

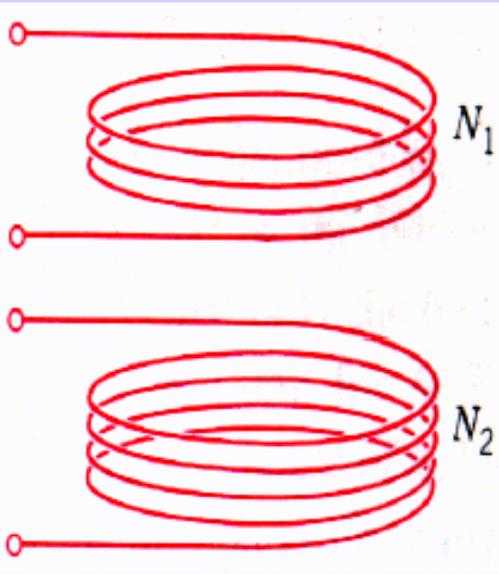
Tema 5. Inducción Magnética (cont.)

5-3 Inductancia mutua y autoinducción

5-5 Energía almacenada en una autoinducción

Densidad de energía del campo magnético

Inductancia mutua



Una intensidad I_2 en un circuito C_2 produce un flujo magnético Φ_{12} en el circuito C_1 proporcional a I_2

$$\Phi_{12} = M_{12} I_2$$

M_{12} : inductancia mutua

$$M_{12} = \frac{\Phi_{12}}{I_2}$$

Unidad de M:
henrio

$$H = \frac{V \cdot s}{A}$$

$$M_{12} = M_{21}$$

$$\xi_{12} = -\frac{d\Phi_{12}}{dt} \Rightarrow$$

$$\xi_{12} = -M \frac{dI_2}{dt}$$

¡Se necesitan intensidades variables como de corriente alterna!

Autoinducción

¿Qué sucede si nos olvidamos del circuito C_2 y nos preguntamos por el efecto de la intensidad producida por el circuito C_1 en el mismo?

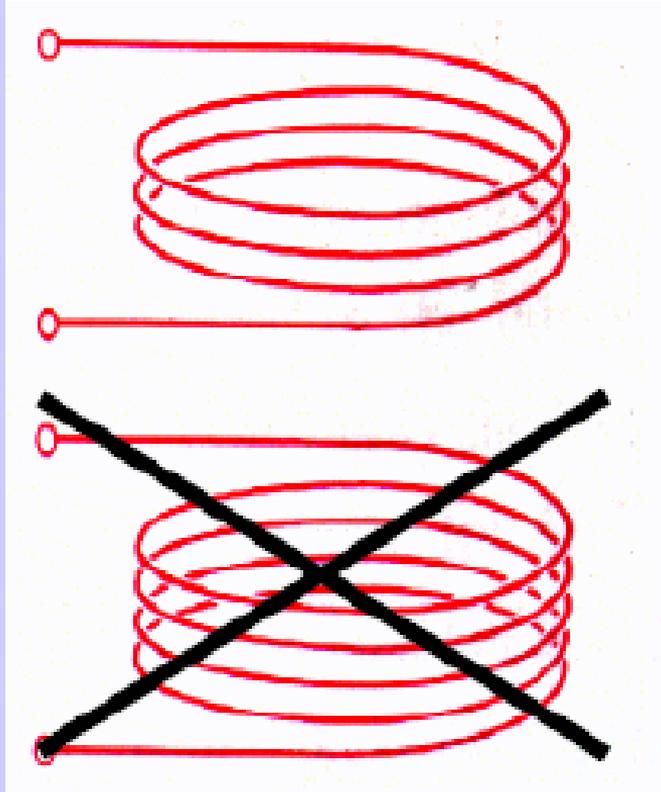
$$\Phi_{11} = M_{11}I_1 = LI$$

L: coeficiente de autoinducción:

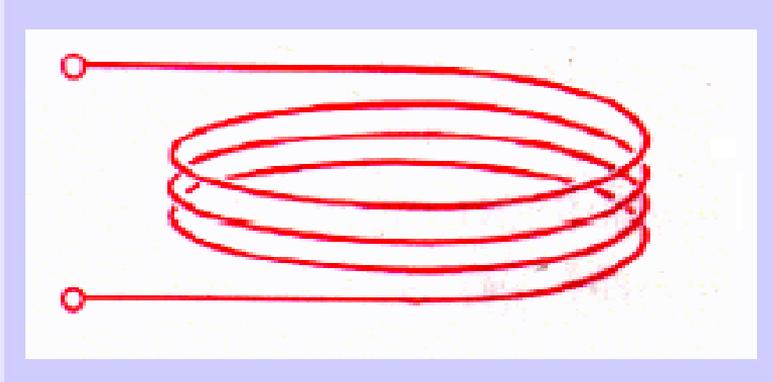
$$L = \frac{\Phi_{11}}{I}$$

f.e.m autoinducida

$$\xi_i = -L \frac{dI}{dt}$$



Cálculo del coeficiente de autoinducción



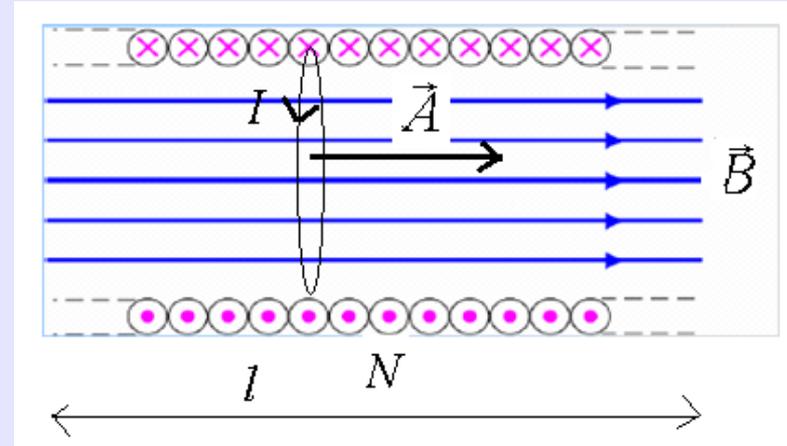
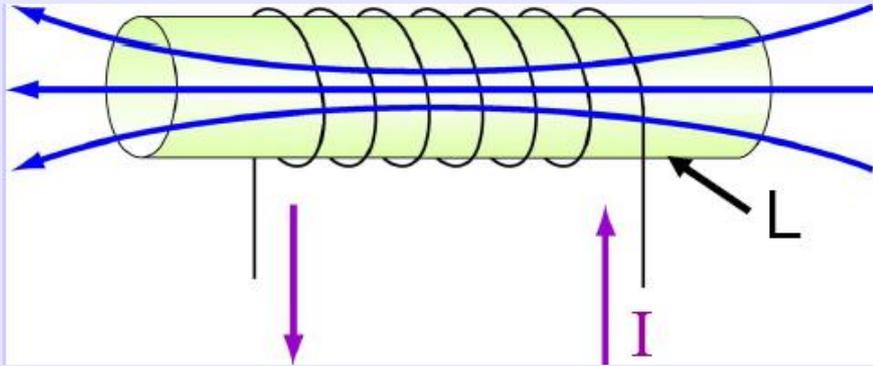
$$L = \frac{\Phi}{I}$$

Unidad: henrio

$$1 \text{ H} = 1 \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{A}}$$

- 1.-Asumir que una intensidad circula por el circuito
- 2.-Calcular el campo magnético debido a ella
- 3.-Calcular el flujo magnético debido a ese campo
- 4.-Calcular el coeficiente de autoinducción (la intensidad se cancela en la división)

Autoinducción del solenoide



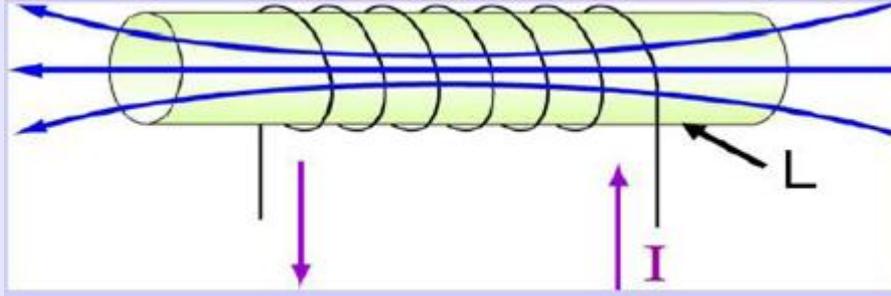
La autoinducción L de un solenoide con N espiras , longitud l , sección A y $n=N/L$ espiras por unidad de longitud

$$\Phi_B = N \int_A \vec{B} \cdot d\vec{A} = NBA \cos(0^\circ) = N(\mu_0 n I) A = N(\mu_0 \frac{N}{l} I) A = \left(\frac{\mu_0 N^2 A}{l} \right) I$$

Como $L = \frac{\Phi_B}{I}$ se obtiene:

$$L = \frac{\mu_0 N^2 A}{l}$$

Comportamiento de una autoinducción



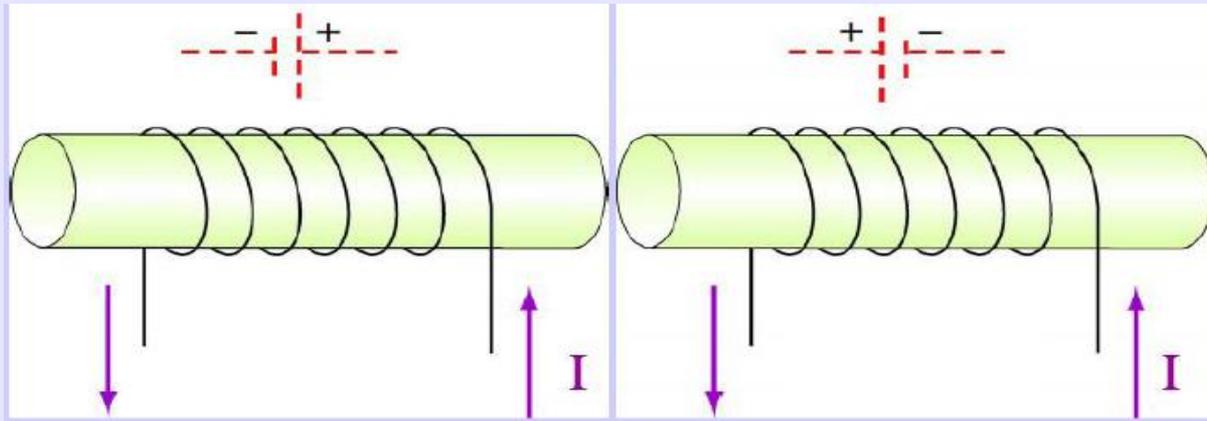
$$\xi_i = -L \frac{dI}{dt}$$

Una autoinducción con intensidad constante no hace nada

La fuerza electromotriz (FEM) se opone al cambio de intensidad

FEM según la ley de Lenz

FEM según la ley de Lenz



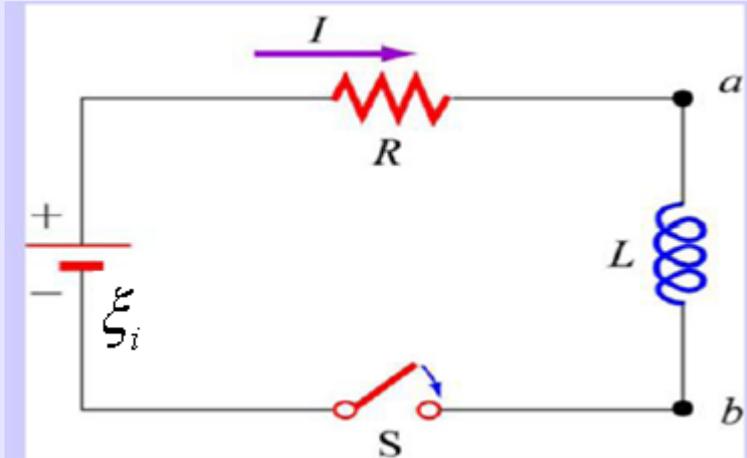
$$\frac{dI}{dt} > 0 \Rightarrow \xi_i < 0$$

$$\frac{dI}{dt} < 0 \Rightarrow \xi_i > 0$$

Las autoinducciones se oponen a los cambios: les gustan el estado estacionario. Son lo contrario que los condensadores

Autoinducciones en circuitos

Bobinas: elementos de un circuito que experimentan autoinducción



Símbolo:



Si nos movemos en la dirección de la intensidad

$$\xi_i = -L \frac{dI}{dt}$$

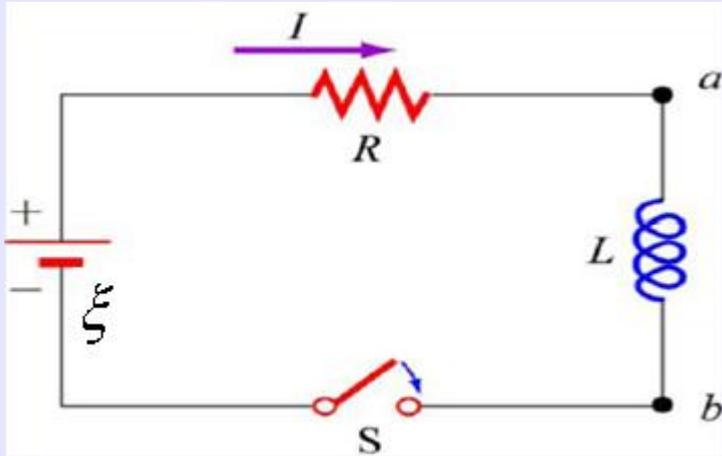
Caída de potencial: $V_L = V_a - V_b = -\xi_i = L \frac{dI}{dt}$

Demostrar que en corriente alterna la impedancia de una bobina o autoinducción es:

$$\tilde{Z} = j\omega L$$

Energía almacenada en una autoinducción

Bobinas: elementos de un circuito que experimentan autoinducción



$$\xi = IR + L \frac{dI}{dt}$$

$$I\xi = I^2 R + \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} LI^2 \right)$$

La batería
suministra

La resistencia
consume

La autoinducción
almacena

Energía almacenada en una autoinducción

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

Pero: ¿dónde se almacena esa energía?

Ejemplo sencillo: el solenoide ideal

$$B = \mu_0 n I \Rightarrow I = \frac{B}{\mu_0 n} \quad ; \quad L = \mu_0 \frac{N^2 A}{l} = \mu_0 n^2 A l$$

$$U_L = \frac{1}{2} LI^2 = \frac{1}{2} (\mu_0 n^2 A l) \left(\frac{B}{\mu_0 n} \right)^2 = \left(\frac{B^2}{2\mu_0} \right) A l \quad ; \quad u_B = \frac{U_L}{Vol} = \frac{U_L}{A l} \Rightarrow$$

Densidad de energía del campo magnético

Volumen

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

Densidad de energía del campo electromagnético

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

Densidad de energía del campo magnético

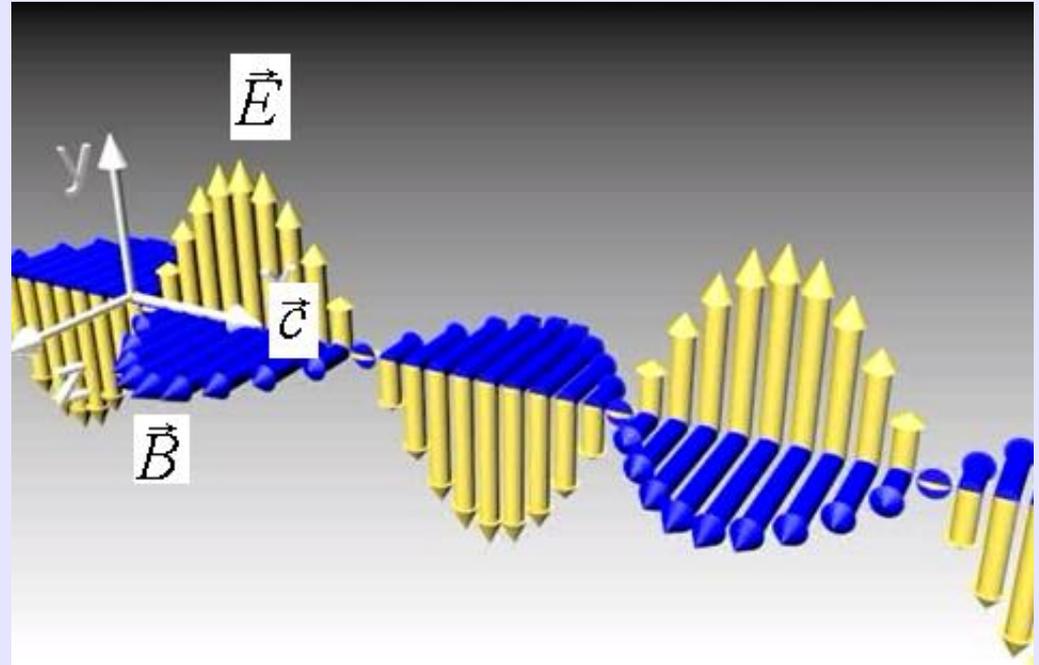
Análogo a:

$$u_E = \frac{\epsilon_0 E^2}{2}$$

Densidad de energía del campo eléctrico

Densidad de energía del campo electromagnético

$$u_E = \frac{\epsilon_0 E^2}{2} + \frac{B^2}{2\mu_0}$$



Ejemplo: ondas electromagnéticas