

## PARAMETRIZACIÓN DE LA CURVA DE MAGNETIZACIÓN DE UN TRANSFORMADOR

**Autores:** Alejandro Gudiño<sup>(1)</sup>, Juan Francisco Russo<sup>(2)</sup>

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Grupo GISENER.  
Avenida de la Universidad 501 (2400) San Francisco. Provincia de Córdoba. ARGENTINA. Tel.  
(03564) 421147/435402. <http://www.frsfco.utn.edu.ar/>

<sup>(1)</sup>: [aleg\\_electromecanica@hotmail.com](mailto:aleg_electromecanica@hotmail.com); <sup>(2)</sup>: [juanf\\_russo@hotmail.com](mailto:juanf_russo@hotmail.com)

### Resumen

La necesidad de determinar la forma de onda de las corrientes de las cargas industriales, en este caso la corriente de magnetización de un inductor, motiva nuestra investigación. Se busca definir de forma analítica, pero partiendo de mediciones prácticas, una curva de tensión en función de corriente, o viceversa, proporcional a la curva de magnetización, evaluando ambas magnitudes en un inductor. Una aplicación concreta de tal inductor sería un transformador, elemento muy común en cualquier instalación eléctrica industrial o de distribución de energía eléctrica.

Al conectar una fuente de tensión alterna sinusoidal a un transformador en vacío, la corriente que fluye en su circuito primario es sólo la requerida para producir flujo en el núcleo ferromagnético. Con un osciloscopio, se obtendrá la forma de onda de la tensión aplicada; en cuanto a la corriente, se colocará una resistencia calibrada en serie, y de este modo, derivando una pequeña tensión, se podrá obtener también su forma de onda. Como resultado, se obtendrán dos tabla de datos de tensión y corriente en función del tiempo, que se puede graficar con ayuda del software Mathematica®. A partir de estos gráficos se espera encontrar una interrelación entre tensión y corriente que se definirá en forma gráfica en dicho software.

La información obtenida sobre la distorsión de la forma de onda de corriente de magnetización de este transformador-inductor servirá para simular su comportamiento ante variaciones de magnitud y de forma de onda de la tensión aplicada.

En el marco del impulso actual de los temas relacionados con la calidad de la energía, el interés de este estudio radica en determinar la característica de comportamiento de una carga no lineal industrial utilizando un método de ensayo relativamente sencillo y, lo que es más importante para su replicación, que se realizará a tensión y frecuencia industriales.

### Palabras claves

Magnetización, histéresis, transformador, corriente de vacío.

### Introducción

En el ámbito industrial y de distribución de energía, se utilizan transformadores en gran escala, con lo cual se hace importante conocer a fondo y simular su operación. Una de las dificultades que se presentan a la hora de proceder a estimar el funcionamiento de dichas máquinas o averiguar sus características, es la falta de información respecto a la forma en que se comporta su magnetización. La idea de este trabajo de investigación es, a través de consecuentes mediciones con diversos aparatos, poder confeccionar una curva aproximada a la de magnetización, con ayuda del software Mathematica®.

A continuación se da una breve introducción a los transformadores.

Transformador: Artefacto que cambia la energía eléctrica de CA de un nivel de voltaje en energía eléctrica de CA de otro nivel de voltaje, mediante la acción de un campo magnético. Consiste en dos o más bobinas de alambre arrolladas alrededor de un núcleo ferromagnético común. Por lo general, estas bobinas no están conectadas directamente, sino que solo están acopladas por medio del flujo magnético presente dentro del núcleo.

Una de las bobinas del transformador esta conectada a una fuente de fuerza eléctrica de CA, y la segunda (y quizá la tercera) bobina suministra fuerza eléctrica a las cargas. La bobina del transformador, conectada a la fuente de alimentación principal se llama bobina primaria o bobina de alimentación y la bobina conectada a las cargas se llama bobina secundaria o bobina de salida de energía.

Transformador utilizado

Datos técnicos:

- Tensión en el primario: 220 V
- Corriente en el primario: 9.1 A
- Tensión en el secundario: 110 V
- Corriente en el secundario: 18.2 A
- POTENCIA: 2 kVA
- Relación de transformación: aprox. 2



Figura 1: foto ilustrativa del transformador utilizado para el trabajo.

En la etapa inicial de este trabajo, hemos elaborado material didáctico el cual fue publicado en el sitio <http://demonstrations.wolfram.com/> con el nombre de *Magnetizing Current Waveform in an Ideal Saturable Inductor*. (Forma de onda de la corriente de magnetización en un inductor ideal saturado).

<http://demonstrations.wolfram.com/MagnetizingCurrentWaveformInAnIdealSaturableInductor/>

## Desarrollo

Para llevar a cabo el proyecto, en primera instancia se ha decidido realizar una simplificación del diagrama de histéresis, tomando en cuenta valores de mediciones reales, es decir en vez de flujo magnético, su magnitud proporcional, la tensión, realizando el mismo procedimiento con la inducción magnética y la intensidad de corriente.

Una vez acordado esto, se comenzó a pensar en un circuito que fuese capaz de representar nuestro modelo. Luego de estudiar detalladamente las variables, decidimos que el siguiente circuito era el más correcto.

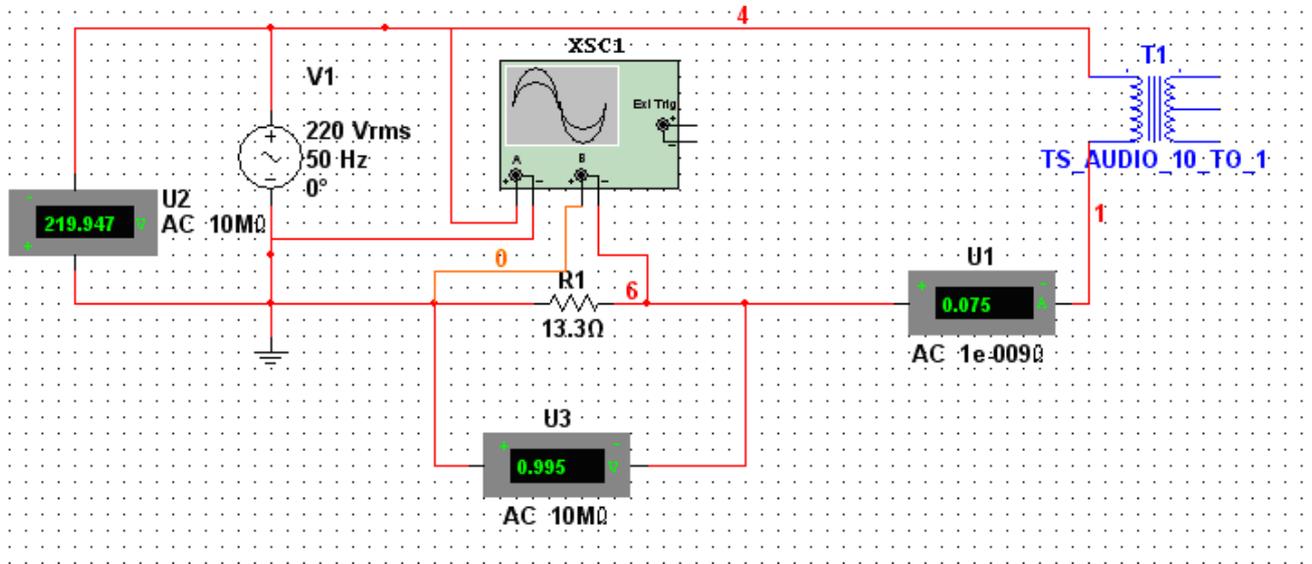


Figura 2: esquema de conexión.

Se puede apreciar que el circuito posee como elementos básicos: el transformador a medir, una fuente de tensión alterna, un osciloscopio, un amperímetro, un voltímetro y una resistencia en serie.

El razonamiento es el siguiente: al aplicar una tensión alternada en el primario del transformador se logra la magnetización del mismo, induciendo una corriente de magnetización muy pequeña. Para tomar valores en función del tiempo de dicha corriente, se opta por medir con el osciloscopio la tensión eficaz en una cierta resistencia calibrada y con una tabla exportada del mismo se calculará punto a punto la corriente.

Estas mediciones se han tomado simultáneamente a través de los dos canales que posee el osciloscopio. Realizadas las mismas, se dispone de los datos en forma de tablas de 500 valores, teniendo 100 valores por semiciclo. Una tabla posee valores de tensión de entrada al transformador, y la otra, valores de la tensión medida en la resistencia. La primera tabla queda como está, mientras que a la segunda se la divide por el valor de la resistencia calibrada  $R_1$  y se obtiene aproximadamente punto a punto la corriente de magnetización.

Contando con estas tablas y la ayuda del software Mathematica® se realiza el gráfico de un semiciclo, de la tensión y de la corriente de magnetización, y superponiendo ambos datos a igual tiempo, se obtiene de esta forma la curva de magnetización del transformador.

Los resultados obtenidos se pueden apreciar en el siguiente gráfico extraído del Mathematica®, en el cual se ha graficado la tensión de entrada medida, la corriente de magnetización del transformador, y en función de estas dos se ha determinado el diagrama de tensión en función de corriente (que no depende del tiempo), que caracteriza bastante bien a la curva de magnetización (en el mismo se puede apreciar las pérdidas por histéresis).

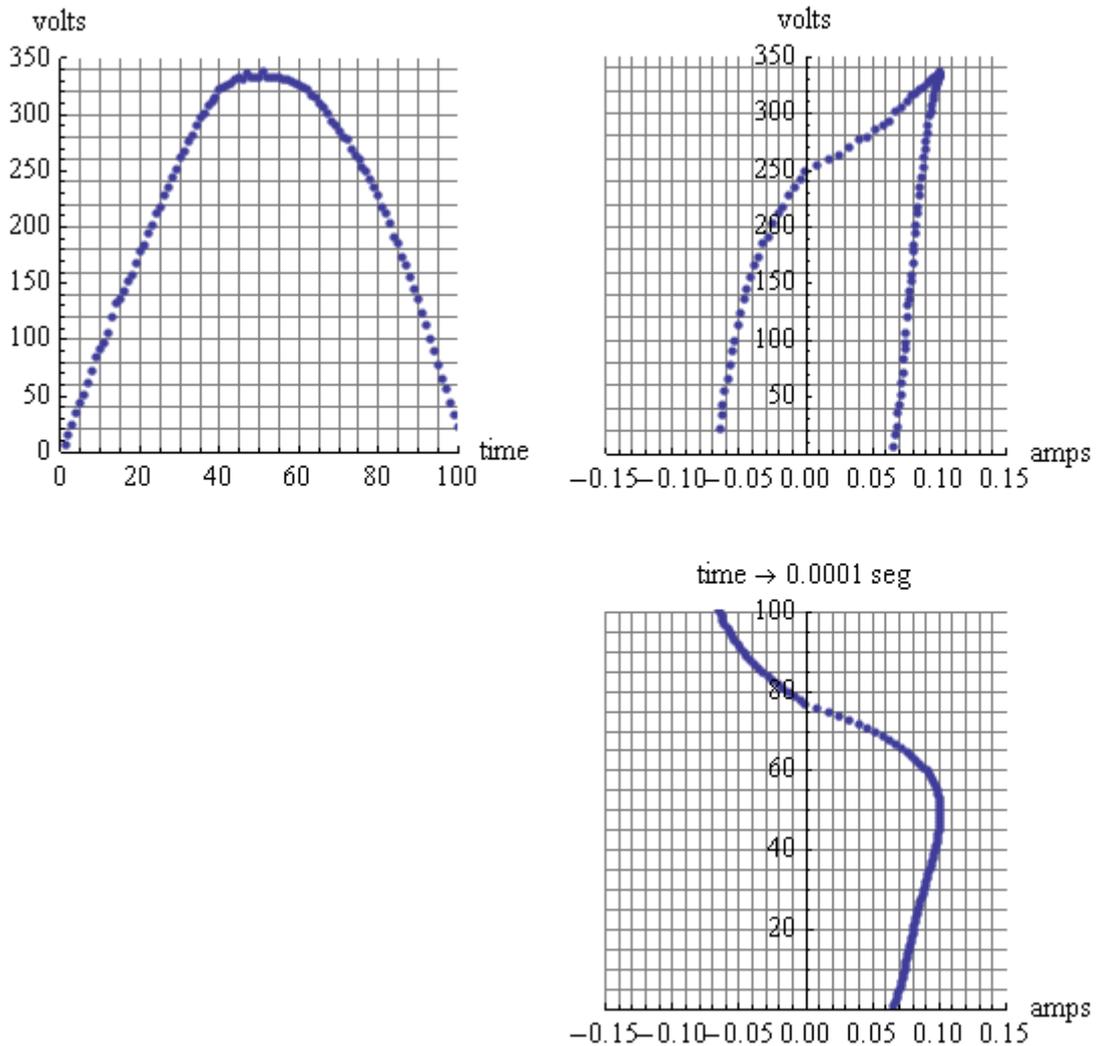


Figura 3: gráficas de: la tensión en función del tiempo; curva de magnetización; corriente de magnetización en función del tiempo.

### Detalle de las mediciones

- Temperatura: todas las mediciones se realizaron dentro del rango de temperaturas especificadas por los fabricantes de los instrumentos para el cumplimiento de su clase. (20-30°C)
- Medición de resistencia: realizada con multímetro digital marca UNI-T, modelo M890G. Error de medición calculado =  $\pm 3\%$  para el valor medido.
- Medición de tensión: realizada con osciloscopio digital marca Gw Instec, modelo GDS-800. Error de medición calculado =  $\pm 3.2\%$  para el valor de tensión medido a la entrada de transformador. Error de medición calculado =  $\pm 3.4\%$  para el valor de tensión medido en la resistencia.
- Determinación de la corriente: Calculado como cociente tensión/resistencia según teoría de propagación de errores, y según lo establecido en la norma DIN 1319. Error calculado =  $\pm 4.5\%$ .

### Discusión y conclusiones

Analizando el resultado de la experiencia, podemos observar varios puntos a destacar:

- El transformador no está muy saturado, porque la forma de onda de la corriente no está muy deformada; es decir que trabaja con holgura a la hora de magnetizar su núcleo;

- La corriente de magnetización es baja, es decir que necesitamos un porcentaje muy pequeño de la corriente nominal para lograr magnetizar el transformador. Teniendo en cuenta que la potencia es de 2 kVA, la corriente nominal será de 9,09 A aproximadamente, y la corriente de magnetización (75 mA) será un 0,825 % de ésta.
- En las gráficas realizadas observamos que se manifiesta el efecto de histéresis como esperábamos.

### **Agradecimientos**

Los autores desean agradecer al Ing. Diego M. Ferreyra, al grupo de investigación GISENER y demás personal de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Francisco que hizo posible el desarrollo del presente trabajo.

### **Referencias**

[1] STEPHEN J. CHAPMAN, Máquinas eléctricas, Cuarta edición, México (México), McGraw-Hill Interamericana SA, 2007

[2] ERICO SPINADELL, Transformadores, Segunda edición, Buenos Aires (Argentina), Nueva Librería, 2003.

[3] STEPHEN WOLFRAM, Mathematica: a system for doing mathematics by computer, Second edition, United States, Addison – Wesley Publishing, 1993.

[4] Apunte de la cátedra Máquinas Eléctricas.

[5] Apunte de la cátedra Electrotecnia.