



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DEL TÁCHIRA
DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA Y FÍSICA
NÚCLEO DE FÍSICA. LABORATORIO DE FÍSICA II

PRÁCTICA N° 11

CAMPO MAGNÉTICO EN EL EJE DE UNA BOBINA CIRCULAR

MATERIAL ELABORADO POR:
PROF. EFREN ONTIVEROS C.

San Cristóbal, Junio de 2002

PRACTICA N° 11 CAMPO MAGNETICO EN EL EJE DE UNA BOBINA CIRCULAR

11.A OBJETIVOS

11.A.1 Determinar la fuerza electromotriz inducida por un campo magnético que varía con el tiempo, producido por una bobina circular.

11.A.2 Determinar la intensidad de campo magnético en el eje de una bobina circular.

11.B MÉTODO

Comenzamos a presentar indicios de la relación íntima entre electricidad y magnetismo. En esta práctica presentaremos una ley física completamente nueva, la ley de Faraday-Henry.

Dos espiras conductoras son colocadas axialmente a cierta distancia. Cambiando la distancia entre las espiras de corriente, se induce una corriente en la espira desplazada. Esta corriente es luego determinada experimentalmente.

11.C FUNDAMENTO TEÓRICO

11.C.1 CAMPO MAGNÉTICO AXIAL DE UNA ESPIRA CIRCULAR DE ALAMBRE CONDUCTORA DE CORRIENTE. Consideremos una espira circular de alambre de radio a por el que circula una corriente I . El campo magnético producido por este circuito en un punto arbitrario es ligeramente complicado de calcular. Sin embargo, si sólo se consideran puntos sobre el eje de simetría, la expresión de \vec{B} es relativamente sencilla de calcular. Utilizaremos un tratamiento vectorial completo para demostrar esta técnica. La figura 11.1 ilustra la disposición geométrica y las coordenadas que deben utilizarse. El campo \vec{B} se ha de calcular en el punto r_2 sobre el eje z , la espira circular de radio r_1 se encuentra en el plano xy .

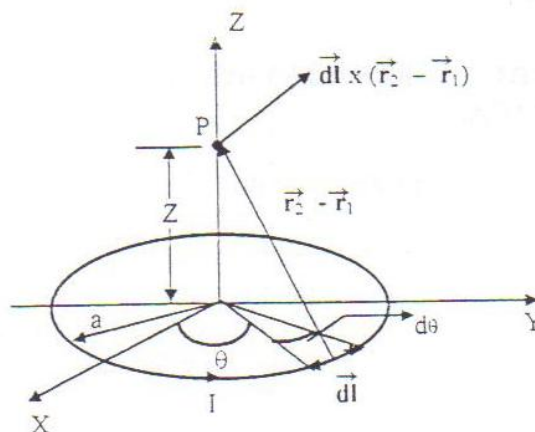


Figura 11.1
Campo axial de una espira circular de alambre.

La inducción magnética está dada por la ecuación de *Biot-Savart*:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \oint \frac{d\vec{l} \times (\vec{r}_2 - \vec{r}_1)}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_1|^3} \quad (1)$$

en la que, de la figura 11.1, se deben utilizar las siguientes expresiones:

$$d\vec{l} = a d\theta (-i \sin\theta + j \cos\theta)$$

$$\vec{r}_2 - \vec{r}_1 = -i a \cos\theta + j a \sin\theta + k z \quad (2)$$

$$|\vec{r}_2 - \vec{r}_1| = (a^2 + z^2)^{1/2}$$

Sustituyendo estas tres relaciones en la ecuación (1) se tiene:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_0^{2\pi} \frac{(i z a \cos\theta + j z a \sin\theta + k a^2) d\theta}{(z^2 + a^2)^{3/2}} \quad (3)$$

La integral de los dos primeros términos es cero, de modo que, para N espiras se tiene que:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 N I}{2} \frac{a^2}{(z^2 + a^2)^{3/2}} k \quad (4)$$

que, por supuesto, está completamente a lo largo del eje z.

Si sustituimos a la intensidad de la corriente continua por una corriente sinusoidal variable con el tiempo, entonces la ecuación (4) queda como:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 N I a^2 \sin(\omega t)}{2 (z^2 + a^2)^{3/2}} k \quad (5)$$

11.C.2 LEY DE FARADAY-HENRY DE LA INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA.

La inducción de una fuerza electromotriz al cambiar el flujo magnético fue observada en 1831 por Michael Faraday en Inglaterra y por Joseph Henry en los Estados Unidos, casi simultáneamente y de manera independiente. A partir de sus experimentos iniciales en esta teoría se han creado los generadores modernos, los transformadores, etc. Ellos observaron que una corriente transitoria es inducida en un circuito si: (a) la corriente estacionaria que fluye en un circuito adyacente es abierto o cerrado, (b) el circuito adyacente por el cual fluye una corriente estacionaria es desplazado o movido relativo al primer circuito, (c) un imán permanente es desplazado dentro o fuera del circuito. Ninguna corriente fluye a no ser que la corriente adyacente cambie o que exista un movimiento relativo en los circuitos. Ellos interpretaron el flujo de corriente transitoria como debida al cambio del flujo

magnético unido al circuito. El flujo cambiante induce un campo eléctrico alrededor del circuito. Tal campo produce una fem a lo largo del circuito, conocida como *fem inducida*. Cuanto mayor sea la rapidez con que cambia el flujo, mayor será la fem inducida. La dirección en la cual actúa la fem inducida depende de si el flujo a través del circuito aumenta o disminuye. Para ello se puede utilizar la regla de la mano derecha, según se indica en la figura 11.2.

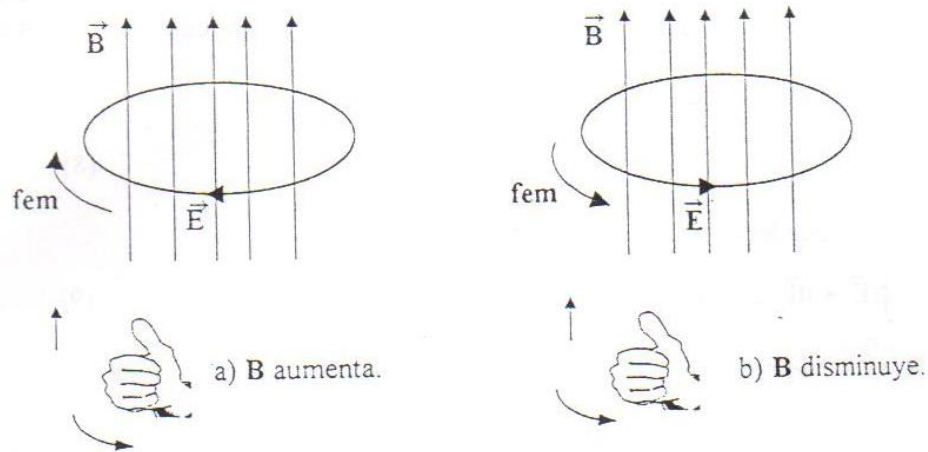


Figura 11.2

Campo eléctrico producido por un campo magnético dependiente del tiempo. El pulgar de la mano derecha muestra la dirección del campo magnético.

El pulgar se coloca en la dirección del campo magnético y la fem actúa en dirección opuesta a la dirección en que apuntan los demás dedos cuando el flujo aumenta, y actúa en la dirección en la que apuntan los dedos cuando el flujo disminuye. Todos estos fenómenos están comprendidos en la siguiente ley:

Ley de Lenz: *En caso de que haya un cambio en un sistema magnético, sucede algo que tiende a oponerse al cambio.*

Las investigaciones de Faraday y Henry aplicadas al campo electromagnético tiene por expresión general que:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0 \quad (6)$$

indicando que si una carga eléctrica recorre una trayectoria cerrada, el trabajo realizado por las fuerzas electrostáticas es cero. No obstante, cuando el recorrido está atravesado por un flujo magnético variable Φ_B , la ecuación anterior no es aplicable. Para este otro caso consideramos un recorrido que tiene la forma de una espira circular de N vueltas, entonces si Φ_B es el flujo variable que atraviesa la espira, tenemos una nueva expresión:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -N \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (7)$$

La integral curvilínea de $\vec{E} \cdot d\vec{l}$ ó circulación de \vec{E} , a lo largo del recorrido se denomina *fuerza electromotriz inducida* (ε). En ausencia de fuentes en el circuito, la intensidad de corriente es igual a esta fem inducida dividida por la resistencia del circuito.

En virtud de que el flujo magnético es:

$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} \quad (8)$$

la ecuación (7) puede ser escrita de la forma:

$$\varepsilon = \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -N \frac{d}{dt} \left[\int \vec{B} \cdot d\vec{A} \right] \quad (9)$$

donde A es cualquier superficie limitada por el camino de integración elegido para la integral curvilínea; en nuestro caso será el área de un círculo de radio R_2 . En la figura 11.3, cuando una intensidad de corriente i_1 varía con el tiempo y fluye en el sentido indicado en la bobina 1, la fem inducida registrada por el voltímetro en el circuito de la derecha que contiene a la bobina 2, tiene el sentido indicado por la ley de Lenz.

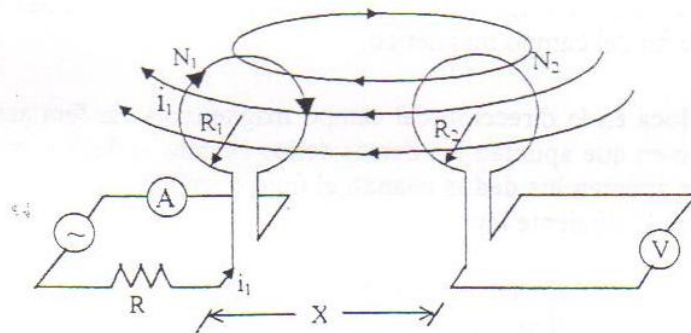


Figura 11.3

La fem inducida en el circuito de la derecha tiene el sentido dado por la ley de Lenz.

En este experimento se demuestra como puede aumentar o disminuir el voltaje inducido en la bobina 2 cuando variamos la separación x entre ambas bobinas.

Partiendo de la ecuación (9) realizamos un análisis mas detenido del caso que nos ocupa:

$$\varepsilon = - \frac{d}{dt} \left[\int \vec{B}_x \cdot d\vec{A} \right] \quad (10)$$

Por otro lado el campo magnético creado por la bobina 1, haciendo uso de la ecuación (5) es:

$$\vec{B}_x = \frac{\mu_0 N_1 I_0 R_1^2}{2(R_1^2 + x^2)^{3/2}} \sin(\omega t) \quad \begin{matrix} 1,056 \times 10^{-6} \\ 1,22 \times 10^{-3} \end{matrix} \quad (11)$$

En nuestro caso \vec{B}_x y $d\vec{A}$ forman 180° , luego:

$$\vec{B}_x \cdot d\vec{A} = - B_x dA \quad (12)$$

Así, después de hacer las sustituciones respectivas, la fem inducida se puede expresar por:

$$\mathcal{E} = N_2 \frac{d}{dt} \left[\int \frac{\mu_0 N_1 I_0 R_1^2}{2(R_1^2 + x^2)^{3/2}} dA \sin(\omega t) \right] \quad (13)$$

donde:

$$A = \int dA = \pi R_2^2 \quad (14)$$

Ahora, sustituyendo el valor de la superficie y derivando con respecto al tiempo, obtenemos la expresión de la fem inducida en función del tiempo:

$$\mathcal{E}(x,t) = \frac{\mu_0 N_1 N_2 I_0 R_1^2 R_2^2 \pi \omega \cos(\omega t)}{2(R_1^2 + x^2)^{3/2}} \quad (15)$$

11.D EQUIPO Y MATERIAL NECESARIO

Bobina primaria: diámetro promedio: 13 cm., N° espiras: 320. Bobina secundaria: diámetro promedio: 13 cm., N° espiras 320. Fuente de poder AC. Osciloscopio. Amperímetro. Voltímetro. Regla milimetrada. Cables para conexiones.

11.E PROCEDIMIENTO

11.E.1 EXPERIMENTAL

11.E.1.1 Realice el montaje de la figura 11.4.

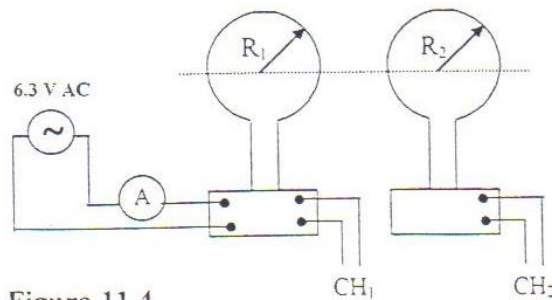


Figura 11.4

Las mediciones se efectúan comenzando desde el centro de la bobina primaria ($x = 0$ hasta $x = 14$ cm), variando la separación de 2 en 2 cm.

11.E.1.2 Aplique el voltaje alterno de 6.3V a la bobina primaria y compruébelo con el valor obtenido en el osciloscopio.

11.E.1.3 Mida la intensidad de corriente que circula por la bobina primaria.

11.E.1.4 Mida en el osciloscopio la señal inducida en la bobina secundaria para obtener el valor práctico de la fuerza electromotriz inducida para cada valor de x .

11.E.1.5 Determine el valor práctico de la inducción del campo magnético para cada valor de x .

11.E.2 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADO

11.E.2.1 Determine el valor teórico de la fuerza electromotriz inducida para cada valor de x .

11.E.2.2 Determine el valor teórico de la inducción del campo magnético para cada valor de x .

11.E.2.3 Determine el error relativo porcentual entre el valor práctico y el valor teórico para cada valor de x , tanto de la fem inducida como de la inducción del campo magnético.

11.E.2.4 Represente gráficamente (en papel milimetrado) \mathcal{E} vs. x y \vec{B} vs. x , de los valores teóricos y prácticos.

11.F CUESTIONARIO

11.F.1 ¿Es uniforme el campo magnético debido a una espira de corriente? Explique.

11.F.2 Una espira circular está colocada en un campo magnético uniforme y constante. Describa cómo una fem puede ser inducida en la espira en esta situación.

11.F.3 ¿Qué le sucede a la fem inducida en un circuito si la rapidez con que cambia el flujo magnético a través del circuito: (a) se duplica, (b) se reduce a la mitad?

11.F.4 Una espira rectangular se mueve cruzando un campo magnético uniforme, de tal modo que la fuerza electromotriz inducida es cero. ¿Qué puede Ud. decir a cerca del ángulo entre la normal a la superficie de la espira y la dirección del campo magnético durante el movimiento?