

GUIA 17

Estudio Experimental del Ciclo de Histéresis

Introducción:

En este laboratorio se busca el estudio del ciclo de histéresis en el marco de circuitos magnéticos no lineales, para ello se propone al alumno el montaje de un circuito que incluye un material de ferromagnético como núcleo de un transformador. Se busca como objetivo de la experiencia que Ud. entienda plenamente el funcionamiento del circuito de prueba y que discuta y concluya a partir del resultado encontrado en el desarrollo del experimento.

En la evaluación del informe de este laboratorio se dará especial énfasis en el contenido, discusión y conclusiones obtenidas de la experiencia.

Circuitos Magnéticos no lineales :

En muchos dispositivos prácticos, como motores y transformadores, se usan materiales ferromagnéticos, los cuales se caracterizan por tener grandes valores de permeabilidad magnética. Así cuando estos materiales forman parte de un circuito magnético, las líneas de flujo magnético tienden a concentrarse dentro del material ferromagnético. Estos materiales además presentan la siguiente característica: la relación entre la intensidad del campo magnético \mathbf{H} y la densidad de flujo magnética \mathbf{B} no es una relación lineal, por lo que:

$$B \neq \mu \cdot H \text{ siendo } \mu \text{ la permeabilidad magnética.}$$

Los materiales ferromagnéticos comprenden regiones (dominios magnéticos) y, dentro de estas regiones los momentos bipolares magnéticos se ordenan en una dirección común. Sin embargo en una muestra no magnetizada de materiales ferromagnéticos, las orientaciones de los dominios son aleatorias, de modo que la muestra no presenta un momento bipolar magnético neto. Si la muestra de la figura 1 se encuentra en un principio no magnetizada y si la corriente que se suministra a la bobina comienza de cero a cierto valor máximo, los dominios magnéticos tienden a alinearse en la dirección del campo aplicado. En la fig. 2 se proporciona una gráfica (curva indicada como 1) de \mathbf{B} versus \mathbf{H} durante la formación inicial del campo magnética.

La curva 1 de la fig. 2 se conoce como “curva de magnetización”. Al aumentar el campo magnético desde cero, la pendiente de la curva es relativamente abrupta. Conforme el campo magnético sigue creciendo dentro del material ferromagnético (o sea mientras la corriente va aumentando) se dificulta cada vez más la alineación de los dominios magnéticos restantes con el campo magnético aplicado y la curva de magnetización inicial se alisa. La pendiente de la curva disminuye en forma abrupta y se dice que el material ferromagnético se encuentra en **satutación**. Una vez que esto sucede, aumentos posteriores de la intensidad del campo magnéticos producen cambios relativamente pequeños en la densidad de flujo magnético (punto S1 en la curva 1 fig. 2).

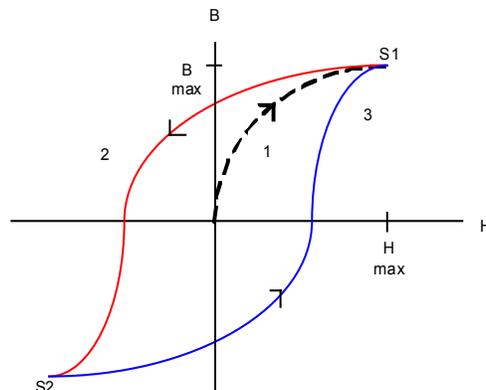


Figura 1

Histéresis:

Una vez que se ha alcanzado el máximo campo magnético (H_{max}), si se disminuye la corriente, tanto H como B comienzan a disminuir desde sus valores máximos. Pero en vez de recorrer de nuevo la curva de magnetización inicial, la variación de B con respecto a H forma una nueva curva (curva 2 en fig. 1)

Otra característica que resulta de esta nueva curva que comienza a partir de la curva de magnetización inicial (curva 1) se refiere a la recuperación incompleta de la energía magnética almacenada. Durante la magnetización inicial de la muestra, la fuente eléctrica de la fig. 2 suministró energía en forma continua y ésta se almacenó en el campo magnético dentro de la muestra de material ferromagnético. La energía magnética total que se suministró durante la magnetización inicial de la muestra es proporcional al área de la curva de magnetización inicial y el eje vertical (B). Cuando la corriente disminuye, parte de la energía magnética (no toda) es liberada. La energía liberada es igual al área encerrada entre la recta $B=B_{max}$ y la curva 2 de la fig.2 en el primer cuadrante.

Conforme la corriente sigue disminuyendo (al convertirse en negativa), la disminución tanto de B como de H , continua. Si se supone que la corriente varía en forma simétrica ($I_{min} = -I_{max}$), la intensidad del campo magnético y la densidad de flujo magnético alcanzarán con el tiempo valores mínimos en $B = -B_{max}$ y $H = -H_{max}$ en el punto S2.

Finalmente, cuando la corriente empieza a aumentar de nuevo, la intensidad del campo magnético y la densidad de flujo aumentan a través de la curva 3 de la fig.1. Cuando llega la corriente a su valor máximo, tanto H como B alcanzan su máximo de nuevo en el punto S1. Según la corriente siga variando de manera cíclica entre sus valores máximos y mínimos, el ciclo completo de la fig. 1 se vuelve a trazar. Éste es el ciclo de histéresis del material ferromagnético y el área dentro de él representa la pérdida de energía que tiene lugar en cada variación cíclica de la corriente. En los dispositivos prácticos, estas pérdidas de histéresis se combinan con otros tipos de pérdidas de energía (como la provocada por la resistencia de la bobina que rodea al material ferromagnético) y limitan la eficiencia total del equipo.

En resumen, la relación entre B y H en los materiales ferromagnéticos no es descrita con una relación fundamental simple según la cual B es directamente proporcional a H . La relación entre B y H en los materiales ferromagnéticos no es lineal debido a la saturación magnética.

Circuito para ver la curva de histéresis

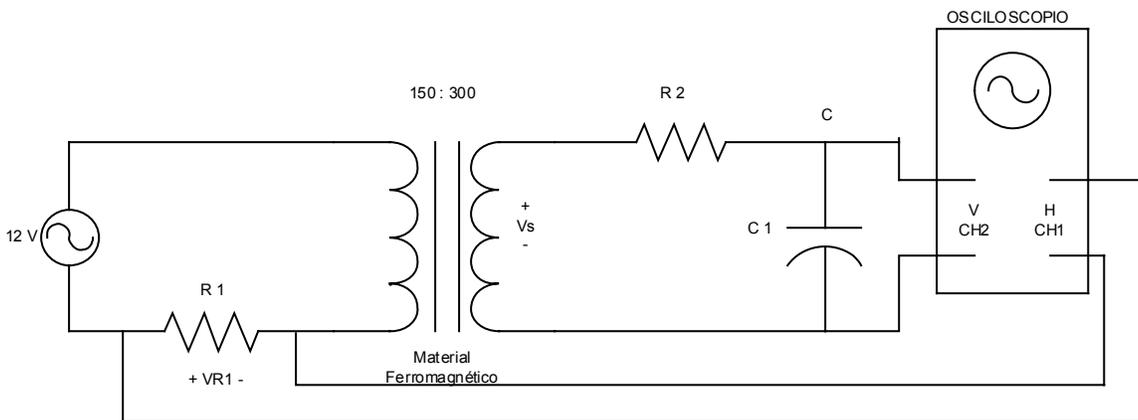


Figura 2

El circuito ocupado para obtener la curva de histéresis, se muestra en la figura 2.

El voltaje a través de la bobina secundaria está dado por:

$$V_s = N_s \cdot \frac{\partial \phi}{\partial t} = N_s \cdot A \cdot \frac{\partial B}{\partial t} \quad (1)$$

donde

N_s : Número de vueltas del enrollado en la segunda bobina.

ϕ : Flujo a través de la segunda bobina.

A : Área de la sección transversal del núcleo del transformador.

B : Inducción magnética.

Además haciendo un loop en la parte derecha del circuito, podemos obtener:

$$V_S = V_C + R_2 I_S \quad (2)$$

La carga del condensador viene dada por:

$$Q = V_C C$$

y por definición:

$$I_S = \frac{dQ}{dt}$$

Entonces reemplazando en (2) :

$$V_S = \frac{Q}{C} + R_2 C \frac{dV_C}{dt} \quad (3)$$

Ahora si C es grande, entonces:

$$V_S \approx R_2 C \frac{dV_C}{dt} \quad (4)$$

y mezclando esto con la ecuación (1), obtenemos:

$$B = \frac{R_2 \cdot C}{N_2 \cdot A} \cdot V_C \quad (5)$$

Esto muestra que B es proporcional a V_C .

De la ley de Ampere nosotros podemos mostrar que H está dado por:

$$H = \frac{N_p}{l} \cdot I_p \quad (6)$$

donde:

N_p : número de vueltas de la bobina primaria.

I_p : corriente de la bobina primaria

l : circunferencia media del núcleo del transformador.

Reescribiendo esta ecuación en función del voltaje, nos queda:

$$H = \frac{N_1}{R_1 l} \cdot V \quad (7)$$

o sea, el voltaje es proporcional a H.

La energía perdida por ciclo por unidad de volumen es dado por:

$$u = \int B dH$$

Usando la ecuación (5) y (7), podemos obtener:

$$u = \frac{R_2 N_1 C}{N_2 R_1 A l} \int V_C dV$$

o multiplicando todo por Al (el volumen del núcleo del transformador), nosotros obtenemos la energía total perdida por ciclo:

$$U = \frac{R_2 N_1 C}{N_2 R_1} \int V_C dV \quad (8)$$

Experimento:

Para obtener el ciclo de histéresis se debe montar el circuito mostrado en la fig.2.

Se deben tener las siguientes precauciones:

-Conectar correctamente el transformador. Su entrada debe ser 12 Vac.

- R_1 y R_2 representan un elemento llamado “década”, el cual permite variar su resistencia de salida por lo que puede ser considerada como un potenciómetro discreto. Se debe tener cuidado con R_1 , en especial, que no debería quedar nunca en cero. Las décadas tienen un máximo de corriente muy bajo.

PARTE A. FUNCIONAMIENTO DEL CIRCUITO.

Se desea estudiar por separado el efecto de la variación en las resistencias, sobre los voltajes en el osciloscopio, comprobando las dependencias de las fórmulas.

MONTAJE A1

Con el montaje de la figura 2, se trabaja en el canal 1 del osciloscopio, sobre la caída de voltaje en R_1 .

MEDICIÓN A1

Varie R_1 , y vea su efecto en el osciloscopio (**no hacer $R_1 = 0$**).

ANÁLISIS A1

Explique la variación en el osciloscopio, debido a la resistencia.

A partir de la ecuación (7), considerando $l = 7$ cm (se calculó promediando el largo medio y el alto medio del núcleo del transformador), estime el rango de H . Haga un pequeño análisis de errores.

MONTAJE A2

Con el montaje de la figura 2, se trabaja en el canal 2 del osciloscopio, sobre el condensador.

MEDICIÓN A2

Varie R_1 , y vea su efecto en el osciloscopio (**no hacer $R_1 = 0$**).

Varie R_2 , y vea su efecto en el osciloscopio.

ANÁLISIS A2

Explique la variación en el osciloscopio debido a R_1 y R_2 .

¿Qué rango de R_1 afecta?, ¿Qué rango de R_2 afecta?. ¿Por qué para ciertos valores de R_2 , la señal aparece con ruido?. A partir de la ecuación (5), considerando $A = 6,7$ cm², estime el rango de B . (mida con multímetro la RESISTENCIA real de la década). Haga un pequeño análisis cualitativo de errores.

PARTE B. CICLO DE HISTÉRESIS

Se desea visualizar el ciclo de histéresis, para hacer posteriores estimaciones.

MONTAJE B.

Con el montaje de la figura 2, se debe setear el osciloscopio con la siguiente configuración:

-Para el canal 1 se recomienda 5 V/div y entre 10 mV/div y 50 mV/div para el canal 2.

-En osciloscopios TAS 220-250, en el modo horizontal debe estar en ON la tecla X-Y . Para osciloscopios 2261 la perilla de SEC/DIV, debe estar en X-Y. De esta manera el canal 1 es X, la escala horizontal, y el canal 2 es Y, la entrada vertical.

-En el modo TRIGGER, deben estar seteados: Coupling AC y Source CH1.

MEDICIÓN B

Varie R_1 y R_2 , y observe el efecto en el osciloscopio.

ANÁLISIS B

Explique la variación en el osciloscopio debido a R_1 y R_2 . ¿Para qué valores la curva se parece más a una de histéresis?. Ajuste la curva de manera de medir el área interna, a partir de áreas de cuadrados del osciloscopio. Este valor es la integral de la ecuación (8). Ahora calcule el valor de la energía total medida por cada ciclo.

PARTE C. RESPONDA:

a)¿Por qué se dice que la curva de histéresis representa una curva multivalente?

b) Con lo aprendido de histéresis y circuitos magnéticos: ¿Cómo fabricaría un imán permanente ?. Recuerde que esos imanes son comúnmente de hierro, y no se necesita corriente para permanecer adherido a otro metal.