

Laboratorio 4

Dpto. de Física - FCEyN - UBA

Transiciones de Fases en un Material Ferromagnético

Objetivo: En este experimento se estudia la transición de fases de un material magnético (ferromagnético, ferrimagnético, etc.) a normal, al pasar por la temperatura de Curie (o de Néel), T_C .

Introducción [1-3]: Los materiales ferromagnéticos, a temperaturas menores que T_C presentan una estructura de dominios, que determina la existencia de una magnetización espontánea, \mathbf{M}_E . En ausencia de campo magnético externo estos dominios tienen en general orientaciones al azar, cancelándose así los efectos magnéticos microscópicos (¿por qué?). En presencia de campos magnéticos externos, los dominios se orientan en la dirección del campo aplicado y también cambian de tamaños. Si se remueve el campo los dominios no vuelven a sus estados originales sino que permanece una magnetización remanente \mathbf{M}_S , que da origen al fenómeno de histéresis en este tipo de materiales. Por otro lado, el valor de \mathbf{M}_S cambia con la temperatura, anulándose para $T > T_C$, siendo T_C una temperatura crítica denominada temperatura de Curie. Para $T \leq T_C$, \mathbf{M}_S tiene un comportamiento que puede describirse por la relación empírica

$$M_s(T) \propto (T - T_C)^b \quad (1)$$

donde b es un parámetro del orden de 0.3 a 0.4. La magnetización espontánea de los materiales ferrimagnéticos tiene un comportamiento similar al descrito por (1). ¿Que diferencia hay entonces entre un material ferromagnético y uno ferrimagnético? ¿Qué aplicaciones tiene cada uno?

Dispositivo experimental [4]: Consiste en un toroide de ferrita que tiene dos arrollamientos de unas 100 y 200 vueltas cada uno, que forman el primario y secundario de un “transformador”, respectivamente, tal como se ilustra en la Fig. 1. Si aplicamos una tensión variable al primario, en el secundario se induce una fem que según la ley de Faraday-Lenz es:

$$\mathbf{e} = -N_2 \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (2)$$

donde N_2 es número de vueltas del secundario y Φ_B y \mathbf{e} son el flujo magnético concatenado y la f.e.m. inducida en el secundario.

La integral temporal de la f.e.m. \mathbf{e} es proporcional al valor de B en el toroide (¿puede demostrarlo?) y la caída de tensión sobre la resistencia R_I , dispuesta en serie con el primario es proporcional al valor de H en el toroide (¿Por qué?).

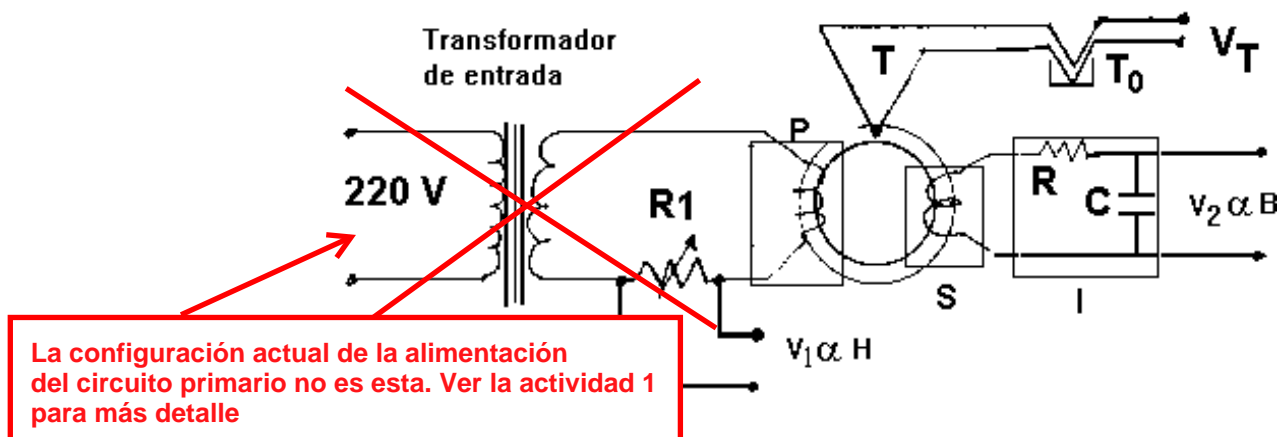


Figura 1: Representación esquemáticamente del dispositivo experimental.: **P** es el primario, **S** el secundario e **I** el circuito integrador.

Precaución 1: No conecte el toroide a la tensión de línea (220Volts) ya que puede electrocutarse Ud. o algún compañero suyo, o destruir el bobinado. ¿Porqué?. Tenga mucho cuidado si usa un autotransformador, recordando que debería verificar si la tensión obtenida está referida al neutro o al vivo (por qué? Como funciona un autotransformador?). Use un transformador de 220V a 12V aproximadamente y alimente el primario, usando una resistencia R_I en serie con el mismo.

Con las señales obtenidas de la caída sobre la resistencia y a la salida del integrador, V_I y V_2 respectivamente, observe en el osciloscopio la curva de histéresis para el toroide en estudio. El valor de B para $H = 0$ (B_s en la Fig. 2), es proporcional a M_s (¿Por qué?), de modo que cuando $V_I = 0$, la tensión V_2 resulta proporcional a M_s .

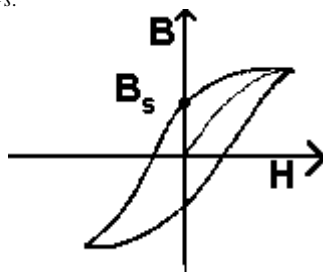


Fig.2.

Figura 2: Diagrama esquemático de la curva de histéresis

Para estudiar cómo varía esta curva con la temperatura, se sumerge el toroide en un baño de aceite que puede calentarse mediante un calefactor de inmersión alimentado a través de un variac. La regulación de tensión permite controlar la potencia que se suministra al calefactor y estabilizar el baño a diferentes temperaturas. Usando una termocupla (¿porqué se precisa una termocupla y cómo la ubica para medir la temperatura del toroide?) estudie cómo se modifica la curva de histéresis con la temperatura.

Precaución 2: La temperatura del baño de aceite no debe exceder los 200°C aproximadamente ya que a temperaturas superiores se puede quemar la aislación de los bobinados.

Una vez superada la temperatura crítica T_C apague el calentador del baño de aceite y retírelo del mismo. Entonces, observe como varía la curva de histéresis a medida que disminuye la temperatura del baño (ayúdese con un agitador para acelerar el proceso de enfriamiento del baño de aceite). Mida la señal V_2 para $V_I=0$ y represéntela en función de la temperatura. ¿Qué características tiene esta

curva? ¿Puede aproximarla por la dependencia funcional de (1)? ¿Con qué error puede determinar los parámetros de esa ecuación? ¿Cuál es el intervalo de temperaturas donde se verifica esa relación empírica?

Para estudiar el comportamiento del material magnético a bajas temperaturas, introduzca lentamente el dispositivo en aire líquido (evite los cambios bruscos de temperaturas para evitar que el toroide se rompa). Estudie cómo cambia la curva de histéresis a bajas temperaturas. Finalmente con todos los datos obtenidos represente la variación de la magnetización con la temperatura y analice entonces qué tipo de material constituye el toroide que empleó en la práctica.

Nota: Con referencia al circuito integrador, demuestre que si $\tau=RC \gg 1/\omega=1/(2\pi f)$, donde f es la frecuencia de la señal de entrada, el siguiente circuito actúa como un integrador. ¿Para nuestro caso pueden ser razonables valores de $R=10K\Omega$ y $C=1\mu F$?

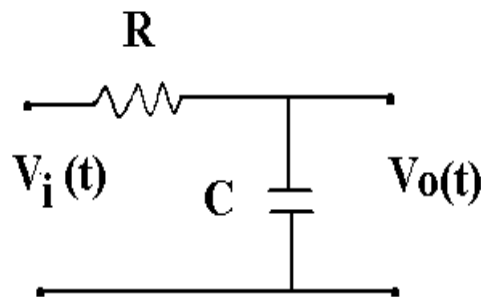


Figura 3: Esquema del circuito integrador utilizado.

Bibliografía:

1. P. Feynman, R. B. Leighton y M. Sands, *The Feynman Lectures on Physics*, Vol. 2, ed. bilingüe, Fondo Educativo Interamericano, E.E.U.U (1972). Cap. 37.
2. C. Kittel, *Introduction to Solid State Physics*, 6ª edición, John Wiley & Sons, New York (1986).
3. W. D. Callister, *Materials Science and Engineering*, J. Wiley & Sons, New York (1994).
4. C. S. Lue, *A Direct Method for Viewing Ferromagnetic Phase Transition*, *The Physics Teacher* **32** (1995) 304.