



Física Experimental 2



Práctica inducción electromagnética

En esta práctica se estudiará el fenómeno de inducción electromagnética, proceso mediante el cual un campo magnético produce un campo eléctrico.

1. Objetivos

- Estudiar el fenómeno de inducción electromagnética, proceso mediante el cual un campo magnético produce un campo eléctrico.
- Analizar la corriente inducida en una bobina que se encuentra en reposo en un campo magnético variable.

2. Fundamento teórico

2.1. Ley de Faraday

El siglo XIX estuvo marcado por grandes avances que permitieron entender los fenómenos eléctricos y magnéticos como dos caras de una misma moneda. Tanto los trabajos de Oersted como los de Ampère fueron contundentes: las corrientes eléctricas generan campos magnéticos. En vista de este descubrimiento, muchos científicos de la época se preguntaron si era posible inducir electricidad a partir de un campo magnético. En 1831, el físico inglés Michael Faraday logró observar este fenómeno.

En la figura 1 se ilustra un experimento llevado a cabo por Faraday. Una bobina primaria se enrolla alrededor de un anillo de hierro, y se conecta a un interruptor y a una batería. Una corriente en la bobina produce un campo magnético al cerrarse el interruptor. Una bobina secundaria también está enrollada alrededor del anillo y se encuentra conectada a un amperímetro. En el circuito secundario no hay batería alguna, y la bobina secundaria no está conectada eléctricamente con la bobina primaria. Cualquier corriente que se detecte en el circuito secundario deberá haber sido inducida por algún agente externo. En el momento en que se cierra el interruptor, el amperímetro indica que en la bobina secundaria circula una corriente eléctrica. En el instante en que el interruptor se abre, se detecta una corriente en el sentido opuesto. Por último, el amperímetro marca cero tanto cuando no existe corriente en el circuito primario como cuando la corriente en el mismo es estable.

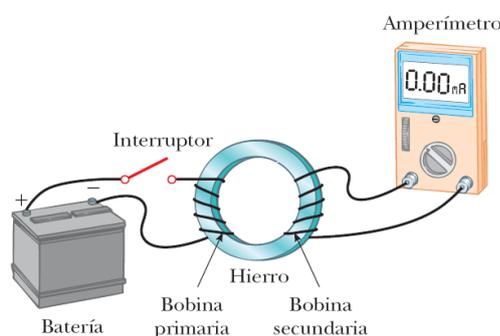


Figura 1: Esquema del dispositivo empleado por Faraday.

Como resultado de estas observaciones, Faraday concluyó que es posible inducir una corriente eléctrica mediante un campo magnético variable.

La Ley de Faraday establece que:

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad (\text{Ley de Faraday}) \quad (1)$$

donde el primer término de la ecuación representa la circulación del campo eléctrico \vec{E} en una curva cerrada (también conocida como fuerza electromotriz inducida) y el segundo término representa la rapidez con que varía en el tiempo el flujo magnético Φ_B por la superficie delimitada por dicha curva.

2.2. Bobina dentro de un campo magnético variable

En la figura 2 se muestra una bobina de N espiras y área A , dentro de un campo magnético B que varía en el tiempo. En la bobina se detecta una fuerza electromotriz (fem) ε_{ind} que puede deducirse directamente de la Ley de Faraday:

$$\varepsilon_{ind} = -N \frac{\partial \Phi_B}{\partial t} \quad (2)$$

donde Φ_B representa el flujo por una vuelta (espira). Si el campo magnético varía senoidalmente en el tiempo,

$$B(t) = B_{max} \sin(\omega t) \quad (3)$$

se tiene que:

$$\varepsilon_{ind} = -NA\omega B_{max} \cos(\omega t) \quad (4)$$

De la ecuación 4 se deduce que la fem inducida en el secundario es proporcional a la frecuencia dividida por la impedancia (resistiva y inductiva) del solenoide primario.

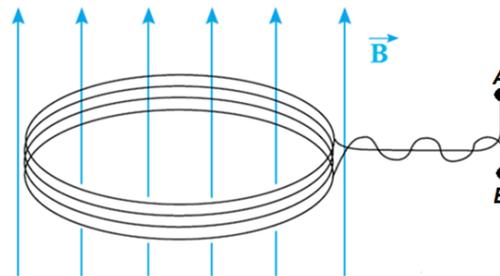


Figura 2: Bobina dentro de un campo magnético.

2.3. Fem inducida por un solenoide en función de la corriente

El campo magnético variable de la sección anterior puede ser generado por un solenoide de largo l_1 y N_1 espiras (solenoides primario) alimentado por un generador de funciones. En general, la resistencia interna del solenoide es del mismo orden que la impedancia de salida estándar de los generadores de funciones (50Ω), por lo que debemos tener en cuenta que el generador de funciones no es ideal si se quiere determinar la corriente que circula por el solenoide primario y con ella el campo magnético que genera. La figura 3 es un diagrama del circuito eléctrico equivalente, donde se modeló al solenoide primario como una inductancia L_p en serie con una resistencia R_p y al generador de funciones como una fuente de voltaje V_0 y una resistencia interna en serie R_f , teniendo que el voltaje que entrega el generador de funciones es igual a $V_f = V_0 - R_f I$.

Analizando dicho circuito se llega a la expresión 5 para la amplitud de la corriente I que circula por el solenoide primario, donde se observa que la misma depende de la frecuencia y en consecuencia el voltaje entregado por el generador de funciones también. Si se considera que el solenoide es ideal, la amplitud del campo magnético generado por el mismo es $B_{max} = \mu_0 \frac{N_1}{l_1} I$, por lo que partiendo de las

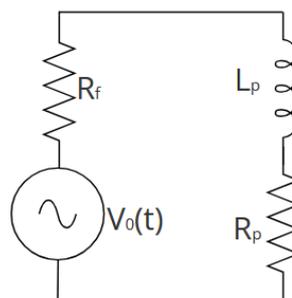


Figura 3: Circuito equivalente considerado para determinar la corriente que circula por el solenoide primario.

ecuaciones 5 se llega a la expresión 6 para la amplitud de la fem inducida en la bobina secundaria de área A_2 y N_2 espiras.

$$\tilde{I}(t) = \frac{\tilde{V}_0(t)}{Z} = \frac{\tilde{V}_0(t)}{(R_f + R_p + j\omega L_p)} \quad \rightarrow \quad I = \frac{V_0}{\sqrt{(R_f + R_p)^2 + (\omega L_p)^2}} \quad (5)$$

$$\varepsilon_{ind} = N_2 A_2 \omega \mu_0 \frac{N_1}{l_1} \frac{V_0}{\sqrt{(R_f + R_p)^2 + (\omega L_p)^2}} \quad (6)$$

Observando la ecuación 6 se puede ver que si $\omega \ll \frac{R_f + R_p}{L_p}$ entonces la fem inducida posee un comportamiento lineal con la frecuencia, mientras que si $\omega \gg \frac{R_f + R_p}{L_p}$ la fem inducida tiende a un valor constante.

3. Descripción del dispositivo experimental y procedimiento

3.1. Materiales

Para esta experiencia se necesita, al igual que en las anteriores experiencias de un generador de funciones y un osciloscopio. También se usará una fuente de voltaje continuo y multímetros. Para el primer estudio se hará uso de un solenoide y de un imán, mientras que para el segundo se utilizarán dos solenoides concéntricos con un núcleo ferromagnético.

3.2. Estudio de un imán moviéndose dentro de un solenoide

Se empleará un imán y un solenoide conectado a un osciloscopio, como se muestra en la figura 4.

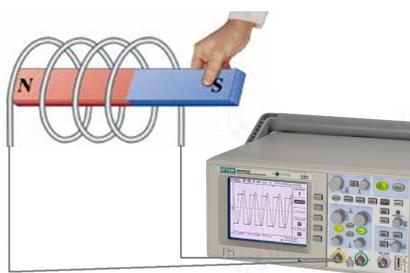


Figura 4: Imán en movimiento dentro de un solenoide.

Observar y registrar:

- ¿Qué sucede al mover el imán a lo largo del eje del solenoide?
- ¿Cómo varía lo observado en función de la rapidez con que se mueve el imán?

- c. ¿Qué sucede al mover el imán (a lo largo del eje del solenoide) invirtiendo sus polos?
- d. ¿Qué ocurre si se deja el imán en reposo y se mueve el solenoide?

3.3. Estudio de la fem inducida en un solenoide debido a un campo magnético que varía en el tiempo

3.3.1. Análisis cualitativo de señales de diferente forma

Se dispone de dos solenoides concéntricos. Llamaremos los dos solenoides primario y secundario. Empleando un generador de funciones se alimentará el solenoide primario con señales de diferentes formas.

Visualizar en los dos canales del osciloscopio la señal que alimenta el solenoide primario y la señal inducida en el solenoide secundario.

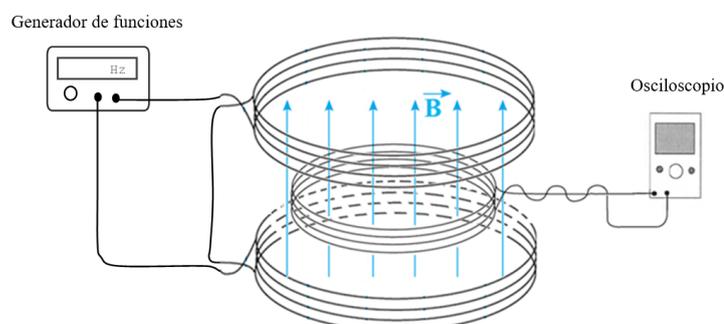


Figura 5: Esquema del dispositivo para medir la fem inducida en el solenoide secundario.

- a. Registrar lo observado en los dos solenoides alimentando el primario con una onda de forma sinusoidal, triangular y rectangular. Usar una frecuencia del orden de 100 Hz.
- b. Analizar la forma de las señales y la relación de fase entre la fem inducida en el solenoide secundario y el voltaje en el primario.
- c. Introducir una barra ferromagnética dentro del solenoide. ¿Cómo varía la fem en el solenoide secundario? ¿Por qué?

3.3.2. Estudio de la amplitud de la fem inducida en función de la frecuencia

Estudiar la relación entre la frecuencia de la señal que alimenta el solenoide primario y la amplitud de la fem inducida en el secundario.

Para lograr este objetivo debe controlarse el voltaje de salida del generador de modo que su valor, que alimenta el solenoide primario, permanezca constante.

La impedancia de salida del generador de funciones vale 50Ω , mientras que la impedancia resistiva del solenoide es típicamente comprendida entre algunos ohmios y algunas decenas de ohmios. A esta hay que sumarle la impedancia inductiva, cuyo valor depende de la frecuencia de la señal. Como al variar la frecuencia del generador varía el valor de la función de transferencia al inductor, es importante mantener el voltaje de salida constante (ajustando la perilla que controla la amplitud del generador).

- Construir una tabla de datos para registrar los valores de amplitud de la fem inducida en el solenoide secundario en función de la frecuencia de la señal que alimenta el primario. Determinar las incertidumbres de las medidas. Realizar las medidas del voltaje en función de la frecuencia sin y con la barra ferromagnética en el interior del solenoide. Empezar a estudiar el sistema usando frecuencias desde algunas decenas de Hz hasta algunos kHz .
- Graficar la amplitud del voltaje inducido en función de la frecuencia en los dos casos.
- Observando las medidas realizadas, verificar si existe un intervalo de valores de frecuencias en el cual se pueda considerar lineal la relación entre el voltaje inducido y la frecuencia. ¿El intervalo de linealidad es el mismo en las medidas con y sin barra ferromagnética? Justificar.
- Repetir las medidas del voltaje en el solenoide secundario (con y sin barra ferromagnética) en función de la frecuencia agregando en serie al solenoide primario una resistencia de algunas centenas de Ohmios. ¿Como varía el intervalo de linealidad entre el voltaje del secundario y la frecuencia comparado al caso anterior (sin resistencia de 220Ω)? Justificar.
- ¿Como varía la amplitud del voltaje inducido en el solenoide al variar el tipo de metal que se introduce en su interior?

4. Pauta elaboración de informe

1. Presentación general y valoración general - 1 puntos

Incluye: organización, contenido general del reporte, redacción y ortografía. Las gráficas deben estar correctamente presentadas, con pie de figura y citadas en el texto.

2. Introducción - 1 punto

Se describen brevemente los objetivos. Deben explicarse únicamente los conceptos y ecuaciones más importantes que sean necesarias para el desarrollo de la práctica. Mencionar que hipótesis se realizan, rango de validez de las aproximaciones, etc...

3. Metodología – 1.5 puntos

Bien explicada, con esquema del dispositivo (pueden colocar fotos si aporta información relevante) y consideraciones a tener en cuenta durante la práctica. Es importante relacionar con las hipótesis del modelo teórico, así como dar los detalles importantes relativos a como se deben armar el dispositivo y tomar las medidas para cumplir con estas hipótesis. Indicar claramente las magnitudes medidas y su correspondiente incertidumbre.

4. Tratamiento de datos 1 - Estudio de un imán moviéndose en un solenoide – 0.5 puntos

Contestar, justificando las respuestas, a las cuatro preguntas del ítem 3.2 del repartido.

5. Tratamiento de datos 2 - Estudio de la fem inducida en un solenoide debido a un campo magnético que varía en el tiempo: análisis de señales de diferente forma - 1 punto

- Mostrar (sea con foto sea con bosquejo), las señales registradas en el osciloscopio alimentando el solenoide primario con una onda sinusoidal, triangular y cuadrada. Justificar las formas de onda observada en el solenoide secundario.
- Justificar el origen de la diferencia de fase entre la fem inducida en el solenoide secundario y el voltaje en el primario.
- Explicar cómo varía la fem inducida en el solenoide secundario al introducir una barra ferromagnética dentro del solenoide primario. Justificar.

6. Tratamiento de datos 3 - Estudio de la fem inducida en un solenoide debido a un campo magnético que varía en el tiempo: dependencia de la fem con la frecuencia – 4 puntos

- Graficar la amplitud de la fem inducida en función de la frecuencia (o frecuencia angular ω) para los datos obtenidos con y sin el material ferromagnético en el interior de la bobina. Determinar las incertidumbres de las medidas.
- Graficar la amplitud de la fem inducida en función de la frecuencia (o frecuencia angular ω) para los datos obtenidos con y sin el material ferromagnético en el interior de la bobina agregando en serie al solenoide primario una resistencia de algunas centenas de Ohmios. Determinar las incertidumbres de las medidas.
- Realizar un análisis de los datos obtenidos, analizando si es posible encontrar una región lineal de la dependencia de la fem, y analizar como varía la región lineal en las diferentes condiciones de medidas realizadas.

- Explicar, justificando, que sucede a la corriente que circula en los solenoides cuando ω es muy grande.

7. Conclusiones - 1 punto

Detalladas y explicadas, ligadas a los objetivos de la práctica y vinculando con el modelo y las hipótesis realizadas.

Referencias

- [1] Gil S., Rodríguez E., Física re-creativa: experimentos de física usando nuevas tecnologías, Prentice Hall (2001)
- [2] Resnick R., Halliday D., Krane K., Física Vol. 2, Tercera edición, C.E.C.S.A., México (1993)
- [3] Serway R.A., Jewett J.W., Física para ciencias e ingeniería. Vol 2. Ediciones Paraninfo, España (2009)