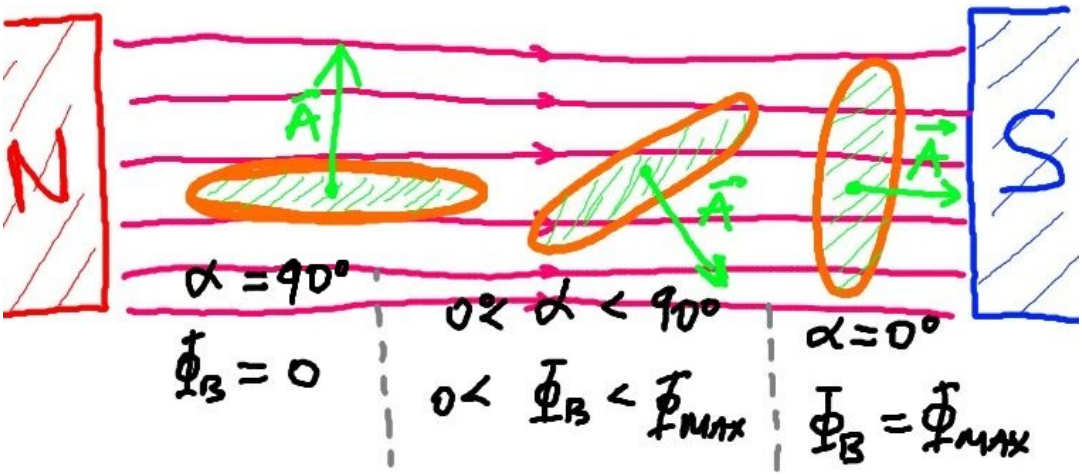
Inducción Electromagnética

Flujo del campo magnético

Similarmente al flujo del campo eléctrico (que vimos antes de la ley de Gauss, ¿se acuerdan?), se define el flujo del campo magnético (Φ_B). En este caso, supongamos que tenemos dos imanes enfrentados con polos opuestos, tal como se representa esquemáticamente en el siguiente dibujo.



Supongamos que dentro de ese campo magnético hay un anillo de cobre. Inicialmente el anillo de cobre lo situamos paralelo a las lineas del campo magnético. En tal caso, el anillo no "capta" nada de campo magnético. Observar que el vector área (en verde) forma un ángulo de $\alpha = 90°$. Por tal motivo diremos que el flujo del campo magnético captado por el anillo[1] es nulo (anillo a la izquierda).
Si ahora colocamos el anillo perpendicularmente a las líneas del campo magnético ($\alpha = 0°$), la captación de campo magnético por parte del anillo será máxima (anillo a la derecha).
Finalmente, si el anillo lo colocamos con una orientación intermedia (anillo central), la captación de flujo magnética también será intermedia: tendrá un valor intermedio entre 0 y un cierto valor máximo ($= \Phi_{max}$).

Parece intuitivo que el valor del flujo del campo magnético, además de depender de la orientación del anillo, también dependerá de la intensidad del campo magnético[2], y del área encerrada por el anillo: cuanto más grande es el anillo, más campo magnético puede captar. Todo lo anterior[3] se resumen en la siguiente ecuación:

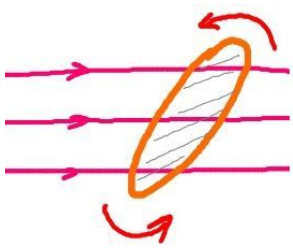
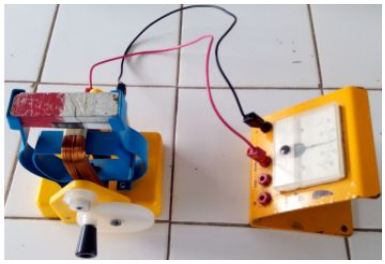
$$\Phi_B = B \cdot A \cdot \cos\alpha$$

Variando el flujo del campo magnético

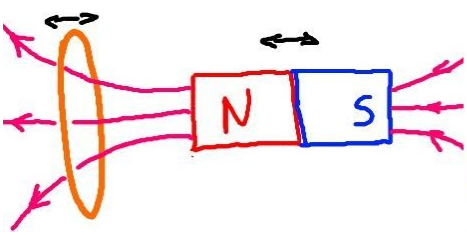
La última ecuación nos da una pista de como podemos conseguir variar en el tiempo el flujo del campo magnético. Por ejemplo, rotando el anillo del anillo dentro del campo magnético...

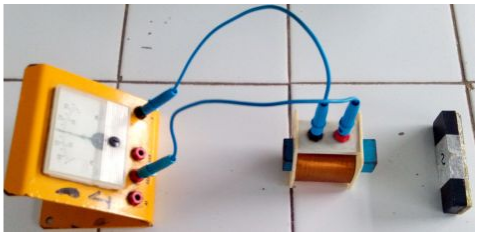
[1] O cualquier otro circuito conductor sin importar su forma.
[2] Imaginen que al aumentar la intensidad del campo magnético, aumenta el número de líneas de campo.
[3] Con algunas salvedades que en este curso no importan.

Todo el material se distribuye bajo la licencia CC-BY. Template copyright © 2020 by P. Cicuta & G. Organtini

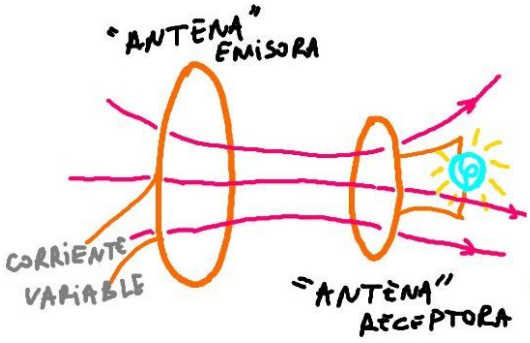



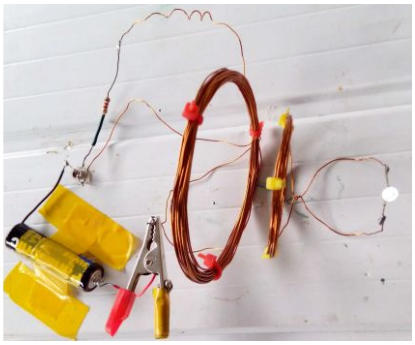
estaríamos cambiando el valor de α todo el tiempo, es decir, estaríamos cambiando la orientación en todo momento.
Otra manera sería cambiar la intensidad del campo magnético, como por ejemplo:



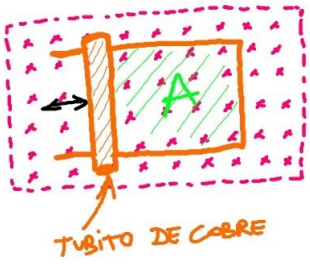


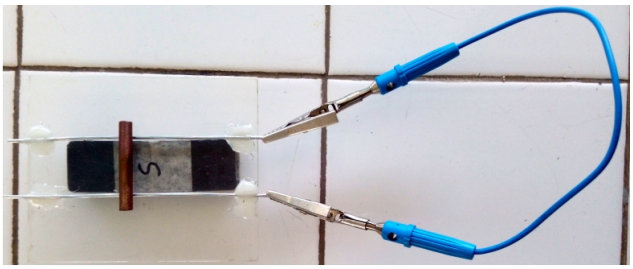
cambiando la distancia entre el anillo y un imán, o haciendo variar la corriente eléctrica en la bobina “antena emisora”...





el flujo magnético captado por la bobina “antena receptora” será variable en el tiempo...
o aumentar o achicar el área de la superficie afectada por el campo magnético, como en la “cama” magnética al desplazar el tubito de cobre.





Todo el material se distribuye bajo la licencia CC-BY. Template copyright © 2020 by P. Cicuta & G. Organtini

Michael Faraday descubrió experimentalmente, claro esta, que al hacer variar el flujo magnético a través de la superficie delimitada por el circuito cerrado, por cualquier método o combinación de ellos, imaginable (como los vistos en el laboratorio) o inimaginable, en el circuito se establece una FEM inducida, que la vamos a representar así: $\mathcal{E}_i$.

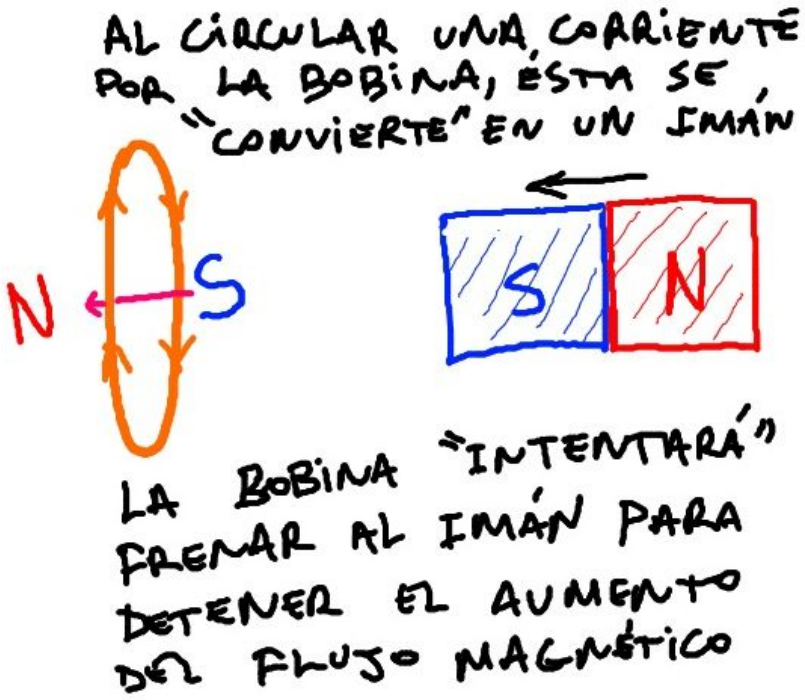
¿Pero que se entiende por FEM? Significa Fuerza Electro Motriz; terminología introducida por Alessandro Volta. Es la causa que hace posible la existencia de una corriente eléctrica en un circuito cerrado, y que ademas, la sostiene en el tiempo; venciendo la resistencia eléctrica por fuera y dentro de la fuente de voltaje. Eso sí, a tener en cuenta, la FEM **no** es una fuerza, su unidad internacional el es voltio, y se mide con voltímetro a la salida de la fuente de voltaje cuando el circuito esta **abierto**, o no hay nada conectada (salvo el voltímetro) a dicha fuente de voltaje.

En definitiva la ley de Faraday de la inducción magnética reza así: Si por la superficie delimitada por un circuito se produce una variación del flujo magnético, en dicho circuito surgirá una FEM inducida, y si ademas el circuito esta cerrado, se establecerá en él una corriente eléctrica inducida como consecuencia de dicha FEM inducida. Todo esto lo comprobamos experimentalmente, y sabemos de la existencia de la FEM o de la corriente eléctrica establecida, porque pudimos medirlas respectivamente con un voltímetro o un amperímetro.

Más aun, Heinrich Lenz, descubrió que en caso de establecerse una corriente inducida en el circuito, ésta tendrá un sentido de circulación que dará lugar a un campo magnético inducido que se opondrá a la causa que produce la variación del flujo magnético originario. Así por ejemplo, si aumenta el flujo magnético, se inducirá en el circuito una corriente tal que generará un campo magnético que se opondrá al aumento del flujo. Si por el contrario el flujo magnético disminuye, el campo generado por la corriente inducida tenderá a sostener el flujo para evitar su disminución.

Para ejemplificar lo descubierto por Lenz, en el laboratorio vimos como al acercar un imán a una bobina cerrada por un cable, en ella se establecía una corriente eléctrica inducida que generaba su correspondiente campo magnético: la bobina se “convertía” en un imán.

Todo el material se distribuye bajo la licencia CC-BY. Template copyright © 2020 by P. Cicuta & G. Organtini



Como al acercar el imán a la bobina hay un un aumento en el flujo magnético, por Lenz, sabemos que delante de la bobina se formará un polo magnético de igual nombre, al polo del imán más cercano a la bobina. Concretamente, en laboratorio vimos que al acercar el polo sur del imán a la bobina, delante de ésta se formó un polo sur, ¿por qué?, ¡para frenar al imán que se acerca y así oponerse al aumento del flujo magnético!

Todo lo anterior queda reducido a la siguiente ecuación, que representa matemáticamente la ley de Faraday-Lenz:

$$\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$$

donde el signo negativo se relaciona con la ley de Lenz, y $\Delta\Phi_B$ representa la variación del flujo del campo magnético en el tiempo Δt.

Unas pocas de las muchas aplicaciones tecnológicas de la ley de Faraday-Lenz

1. El generador de corriente eléctrica (o alternador).
2. Corrientes parásitas y aplicaciones tecnológicas como los hornos de inducción y frenos magnéticos.
3. Parlante y como construir uno casero aquí.
4. Trasmisión de energía inalambrica, Bobina de Tesla, y cargadores inalámbricos.

Todo el material se distribuye bajo la licencia CC-BY. Template copyright © 2020 by P. Cicuta & G. Organtini

Cuestión 1. Una bobina de radio $R = 5\,\mathrm{cm}$ y de $N = 500$ espiras se halla en un campo magnético. ¿A que será igual la FEM media inducida en la bobina si el campo $\vec{B}$ aumenta en un $\Delta B = 0{,}2\,\mathrm{T}$ durante un tiempo $\Delta t = 0{,}1\,\mathrm{s}$?

Solución: en ente caso la variación del flujo magnético es debida a la variación de la intensidad del campo $\vec{B}$, así por la ley de Faraday se tiene que la FEM inducida en la bobina de 500 espiras se da por:

$$\mathcal{E} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{N\Delta\big(BA\big)}{\Delta t} = \frac{\pi R^2 N \Delta B}{\Delta t}$$

Sustituyendo los valores numéricos en la última ecuación:

$$\mathcal{E} = \frac{\pi N R^2 \Delta B}{\Delta t} = \frac{\pi \cdot 500 \cdot (0{,}05\,\mathrm{m})^2 \cdot 0{,}2\,\mathrm{T}}{0{,}1\,\mathrm{s}} \cong 7{,}9\,\mathrm{V}$$

Notar que no se consideró el signo de menos, pues el sentido de la FEM para este problema no importa.

Cuestión 2. La velocidad de un avión es igual a $200\,\mathrm{m/s}$.

Hallar la FEM inducida en los extremos de sus alas, si la componente vertical del campo magnético de la Tierra es $B = -14\,582\,\mathrm{nT}$ (el signo $(-)$ indica que el campo apunta hacia abajo) y la envergadura de las alas vale $l = 12{,}50\,\mathrm{m}$.

Solución: en el caso presente la variación del flujo magnético es debida al área barrida por las dos alas del avión, esto es: si $A_0 = A(t_0)$ es el área barrida por las alas hasta el instante t_0 (rectángulo rojo); al cabo de un Δt el avión habrá barrido un área igual $A(t_0+\Delta t) = A_0+\Delta A$ (rectángulo verde), por lo tanto:

$$\Delta A = A(t_0 + \Delta t) - A(t_0) = A_0 + \Delta A - A_0 = vl(t_0 + \Delta t) - vlt_0 = vl\Delta t$$

Así por la ley de Faraday (sin considerar el signo de menos) la FEM media de inducción en los extremos de las alas se da por:

Todo el material se distribuye bajo la licencia CC-BY. Template copyright © 2020 by P. Cicuta & G. Organtini

$$\mathcal{E} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta(BA)}{\Delta t} = \frac{B\Delta A}{\Delta t} = \frac{B(vl\Delta t)}{\Delta t} = Blv$$

Teniendo en cuenta que $v = 200\,\mathrm{m/s}$, y que $B = 14\,582\,\mathrm{nT} \cong 14{,}6 \times 10^{-6}\,\mathrm{T}$, y sustituyendo los valores en la última ecuación resulta:

$$\mathcal{E} = Blv = 14{,}6 \times 10^{-6}\,\mathrm{T} \cdot 12{,}5\,\mathrm{m} \cdot 263{,}9\,\mathrm{m/s} \cong 0{,}036\,\mathrm{V}$$

Todo el material se distribuye bajo la licencia CC-BY. Template copyright © 2020 by P. Cicuta & G. Organtini