

Campo Magnético

Inducción Mutua Entre Circuitos

1. OBJETIVOS

Determinar el coeficiente de inducción mutua entre dos circuitos eléctricos
Estudiar la dependencia de la inductancia mutua con la distancia entre ambos

2. MATERIAL

Bobinas de Helmholtz
Amperímetro y voltímetro
Resistencia variable
Fuente de alimentación en alterna

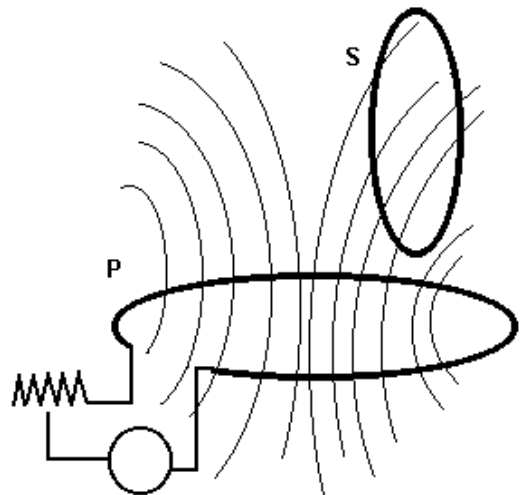
3. FUNDAMENTO TEÓRICO

La ley de Faraday predice que un campo magnético variable en una región causa la aparición de un campo eléctrico en ella. La forma diferencial de la ley lo expresa como:

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial B}{\partial t}$$

Una fuente de campo magnético es, por ejemplo, un circuito recorrido por una corriente eléctrica: la intensidad que recorre este circuito (al que denominaremos "primario") crea un campo magnético.

La variación de esta intensidad con el tiempo, como sucede en el caso de una corriente alterna o, como el que se muestra en la figura (en la que se modifica la resistencia del circuito), producen una variación del campo magnético que genera dicha corriente. Si en su proximidad se encuentra un circuito cerrado (al que llamaremos "secundario"), la variación de intensidad en el primario, produce una variación consiguiente del flujo magnético que atraviesa a este último, creando en él un campo eléctrico y por tanto una fuerza electromotriz:



$$\varepsilon = \oint \overline{E} \cdot d\overline{l} = -\frac{d}{dt} \iint \overline{B} \cdot d\overline{A} \quad (1)$$

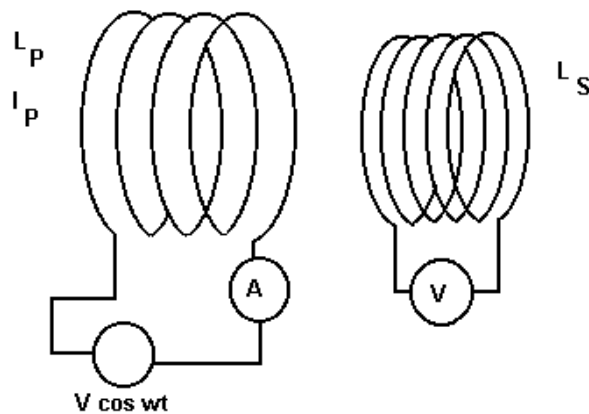
Se define el coeficiente de inducción del primario (P) sobre el secundario (S) a partir de la siguiente relación:

$$\varepsilon = -M_{PS} \frac{dI_P}{dt} \quad (2)$$

Ya que este coeficiente tiene su origen en el flujo de un campo vectorial a través de una superficie, dependerá de la configuración geométrica relativa entre ambos. Experimental y teóricamente se muestra que este valor de la inducción M_{PS} es el mismo que se obtendría si los papeles de primario y secundario se invierten en las mismas condiciones, por lo cual se suele denominar coeficiente de inducción mutua. Este coeficiente se puede escribir en función de las autoinductancias de cada uno de los circuitos, L_P y L_S :

$$M_{PS} = \sqrt{L_P L_S} k \quad (3)$$

donde k es un valor menor o igual que la unidad que mide el grado de acoplamiento entre ambos circuitos.



Si, como se muestra en la figura, el primario se alimenta con una corriente alterna de voltaje de frecuencia ω , se obtiene una intensidad:

$$I_P(t) = I_0 \text{sen}(\omega t + \varphi)$$

Y aparecerá una fuerza electromotriz en el secundario. Si éste se cierra mediante un voltímetro (de resistencia muy grande, del orden de los $M\Omega$) y en el primario se coloca

un amperímetro, mediante ambos se miden los valores eficaces de la intensidad en el primario y el voltaje en el secundario, y se puede escribir que (en valor absoluto):

$$V_S(ef) = M_{PS} \omega I_P(ef) \quad (4)$$

donde $\omega = 2 \pi \nu$, siendo ν en nuestro caso 50 Hz. Por lo tanto, es factible determinar, despejando, el valor de la inducción mutua entre ambos circuitos para esa determinada disposición geométrica.

4. REALIZACIÓN PRÁCTICA

Montaje Experimental:

Realizar el montaje de las bobinas de Helmholtz (con la fuente desconectada) que se muestra en la figura anterior, separándolas una distancia no muy grande (6 cm, por ejemplo), para que se pueda medir el voltaje inducido con suficiente precisión.

La fuente de alimentación en alterna se conecta (apagada) a la bobina fija, que actuará como primaria y la secundaria se cierra a través de un voltímetro en posición de alterna.

Parte 1: Determinación del coeficiente de inducción mutua

Anotar la distancia a la que se sitúen ambas bobinas.

Conectar la fuente de alimentación y mover el cursor del reostato hasta el extremo superior, para tener una intensidad muy baja circulando por el circuito primario (para el conjunto montado es del orden de los 0.5 A). Verificar que, en estas circunstancias, el voltímetro del secundario registra un voltaje muy bajo.

Realizar un conjunto de medidas variando la intensidad en el primario (actuando sobre el cursor del reostato) desde el valor mínimo hasta unos 3.5 A, tomando 5 medidas intermedias. Se anotará tanto la intensidad eficaz del primario como el voltaje eficaz inducido en el secundario en cada caso. Anotar el error con el que se miden ambas variables.

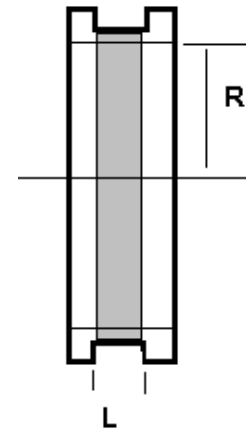
Elaboración de datos

Construir una gráfica en la que se represente el valor del voltaje eficaz inducido en el secundario ($V_S(ef)$) frente a la intensidad eficaz en el primario ($I_P(ef)$)

Realizar un ajuste lineal por mínimos cuadrados de los datos de dicha gráfica; según la ecuación (4), la pendiente del ajuste dividida por ω es el valor del coeficiente de inducción mutua. Expresarlo con su error.

Calcular L_P (ya que las bobinas son idénticas, será igual que L_S) y, a partir del valor determinado para M_{PS} , calcular el factor de acoplamiento, k .

Datos de la bobina: $N = 95$ vueltas ; $L = 2.5$ cm ; $R = 6.5$ cm



Parte 2: Determinación de la dependencia aproximada de M con la distancia

Fijar una intensidad en la bobina primaria de unos 3 A.

La ley de dependencia es compleja para poder ser determinada con una ley lineal en todo rango de distancias; nos limitaremos a determinarla para distancias "grandes". Por lo tanto, como punto de partida, situar ambas bobinas a una distancia de 8 cm. Comenzando con esta distancia, anotar el voltaje inducido en la bobina secundaria, variando progresivamente la distancia entre ambas hasta alcanzar los 20 cm y tomando en total una decena de datos.

Elaboración de datos

Convertir los valores de voltaje inducido a valores de inductancia mutua, según la ecuación (4).

Representar los valores obtenidos para M frente a la distancia. Se puede observar que no se disponen según una relación lineal, sino exponencial: $M = b d^a$

Si se toman logaritmos en ambas variables, los puntos quedan mejor dispuestos para determinar una relación lineal. Realizar ahora un ajuste lineal por mínimos cuadrados de esta nueva tabla ($\log M = a \log d + \log b$).

Expresar, a partir de los resultados del ajuste, la dependencia de M con la distancia (que es válida para esta configuración concreta).