

Índice

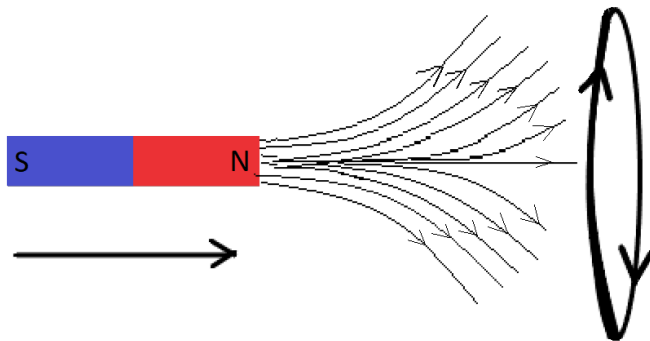
1. Inducción electromagnética	2
1.1. Experimentos de Faraday	2
1.2. Ley de Faraday-Lenz	2
1.2.1. Ley de Faraday	2
1.2.2. Ley de Ohm	3
1.2.3. Ley de Lenz	4
1.3. Experiencia de Henry	4
1.4. Generación de Corriente Alterna	6

Inducción electromagnética

Después de que H. C. Oersted descubriera el efecto magnético de la corriente en 1820 se buscó el efecto opuesto, es decir la generación de corriente a partir de un campo magnético. Fue M. Faraday en Inglaterra y J. Henry en EEUU quienes descubrieron de manera independiente este fenómeno en 1831.

EXPERIMENTOS DE FARADAY

- Al acercar un imán a una espira se genera una corriente inducida cuya intensidad depende de la velocidad con que se mueve el imán. Si se aleja también se induce una corriente pero de sentido opuesto a la anterior. Si se acerca o se aleja por el polo opuesto también se genera una corriente de sentido contrario.
- Si se ponen dos espiras o dos bobinas una al lado de la otra y por una de ellas pasa una corriente variable, entonces se genera una corriente en la otra.



- Estas experiencias tienen en común una variación del flujo magnético que atraviesa la superficie delimitada por la espira (circuito cerrado). Este es el fundamento de la ley de Faraday

LEY DE FARADAY - LENZ

Definición de flujo magnético: $\Phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{S}$ Unidades del SI $[\Phi] = \text{Wb}$, Weber.

Si el campo magnético \vec{B} es uniforme y el área es la que está delimitada por un circuito plano, representada por el vector \vec{S} entonces el flujo será:

$$\Phi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = \vec{B} \cdot \int_S d\vec{S} = \vec{B} \cdot \vec{S} = |\vec{B}| \cdot |\vec{S}| \cdot \cos \varphi = B \cdot S \cdot \cos \varphi$$

Ley de Faraday

La fuerza electromotriz (f.e.m.) inducida en un circuito es la derivada con respecto al tiempo del flujo magnético que atraviesa la superficie delimitada por el circuito, cambiada de signo.

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt}$$

La fuerza electromotriz es la energía eléctrica generada por unidad de carga eléctrica. Es la diferencia de potencial (aumento del potencial) que se establece entre los extremos de un generador eléctrico. En el SI la f.e.m. ε se mide en Voltios, V.

En el caso de que se desconozca la dependencia temporal del flujo magnético pero se conozcan los valores inicial y final en un determinado intervalo de tiempo se puede determinar la f.e.m. media ε_m

$$\varepsilon_m = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

A un circuito simple sin más elementos que el propio cable conductor lo denominamos espira. La sección de la espira suele ser circular aunque también las podemos encontrar cuadradas, rectangulares, triangulares, etc. Cuando se encadenan varias espiras (N) sobre una misma sección se denomina bobina. Si el bobinado es largo y estrecho se llama solenoide. En ambos casos el flujo magnético se multiplicará por el número de espiras del bobinado. Eso es debido a que el flujo a través de cada espira depende del área delimitada por cada una, así que si hay N espiras el flujo total será N veces el que atraviesa una sola espira.

$$\Phi = N \cdot \vec{B} \cdot \vec{S} = N \cdot |\vec{B}| \cdot |\vec{S}| \cdot \cos \varphi$$

Para simplificar el estudio de la inducción consideraremos que el campo magnético \vec{B} en este tema será siempre uniforme. Esto significa que \vec{B} tiene el mismo valor en todos los puntos del espacio, pero puede ser variable con el tiempo. Además estudiaremos los casos en los que varía solo uno de los tres factores del flujo magnético con el tiempo.

- Si lo que cambia con el tiempo es el módulo de la inducción magnética: $|\vec{B}| = B(t)$

$$\Phi = B(t) \cdot |\vec{S}| \cdot \cos \varphi \quad \Rightarrow \quad \varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -|\vec{S}| \cdot \cos \varphi \cdot \frac{dB(t)}{dt}$$

- Si el área delimitada por el circuito es función del tiempo: $|\vec{S}| = S(t)$

$$\Phi = |\vec{B}| \cdot S(t) \cdot \cos \varphi \quad \Rightarrow \quad \varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -|\vec{B}| \cdot \cos \varphi \cdot \frac{dS(t)}{dt}$$

- Si lo que varía con el tiempo es el ángulo que forman \vec{B} y \vec{S} , o sea: $\varphi = \varphi(t)$

$$\Phi = |\vec{B}| \cdot |\vec{S}| \cdot \cos \varphi(t) \Rightarrow \varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -|\vec{B}| \cdot |\vec{S}| \cdot \frac{d}{dt}[\cos \varphi(t)] \Rightarrow \varepsilon = |\vec{B}| \cdot |\vec{S}| \cdot \sin \varphi(t) \cdot \frac{d\varphi(t)}{dt}$$

Ley de Ohm

Establece la relación entre la f.e.m. generada en un circuito y la intensidad de corriente eléctrica producida.

$$\varepsilon = R \cdot I$$

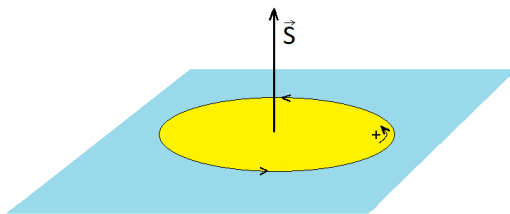
Donde I es la intensidad de corriente eléctrica que en el SI se mide en Amperios (A). Y R es la resistencia eléctrica de ese circuito que en el SI se mide en Ohmios (Ω).

Ley de Lenz

Esta ley indica el sentido de giro de la f.e.m. generada o de la intensidad de corriente que es el mismo para las dos.

El sentido de giro de la corriente inducida en un circuito es aquel que se opone a la causa que la produce.

- Si la causa que produce la corriente inducida es un aumento del flujo magnético a través del área que delimita el circuito, entonces esa corriente tendrá un sentido de giro tal que el campo \vec{B} producido por ella tiene que tener sentido opuesto al campo inductor (Externo).
- Si la causa que produce la corriente inducida es una disminución del flujo magnético a través del área que delimita el circuito, entonces esa corriente tendrá un sentido de giro tal que el campo \vec{B} producido por ella tiene que tener el mismo sentido que el campo inductor.
- La manera de obtener el sentido de giro analíticamente nos la da la aplicación de la Ley de Faraday-Lenz. Cuando se halla el flujo se utiliza el vector \vec{S} que representa la superficie plana delimitada por el circuito cerrado. El sentido de \vec{S} es arbitrario, o sea se puede elegir cualquiera de los dos posibles. Al elegir un sentido del vector superficie se está asociando el signo positivo al giro que determina la regla de la mano derecha. Así que cuando se obtenga la f.e.m. a partir de la ley de Faraday-Lenz tendrá un signo positivo o negativo que indicará el sentido de giro de la corriente inducida.

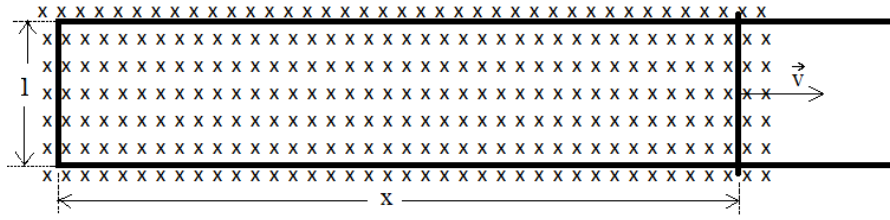


EXPERIENCIA DE HENRY

J. Henry explica la inducción electromagnética utilizando conceptos de dinámica llegando a las mismas conclusiones que Faraday usando conceptos de energía.

La siguiente experiencia describe perfectamente el tratamiento que hace Henry.

Un circuito está formado por dos cables conductores rectilíneos paralelos separados una distancia "l". Los cables están unidos por un extremo y en contacto con ellos se desliza a velocidad constante una varilla conductora de longitud "l" que cierra el circuito. Todo él está inmerso en un campo magnético uniforme perpendicular al plano del circuito, tal y como se puede ver en la figura.



Las cargas libres del conductor se ven sometidas a una fuerza magnética debido a que se mueven con velocidad v en un campo magnético B . Según la ley de Lorentz la fuerza será:

$$\vec{F}_m = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$$

Como todas las cargas tienen el mismo valor, la velocidad es constante y el campo B es uniforme la fuerza será la misma para todas las cargas de la varilla. En este caso se producirá una corriente en sentido contrario a las agujas del reloj (sentido antihorario, levógiro o a izquierdas). Podemos considerar que se ha generado o inducido un campo eléctrico uniforme dentro de la varilla que produce el movimiento de las cargas. Entonces la f.e.m. generada entre los extremos de la varilla será:

$$\varepsilon = \vec{E} \cdot \vec{l} = E \cdot l \cdot \cos \varphi = E \cdot l$$

Esta consideración nos lleva a decir que en realidad es una fuerza eléctrica la que está actuando sobre las cargas:

$$\vec{F}_e = q \cdot \vec{E}$$

Son dos maneras de interpretar la fuerza electromagnética, pero es una misma fuerza:

$$F_e = F_m \implies q \cdot E = q \cdot v \cdot B \implies q \cdot \frac{\varepsilon}{l} = q \cdot v \cdot B \implies \frac{\varepsilon}{l} = v \cdot B \implies \varepsilon = v \cdot B \cdot l$$

El tratamiento que hace Faraday requiere hallar la función temporal del flujo magnético para después derivarla.

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} \quad \Phi = \vec{B} \cdot \vec{S} \quad \Phi = B \cdot S \cdot \cos \varphi$$

En este caso el factor del flujo variable con el tiempo es el área del circuito. El módulo del vector \vec{S} es el área delimitada por el circuito, la dirección perpendicular al plano en el que

se halla el circuito y el sentido es arbitrario. Tomaremos en este caso el sentido de \vec{S} saliente del papel. Ello implica que asignemos el signo positivo al sentido de giro antihorario. Como \vec{B} tiene sentido entrante formará un ángulo de 180° con el vector \vec{S} .

El área del circuito es rectangular donde un lado es fijo y vale l y el otro lado es variable y vale $x=v \cdot t$ ya que lleva un MRU.

$$S = l \cdot x = l \cdot v \cdot t$$

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \varphi = B \cdot l \cdot v \cdot t \cdot \cos 180^\circ = -B \cdot l \cdot v \cdot t$$

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt}[-B \cdot l \cdot v \cdot t] = B \cdot l \cdot v$$

GENERACIÓN DE CORRIENTE ALTERNA

Los alternadores o generadores de corriente alterna están basados en la variación del ángulo que forman la dirección de \vec{B} y la del vector \vec{S} de una espira o una bobina. Cuando la corriente alterna es sinusoidal, como la de la red eléctrica, entonces la bobina gira con movimiento circular uniforme (MCU). Si el campo magnético es uniforme la mayor eficiencia en la generación de corriente se produce cuando la bobina de N espiras gira en torno a un eje diametral perpendicular a la dirección del campo magnético \vec{B}

$$\text{MCU:} \quad \varphi(t) = \varphi_o + \omega \cdot t \quad \Rightarrow \quad \frac{d\varphi(t)}{dt} = \omega$$

$$\begin{aligned} \Phi &= N \cdot |\vec{B}| \cdot |\vec{S}| \cdot \cos \varphi(t) \Rightarrow \varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -N \cdot |\vec{B}| \cdot |\vec{S}| \cdot \frac{d}{dt}[\cos \varphi(t)] \Rightarrow \\ \Rightarrow \varepsilon &= N \cdot |\vec{B}| \cdot |\vec{S}| \cdot \sin \varphi(t) \cdot \frac{d\varphi(t)}{dt} \Rightarrow \varepsilon = N \cdot |\vec{B}| \cdot |\vec{S}| \cdot \omega \cdot \sin(\varphi_o + \omega \cdot t) \end{aligned}$$

La máxima fuerza electromotriz inducida en la bobina ocurrirá cuando: $\sin(\varphi_o + \omega \cdot t) = 1$ y valdrá $\varepsilon_{max} = N \cdot |\vec{B}| \cdot |\vec{S}| \cdot \omega$

Aplicando la ley de ohm : $\varepsilon = R \cdot I$

Obtendremos la intensidad de corriente eléctrica: $I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{N \cdot |\vec{B}| \cdot |\vec{S}| \cdot \omega}{R} \cdot \sin(\varphi_o + \omega \cdot t)$

Así como la intensidad de corriente eléctrica máxima: $I_{max} = \frac{\varepsilon_{max}}{R} = \frac{N \cdot |\vec{B}| \cdot |\vec{S}| \cdot \omega}{R}$