

# Tecnología Electrónica

# Ingeniería en Electrónica

Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Córdoba

# Inductores

## ▶ Características Principales

- Un inductor es un elemento pasivo que se caracteriza porque la tensión en los extremos es proporcional a la variación de la corriente que circula por el.

$$V = L * \frac{di}{dt}$$

- L es la inductancia. Es una propiedad de los elementos en virtud de la cual los mismos se oponen a toda variación de corriente que lo recorre.
- La variación de corriente produce una f.em. Inducida.

$$e = - \frac{L * di}{dt}$$

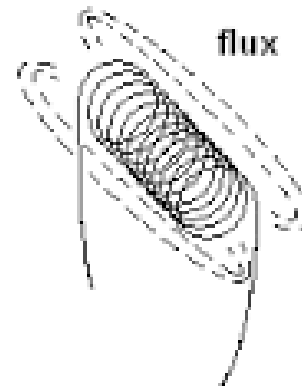
- La f.e.m. inducida puede ser debida por
  - Autoinducción → por la I que circula por si mismo.
  - Inducción Mutua → por una I que circula por otro dispositivo.

# Inductores

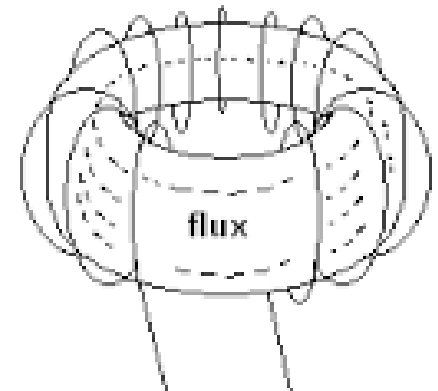
## ▶ Características Principales

- Unidad Dimensional:
  - 1 Henrio = 1 V \* 1A \* 1 seg
- El inductor ideal no posee pérdidas
- El inductor ideal almacena energía en forma de campo magnético.

$$W = \frac{1}{2} * L * I^2$$



Solenoid



Toroid

# Inductores

- ▶ Características Principales
  - Partiendo de un inductor con núcleo toroidal:

$$\mu = \mu_0 * \mu_r \left[ \frac{H}{m} \right] \rightarrow \text{Permeabilidad Absoluta}$$

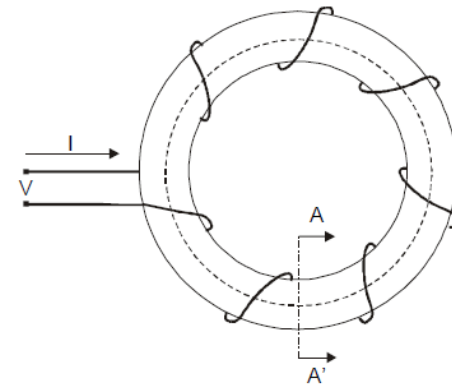
$A[m^2] \rightarrow \text{Area Transversal}$

$l[m] \rightarrow \text{Longitud Media}$

$N \rightarrow \text{Espiras}$

$$L = \frac{\mu * N^2 * A}{l} = \frac{N^2}{\mathfrak{R}}$$

$\mathfrak{R} = \text{reluctancia}$



Sección A A'

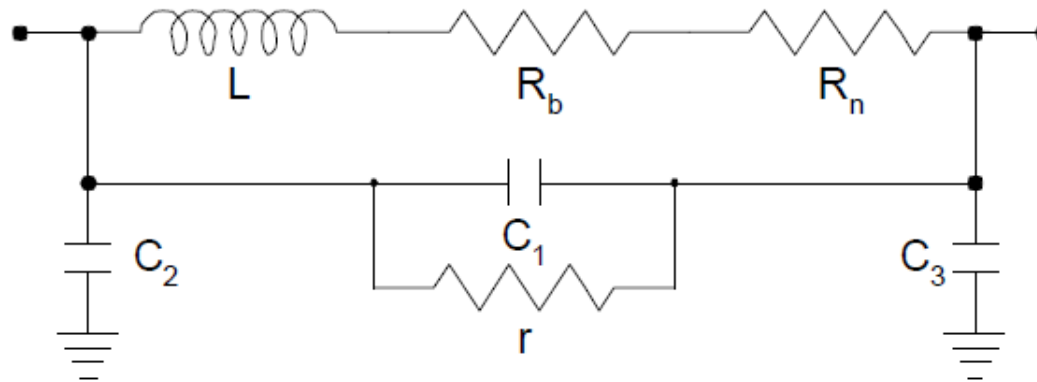


# Inductores

- ▶ Debido a la NO linealidad de la Relación B-H
  - El valor de L puede variar en función de la corriente circulante.
- ▶ Un inductor REAL posee pérdidas
  - En el bobinado
    - Por la resistencia del bobinado
    - Por Corrientes parásitas
    - Por conductancia
  - En el núcleo
    - Por corrientes parásitas
    - Por Histéresis
    - Residuales
      - Se dan en frecuencias muy altas. Efecto mecánico de los imanes elementales
  - En el blindaje
    - Si esta blindado hay pérdidas adicionales

# Inductores

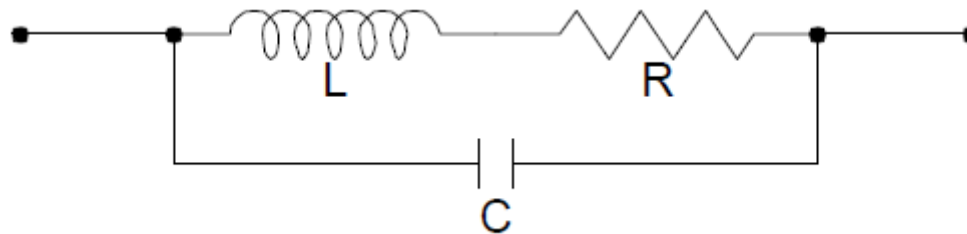
## ► Circuito Equivalente



- $L \rightarrow$  valor de la inductancia
- $R_b \rightarrow$  pérdidas resistivas en el bobinado
- $R_n \rightarrow$  pérdidas en el Núcleo
- $R \rightarrow$  pérdidas en las capacidades parásitas
- $C_1 \rightarrow$  Capacidad entre espiras
- $C_2$  y  $C_3 \rightarrow$  capacitancia de espiras al chasis

# Inductores

## ► Circuito Equivalente Reducido



- R y C  $\rightarrow$  parámetros residuales del inductor
- Sistema Resonante
  - Se deben emplear a una frecuencia menor
  - C  $\rightarrow$  de valor mínimo
  - Q  $\rightarrow$  de valor elevado

$$Q = \frac{\omega * L}{R}$$

# Inductores

## ▶ Inductancia Efectiva

- Basados en el modelo equivalente un Inductor tendrá un valor de Inductancia dependiente de la frecuencia.

$$L^* = \frac{L}{1 - \left[ 0.000001 * (2 * \pi * f)^2 * L * Cd \right]}$$

- Ejemplo de bobina de 20mH a una  $f=7\text{MHz}$

$$L^* = \frac{20mH}{1 - \left[ 0.000001 * (2 * 3,14 * 7MHz)^2 * 20mH * 2,92pF \right]} = 22,54mH$$



# Inductores

## ▶ Capacidad Distribuida

- Existe capacidad entre espiras y con respecto al chasis.
  - Se puede estimar utilizando un método descrito [1]
  - Bobina conectada a Masa
  - Conocer forma geométrica
    - $D \rightarrow$  diámetro en mm
    - $K \rightarrow$  relación longitud/diámetro

$$Cd[pF] = K * D$$

# Inductores

## ► Capacidad Distribuida

- $D \rightarrow$  diámetro en mm
- $K \rightarrow$  depende de la relación longitud/diámetro

I/D	0,1	0,3	0,5	0,8	1	2	4	6	8	10	15	20	30
K	0,096	0.06	0.05	0.05	0.046	0.05	0.072	0.092	0.112	0.132	0.186	0.236	0.34

- $K$  es mínimo para  $I/D$  entre 0,5 y 2
- Para un  $Q$  máximo,  $I/D > 1$
- Valor optimo entonces  
 $I/D \rightarrow 2$
- Ejemplo  $\rightarrow I/D = 69,85/63,5 = 1,1 \rightarrow k = 0,046$

$$Cd[pF] = 0,046 * 63,5mm = 2,92pF$$

# Inductores

- ▶ Clasificación de los inductores según el tipo de circuito magnético.
  - Circuito magnético Abierto
    - Núcleo de Aire
      - Inductores de una sola capa → Solenoides
      - Inductores multicapa
    - Núcleo de Material magnético.
      - Hierro laminado
        - CC y CA
      - Hierro pulverizado o de materiales magnéticos no conductores → ferritas.
  - Circuito magnético Cerrado

# Inductores – Núcleo de Aire

## ▶ Inductores de una sola capa

- Valor constante de  $L$  en función de la corriente
- Se puede hacer el análisis como si fuera toroidal
  - Se debe tener en cuenta el factor de Nagaoka.
    - Relación de las dimensiones geométricas del inductor.
    - $k \rightarrow D/l$  (Nagaoka).

# Inductores – Núcleo de Aire

- ▶ Inductores de una sola capa.
  - Partimos del valor de L.

$$L = \mu * K * \frac{N^2 * S}{l} \left[ \frac{H}{m} \right]$$

- Y cambiando unidades queda el calculo de L como

$$\mu = \mu_0 * \mu_r$$

$$\mu_r = 1$$

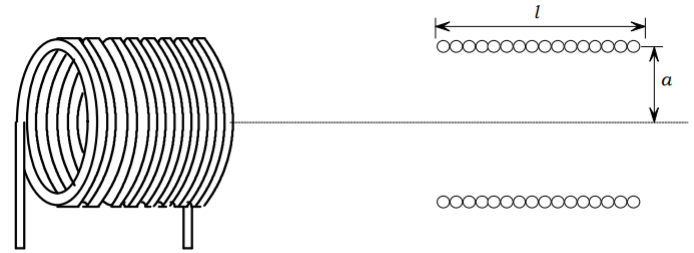
$$\mu_0 = 4 * \pi * 10^{-7} \left[ \frac{H}{m} \right]$$

$$S \text{ y } l \rightarrow cm$$

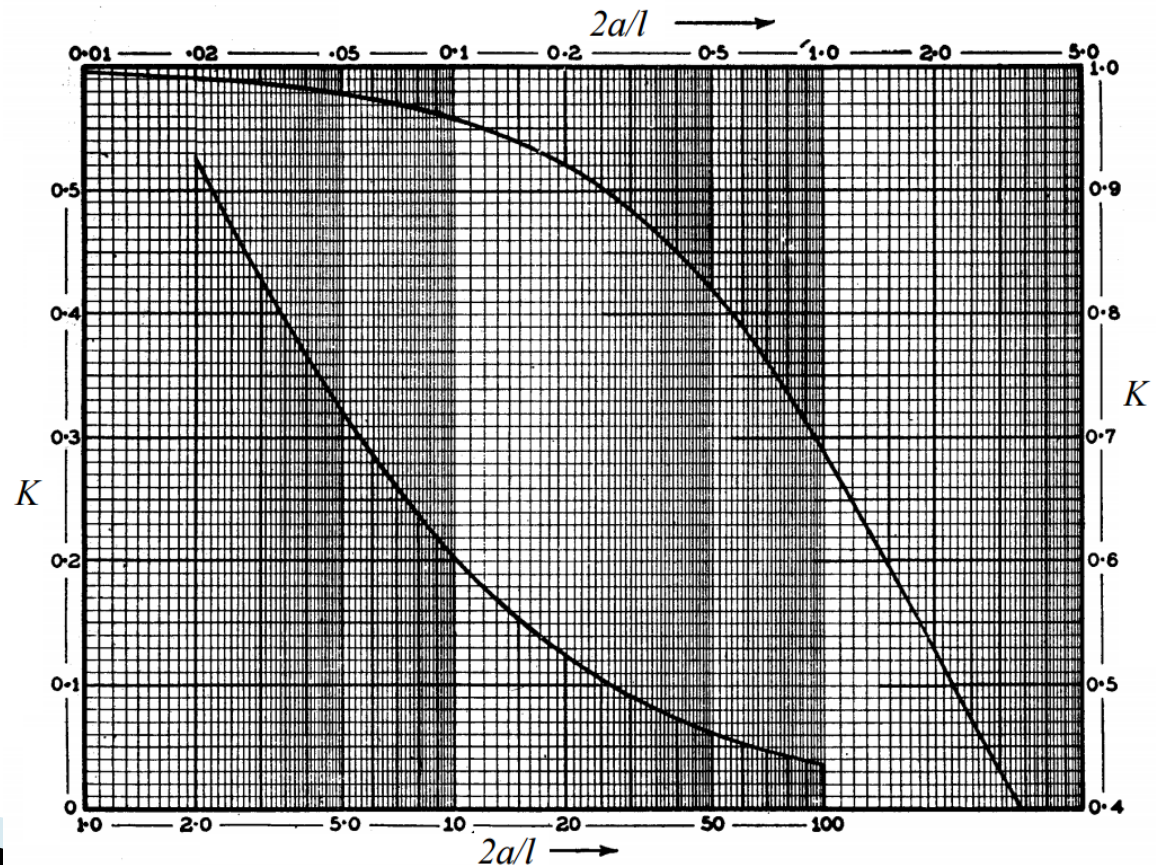
$$L \rightarrow \mu H$$

$$L = 0.03948 * \frac{N^2 * R^2}{l} * k \left[ \frac{H}{m} \right]$$

# Inductores



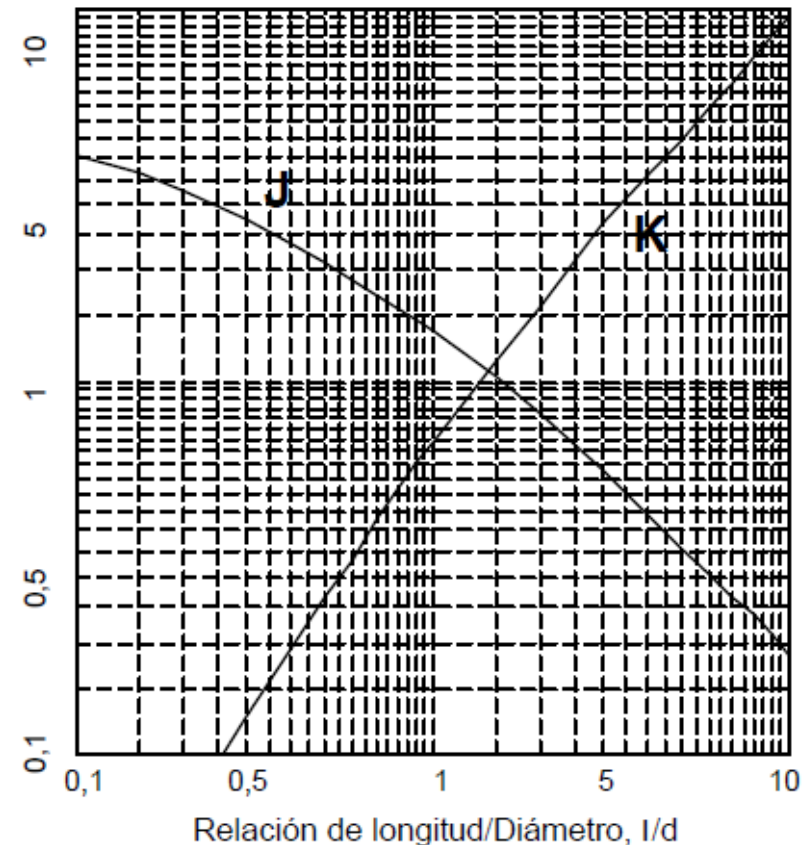
- ▶ Factor de Nagaoka  $\rightarrow k$ 
  - Depende de la relación  $2a/l \rightarrow D/l$



# Inductores

- ▶ Se puede expresar el factor de Nagaoka, en función de  $l/D$ .
- ▶ Queda la ecuación como:

$$L = D^3 * N_s^2 * K * 10^{-3} \left[ \frac{\mu H}{cm} \right]$$



# Diseño de Inductor

- ▶ Inductor de una capa Núcleo de Aire
- ▶ Datos de Diseño
  - $L \rightarrow$  Inductancia deseada
  - $I \rightarrow$  corriente circulante
  - $f \rightarrow$  frecuencia
- ▶ Ecuación inicial

$$L = D^3 * N_s^2 * K * 10^{-3} \left[ \frac{\mu H}{cm} \right]$$