

Tema 8: Inducción Magnética

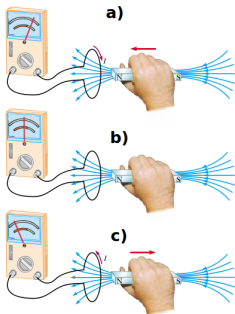
Fundamentos Físicos y Electrónicos de la Informática

Introducción

- Las cargas eléctricas no son las únicas fuentes de dicho campo, variaciones del campo magnético también pueden serlo.
- Hasta ahora para hacer fluir una corriente en un circuito se requería una fem, producida por una batería. En este tema veremos como la variación de ϕ_m inducir una fem: **inducción magnética**
- La inducción electromagnética es descrita por la ley de Faraday.
- En este tema, un nuevo componente: el inductor y estudiaremos un circuito simple que lo incluye.

Ley de Faraday

- Faraday descubrió que al mover un imán cerca de una espira genera una corriente. en la espira
- Si el imán está quieto no se induce corriente y el amperímetro marca cero.
- Al acercar el imán la espira aparece una corriente positiva.
- Si alejamos el imán de la espira, aparece una corriente negativa.
- De hecho, se comprueba que la corriente en cualquier caso existe mientras haya campo magnético que este cambiando.



¿ Qué es lo que está pasando?
Se establece una corriente a pesar de que no existe una batería

Ley de Faraday

- A dicha corriente se le conoce como **corriente inducida**, que es debida a su vez a una **fem inducida**.
- Faraday demostró que los cambios del flujo magnético, ϕ_B , a través de un circuito inducían la fem en dicho circuito, y por tanto la corriente.

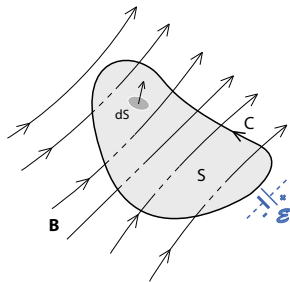
Ley de Faraday

La fem inducida en una espira cerrada es igual a menos la derivada del flujo magnético a través de la espira con respecto al tiempo

$$\mathcal{E} = - \frac{d\phi_B}{dt}$$

$$\Phi_B = \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$$

$C \equiv$ la espira o circuito;
 $S \equiv$ el área del circuito.



Ley de Faraday

Ley de Faraday

$$\mathcal{E} = -\frac{d\phi_B}{dt}$$

- El signo menos está relacionado con la dirección de la fem
- Se induce una fem si el flujo magnético varía en el tiempo, y ϕ_B puede cambiar si
 - ▶ Varía la magnitud del campo magnético
 - ▶ Varía el área encerrada por el circuito
 - ▶ Varía la orientación entre **B** y la normal de la superficie

Ley de Faraday

Ejemplo 1: Una espira de alambre que encierra un área A se coloca en una región donde existe un campo magnético uniforme perpendicular al plano de la espira. La magnitud del campo magnético varía con el tiempo con la expresión $B(t) = B_{max}e^{-at}$ siendo a un numero real positivo. Determine la fem inducida en la espira como función del tiempo.

Sol. $\mathcal{E}(t) = AaB_{max}e^{-at}$

•El área que hace mención la ley de Faraday es la que encierra el circuito, así si un flujo magnético variable atraviesa un solenoide con N vueltas, la fem inducida es la suma de la contribución de las N fem que se producen en cada espira

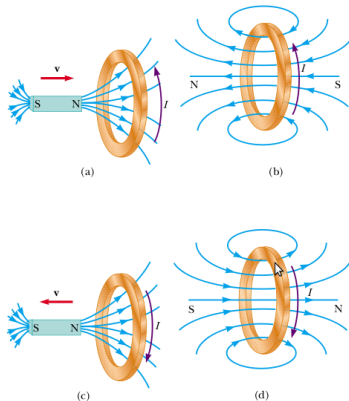
$$\mathcal{E} = -N \frac{d\phi_B}{dt}$$

Ley de Lenz

Ley de Lenz

La fem y corriente inducidas se oponen a la variación del flujo magnético que la produce

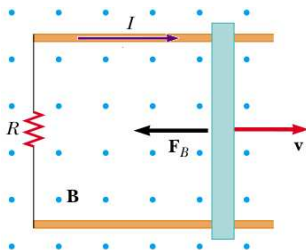
- Un imán al acercarse \Rightarrow aumenta $\phi_B \Rightarrow$ induce corriente, I , en la espira.
- La dirección de I será tal que se oponga a quien la crea (aumento de líneas de campo hacia dentro) $\Rightarrow I$ producirá un campo magnético hacia afuera de la espira
- Si el imán se aleja $\Rightarrow \phi_B$ disminuye $\Rightarrow I$ genera un segundo campo magnético que se opone al cambio del flujo.



Ley de Lenz

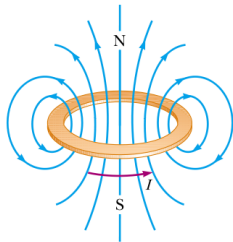
Ejemplo 2: Dos raíles conductores paralelos separados de 40 cm, y una barra también conductora que se desplaza sobre ellos con una velocidad constante de $v = 0,2 \text{ m/s}$ alejándose del extremo origen que está cerrado por una resistencia de 5Ω . Se considera que tanto los raíles y la barra son conductores ideales que carecen de resistencia. Bajo los raíles existe un campo magnético uniforme de $0,5 \text{ T}$ perpendicular y saliente del plano del papel. Calcular la fem y corrientes inducidas en el circuito.

Sol. $\varepsilon = -0,04 \text{ V}$; $I = -8 \text{ mA}$.



Autoinducción e inductancia

- Aplicamos \mathcal{E} a una espira conductora \Rightarrow se genera una corriente $I \Rightarrow$ que crea un campo magnético \mathbf{B}
- La espira es atravesada por sus propias líneas de campo $\Rightarrow \exists \phi_B$
- Si $I \equiv \text{cte} \Rightarrow \phi_B \equiv \text{cte} \Rightarrow$ no existe inducción alguna.
- Si I varía $\Rightarrow \phi_B$ varía \Rightarrow se formara una fem (autoinducida) \mathcal{E}_L , que se opone a la fem que crea la corriente original $\mathcal{E} \Leftrightarrow$ se formará una corriente autoinducida que se superpone a la principal.



*La **autoinducción** de un circuito a la formación de corrientes inducidas en el circuito cuando se producen en él variaciones del propio flujo.*

Autoinducción e inductancia

- La **autoinducción** se produce en cualquier circuito que conduzca una corriente variable.
- Es especialmente notable en bobinas.
- La variación del propio campo magnético de un circuito induce una fem en él. Esta fem (que se suele llamar autoinducida, \mathcal{E}_L) tendrá la dirección que se oponga a la fem que originó la corriente inicial, \mathcal{E} .
- La fem autoinducida puede ser calculado usando la ley de Faraday
 - ▶ En el centro de la espira es $B = \frac{\mu_0 I}{2R}$
 - ▶ $B \propto I \Rightarrow \phi_B \propto I \Rightarrow \phi_B = LI$

$L \equiv$ inductancia (a veces referida como autoinducción)

La unidad SI de la inductancia es el henrio (H), donde $1\text{H}=\text{Tm}^2/\text{A}$

Autoinducción e inductancia

$$\mathcal{E}_L = -\frac{d\phi_B}{dt} = -\frac{d(IL)}{dt} = -L\frac{dI}{dt}$$

- **La inductancia es una medida de oposición a un cambio en la corriente**, cuanto mayor sea la inductancia de un circuito mayor será la \mathcal{E}_L que se opondrá a la variación de corriente que la crea.
- La autoinducción sólo se manifestará para una corriente variable en el tiempo → usaremos letras minúsculas en las magnitudes que varíen temporalmente

Fem autoinducida

$$\mathcal{E}_L = -L\frac{di(t)}{dt}$$

Autoinducción e inductancia

Las ecuaciones

$$L = \frac{\phi_B}{I}; \quad \mathcal{E}_L = -L \frac{di(t)}{dt}$$

son válidas para cualquier circuitos

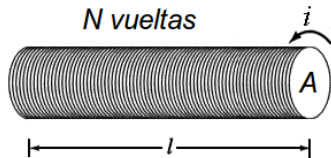
Ejemplo: Calculo de la inductancia de un solenoide ideal de longitud l , área transversal A y con N vueltas.

$$B = I\mu_0 n l \text{ con } n = \frac{N}{l}.$$

$\phi_B^{\text{espira}} = BA \Rightarrow$ el flujo total en el interior de la bobina es $\phi_B = NBA = \mu_0 n^2 A l I$

Inductancia de un solenoide ideal

$$L = \mu_0 n^2 A l$$



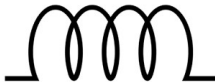
Depende de la geometría de la bobina (A y l) y del número de vueltas al cuadrado (n^2).

Autoinducción e inductancia

Ejemplo 3: a) Calcule la inductancia de un solenoide que contiene 300 vueltas y una longitud de 25 cm con una sección transversal de 4 cm^2 . b) Calcule la fem autoinducida en el solenoide si la corriente a través de él disminuye a una proporción de 50 A/s.

Sol. a) $L=0.181 \text{ mH}$; b) $\mathcal{E}_L=+9.05 \text{ V}$.

- Un inductor es cualquier elemento con inductancia, (ej. una bobina).
- La representación de un inductor en un circuito es



- En general, un inductor en un circuito hace difícil que ocurran cambios rápidos en la corriente.

Energía en un campo magnético

- ▶ Un condensador almacena energía, $U = \frac{1}{2}QV$,
- ▶ Si existe un campo eléctrico \Rightarrow densidad de energía, $u_E = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2$

Igualmente, en cualquier inductor por el que circula una corriente, una bobina por ejemplo, también se almacena energía.

Energía almacenada en un inductor

$$U = \frac{1}{2}LI^2$$

- Esta energía se almacena mientras $\frac{dI}{dt} > 0$.
- Si $\frac{dI}{dt} < 0$, el inductor actúa como fuente suministrando la energía almacenada (*ej. chispa al desconectar aparato eléctrico*).

En cualquier región que exista un campo magnético, habrá una densidad de energía

$$u_B = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0}.$$

Inductores en circuitos electrónicos

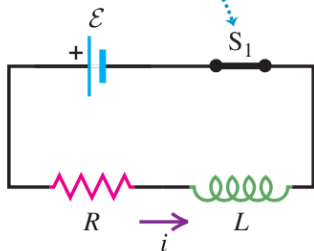
- Tiene un papel análogo a los condensadores, se usan como filtros y almacenan energía entre otras aplicaciones. Veremos más características en los temas siguientes.



Circuito RL

- Está formado por una combinación de una resistencia y un inductor.
- El interruptor se cierra en $t = 0$ s
- Un inductor se opone a los cambios de $i \Rightarrow$ hace que el circuito sea lento en reaccionar a los cambios de voltaje
- Sin inductor se alcanzaría instantáneamente una corriente final $I_f = \frac{\mathcal{E}}{R}$

El interruptor S_1 se cierra en $t = 0$.



- Pero debido al inductor, la corriente no puede pasar de un valor cero a otro final instantáneamente ya que aparece una fem autoinducida en la bobina que se opone a este cambio.
- Aplicamos Kirchhoff

$$\mathcal{E} = v_R + v_L \Rightarrow \mathcal{E} - iR - L \frac{di}{dt} = 0$$

Circuito RL

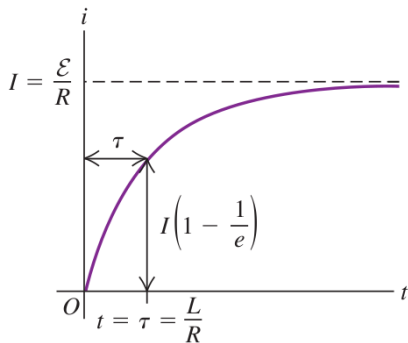
- La corriente no se incrementa de forma instantánea de cero a su valor final cuando se cierra el interruptor.

$$i(t) = I_f(1 - e^{-t/\tau})$$

τ : constante de tiempo del circuito RL

$$\tau = \frac{L}{R}$$

Físicamente τ representa el tiempo que tarda la corriente del circuito en alcanzar el 63 % de su valor final.



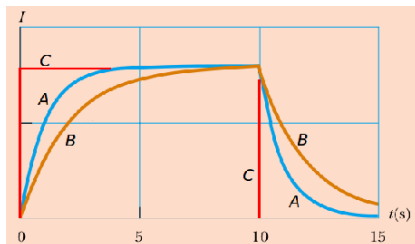
Circuito RL

- Igualmente podríamos hacer un análisis para el caso de que, una vez alcanzada la corriente final, el circuito se desconectara del generador (apagara).
- Si el circuito no incluyera un inductor la corriente se reduciría a cero de inmediato.
- Cuando el inductor está presente, se opone a la variación de corriente y hace que aunque esté desconectado del generador siga habiendo corriente en el circuito.
- La energía que se emplea para hacer circular esta corriente procede de la almacenada por el inductor.

Circuito RL

Ejemplo 4: Tres circuitos RL (A, B y C) son idénticos salvo en el valor de su inductancia. Dichos circuitos se encienden a fuentes de voltaje idénticas en $t = 0$, mientras que dichas fuentes se desconectan en $t = 10$ s. La evolución de las corrientes con el tiempo es mostrada en la figura. Si se supone que la constante de tiempo de cada circuito es menor que 10 s, ¿ qué circuito tiene mayor inductancia?, b) ¿ cuál es la magnitud de la inductancia menor ?. Justifique su respuesta.

Sol. $L_B > L_A > L_C$; $L_C = 0$.



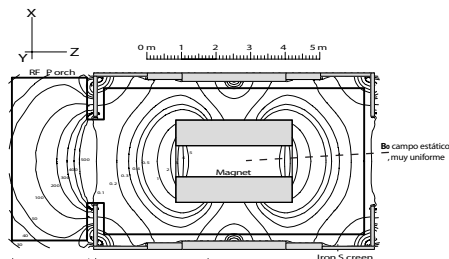
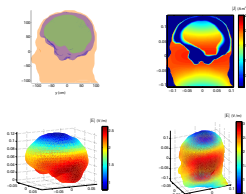
Circuito RL

Ejemplo 5: Un circuito RL tiene los siguientes valores $R = 6\Omega$, $L = 30 \text{ mH}$, y $\mathcal{E} = 12 \text{ V}$. a) Encuentre la constante de tiempo del circuito. b) Si se enciende en $t = 0 \text{ s}$ calcule la corriente en el circuito en $t = 2 \text{ s}$.

Sol. a) 5 ms, b) 0.659 A.

Apéndice: Aplicación de Ley de Faraday

- Resonancia magnética de imagen es herramienta de diagnóstico médico basada en fuertes campos magnéticos
- Los operarios cuando se mueven dentro de la habitación ven luces, sufren espasmos nerviosos, sienten sabor metálico...
- ¿Que está pasando ?



Apéndice: Guitarra eléctrica

- Otra aplicación de la Ley de Faraday es la pastilla (o bobina fonocaptora) de la guitarra eléctrica
- La pastilla (*Pickup coil*) cerca de las cuerdas de guitarra
- Cuerdas de guitarra de material magnetizable
- El imán dentro de la bobina magnetiza la cuerda cercana
- Cuando la cuerda vibra a una frecuencia, produce un cambio de flujo en la bobina \Rightarrow induce un fem de la misma frecuencia que es enviada a amplificador y posteriormente a altavoces

