



Análisis de un método de calibración para analizadores de armónicas de frecuencia de red

J.L. Prego, H. Laiz⁽¹⁾, R. García
Centro de Investigación y Desarrollo en Física (CEFIS)
⁽¹⁾Subgerencia de Laboratorios de Referencia
jlprego@inti.gov.ar

Resumen

Las cargas no lineales en las redes de potencia eléctrica provocan distorsión en la corriente y, debido a las limitaciones en la potencia de cortocircuito, también en la tensión. En los últimos años enfrentamos un aumento de la cantidad de cargas no lineales en las redes debido a distintas aplicaciones de la electrónica de potencia, como variadores de velocidad de motores, reactancias electrónicas, etc. Las normas y regulaciones sobre calidad de servicio eléctrico fijan límites para este contenido armónico. Esto trae como consecuencia una demanda creciente de calibración de analizadores de armónicos en redes. Con esta motivación se desarrolló un método para su calibración en tensión y corriente con trazabilidad al Sistema Internacional de Unidades. En este trabajo, se presenta la metodología desarrollada para su calibración así como un completo análisis y determinación de incertidumbres. Se presenta también el criterio de selección de las formas de ondas para la verificación del analizador.

1

Método:

Para la calibración en corriente y tensión se utilizaron los circuitos de las Fig.1 y Fig.2 respectivamente:

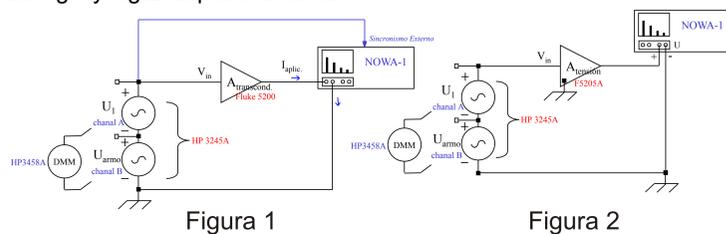


Figura 1

Figura 2

Por consiguiente la determinación de los errores del analizador, presuponen la calibración de los amplificadores de transconductancia y tensión y la medición de tensiones alternas entre 50 Hz y 25 kHz.

2

Calibración del Amplificador de Transconductancia

La calibración del amplificador de transconductancia consistió en la determinación del módulo de la transconductancia, definida como la relación entre la corriente de salida (I_{out}), y la tensión de entrada (V_{in}) en función de la frecuencia. Para su determinación se utilizó un shunt (R_{sh}), de respuesta en frecuencia conocida que sensó la corriente de salida (I_{out}); junto con una fuente de tensión (U_i) como entrada al amplificador, y dos multímetros, de alta exactitud, que midieron las tensiones de entrada al amplificador (U_{in}) y sobre el shunt (U_{out}).

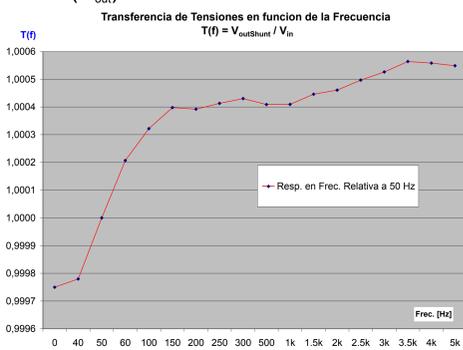


Figura 3

La relación entre ambas tensiones puede observarse en la Figura 3. Como consideramos que el shunt no varía con la frecuencia (dentro de su incertidumbre) esta relación es la respuesta en frecuencia del amplificador. Respecto del shunt, podemos decir que sólo afecta la determinación de la transconductancia en menos que $100 \mu A/V$.

3

Calibración del Amplificador de Tensión.

Por un procedimiento similar a la calibración del amplificador de transconductancia, se calibró el amplificador de tensión. Vale decir, se aplicó una tensión conocida en su entrada y se midió simultáneamente la tensión de salida. La Fig. 4 resume los resultados.

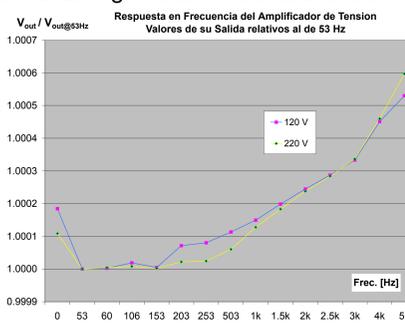


Figura 4

5

Análisis de la Incertidumbre

El factor de distorsión en corriente se define como

$$k_I = \frac{\sum_{k=2}^{\infty} I_k^2}{\sum_{k=1}^{\infty} I_k^2} \quad (3.1)$$

en el caso del circuito de la Figura 1 en el que se trabaja con una sola armónica n

$$k_I = \frac{I_n}{\sqrt{I_1^2 + I_n^2}} \quad (3.2)$$

para el análisis de incertidumbre se puede aproximar

$$k_I \cong \frac{I_n}{I_1} = \frac{A_n \cdot U_n}{A_1 \cdot U_1} \quad (3.3)$$

la incertidumbre combinada es

$$\frac{u^2(k_I)}{k_I^2} = u^2(A_n) + u^2(U_n) + u^2(A_1) + u^2(U_1) - 2 \cdot \rho(A_n, A_1) \cdot u(A_n) \cdot u(A_1) - 2 \cdot \rho(U_n, U_1) \cdot u(U_n) \cdot u(U_1) \quad (3.4)$$

donde (A_n, A_1) y (U_n, U_1) son los coeficientes de correlación entre A_n y A_1 , y U_n y U_1 , respectivamente. U_n y U_1 son medidas con el mismo multímetro pero en diferentes rangos y a diferentes frecuencias por lo que puede considerarse $(U_n, U_1) = 0$. A_n y A_1 son determinadas con el mismo método e instrumental en tiempo corto pero a distintas frecuencias por lo que puede considerarse también $(A_n, A_1) = 0$. En consecuencia es

$$\frac{u^2(k_I)}{k_I^2} = u^2(A_n) + u^2(U_n) + u^2(A_1) + u^2(U_1) \quad (3.5)$$

Si la frecuencia fundamental es 50 Hz, $n = 25$ y $k_I = 0,1$, tenemos $u(A_1) = 0,013$, $u(A_{25}) = 0,018$, $u(U_1) = 0,006$, $u(U_{25}) = 0,013$

$$k_I = (0,100 \pm 0,006)$$

Con el mismo procedimiento se obtiene

$$k_V = (0,10 \pm 0,01)$$

4

Formas de Onda de chequeo

Con el objeto de verificar el método expuesto en (1), se compararon los datos experimentales del analizador, contra los obtenidos por medio del cálculo analítico de los coeficientes de Fourier de las ondas de prueba. Para ello, se realizaron tres ensayos en corriente, consistentes en la aplicación de una forma de onda cuadrada (referencia), a la que se le superpusieron la componente fundamental en fase y contrafase, respecto de la onda de referencia (Fig. 5).



Figura 5

La Fig.6 resume los resultados obtenidos de los errores del analizador para los distintos ensayos, juntamente con su especificación y lo que las normativas prevén para al respecto.

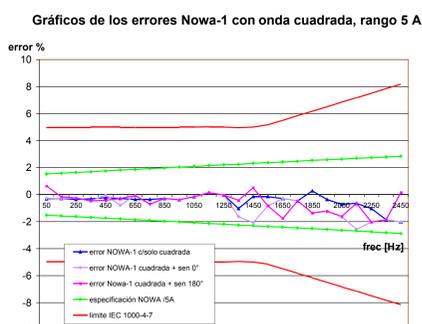


Figura 6

Conclusiones

Se desarrolló un método para satisfacer la demanda creciente de calibraciones de analizadores de armónicos en redes. La incertidumbre obtenida satisface las exigencias de los instrumentos de mayor exactitud existentes en el mercado.