

VATÍMETRO PARA MEDIDA DE LAS CARACTERÍSTICAS MAGNÉTICAS DE LOS NÚCLEOS DE TRANSFORMADORES Y MATERIALES BOBINADOS.

El vatímetro proporciona medidas de precisión en tiempo real para las pérdidas en chapas apiladas de hierro y núcleos de ferrita operando a altas frecuencias.



ZES ZIMMER LMG95

Un diseño efectivo de un transformador requiere una determinación de los valores de pico del flujo magnético, de la intensidad del campo magnético y la permeabilidad del núcleo a altas y bajas frecuencias. Estas medidas involucran flujos o intensidad de campo sinusoidales y esto lleva a fuentes de señal complicadas y caras.

El punto de interés es especialmente el rango de saturación, dónde hay una alta demanda en la fuente de señal. Una forma más elegante y que permite ahorrar costes es usar equipos de medida “inteligentes” con fórmulas matemáticas mejoradas que permiten formas de onda arbitrarias de tensión y corriente.

Esto permite usar fuentes de alimentación de bajo coste. Puedes incluso usar líneas de tensión con un alto contenido en armónicos.

La disipación en el núcleo de ferrita es directamente proporcional al área de la curva del ciclo de histéresis; de igual forma es función de la temperatura, frecuencia, densidad de flujo, material de la ferrita y la forma del núcleo. Mediante la aplicación de una señal arbitraria en el primario de un núcleo devanado mediante una bobina o arrollamiento toroidal, si mides la tensión del secundario en circuito abierto puedes reconocer la disipación en la medida. La corriente de pico en el primario (I_{pk}) es proporcional a la intensidad de campo magnético (H_{pk}), y el valor rectificado de la tensión en circuito

abierto (U_{rect}) en el secundario es proporcional a la densidad de flujo magnético. La integración del ciclo de histéresis proporciona el equivalente a la potencia real medida.

La disipación total de un núcleo devanado está formada por unas pérdidas P_{loss} debidas a la histéresis, unas pérdidas en el hierro P_{loss} debidas a las corrientes Eddy o torbellino (corrientes de Foucault que producen calentamiento), unas pérdidas en el cobre P_{loss} debidas al bobinado o espiras y unas pérdidas P_{loss} debidas al resto. Cuando mides la disipación en el núcleo de ferrita, no deberías contar las pérdidas en el cobre.

En este caso, la pérdida de potencia es: $P_{loss} = U_{trms} \times I_{trms} \times \cos\phi$ (trms: verdadero valor eficaz). Utilizando el circuito de medida de la **Figura 1**, la caída de tensión de la resistencia del cobre en el primario no tiene efecto, a causa de que sólo mides la corriente en el circuito primario. Para medir la tensión magnetizante real, en el secundario circula una corriente menor. Las pérdidas en el cobre del primario y del secundario no están incluidas en la medida de pérdida de potencia.

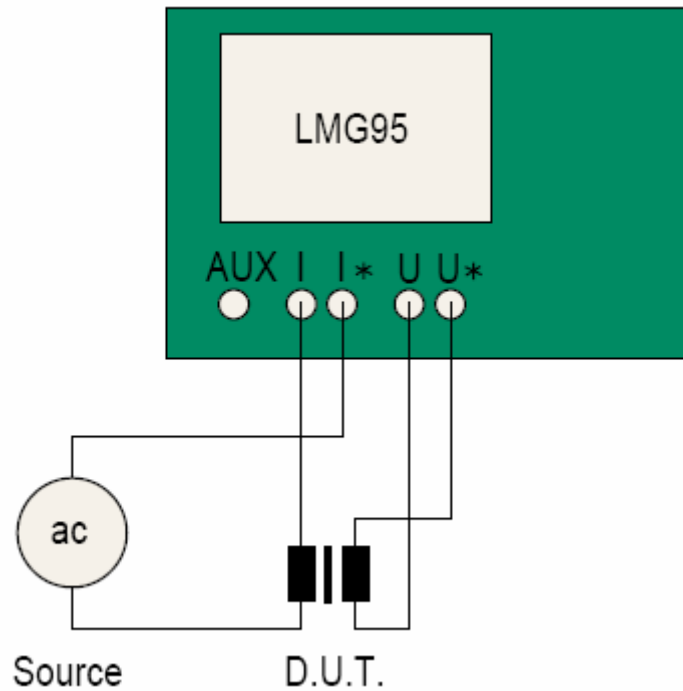


Figura 1. Circuito de medida para la disipación en el núcleo.
Nota: D.U.T. es un transformador diferencial de tensión.

Debido a la medida precisa de U_{trms} , I_{trms} y del $\cos\phi$, la integración y recorrido dinámico por el bucle de histéresis no son necesarios. Un sistema de medida de potencia podría medir, mostrar y leer directamente la disipación en tiempo real. Puedes darte cuenta de esto considerando el cálculo del error de disipación como:

$$\frac{\Delta P_I}{P_I} = \frac{\Delta U_{trms}}{U_{trms}} + \frac{\Delta I_{trms}}{I_{trms}} + \frac{\Delta \cos\phi}{\cos\phi} \quad (1)$$

El error total de la disipación contiene el error de amplitud o módulo de la tensión y corriente medidas y un error de la diferencia del desfase temporal entre estas señales. Los diferentes desfases temporales en cada tipo de medida causan la diferencia de desfase temporal. Normalmente, las pérdidas son muy pequeñas y la fase varía próxima a 90°, por lo que el $\cos\phi$ es próximo a cero. La división del incremento de $\cos\phi$ por $\cos\phi$ dará un valor muy alto.

Ejemplo numérico

En la medida de la disipación de un núcleo de ferrita el $\cos\phi$ es 0.06, la corriente del primario es sinusoidal con una frecuencia $f=50\text{kHz}$.

Con la siguiente fórmula: $\phi=t \times 360^\circ \times f$, un retardo de tiempo o desfase de sólo 3.8ns (nanosegundos) conduce a un error de:

$$\frac{\Delta \cos \phi}{\cos \phi} = 2\%$$

Esto quiere decir que es el retardo temporal de la medida en un conductor de menos de 1m.

También considera los errores de amplitud o módulo:

$$\frac{\Delta U}{U} \text{ and } \frac{\Delta I}{I}$$

Para este problema en la medida, la selección de los instrumentos de medida es importante. Un instrumento de medida de alta precisión en la amplitud no es necesario, pero sí deberías seleccionar un medidor con alta precisión en la medida de potencia. También una cuidadosa medida del circuito de conductores o bobinado es importante para conseguir una alta precisión en los valores medidos. Los cables de medida deben ser cortos e iguales en longitud. El LMG95 es un instrumento que satisface estos requerimientos con ajuste especial del tiempo de retardo que proporciona la diferencia del desfase temporal entre los canales de tensión U e intensidad I, típicamente menor de 4ns (ver la foto del equipo en la primera página).

El vatímetro LMG95 da otros valores de las características magnéticas, tales como la determinación de la intensidad del campo magnético. El valor de pico de la intensidad de campo magnético es H_{pk} . De la primera ecuación de Maxwell:

$$\oint_C \vec{H} d\vec{s} = \int_A \vec{J} d\vec{A} + \frac{d}{dt} \int_A \vec{D} d\vec{A} \quad (2)$$

y si el factor secundario de los campos cuasi-estacionarios es:

$$\frac{\omega \epsilon}{\kappa} \ll 1 \quad (3)$$

se obtiene:

$$H_{pk} = \frac{I_{pk} \times n_1}{l_{magn}} \quad (4)$$

siendo: H_{pk} = Valor de pico de la intensidad de campo magnético en el núcleo.

n_1 = Número de espiras del primario.

I_{pk} = Valor de pico de la corriente en el primario.

L_{magn} = Longitud del recorrido magnético.

H_{pk} está exactamente determinado, independientemente de la forma de la curva de la señal de la corriente en el primario. El único requerimiento es que la corriente debe ser simétrica, así $I_{pk} = I_{pp}/2$.

La ecuación en la notación del editor de fórmulas en el LMG95 es:

$$H_{pk} = I_{pp}/2 \times n_1/l_{magn} \quad (5)$$

Densidad de flujo magnético

El valor de pico de la densidad de flujo magnético (B_{pk}) viene de la segunda ecuación de Maxwell:

$$\frac{1}{dA} \oint \vec{E} d\vec{s} = - \frac{d\vec{B}}{dt} \quad (6)$$

Introduciendo el factor secundario (3) y la definición de la densidad de flujo igualmente distribuido en el material del núcleo:

$$- \frac{1}{n_2 \times A} \times u(t) = \frac{dB(t)}{dt} \quad (7)$$

siendo: n_2 = Número de espiras del secundario.

A = Área magnética transversal y efectiva del material en el núcleo.

$u(t)$ = Distribución temporal de la tensión inducida en el bobinado del secundario.

$B(t)$ es mínimo/máximo cuando $dB(t)/dt=0$, los cuales son los pasos por cero de la tensión inducida. La integración entre dos pasos por cero de la tensión inducida representa el valor de pico de la densidad de flujo magnético:

$$-\frac{1}{n_2 \times A} \times \int_{t_0}^{t_1} u(t) dt = B_{pp} \quad (8)$$

siendo: B_{pp} = Valor pico a pico de la densidad de flujo magnético en el núcleo de ferrita.

t_0 = Instante de tiempo en el cual comienza un ciclo de la tensión inducida.

t_1 = Instante de tiempo durante el ciclo en el que la tensión inducida pasa por cero.

Como la tensión inducida no contiene la parte de la tensión en continua ($U_{dc}=0$), se sigue que:

$$\int_{t_0}^{t_1} u(t) dt = - \int_{t_1}^T u(t) dt \quad (9)$$

siendo: T = Tiempo de duración del ciclo de la tensión inducida.

De la ecuación (9) se sigue que:

$$\int_{t_0}^{t_1} u(t) dt = \frac{1}{2} \int_{t_0}^T |u(t)| dt \quad (10)$$

Esta integral está también incluida en la fórmula de la tensión rectificada del secundario U_{rect} :

$$U_{rect} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt \quad (11)$$

Con el LMG95 tienes acceso al valor de la tensión rectificada, de esa forma puedes calcular la densidad de flujo como:

$$B_{pk} = \frac{U_{rect}}{4 \times f \times n_2 \times A} \quad (12)$$

siendo: $f=1/T$, la frecuencia de la señal de tensión inducida.

B_{pk} está también exactamente determinada, independientemente de la forma de la curva de la señal.

La ecuación en la notación del editor de fórmulas en el LMG95 es:

$$B_{pk} = U_{rect} / (4 \times f \times n_2 \times A) \quad (13)$$

Módulo o amplitud de la permeabilidad relativa

Utilizando los ya calculados valores de pico, el flujo magnético y la intensidad de campo magnético, el módulo de la permeabilidad relativa queda:

$$\mu_a = \frac{B_{pk}}{\mu_0 \times H_{pk}} \quad (14)$$

En la notación del LMG95:

$$u_a = B_{pk} / H_{pk} / 1.2566 \times 10^{-6} \quad (15)$$

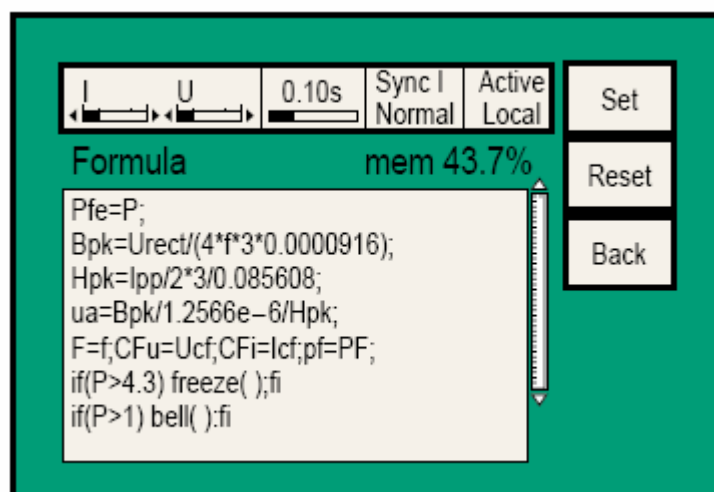


Figura 2. Programación del editor de fórmulas.

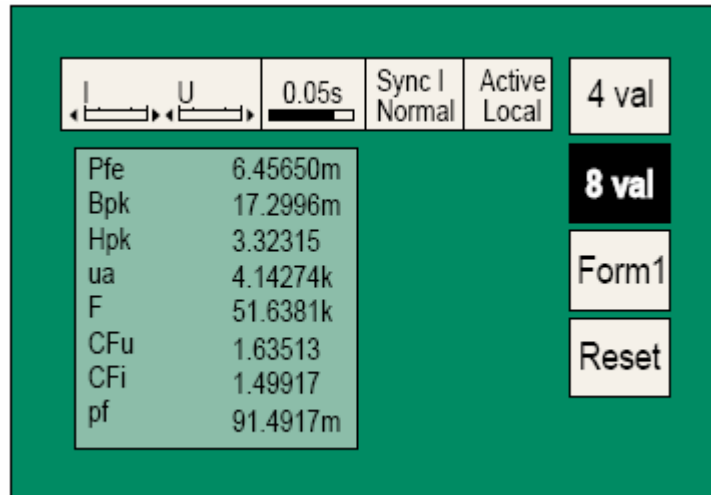


Figura 3. Magnitudes o parámetros de medida personalizados.

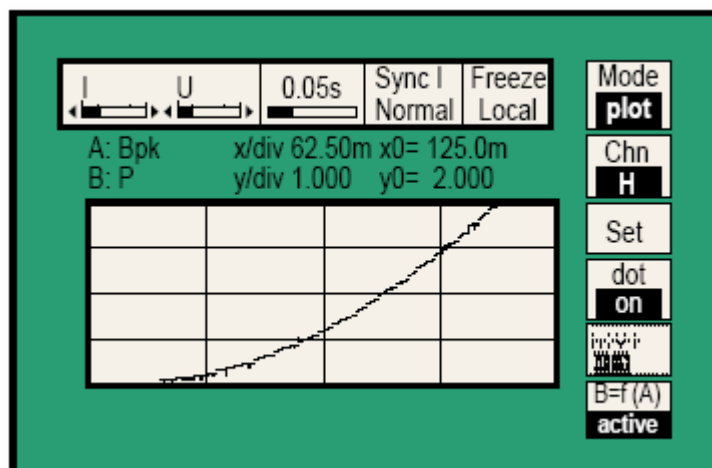


Figura 4. Representación en ejes XY de las pérdidas en el núcleo frente al flujo magnético.

El vatímetro conecta la fuente de alimentación con la unidad a probar acorde a **la Figura 1**. Después de programar las ecuaciones en el editor de fórmulas (**Figura 2**) los valores calculados pueden ser visualizados en tiempo real (**Figura 3**), representados gráficamente (**Figura 4**) o impresos.

Los valores magnéticos H_{pk} , B_{pk} , y u_a que no pueden ser medidos directamente se muestran en tiempo real en la pantalla, como en **Figura 2**, **Figura 3** y **Figura 4**.

Con los valores medidos directamente: valor rectificado de la tensión inducida, la frecuencia, el valor de pico de la corriente en el primario, y los valores geométricos del núcleo ferrítico proporcionados por el usuario, es posible determinar el flujo magnético, la intensidad de campo magnético, y el módulo de la permeabilidad relativa de la ferrita

del núcleo. Estos valores pueden ser evaluados en tiempo real con el LMG95 y visualizados junto con las pérdidas de potencia directamente medidas.

Adler Instrumentos, S.L.

Madrid: 91 358 40 46

Barcelona: 91 640 13 69

San Sebastián: 94 337 65 09

www.adler-instrumentos.es

info@adler-instrumentos.es