

PRÁCTICA 5

INFLUENCIA DE LOS NÚCLEOS FÉRRICOS EN EL VALOR DE LA AUTOINDUCCIÓN DE UNA BOBINA

Adela García Bis y Andrés C. Gómez Gómez

Mesa: 5, Grupo M3, FFI

RESUMEN: Se ha estudiado la guía del campo magnético creado por una bobina a través de un material ferromagnético. Para ello se ha estudiado la variación de la autoinducción de la bobina, al ir modificando su núcleo hasta configurar un circuito cerrado. Se ha observado una correlación clara entre el aumento de la autoinducción y el crecimiento del medio ferromagnético. El estudio de la inducción electromagnética entre dos bobinas enrolladas en torno a un mismo circuito magnético ha permitido evaluar las pérdidas de campo magnético en el mismo y asociar el incremento de la autoinducción con la concentración de flujo magnético en el núcleo.

INTRODUCCIÓN: Al hablar de ferromagnetismo, hacemos referencia a una propiedad de determinados materiales los cuales, ante la acción de un campo magnético externo, son capaces de incrementar su valor por un factor mucho mayor que la unidad¹⁻⁴, pudiendo mantener además sus propiedades magnéticas tras anular el campo magnético externo^{1,3-4}. Así estamos familiarizados con los imanes permanentes o con los electroimanes, en los que un núcleo ferromagnético aumenta muchas veces el campo magnético creado por una bobina.

Al introducir una barra de material ferromagnético en el interior de un campo magnético ésta se imanta y genera a su vez un campo magnético que, al tiempo que incrementa considerablemente el valor del campo magnético en su interior, modifica el valor del campo magnético en su entorno reduciendo considerablemente su valor. Se puede afirmar que el material ferromagnético sirve de "guía" al flujo del campo magnético. Esto posibilita la construcción de circuitos cerrados por los que "circula" un campo magnético y que denominamos circuitos magnéticos⁴⁻⁵.

El estudio de los circuitos magnéticos encuentra su interés en numerosas aplicaciones tecnológicas^{3-4,6-7}. Su utilización en el diseño de transformadores, si bien ya cuenta con más de un siglo de historia, sigue siendo fundamental en el desarrollo de tecnología tanto de baja como de alta potencia. Más reciente es el uso de circuitos magnéticos en el campo de la informática con aplicación en los sistemas de grabación y lectura de memorias magnéticas⁷.

En el presente trabajo nos limitaremos a analizar el fenómeno de guía de un campo magnético a través de un circuito ferromagnético muy simple. Para la verificación experimental del fenómeno se ha hecho uso de una relación derivada de la teoría de circuitos, que nos permite conocer la autoinducción de la bobina. Ha sido posible relacionar el valor medido de la autoinducción con las características del medio ferromagnético y explicar el resultado en términos de "guiado de campo magnético".

EXPERIMENTAL: Para la generación del campo magnético se ha hecho uso de una bobina de 1200 espiras, con 12 ohmios de resistencia y una autoinducción en aire de 35

mH, según datos del fabricante. La limitación a 1 mA de la intensidad máxima admisible por esta bobina ha reducido considerablemente el valor del campo magnético generado por la misma. Una segunda bobina de 600 espiras y 9 mH se utilizó como bobinado secundario para el análisis del fenómeno de inducción entre bobinas.

El material ferromagnético utilizado fue suministrado por la casa PHYWE y consistió en una barra de hierro macizo, de sección cuadrada igual a la sección interior de las bobinas y de su misma longitud, y una segunda pieza de hierro en forma de U cuya sección y longitud de cada tramo coinciden con los de la barra anterior.

Para la medida de la autoinducción se dispuso un circuito como el de la figura 1a. La resistencia incorporada al circuito se midió con un ohmetro Fluke 45 dando como resultado $46,16 \pm 0,12 \Omega$.

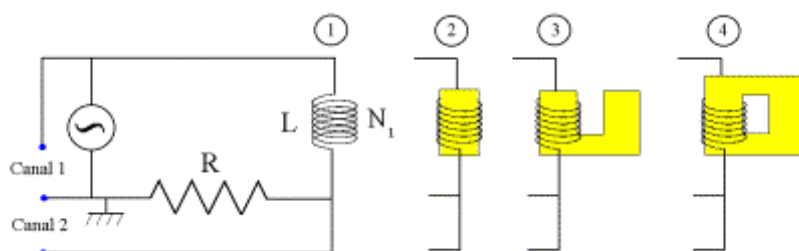


Figura 1. Circuito utilizado para la medida de autoinducciones. En el lado izquierdo se representan las cuatro configuraciones de núcleo utilizadas.

El generador utilizado fue un Yokogawa FG110. Se introdujo desde el generador una señal alterna de 2 V de amplitud y 50 Hz de frecuencia. Las medidas se realizaron con un osciloscopio Hameg 203-5. En el canal 1 se midió la tensión generada por la fuente y en el canal 2 la diferencia de potencial en bornes de la resistencia, lo que permitió conocer la intensidad que circula por el circuito. Se utilizaron cuatro configuraciones para la bobina: Bobina con núcleo de aire, C1; bobina con núcleo simple de hierro, C2; bobina con núcleo de hierro en forma de U, C3, y bobina con núcleo en circuito cerrado, C4. La figura 1 muestra esquemáticamente estas configuraciones.

En la figura 2 se muestra el circuito utilizado para el estudio de la inducción entre ambas bobinas. En este caso la señal del generador se introdujo en la bobina de 600 espiras, mientras que la otra bobina queda en circuito abierto. En esta configuración, equivalente a la de un transformador, a ambas bobinas las denominamos bobina primaria y secundaria respectivamente.

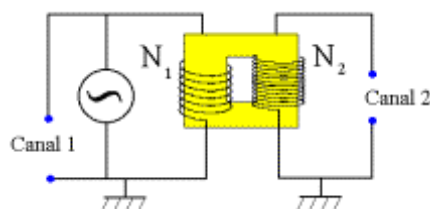


Figura 2. Circuito utilizado para el estudio de la inducción entre bobinas con un núcleo común.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN: El circuito de la figura uno es un circuito inductivo resultado de la disposición de una autoinducción y una resistencia en serie. A partir del triángulo de impedancias conocemos que la d.d.p. a la entrada del circuito y la intensidad que circula por el circuito están desfasadas un ángulo φ que cumple la relación⁸

$$\operatorname{tg}(\varphi) = \frac{L\omega}{R} \rightarrow L = \frac{R \operatorname{tg}(\varphi)}{\omega}$$

donde R es la resistencia total del circuito, ω la pulsación de la señal y L la autoinducción.

Dado que la intensidad y la d.d.p. en bornes de la resistencia están en fase, el valor de φ lo podemos conocer a partir de la medida del desfase de las señales medidas en el canal 1 y 2 del osciloscopio dispuestos como se indica en la fig.1.

La resistencia R resulta de la suma de la resistencia del elemento resistente del circuito, $46,16 \Omega$ y la resistencia de la bobina, R_L . Para obtener una mayor precisión, se midió el valor de la resistencia de la bobina 1, obteniéndose un valor de $11,34 \pm 0,11 \Omega$, con lo que la resistencia total del circuito es de $57,50 \pm 0,23 \Omega$

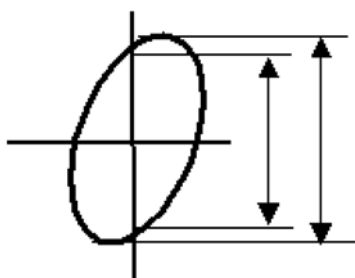


Figura 3. representación de una figura de Lissajous.

El valor de φ se obtuvo a partir de la representación de la figura de Lissajous en la pantalla del osciloscopio. De esta forma se puede calcular el desfase a partir de la expresión ⁹

$$\|\varphi\| = \arcsen\left(\frac{d}{D}\right)$$

dónde D representa la distancia entre los valores máximo y mínimo de la elipse y d entre los valores positivo y negativo en el corte con la ordenada. La tabla 1 muestra los resultados obtenidos:

	ω rad/s	φ grados	$\operatorname{tg}(\varphi)$	L mH
C1	314,2	11,38	0,2	36,6
C2	314,2	46,34	1,05	192,2
C3	314,2	57,81	1,59	291,0
C4	314,2	77,14	4,38	801,6

Tabla 1. Medida de la autoinducción al ir cerrando el circuito formado por el material ferromagnético.

Cabe destacar en la medida que se ha obtenido para la medida en aire un valor aproximado al dado por el fabricante. La diferencia de 1,6 mH puede atribuirse a la baja precisión con que se realiza la lectura en la pantalla del osciloscopio así como a la tolerancia propia de la fabricación de la bobina. El resultado obtenido valida el sistema de medida adoptado, si bien hemos de considerar que introduce un error en el entorno de un 5% del valor real de la medida.

Al ir cerrando el circuito se incrementa el valor de la autoinducción hasta llegar a un valor máximo de unas 22 veces el valor de la bobina con núcleo de aire. Esto supone que al ir incrementando el medio ferromagnético aumenta la autoinducción de la bobina y por lo tanto el valor de la permeabilidad relativa del medio hierro-aire. Pero este incremento puede ser debido a dos causas:

- 1) El material ferromagnético actúa como guía del campo magnético y por lo tanto concentra en él el campo magnético creado por la espira.
- 2) Al haber más espacio en el entorno a la espira ocupado por un material ferromagnético, la proporción de medio ferromagnético es mayor y por lo tanto su influencia en el valor de la autoinducción.

Para dilucidar este problema tendremos en cuenta que si el campo magnético fuese guiado por el material ferromagnético en el circuito cerrado, esta situación sería equivalente a que la espira estuviese totalmente inmersa en un medio ferromagnético de análogas características al del material que conforma el circuito, luego el valor de m_r sería el del medio ferromagnético.

Si tenemos en cuenta que la permeabilidad relativa de un material ferromagnético puede llegar en la saturación a un valor entre 5.000 y 120.000 veces la permeabilidad del aire⁴, un incremento de 22 veces la autoinducción es insignificante y muy por debajo de los valores esperados si alcanzáramos la saturación lo cual apoyaría la segunda causa para explicar el incremento de la autoinducción. Pero cabe señalar que la limitación de intensidad en las bobinas, de 1 A, implica que los campos magnéticos que podemos alcanzar están muy por debajo de la saturación y por lo tanto los valores conocidos de permeabilidad relativa en la saturación no nos permiten evaluar nuestro sistema.

Un transformador es un sistema formado por dos bobina, primaria y secundaria, con N_1 y N_2 espiras respectivamente y cuyos núcleos forman parte de un mismo circuito magnético⁴⁻⁵. Al aplicar una tensión senoidal a la bobina primaria, la ganancia de tensiones, definida como la relación entre la tensión en bornes de la bobina secundaria respecto a la tensión de entrada, es igual a la relación entre el número de espiras de la bobina secundaria respecto del número de espiras de la primaria: $U_2/U_1 = N_2/N_1$. Esto es cierto en la medida en que el flujo del campo magnético que atraviesa la bobina primaria es el mismo que atraviesa la secundaria. De existir pérdidas de flujo la ganancia disminuiría y por lo tanto: $U_2/U_1 < N_2/N_1$.

La ley de Faraday da la relación entre la diferencia de potencial en bornes de la bobina primaria y el flujo que atraviesa cada una de sus espiras:

$$V_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt}$$

si una parte de este flujo, $k\phi$ con $0 < k < 1$, atraviesa la bobina secundaria inducirá una diferencia de potencial entre sus terminales:

$$V_2 = N_2 k \frac{d\phi}{dt}$$

con lo que la ganancia de tensiones tendrá como expresión:

$$\frac{V_2}{V_1} = k \frac{N_2}{N_1}$$

en el caso de un transformador ideal en el que el flujo es conducido sin pérdidas de una bobina a la otra, $k=1$, la ganancia de tensiones es igual a la razón entre espiras de las bobinas. El valor de k se puede medir fácilmente a partir de la expresión anterior.

Se ha realizado el circuito dibujado en la figura 2. Se ha aplicado una señal senoidal de 50 Hz y diversas amplitudes entre 1 y 5 V. En todos los casos la ganancia de tensiones, calculada desde los valores máximos, ha sido de 0,42. teniendo en cuenta que la relación entre espiras de ambas bobinas $N_2/N_1=0,5$, ello da un valor del coeficiente de pérdida de flujo $k = 0,84$. Esto supone que únicamente un 16% del flujo creado por la bobina 1 se pierde en el aire, siendo el 84% restante guiado por el núcleo ferromagnético hasta la bobina 2.

Dado que el volumen que ocupa el material ferromagnético es sólo una fracción pequeña del volumen total que envuelve las bobinas, es indudable que el material ferromagnético conduce el campo magnético. Por lo tanto, el incremento en el valor de la autoinducción de la bobina cuando se cierra el circuito magnético, respecto a la bobina con núcleo de aire, es debido a que al guiar en su interior el campo magnético el sistema tiende a comportarse como si la bobina estuviese inmersa en un medio ferromagnético.

Conclusiones : Se ha verificado el aumento de la autoinducción al hacer que el núcleo de una bobina forme un circuito cerrado. Se ha relacionado este fenómeno con la conducción del campo magnético a través del material ferromagnético que conforma el circuito, obteniéndose una pérdida de flujo, en el sistema estudiado, de un 16% del total producido.

Agradecimientos: El presente trabajo se ha realizado en el laboratorio del Departamento de Física Aplicada de la Universidad Politécnica de Valencia. Queremos agradecer al Dr. Agapito Díaz de la Colleja los comentarios realizados al presente trabajo.

Bibliografía :

- 1) Tejada, J. y Cudsnovsky, E.M., *Investigación y Ciencia*, N° 216, pág. 62 (1994).
- 2) Boebinger, G., Passner, A. y Berk, J., *Investigación y Ciencia*, N° 227, pág. 14 (1995).
- 3) Serway, R.A., *Física*, Vol. 2, Ed. MacGraw Hill, México (1992).
- 4) Burbano de Ercilla, S., Burbano García, E. y Gracia Muñoz, G., *Física General*, Ed. Mira, Zaragoza (1993).
- 5) Carter, R.G., *Electromagnetismo para Ingeniería electrónica*. Ed. Addison-Wesley Iberoamericana. Widmington (1993).
- 6) Livingston, J.D., *Investigación y Ciencia*, N° 268, pág 64 (1999).
- 7) Toigo, J.W., *Investigación y Ciencia*, N° 268, pág 64 (1999)
- 8) Lonchamp, J.P., *Comprendre et appliquer l'electrocinetique des courant variables*, Vol 10, Ed. Masson, Paris (1983).
- 9) Higgins, R.J., *Electrónica experimental*, Ed. Reverté, Barcelona (1971)