

Desarrollo de un transformador de corriente patrón primario

D. Slomovitz, *Senior Member, IEEE*, A. Santos
 dslomovitz@ute.com.uy

Resumen— Este trabajo presenta el estado actual del desarrollo de un transformador de corriente de muy alta precisión, a ser usado como patrón primario. Como tal, la fuente de trazabilidad es propia, no requiriéndose de otros transformadores patrones para su calibración. Los rangos de corrientes primarias abarcan desde 5 A a 2000 A, y la corriente nominal secundaria es de 5 A.

Palabras clave— Error, relación de transformación, intercomparación internacional, transformador de instrumento.

I. INTRODUCCIÓN

Los transformadores de corriente para instrumentos son de amplio uso en mediciones de energía en redes de potencia. Mediante ellos, se transforman corrientes de alto valor o que circulan por redes de alta tensión, en corriente y tensiones bajas, adaptadas a los instrumentos de medida. Como todo elemento de medida, debe calibrarse periódicamente para asegurar su exactitud. En general, la calibración de transformadores de medida se realiza comparándolos contra otros transformadores de mejor precisión, usados como referencia [1]. Esta cadena de trazabilidad finaliza en los así llamados transformadores de medida auto-calibrables. Éstos tienen la posibilidad de transfigurar su relación de transformación entre múltiples valores, uno de los cuales debe ser 1. En esta configuración, el transformador puede calibrarse sin necesidad de ningún patrón externo. Efectivamente, la relación de corrientes, como cualquier otro tipo de relación de otras magnitudes es un valor adimensionado que, desde el punto de vista teórico, no requiere trazabilidad. Sin embargo, para que efectivamente el patrón sea auto-calibrable debe cumplir con varios requisitos. Entre otros, todos sus arrollados deben ser usados a la misma corriente, cualquiera sea la relación de transformación elegida [2]. Por ejemplo, en la relación 1 (5 A:5 A), se usan 10 devanados de 40 espiras, conectados en serie. En la relación de 10 A: 5 A, se usan 5 devanados de 40 espiras conectados en serie, a su vez, conectados en paralelo con otro grupo igual. De esta manera, cada devanado de 40 espiras es sometido a una corriente nominal de 5 A, cualquiera sea la relación.

D. Slomovitz trabaja en el Laboratorio de UTE, Montevideo, Uruguay (e-mail: d.slomovitz@iccc.org).

A. Santos trabaja en el Laboratorio de UTE, Montevideo, Uruguay (e-mail: asantos@ute.com.uy).

Se asegura, de esta forma, que el flujo de dispersión y las caídas de tensión resistivas se mantengan constantes.

El objetivo del trabajo es alcanzar incertidumbres del orden de 10 partes en 10^6 en relación de transformación y 10 μ rad en fase. En este trabajo se presenta el estado del proyecto, el cual se encuentra en las últimas etapas de construcción y pruebas. El transformador propuesto está destinado a actuar como patrón primario del Laboratorio de UTE y por tanto, Patrón Nacional del Uruguay. Adicionalmente, será usado de base en una próxima intercomparación internacional de transformadores de medida de corriente la cual se describe en [3].

II. DISEÑO

No es posible alcanzar errores de unas pocas partes en 10^6 con diseños convencionales, dado que el tamaño que se requeriría sería muy grande, tornando impracticable su utilización. En cambio, han sido propuestos varios métodos para lograr transformadores de corriente de muy alta precisión, llegando a errores de 10^{-6} en relación y 1 μ rad en desfase. Algunos de ellos se basan en dos etapas, esto es doble núcleo y doble arrollado [4], mientras que otros proponen el uso de dispositivos electrónicos que reducen los errores [5,6]. La elección del método está relacionada con la aplicación. En este proyecto se usará este transformador solo como patrón primario, a partir del cual se calibran los patrones de trabajo, que son los de uso periódico. Por tanto, se prevé un uso esporádico, lo cual habilita el uso de métodos que requieren ajustes y demandan más tiempo en la operación que otros, pero que son más simples de implementar.

Los errores en los transformadores de corriente, a bajas frecuencias, como es el caso, están determinados, fundamentalmente, por la corriente de magnetización. Ésta circula por la rama magnetizante del modelo del transformador, restándose de la corriente de salida. Por tanto, cuanto más baja sea la corriente de magnetización, menores serán los errores. Idealmente, los errores son nulos si la corriente de magnetización vale cero. Para reducir el valor de dicha corriente existen dos métodos. O bien se incrementa la impedancia magnetizante usando grandes núcleos, de muy alta permeabilidad, o bien se reduce la tensión sobre el secundario. En este último caso, la corriente es baja simplemente porque la tensión en bornes en dicha rama es pequeña. El reducir la tensión de salida tiene como consecuencia una reducción en la potencia máxima de uso. En transformadores de uso para

campo eso es inconveniente, pero para transformadores que se usan como patrones es posible, pues no se requieren grandes potencias, siendo que 1 VA es generalmente suficiente. Sin embargo, aun reduciendo a cero la potencia de salida, queda la resistencia de los propios arrollados, la cual limita la mínima potencia de uso.

Propuestas basadas en ayudas electrónicas posibilitan anular la tensión en la rama magnetizante, mientras que las basadas en doble etapa generan una corriente adicional de compensación que sumándola a la corriente principal, logran errores pequeños. Para este proyecto se optó por el diseño basado en [5]. Si bien requiere dos núcleos y dos arrollados secundarios, funciona en similar forma a compensadores electrónicos. Esto es, un núcleo y su arrollado suministra la potencia de salida, y el otro conjunto trabaja a tensión nula con errores cercanos a cero. La Fig. 1 muestra un esquema del dispositivo. El ajuste de la tensión de la etapa de potencia debe hacerse manualmente, variando la carga Z_c (un resistor en paralelo con un capacitor) conectada al mismo.

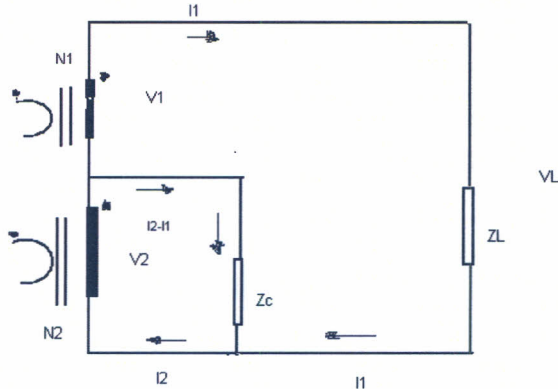


Fig. 1. Esquema del dispositivo

Del circuito se concluye

$$V_2 = Z_c (I_2 - I_1) \quad (1)$$

$$I_2 = I_1 N_1 / N_2 \quad (2)$$

Donde I_1 e I_2 son las corrientes de salida del transformador de medida y de compensación, respectivamente. N_1 y N_2 son sus respectivos número de espiras, y V_1 y V_2 sus tensiones. Entonces

$$V_2 = Z_c I_1 \left(\frac{N_1}{N_2} - 1 \right) \quad (3)$$

Siendo Z_c la impedancia compensadora, ajustable, de carga del transformador de compensación.

Por otro lado, la tensión de salida del dispositivo, V_L será

$$V_1 = V_L - V_2, \quad V_L = Z_L I_1 \quad (4)$$

Donde Z_L es la carga de todo el circuito. Entonces

$$V_1 = I_1 \left[Z_L - Z_c \left(\frac{N_1}{N_2} - 1 \right) \right] \quad (5)$$

Si $\frac{N_1}{N_2} \approx 1.02$

$$V_1 = I_1 (Z_L - Z_c 0.02) \quad (6)$$

Si bien, este análisis muestra que con una impedancia Z_c resistiva alcanzaría, en la práctica hay que tener en cuenta que el propio transformador de medida posee reactancia inductiva, la cual está conectada en serie con Z_L . Esto lleva a la necesidad de agregar capacidades a la impedancia compensadora.

De (6) se desprende que si tenemos una relación aproximadamente de $Z_c \approx 50 Z_L$, es posible lograr el objetivo de anular la tensión en el secundario de medida, tal como se mencionó. De esta forma, la etapa de medida funciona con corriente magnetizante nula. En la práctica, el valor de esta corriente dependerá de la estabilidad del ajuste. Valores de errores totales de pocas unidades en 10^6 son posibles de obtener.

A. Relaciones

Los arrollados del primario están formados por 10 grupos de 40 espiras, 10 grupos de 4 espiras y 4 grupos de 1 espira. El primer grupo permite variar la corriente nominal entre 5 A, 10 A y 50 A. A partir de este último valor, se calibra el siguiente grupo, el cual permite las corrientes de 50 A, 100 A y 500 A. Similarmente, con su última configuración se calibra el último grupo de 500 A, 1000 A y 2000 A. De esta forma, se puede transfigurar la relación desde 5: 5 hasta 2000:5.

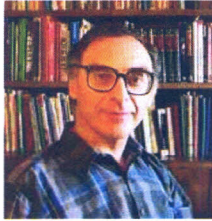
III. REFERENCIAS

- [1] Norma IEC 60044-1 Transformadores de corriente.
- [2] Trafo autocalibrable
- [3] Intercomparación de transformadores de medida de corriente SIM EMS
- [4] KUSTER N. L. and MOORE W.J. the compensated current comparator; a new reference Standard current transformer
- [5] D. Slomovitz, "Electronic System for Increasing the Accuracy of In-Service Instrument-Current Transformers," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 52, pp. 408-410, Abr. 2003
- [6] D. Slomovitz, "Electronic error reduction system for clamp-on probes and measuring current transformers," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 49, pp. 1278-1281, Dec. 2000.

IV. BIOGRAFIAS



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 de medición.



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 80 trabajos y el libro "Mediciones Eléctricas" del IEEE.