudian los errores causados por la instalación: cables y elementos de protección. Se describe un método para la determinación de las cargas reales instaladas sobre los transformadores.

Se muestran los métodos para una verificación del instrumental antes y después de las determinaciones para satisfacer los

requerimientos de la Norma ISO 17025, que exigen los organismos acreditadores.

Palabras clave

Calibración. Transformadores. Medida. In situ.

1. Introducción

La privatización del servicio eléctrico y los sistemas regulatorios creados aumentó la importancia de la medición de la energía eléctrica en la red de transporte. Los transformadores de medida y los medidores de energía son los componentes esenciales en la medición.

Una instalación típica de medición de energía es mostrada en la figura 1. Para una correcta medición de la energía no solo es importante el medidor de energía sino también los transformadores de medida. Las relaciones entre la corriente primaria y la secundaria y entre la

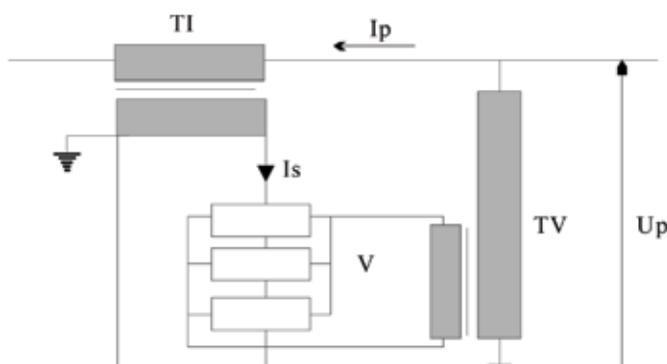


Figura 1. Instalación típica de medición de energía

tensión primaria y la tensión en los bornes de los medidores deben ser conocidas con exactitud.

La exactitud de estas relaciones depende no solo de los transformadores de medida, sino también de la instalación, cables, fusibles, estado de las conexiones. Para mejorar la exactitud de la medición de energía, es necesaria una calibración in situ de los transformadores con sus cargas reales y considerando las caídas de tensión.

En algunos casos se agregan cargas con el objeto de disminuir los errores. En las instalaciones de alta tensión y corriente, las interferencias afectan los sistemas de medición.

2. Calibración de transformadores de intensidad

En la figura 2 se muestra el circuito para calibrar un transformador de intensidad (TI_x) con dos secundarios, usándose como patrón y alimentador un transformador de doble núcleo tipo Brooks y Holz (TI_p). Este se ubica próximo a los bornes primarios de TI_x para disminuir la potencia necesaria en el circuito de alta corriente.

El comparador de transformadores de medida de corriente CTI se ubica próximo a la caja de bornes de TI_x para no alterar con los cables de conexión el valor de la carga Z_B del circuito secundario.

El comparador CTI tiene todas las entradas flotantes para que no pueda haber dos puntos conectados a tierra en el mismo circuito y evitar la interferencia que ocasionan los lazos de tierra. Los puntos de tierra están elegidos de forma tal que las entradas del CTI tengan bajo potencial a tierra y evitar que corrientes capacitivas circulen por ellas. Si se cambia la tierra del punto B al A, la corriente capacitiva a tierra de T_B circularía por el CTI.

El circuito del CTI consta de un comparador de corriente que produce una tensión U_Δ proporcional a la diferencia de las corrientes secundarias de TI_p y TI_x y un transformador que genera una tensión de referencia U_R . Con estas tensiones se pueden obtener los errores de corriente y ángulo como se describen en Garcia y otros (1996).

Las interferencias en las playas de alta tensión pueden ser por campos magnéticos o eléctricos. En el circuito primario la debida al campo magnético no ocasiona error ya que la corriente inducida circula por los bobinados de TI_x y TI_p . Las corrientes debidas a campos eléctricos son de pequeña magnitud.

En los circuitos secundarios ambos campos pueden producir interferencia. Las de origen magnético se disminuyen trenzando los cables y evitando la formación de lazos y

las de origen eléctrico con blindajes electrostáticos. El TI_p es el más afectado por la interferencia; los secundarios están expuestos a valores más elevados de campo porque se encuentran a la altura de los terminales de alta tensión de TI_x .

La interferencia puede ser crítica cuando se contrastan transformadores según Norma IEC 44-1 cuya menor corriente secundaria de ensayo es de 50 mA. La interferencia se puede evaluar desconectando la alimentación y cortocircuitando la entrada, observando la tensión U_Δ . Para eliminar la interferencia se pueden hacer dos determinaciones invirtiendo la tensión de entrada con la llave LL_1 .

Cuando se calibran los transformadores con la carga instalada es necesario determinar su valor, y debe constar en el protocolo las componentes resistiva y reactiva de la carga. Se pueden determinar como indican Ramboz y Petersons (1991). El procedimiento consiste en medir los errores $\alpha_1 + j\beta_1$ a una corriente determinada. Luego se conecta la admitancia Y (ver figura 2) y se miden a la misma corriente los errores $\alpha_2 + j\beta_2$.

El valor de la carga Z_B está dado por

$$Z_B = \frac{[(\alpha_1 - \alpha_2) + j(\beta_1 - \beta_2)] \cdot 10^{-2}}{Y} - Z_C$$

Nota técnica

α en por ciento

β en centirradianes

Z_c impedancia propia del comparador

3. Calibración de transformadores de tensión

En la figura 3 se muestra el circuito para calibrar un transformador de tensión TV_x por comparación con un transformador patrón TV_p .

El transformador de ensayo T_E se reemplaza por una fuente resonante en el caso de ensayar transformadores capacitivos de tensión, los que pueden presentar cargas del orden de las centenas de kVA cuando la tensión es de 300 kV o

más. También se pueden usar las barras de alta tensión como fuente de alimentación, pero en este caso el transformador patrón debe tener el BIL adecuado.

Los transformadores TV_x y TV_p y el comparador CT3 no están próximos, y existen tensiones V_G entre las tierras que pueden causar errores en la medición. El CT3 tiene una entrada flotante por lo que no hay lazo de tierra. Para disminuir los efectos de V_G entre TV_x y el CT3 se usa un choque CH (ver Hillhouse *et al.*, 1982).

Los cables que conectan los secundarios de TV_x y TV_p al CT3 pueden tener varias decenas de

metros. Hay que evaluar las caídas de tensión debido a la carga del CT3, la caída de tensión $\Delta U = UZ_c Y$; U es la tensión del secundario, Z_c la impedancia de los cables e Y es la admitancia de entrada del CT3.

Los efectos de la interferencia debida al acoplamiento capacitivo con líneas de alta tensión son despreciables ya que la impedancia de cortocircuito de los transformadores es de muy bajo valor en comparación con la impedancia de acoplamiento. Los transformadores de tensión capacitivos son más sensibles a esta interferencia.

Para evaluar las interferencias se procede como en el caso ante-

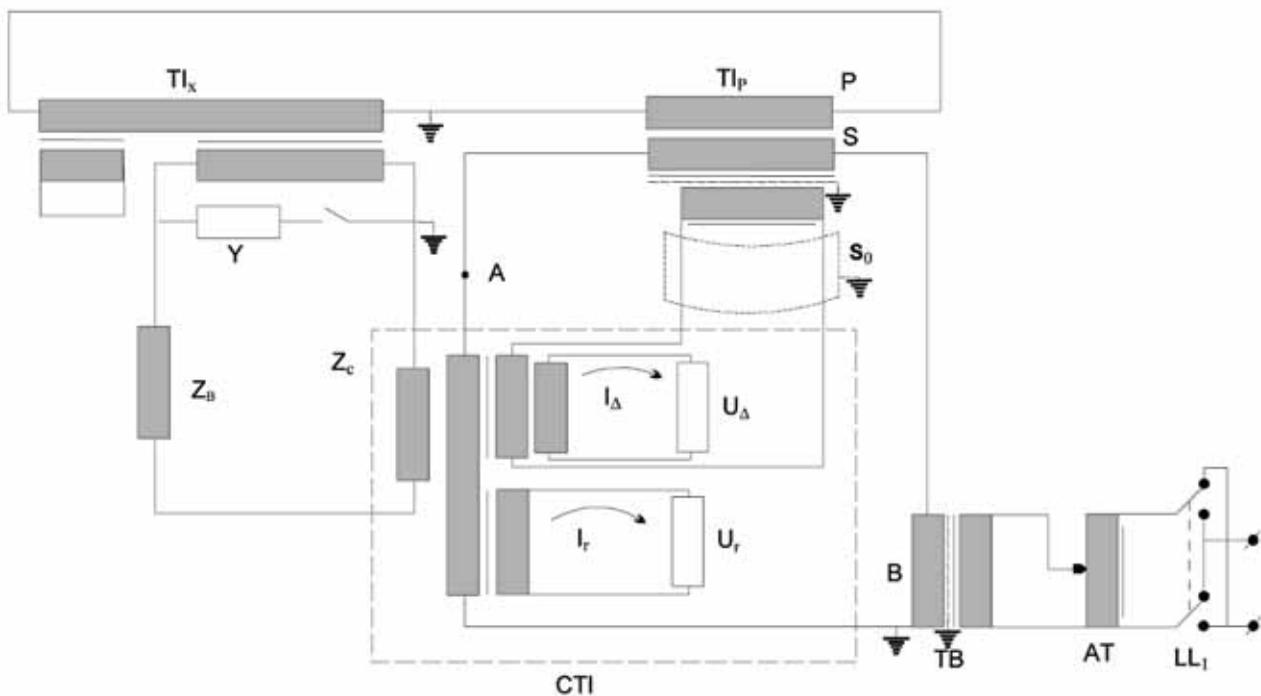


Figura 2. Diagrama para calibración de transformadores de intensidad

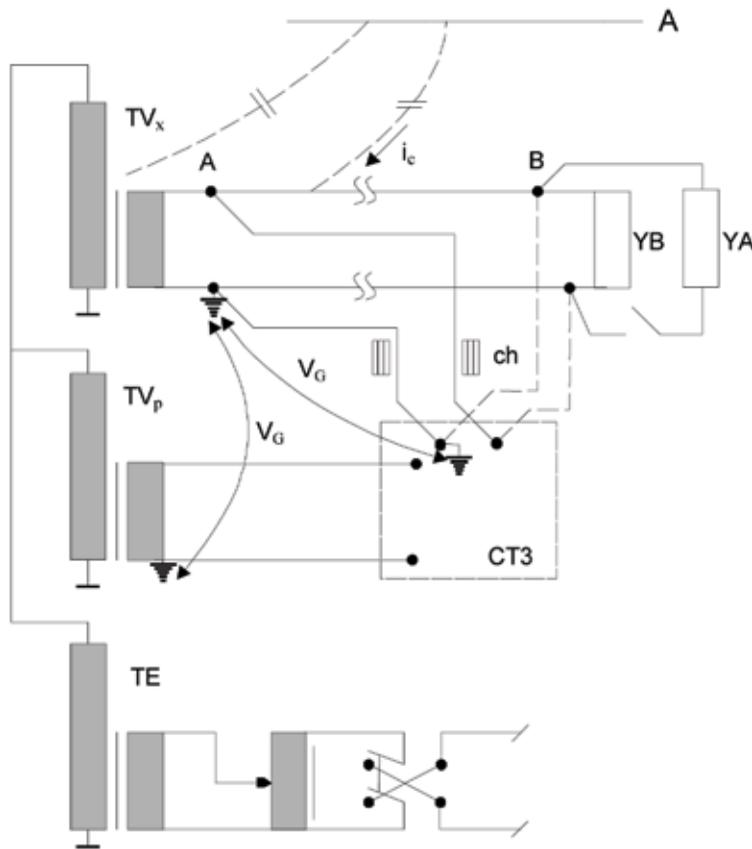


Figura 3. Diagrama para calibración de transformadores de tensión

rior, invirtiendo la tensión de alimentación de la fuente.

En las instalaciones de alta tensión, la longitud del cable entre la bornera de TV_x y las cargas Y_B puede tener centenares de metros, y la caída de tensión entre los puntos A y B puede ser apreciable. La medición se puede efectuar en el punto A o en el B, en este último caso se incluye la caída en los cables y protecciones.

Como en el caso de los transformadores de corriente, es necesario determinar el valor de la

carga de la instalación Y_B . Una forma de realizarlo es efectuar la determinación de los errores con la carga Y_B , otra sin carga y otra con la carga Y_A . El valor de Y_B se calcula con ayuda del diagrama de Möllinger-Gewecke.

En algunos casos de transformadores de 220 kV y superiores, si no se cuenta con transformadores patrones de esa tensión o con una fuente con la potencia necesaria, se pueden realizar las calibraciones a tensiones menores, hasta el 40% de la nominal. Esto es posible

porque el transformador de tensión es un aparato muy lineal.

4. Verificaciones

Para garantizar la confiabilidad de las calibraciones in situ el instrumental de medición debe ser verificado, de forma tal que se pueda detectar si hubo algún daño durante el transporte que afecte los resultados de las calibraciones.

Los comparadores de transformadores de medida se pueden controlar mediante las mediciones del punto de cero (figuras 4 y 5).

El transformador de corriente se puede verificar mediante una calibración en forma absoluta en relación 5/5 A o bien mediante una comparación con un transformador auxiliar cuyos errores son conocidos.

El caso del transformador de tensión es más complejo, ya que puede tener fallas que se manifiesten en alta tensión pero no en baja tensión, y la falla puede ser difícil de detectar como una espira en cortocircuito en un bobinado de varios miles de espiras. Una forma de verificación puede ser tener una curva de vacío de referencia y efectuar comparaciones.

Otra forma es efectuar una comparación a tensión reducida con un transformador de menor tensión, por ejemplo a 20 kV.

Nota técnica

Si bien no se trata de calibraciones completas del instrumental, son controles adecuados para satisfacer los requerimientos de la norma ISO 17025, que exigen organismos acreditadores.

La norma IRAM 2270/97 Trans-

formadores de Medición, Laboratorios para Ensayos de Exactitud, indica los requerimientos de los transformadores patrones, cargas y comparadores, para los ensayos de exactitud de los transformadores de medida.

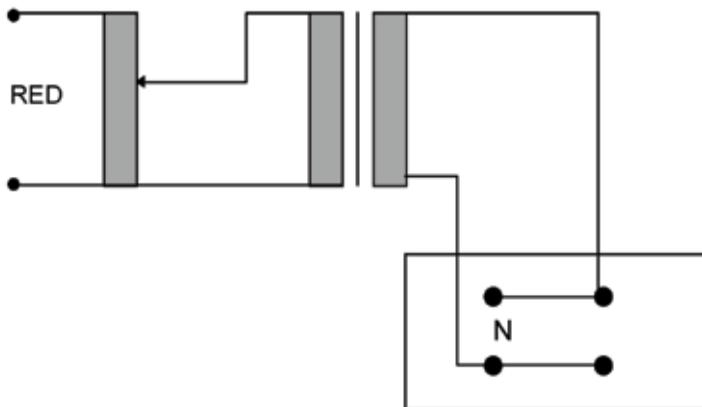


Figura 4. Verificación del cero en tensión

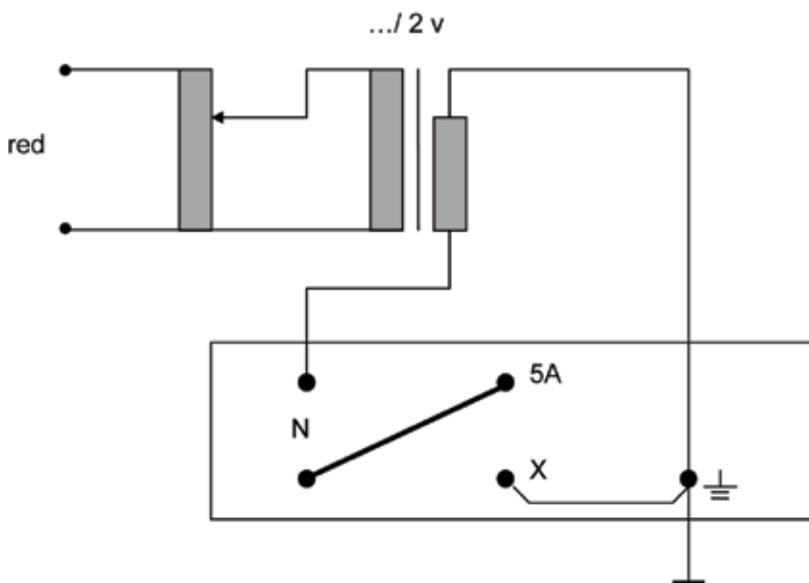


Figura 5. Verificación del cero en corriente

5. Conclusiones

Se dispone de un método de calibración de transformadores de medida in situ que es adecuado para certificar las instalaciones de medición de tensión y corriente en la red eléctrica. El conjunto de equipos involucrados es transportable en un vehículo tipo furgón. Los comparadores de transformadores, tanto de corriente como de tensión, incluyen un software que permite disponer del protocolo de la calibración en forma automática e inmediata.

6. Referencias

García R.I., Medina A.F., Zaretsky E.G., 1996, "Comparador de transformadores de tensión de alta exactitud", *II SEMETRO*, Curitiba, Brasil.

Hillhouse D.L., Petersons O., Sze W., 1982, *A Simplified System for Calibration of CCVTs in the Substation*, NBS TN 1155

Ramboz D., Petersons O., 1991, *A calibration services for current transformers*, NIST SP 250-36

Contacto

Ricardo García:

laboratorio@conimed.com

Eduardo Zaretsky:

sales@conimed.com