INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Fecha: 02/10/2013

1. Objetivo de la práctica

Estudio de la inducción electromagnética por medio de la fuerza electromotriz inducida entre solenoides. Determinación de la permeabilidad magnética del aire, prácticamente igual a la del vacío μ_0.

2. Material

- Fuente de tensión, de frecuencia y amplitud variables (oscilador)
  - Intervalo de frecuencia: 20 Hz - 200 kHz
  - Intervalo de tensión: 0 - 5 V alterna sinusoidal
- Osciloscopio adecuado para esos intervalos
- Solenoide grande de 485 espiras/m
- Conjunto de solenoides más pequeños
- Resistencia, $R = 220 \pm 1\ \Omega$

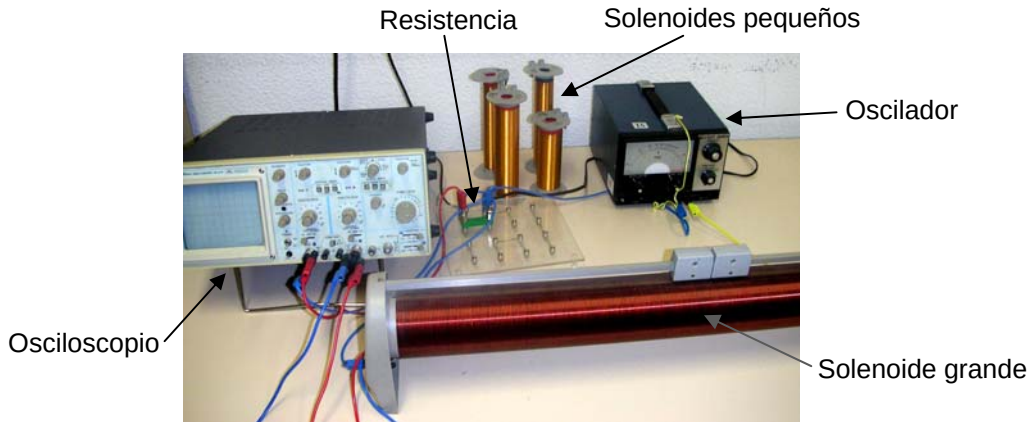


Fig. 1. Elementos del montaje

3. Teoría

El campo magnético ***B*** creado en el interior de un solenoide cuya longitud es claramente mayor que el diámetro, y que está recorrido por una corriente eléctrica *I*, lleva la dirección del eje y el sentido viene determinado por *I* de acuerdo con la regla del tornillo. El modulo de ***B*** es uniforme en el interior y viene dado por la expresión:

$$B = \mu_0 n_g I \tag{1}$$

donde n_g es el número de espiras por unidad de longitud de la bobina y μ_0 es la permeabilidad magnética del aire (prácticamente igual a la del vacío).

Por otra parte, cuando un solenoide es atravesado por un flujo de campo magnético $\phi = N \cdot A \cdot B_a$ (donde B_a es el campo magnético aplicado paralelo al eje, *A* es la sección del solenoide y *N* su número de espiras), se genera un voltaje *fem* (fuerza electromotriz inducida) cuyo valor viene dado por la ley de Lenz:

$$fem = -\frac{d\phi}{dt} \tag{2}$$

Si consideramos que el campo magnético B_a es el creado por un segundo solenoide mayor, por el que circula una corriente alterna *I* de frecuencia ω y amplitud I_0 dada por:

$$I = I_0 \operatorname{sen} \omega t \tag{4}$$

la fuerza electromotriz inducida en el solenoide pequeño será:

$$fem = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d(NAB_a)}{dt} = -\frac{d(NA\mu_0 n_g I)}{dt} = -NA\mu_0 n_g I_0 \omega \cos \omega t \tag{5}$$

El valor de *fem* depende de la geometría del solenoide pequeño, es decir del número de espiras *N* y de la sección *A*, que son los parámetros que se variarán en esta práctica.

4. Montaje experimental

La corriente de pico I_0 que circula por el solenoide grande se puede medir con comodidad utilizando una resistencia auxiliar de valor conocido, $R = 220 \pm 1\ \Omega$. Basta conectarla en serie con el solenoide (Fig. 2) y medir la caída de tensión V_R que se produce en la misma, de modo que

$$I = \frac{V_R}{R} \quad \Rightarrow \quad I_0 \operatorname{sen} \omega t = \frac{V_{R_0}}{R} \operatorname{sen} \omega t \tag{6}$$

Debido a que los polímetros ordinarios funcionan hasta frecuencias no muy superiores a los 50 Hz de la red, el valor de la tensión de pico V_{R0} aquí se medirá usando un canal de un osciloscopio de dos canales. Es decir, el osciloscopio se usa como voltímetro que funciona en un amplio intervalo de frecuencias ω. Con el osciloscopio también puede medirse el valor de la frecuencia ω. Por otra parte, el valor de pico de la *fem* inducida en la bobina pequeña, fem_0, se mide directamente conectando la bobina al otro canal del osciloscopio. Esta bobina debe quedar en el centro de la grande que es donde el campo de la grande es más uniforme al evitarse los efectos de borde.

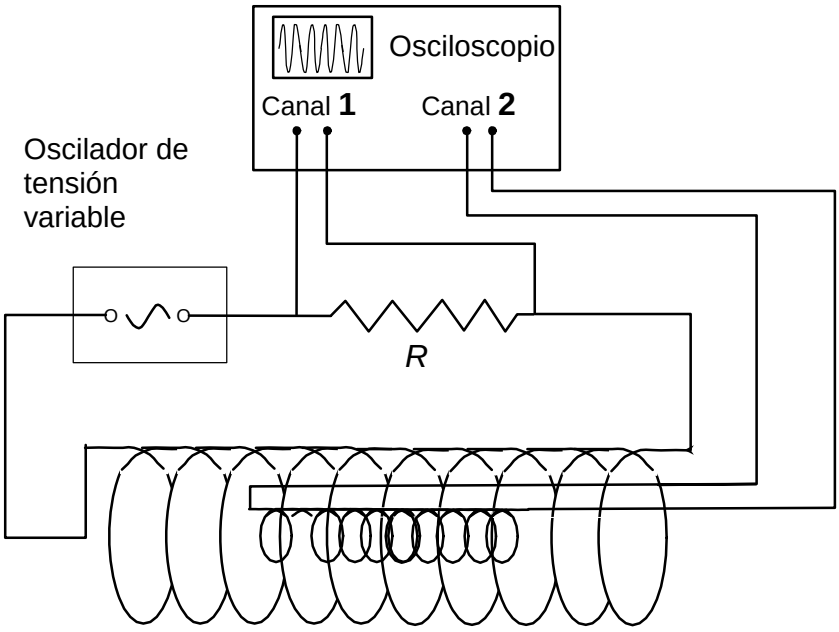


Fig. 2. Esquema experimental para el estudio de la inducción electromagnética. Los extremos de la resistencia *R* se llevan al canal 1 del osciloscopio, donde se mide la caída de tensión de pico V_{R0} provocada por el paso de la corriente *I*. La *fem* inducida en el solenoide pequeño, introducido en el más grande hasta que quede centrado, se mide en el canal 2 del osciloscopio.

5 Medidas a Realizar

5.1. Desfase de la fem inducida

Con el montaje experimental mostrado en la figura 2, se mide en el osciloscopio el desfase entre la caída de tensión V_R en la resistencia *R* y la fuerza electromotriz *fem* inducida en el solenoide pequeño, estimando el error. Compárese este resultado experimental con el deducido teóricamente expresado en las fórmulas (5) y (6). Nótese que en (5) aparece la función "coseno" y en (6) la función "seno".

5.2. Determinación de μ_0 variando la intensidad

Para un solenoide pequeño cualquiera, se fija la frecuencia del oscilador. Ahora, variando la corriente que pasa por el solenoide grande, se mide la caída de tensión V_{R0} en los extremos de la resistencia óhmica R y la fem_0 máxima originada en el solenoide pequeño y se anotan los valores en la Tabla 2. Represéntese gráficamente fem_0 en función de V_{R0}. De la pendiente de la gráfica se puede calcular, mediante los datos de la Tabla 1 y a partir de la fórmula (5), el valor de la constante μ_0 y el error cometido, primero visualmente y después por mínimos cuadrados.

5.3. Determinación de μ_0 variando la frecuencia

Con una bobina cualquiera y fijando la tensión del oscilador (por ejemplo, 5 V), se va variando la frecuencia de la corriente y, con el osciloscopio, se mide tanto la frecuencia ω como el valor de la FEM máxima, fem_0 que se anotan en la Tabla 3. Represéntese gráficamente fem_0 en función de la frecuencia, y de la pendiente de la gráfica calcúlese nuevamente el valor de la constante μ_0 y su error primero visualmente y después por mínimos cuadrados. Compárense estos valores con los obtenidos en el apartado 5.2. y discútanse estos resultados.

5.4. Variando la geometría

Para una tensión y una frecuencia fijas del oscilador, ahora se utilizan varias bobinas para verificar la dependencia de la FEM inducida fem_0 con la sección A y el número de espiras N del solenoide dada por la expresión (5):

$$fem_0 = -NA\mu_0 n_g I_0 \omega \qquad (7)$$

Se anotan los resultados en la Tabla 4, y se representan las gráficas correspondientes de fem_0 en función de A y en función de N.

Tabla I. Características de los solenoides disponibles para el estudio de la inducción magnética.

Solenoides	Número de espiras	Diámetro ($\pm$0,1 cm)	Resistencia ($\pm$0,1 Ω)	Impedancia ($\pm$5 μH)	Intensidad Máx. (A)
Grande	485 esp/m	7,9	0.3	1000	8
Pequeño 1	300	4,1	3.5	800	1.2
Pequeño 2	300	3,3	2.8	530	1.2
Pequeño 3	300	2,6	2.2	330	1.2
Pequeño 4	200	4,1	2.2	500	1.2
Pequeño 5	100	4,1	1.1	200	1.2

Bibliografía

Cualquier libro de Física General, por ejemplo:

1. P. A. Tipler y G. Mosca, *Física para la ciencia y la tecnología*, Volumen 2A, Ed. Reverté (2010).
2. F. W. Sears, M. W. Zemansky, H. D. Young y R. A. Freedman, *Física Universitaria*, Volumen 2, Ed. Addison Wesley (2009).

Tabla 2. FEM en función de la corriente *I*. Solenoide nº ; ω = ± s^{-1}
(Precisión osciloscopio (voltímetro) ± V)

$V_{R0} \pm \Delta V_{R0}$, (V)	$I_0 \pm \Delta I_0$, (A)	$fem_0 \pm \Delta\, fem_0$, (V)

Tabla 3. FEM en función de la frecuencia ω. Solenoide nº ; *I* = ± A

$\omega \pm \Delta\omega$, (s^{-1})	$fem_0 \pm \Delta\, fem_0$, (V)

Tabla 4. FEM en función de la geometría. $\omega =$ $\pm$ s^{-1}; $I =$ $\pm$ A

N	$A \pm \Delta A$, (m^2)	$fem_0 \pm \Delta fem_0$