

# TECNOLOGÍA ELÉCTRICA

## Teoría de Circuitos

### Circuitos de Corriente Continua

### Condensadores y bobinas

Enrique Comesaña Figueroa

[e.comesana@usc.es](mailto:e.comesana@usc.es)

1

Despacho 5 – Módulo II, segunda planta superior  
Escola Politécnica Superior de Enxeñaría, Campus  
Terra, Lugo

# Introducción

Hasta ahora hemos estudiado circuitos en régimen estacionario y de corriente continua. Los elementos de este tipo de circuitos son las fuentes de continua y las resistencias.

Pero realmente, el concepto de “fuente de continua”, es una idealización, las fuentes reales no suministran de forma constante el mismo nivel de tensión y además hay periodos de tiempo donde se están encendiendo o apagando.

Necesitamos estudiar **circuitos en régimen transitorio**, es decir, queremos analizar como evolucionan las corrientes y tensiones de un circuito en los instantes posteriores al cambio de valor de una fuente.

Cuando analizamos el régimen transitorio debemos tener en cuenta nuevos elementos en el circuito: **los condensadores y las bobinas**.

# Condensadores

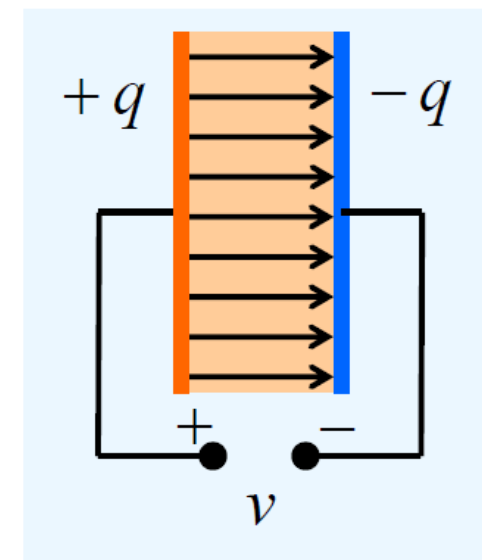
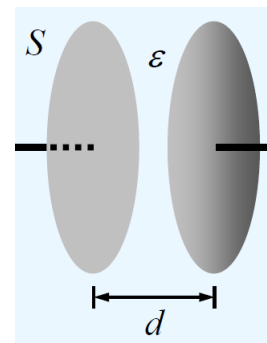
*Un condensador es un elemento pasivo capaz de almacenar energía eléctrica. Está formado por dos conductores (armaduras) y separados por una aislante eléctrico (dieléctrico).*

La capacidad de un condensador es la relación entre la carga positiva,  $q > 0$ , almacenada en un condensador y la diferencia de tensión entre placas,  $v > 0$ . Las unidad de capacidad es el Faradio (F)

$$C = \frac{q}{v} \quad 1 \text{ Faradio} = \frac{1 \text{ Culombio}}{1 \text{ Voltio}} \rightarrow 1 \text{ F} = \frac{1 \text{ C}}{1 \text{ V}}$$

Para un condensador plano-paralelo:

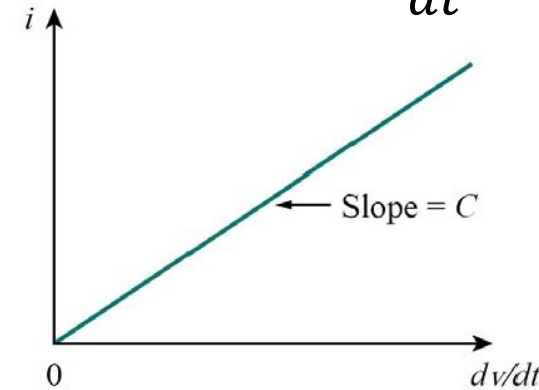
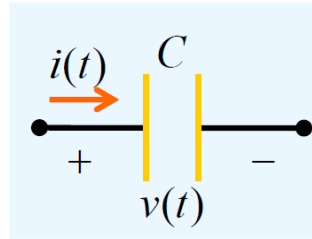
$$C = \frac{\epsilon S}{d} \quad \text{donde} \quad \left\{ \begin{array}{l} S: \text{área de las placas} \\ d: \text{separación entre placas} \\ \epsilon: \text{permitividad del dieléctrico} \end{array} \right.$$



# Condensadores: Relación corriente-tensión

De la relación carga-tensión:  $q = Cv$ , si se deriva en el tiempo  $\frac{dq}{dt} = C \frac{dv}{dt}$ , teniendo en cuenta que  $i = \frac{dq}{dt}$ , entonces:

$$i(t) = C \frac{dv}{dt}$$



Además, si  $\frac{dv}{dt} = 0 \rightarrow i = 0$ , entonces, en régimen de corriente continua, un condensador se comporta como un *circuito abierto*

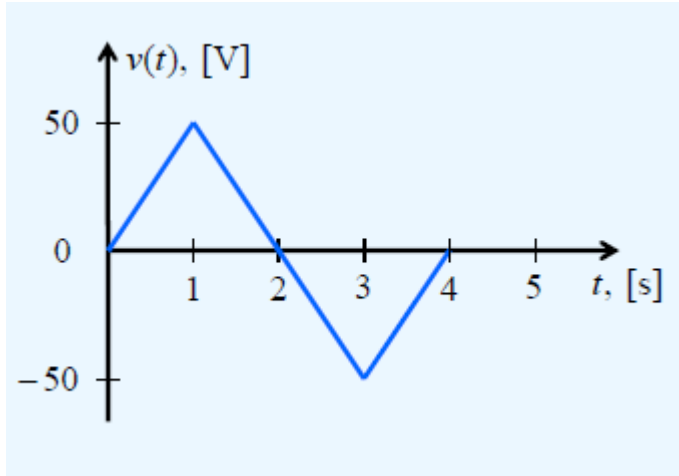
Integrando la corriente:  $\int_{v(t_0)}^{v(t)} dv = \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i(t) dt \rightarrow v(t) = \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i(t) dt + v(t_0)$

La tensión entre las armaduras del condensador depende de la evolución pasada de la corriente y del valor inicial de tensión. Elemento con memoria.

La tensión armaduras **NO** puede cambiar bruscamente:  $i = C \frac{dv}{dt} = \infty$

# Condensadores: Relación corriente-tensión

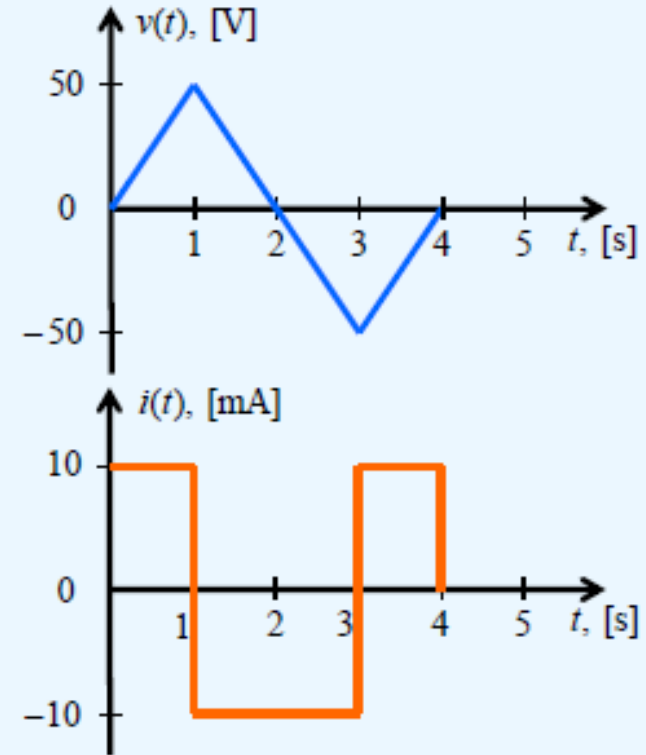
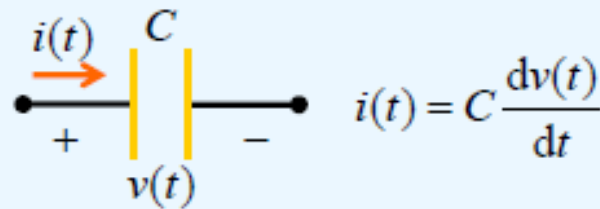
**Ejemplo 1:** Determinar la corriente que circula en un condensador de  $200\mu F$  si la tensión entre sus terminales sigue la figura:



Solución:

$$C = 200 \mu F$$

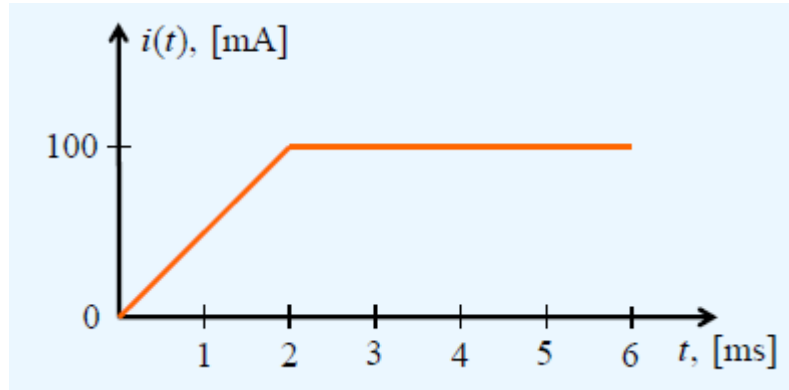
$$v(t) = \begin{cases} 50t & 0 < t < 1 \\ 100 - 50t & 1 < t < 3 \\ -200 + 50t & 3 < t < 4 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$



$$i(t) = 200 \times 10^{-6} \times \begin{cases} +50 & 0 < t < 1 \\ -50 & 1 < t < 3 \\ +50 & 3 < t < 4 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases} = \begin{cases} +10 \text{ mA} & 0 < t < 1 \\ -10 \text{ mA} & 1 < t < 3 \\ +10 \text{ mA} & 3 < t < 4 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

# Condensadores: Relación corriente-tensión

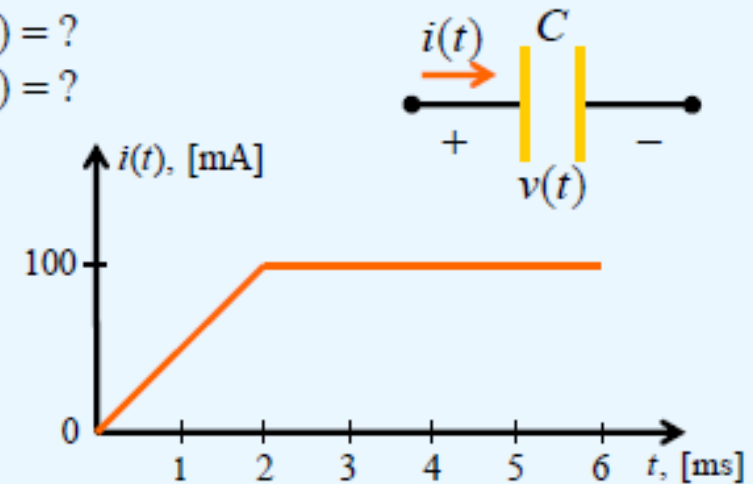
**Ejemplo 2:** Por un condensador de  $1\text{mF}$  inicialmente descargado fluye una corriente mostrada en la figura. Calcular la tensión en  $t = 2\text{ms}$  y  $t = 5\text{ms}$  :



Solución:  $C = 1 \text{ mF}$   $v(2 \text{ ms}) = ?$   
 $v(5 \text{ ms}) = ?$

$$v(t) = \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i(t) dt + v(t_0)$$

$$i(t) = \begin{cases} 50t \text{ A} & 0 \text{ s} < t < 2 \text{ ms} \\ 0.1 \text{ A} & 2 \text{ ms} < t < 5 \text{ ms} \\ 0 \text{ A} & \text{en otro caso} \end{cases}$$



- Caso  $t = 2 \text{ ms}$ :  $t_0 = 0$   $v(0) = 0$

$$v(2 \text{ ms}) = \frac{1}{C} \int_0^{2 \times 10^{-3}} 50t dt = \frac{1}{C} 25t^2 \Big|_0^{2 \times 10^{-3}} = 10^3 \times 25 \times 4 \times 10^{-6} = 0.1 \text{ V}$$

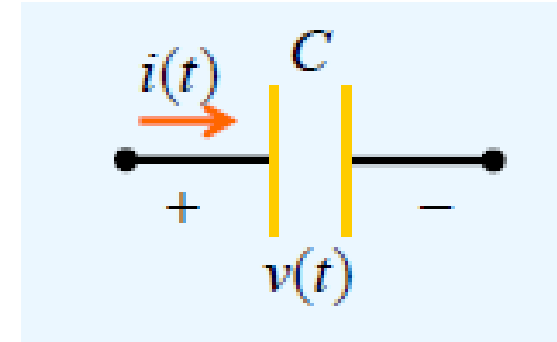
- Caso  $t = 5 \text{ ms}$ :  $t_0 = 2 \text{ ms}$   $v(2 \text{ ms}) = 0.1 \text{ V}$

$$v(5 \text{ ms}) = \frac{1}{C} \int_{2 \times 10^{-3}}^{5 \times 10^{-3}} 0.1 dt + v(2 \text{ ms})$$
$$= 10^3 \times 0.1t \Big|_{2 \times 10^{-3}}^{5 \times 10^{-3}} + 0.1 = 0.3 + 0.1 = 0.4 \text{ V}$$

# Condensadores: Potencia y energía

La potencia en un condensador:

$$p = v \times i \quad y \quad i = C \frac{dv}{dt} \quad \rightarrow \quad p = Cv \frac{dv}{dt}$$



La potencia puede ser negativa o positiva

- Si  $v \frac{dv}{dt} > 0 \rightarrow p > 0 \rightarrow$  El condensador está almacenando energía.
- Si  $v \frac{dv}{dt} < 0 \rightarrow p < 0 \rightarrow$  El condensador está suministrando energía.

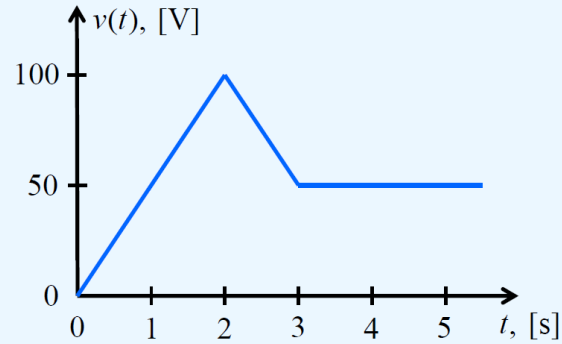
Un condensador ideal no disipa (o consume) energía, solo la almacena.

Si consideramos un condensador descargado  $v(-\infty) = 0 \rightarrow w(-\infty) = 0$ , la energía almacenada en un condensador será:

$$p = \frac{dw}{dt} \rightarrow dw = p dt \rightarrow \int_{-\infty}^t dw = \int_{-\infty}^t Cv \frac{dv}{dt} dt = C \int_{-\infty}^t v dv \rightarrow w(t) = \frac{1}{2} C[v(t)]^2$$

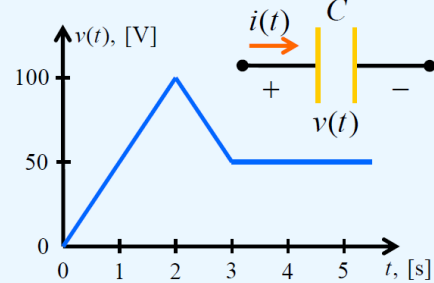
# Condensadores: Potencia y energía

**Ejemplo 3:** La tensión en un condensador de  $5\text{mF}$  se muestra en la figura, Dibujar las gráficas de la corriente, la potencia y energía en el condensador:



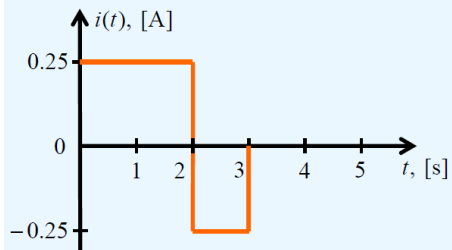
Solución:

$C = 5\text{ mF}$



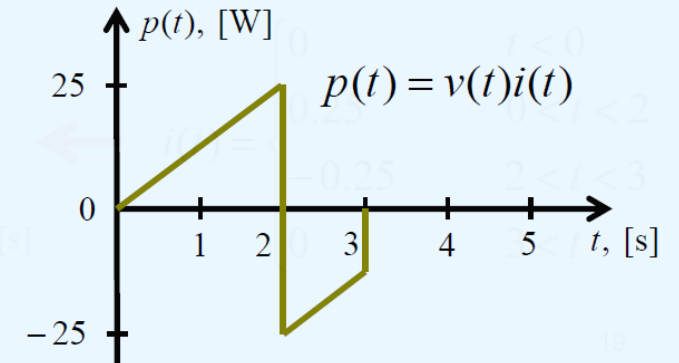
$$v(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ 50t & 0 < t < 2 \\ 200 - 50t & 2 < t < 3 \\ 50 & 3 < t \end{cases}$$

$$\downarrow i = C \frac{dv}{dt}$$



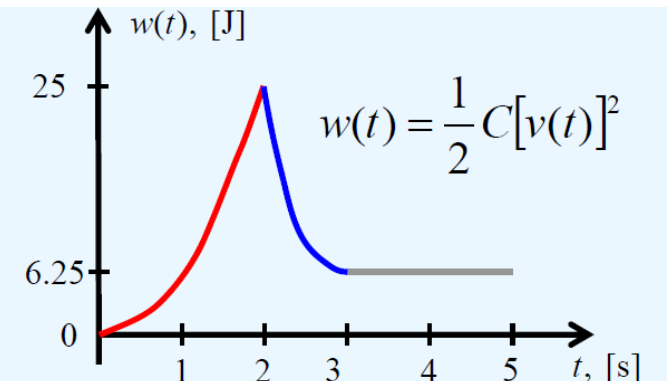
$$i(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ 0.25 & 0 < t < 2 \\ -0.25 & 2 < t < 3 \\ 0 & 3 < t \end{cases}$$

$$p(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ 12.5t & 0 < t < 2 \\ -50 + 12.5t & 2 < t < 3 \\ 0 & 3 < t \end{cases}$$



$$w = \frac{1}{2} C v^2$$

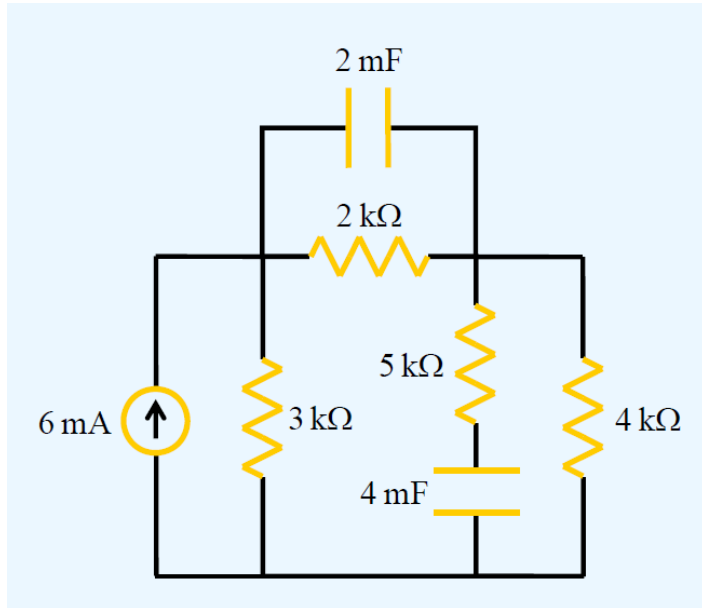
$$w(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ 6.125t^2 & 0 < t < 2 \\ 0.25(20 - 5t)^2 & 2 < t < 3 \\ 6.25 & 3 < t \end{cases}$$





# Condensadores: Potencia y energía

**Ejemplo 4:** Calcular la energía almacenada en cada condensador de la figura en régimen de continua:



Solución:

- La energía en un condensador vale:  $w = \frac{1}{2} C v^2$
- Tenemos que calcular las tensiones en los condensadores
- Para ello sustituimos los condensadores por circuitos abiertos
- $v_1$  -> tensión en 2 KOhm
- $v_2$  -> tensión en 4 KOhm

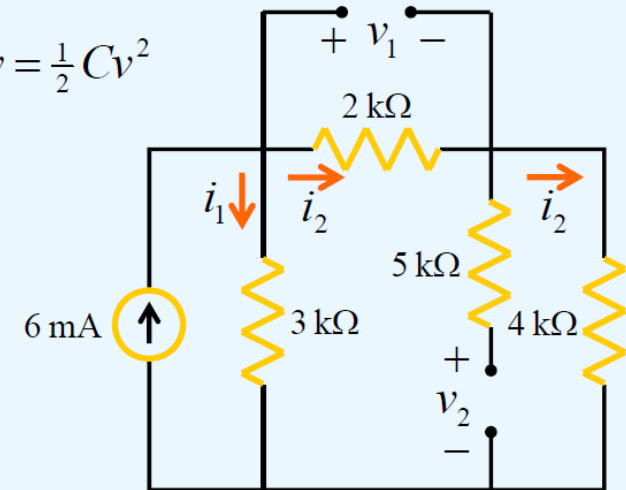
- Queda un divisor de corriente

$$i_2 = \frac{3}{3+2+4} \times 6 \times 10^{-3} = 2 \text{ mA}$$

- Aplicando la ley de Ohm

$$v_1 = (2 \times 10^3) \times (2 \times 10^{-3}) = 4 \text{ V}$$

$$v_2 = (4 \times 10^3) \times (2 \times 10^{-3}) = 8 \text{ V}$$



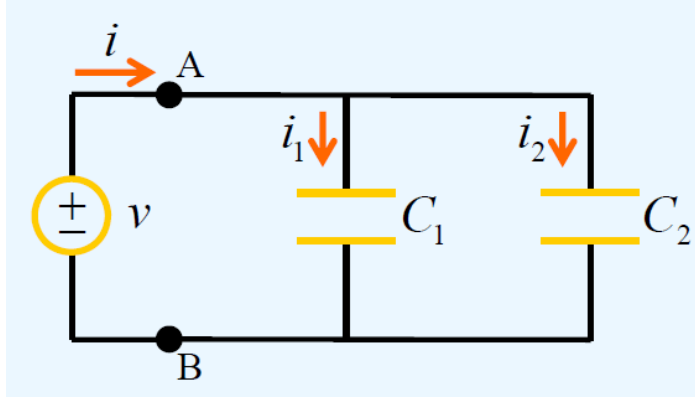
- La energía resulta:

$$w_1 = \frac{1}{2} C_1 v_1^2 = \frac{1}{2} \times (2 \times 10^{-3}) \times 4^2 = 16 \text{ mJ}$$

$$w_2 = \frac{1}{2} C_2 v_2^2 = \frac{1}{2} \times (4 \times 10^{-3}) \times 8^2 = 128 \text{ mJ}$$

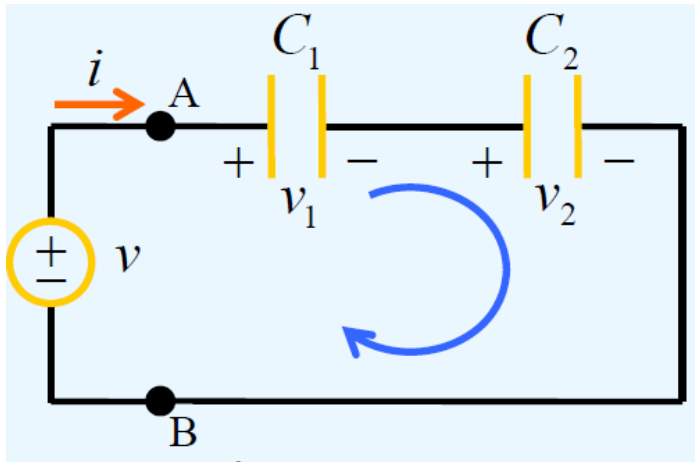
# Condensadores: Asociación serie-paralelo

Asociación paralelo:



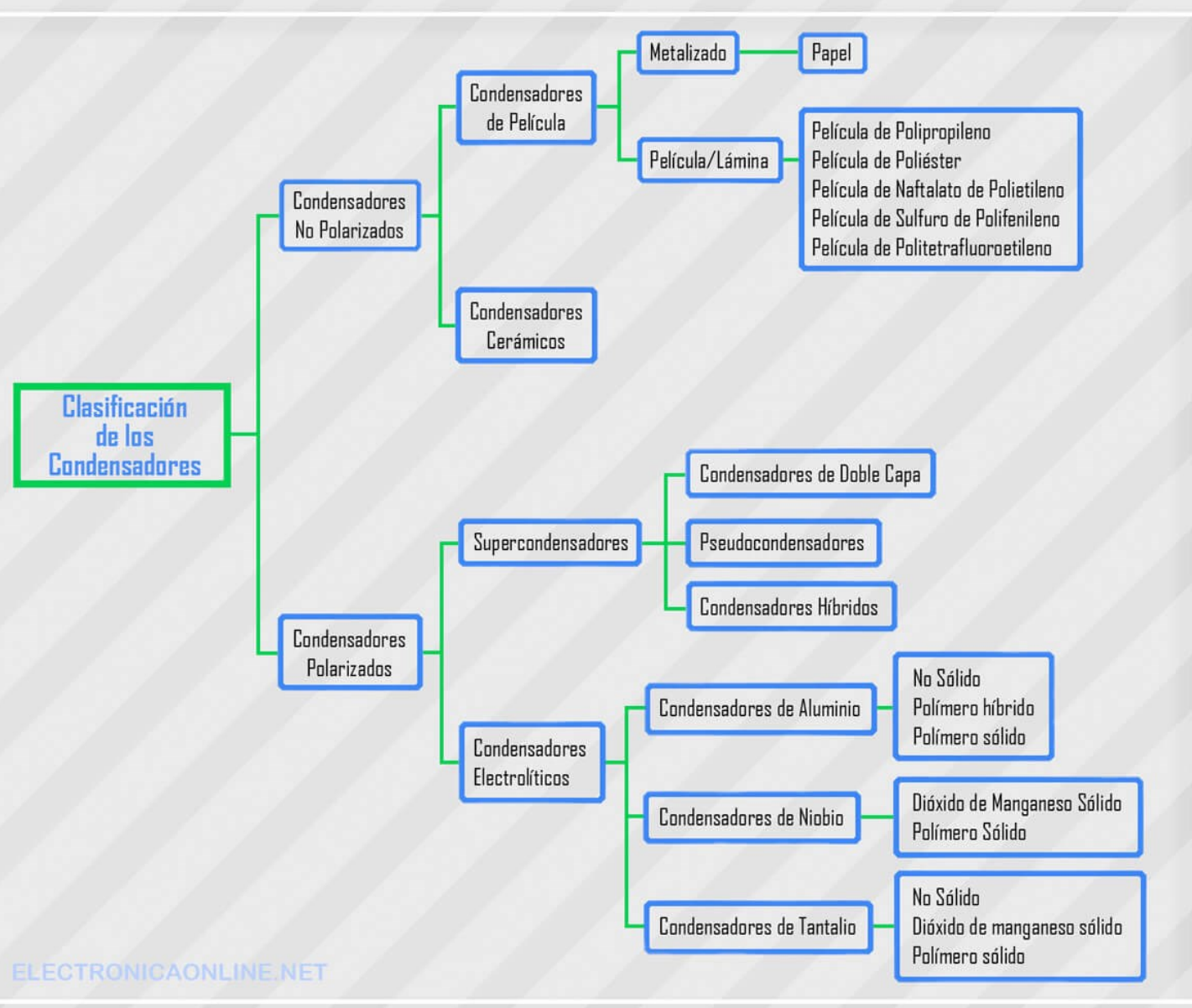
$$C_{\text{eq}} = C_1 + C_2 + \dots + C_N = \sum_{n=1}^N C_n$$

Asociación serie:



$$\frac{1}{C_{\text{eq}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_N} = \sum_{n=1}^N \frac{1}{C_n}$$

# Condensadores: Tipos



# Condensadores: Tipos

**Condensador de película:** son los más comunes con capacitancias de 5pF a 100uF, tensiones de trabajo de hasta 1500V y tolerancias de 10% a 0.01%.

Según su carcasa, pueden ser:

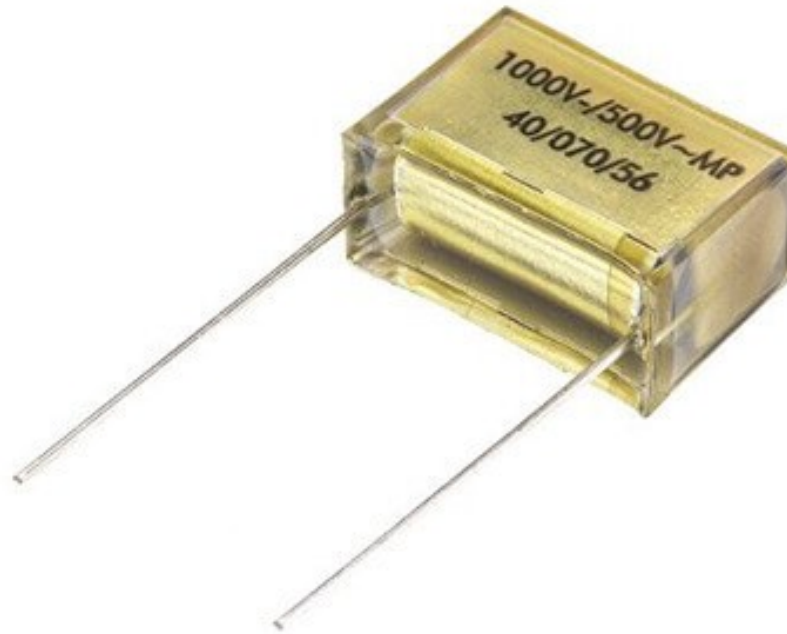
- Caja de epoxi: Condensador en carcasa de plástico rellena de epoxi.
- Envuelto con cinta: Condensador envuelto con cinta de plástico y sellada.
- Metal sellado herméticamente: Condensador encerado en lata o tubo metal.



CONDENSADOR DE PELÍCULA

# Condensadores: Tipos

**Condensador de papel:** Condensadores con dieléctrico de papel entre láminas de aluminio. Tiene capacidades de 500pF a 50uF y alto voltaje de trabajo, se usan en aplicaciones de alta tensión. Tienen tolerancias altas 10% a 20% y altas corrientes de fuga.



CONDENSADOR DE PAPEL

# Condensadores: Tipos

**Condensadores de cerámica o de disco:** Adecuados para circuitos de alta frecuencia (p.e. procesamiento de audio). Se construye con capas alternas de cerámica y plata. Existen dos clases:

- **Clase 1:** Condensadores de alta estabilidad y resistencia a cambios de la temperatura. Aptos para realización de circuitos resonantes.
- **Clase 2:** Condensadores de alta eficiencia volumétrica para aplicaciones de buffer bypass y acoplamiento de sistemas de C.A.

Valores de capacidad desde 1pF a 2uF  
Bajos valores de voltaje de trabajo.

Alta tolerancia 5% - 20%

En número en su superficie indica el valor en pF.  
En la imagen 22 y 4 ceros, es decir:  $220000\text{pF} = 220\text{nF}$





# Condensadores: Tipos

**Condensadores electrolíticos:** Se emplean cuando se requieren valores de capacidad muy altos. El dieléctrico es una solución de electrolito semilíquida en forma de gelatina que además sustituye a uno de los electrodos.

Suelen ser polarizados es decir requieren de una diferencia de tensión siempre positiva entre el terminal positivo y el negativo. Además su tensión de trabajo suele ser baja.

Se emplean en circuitos de alimentación de C.C., en funciones de regulación y estabilización de tensiones.

Tienen tres formas básicas:

- De aluminio: El dieléctrico de óxido de aluminio.
- De tantalio: Dieléctrico pentóxido de tantalio.
- De niobio: Dieléctrico de pentóxido de niobio.



CONDENSADOR ELECTROLÍTICO

# Condensadores: Tipos

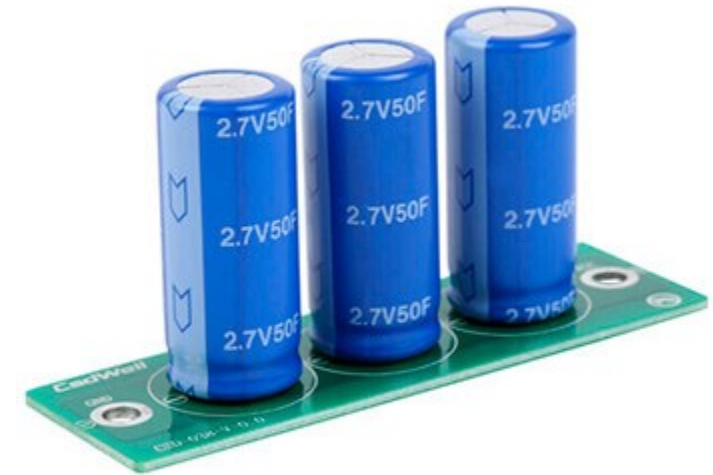
**Supercondensadores:** Condensadores con capacitancias superiores a 1F. Se emplean en sistemas de retención de memoria o alimentación de backup.

Suelen ser bastante voluminosos y tienen una respuesta en frecuencia limitada, pero son capaces de almacenar grandes cantidades de energía.

Resisten un alto número de ciclos de trabajo: vida útil larga.

Tienen tres tipos básicos:

- De doble capa: Con electrodos de carbono.
- Pseudocondensadores: Emplean el oxido de metal.
- Híbridos: Con electrodos asimétricos.



**SUPERCONDENSADOR**



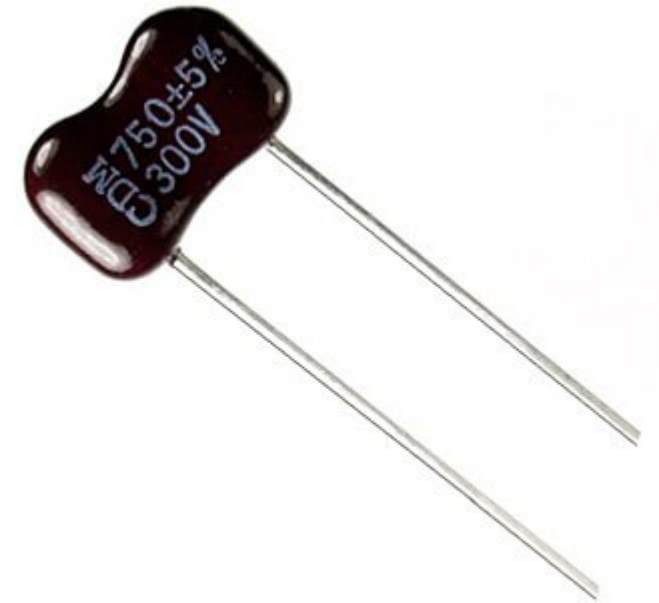
# Condensadores: Tipos

**Condensadores de mica plateada:** Se fabrican mediante la deposición de material metálico sobre el dieléctrico de mica.

Tolerancias inferiores al 1% y baja dependencia con las variaciones de temperatura.

Altos voltajes de trabajo 100V – 1000V o 10kV.

Capacitancias de 1pF a 3300 pF.



CONDENSADOR DE MICA

# Condensadores: Tipos

**Condensadores variables:** Condensadores con capacitancia variable que se determina mediante la posición relativa de armaduras móviles respecto de armaduras fijas en el condensador.

Se emplean para la sintonización de circuitos resonantes LC.



# Condensadores: Aplicaciones

<https://electronicaonline.net/componentes-electronicos/condensador/tipos-de-condensadores/>

**Bloqueo de CC:** Bloquea el paso de la CC permitiendo el paso de la CA.

**Filtros:** Introducen impedancias dependientes de la frecuencia.

**Fuentes de energía:** Como asistencia en encendido o activación.

**Condensador de paso:** Permite derivar a tierra ciertas frecuencias.

**Condensador de acoplamiento:** Permite el paso de señales entre distintas etapas de un circuito..

**Condensador de desacoplamiento:** Minimiza perturbaciones en las señales de salida, proporcionando corriente adicional en circuitos de conmutación.

**Condensador Snubber:** Limita las corrientes y voltajes transitorias producidas por cargas de alta inductancia.

# Bobinas

*Una bobina en un elemento pasivo formado por un arrollamiento de un conductor sobre un núcleo ferromagnético capaz de almacenar energía magnética.*

La relación tensión-intensidad de una bobina es:

$$v = L \frac{di}{dt}$$

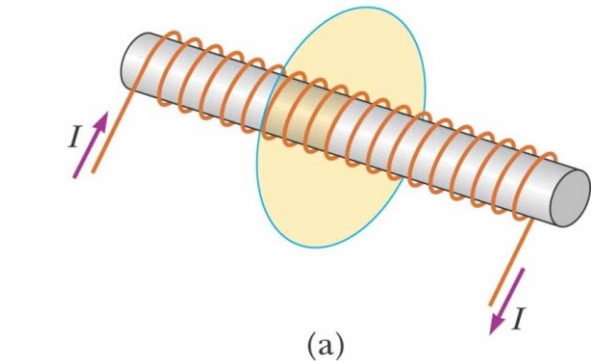
$L$  es la inductancia o coeficiente de autoinducción se mide en Henrys (H).

Su configuración más sencilla es el solenoide recto.  
La inductancia de un solenoide recto viene dada por:

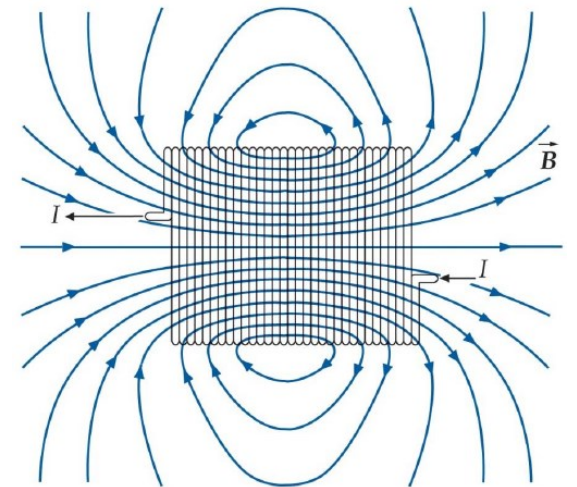
$$L = \frac{N^2 \mu A}{l}$$

donde

- $N$ : número de espiras
- $A$ : área de las espiras
- $l$ : longitud
- $\mu$ : permeabilidad del núcleo



©2004 Thomson - Brooks/Cole



# Bobinas: Relación corriente-tensión

La relación tensión-intensidad de una bobina es:

$$v = L \frac{di}{dt} \rightarrow di = \frac{1}{L} v dt \rightarrow \int_{i(t_0)}^{i(t)} di = \frac{1}{L} \int_{t_0}^t v(t) dt \rightarrow i(t) = \frac{1}{L} \int_{t_0}^t v(t) dt + i(t_0)$$

Donde  $i(t_0)$  es la corriente en la bobina en el instante inicial  $t = t_0$  :

Además, si  $\frac{di}{dt} = 0 \rightarrow v = 0$ , entonces, en régimen de corriente continua, una bobina se comporta como un *cortocircuito*

La bobina es también un elemento con memoria, la corriente que atraviesa la bobina depende de los valores pasados de tensión y corriente.

La corriente en una bobina **NO** puede cambiar bruscamente  $v = C \frac{di}{dt} = \infty$

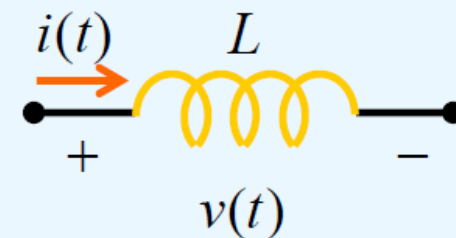
# Bobinas: Relación corriente-tensión

**Ejemplo:** Determinar la corriente en una bobina de 5 H si la tensión en sus terminales es:

$$v(t) = \begin{cases} 30t^2 & \text{si } t > 0 \\ 0 & \text{si } t < 0 \end{cases}$$

Solución:

- La corriente vale:  $i(t) = \frac{1}{L} \int_{t_0}^t v(t) dt + i(t_0)$



- En nuestro caso  $t_0 = 0$   $L = 5 \text{ H}$  y  $i(t_0) = i(0) = 0$

- Luego

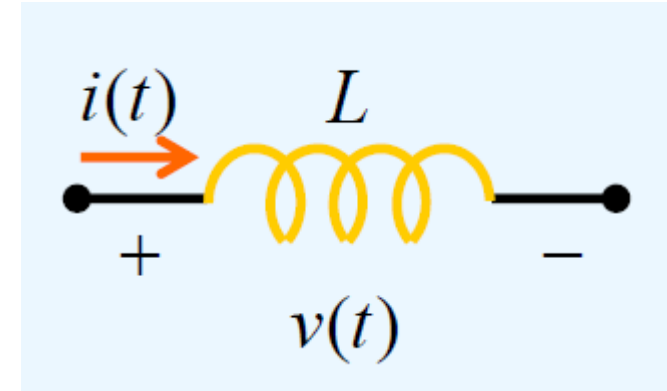
$$i(t) = \frac{1}{5} \int_0^t 30t^2 dt = \frac{1}{5} \left[ \frac{30}{3} t^3 \right]_0^t = 2t^3$$

$$i(t) = \begin{cases} 2t^3 & \text{si } t > 0 \\ 0 & \text{si } t < 0 \end{cases}$$

# Bobinas: Potencia y energía

La potencia en una bobina:

$$p = v \times i \quad y \quad v = L \frac{di}{dt} \quad \rightarrow \quad p = Li \frac{di}{dt}$$



La potencia puede ser negativa o positiva

- Si  $i \frac{di}{dt} > 0 \rightarrow p > 0 \rightarrow$  La bobina está almacenando energía.
- Si  $i \frac{di}{dt} < 0 \rightarrow p < 0 \rightarrow$  La bobina está suministrando energía.

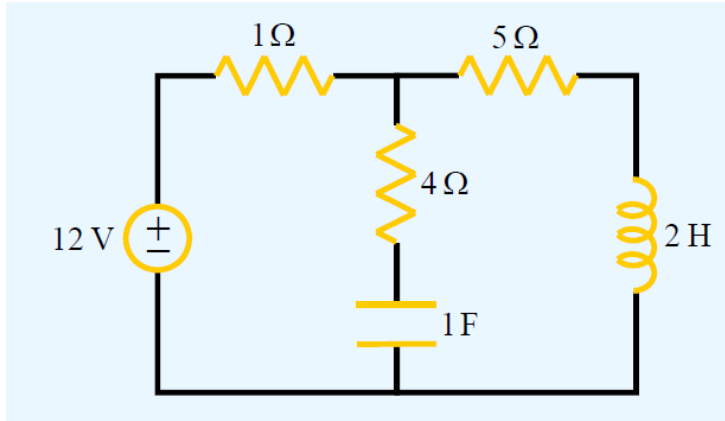
Una bobina ideal no disipa (o consume) energía, solo la almacena.

Si consideramos una bobina con corriente nula en  $t = -\infty$ :  $i(-\infty) = 0 \rightarrow w(-\infty) = 0$ , la energía almacenada en la bobina será:

$$p = \frac{dw}{dt} \rightarrow dw = p dt \rightarrow \int_{-\infty}^t dw = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t Li \frac{di}{dt} dt = L \int_{-\infty}^t i di \rightarrow w(t) = \frac{1}{2} L [i(t)]^2$$

# Bobinas: Potencia y energía

**Ejemplo:** Calcular la energía almacenadas en el condensador y la bobina en régimen de continua:



Solución:

- Las energías pedidas valen:

$$w_C = \frac{1}{2} C v_C^2 \quad w_L = \frac{1}{2} L i_L^2$$

siendo  $v_C$  la tensión en el condensador  
e  $i_L$  la corriente en la bobina.

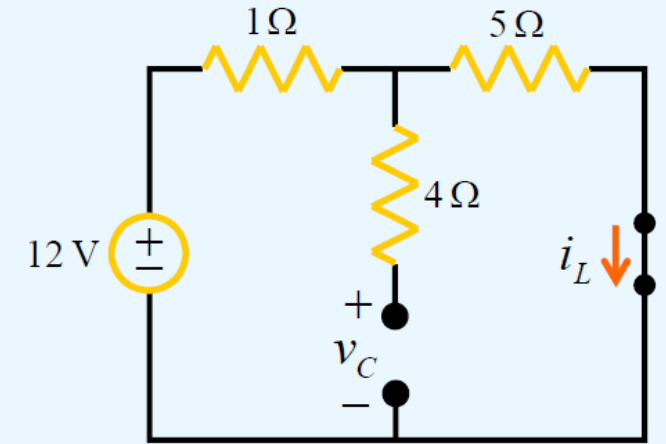
- Para calcular  $v_C$  e  $i_L$  sustituimos el  
condensador y la bobina por su equivalente en DC

- Queda un divisor de tensión:

$$v_C = \frac{5}{1+5} \times 12 = 10 \text{ V}$$

- Según la ley de Ohm:

$$i_L = \frac{v_C}{5} = \frac{10}{5} = 2 \text{ A}$$



- Las energías resultan:

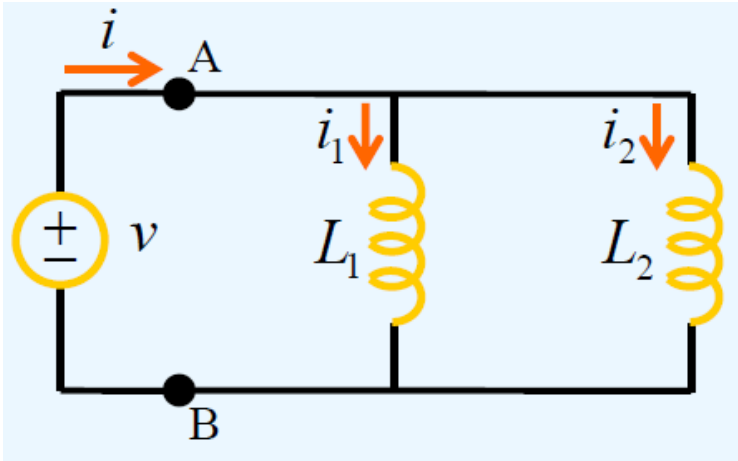
$$w_C = \frac{1}{2} C v_C^2 = \frac{1}{2} \times 1 \times 10^2 = 50 \text{ J}$$

$$w_L = \frac{1}{2} L i_L^2 = \frac{1}{2} \times 2 \times 2^2 = 4 \text{ J}$$



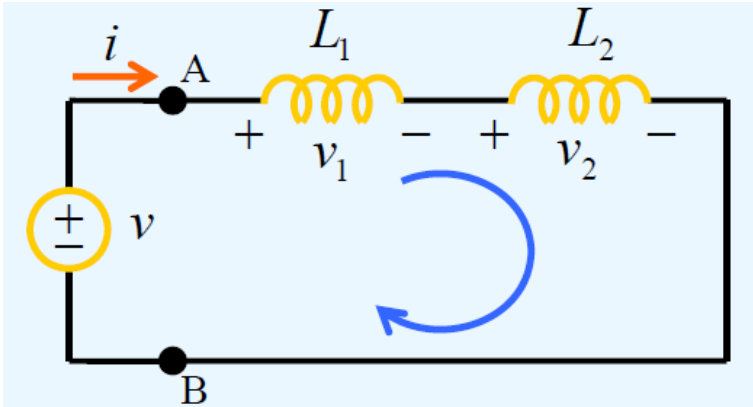
# Condensadores: Asociación serie-paralelo

Asociación paralelo:



$$\frac{1}{L_{\text{eq}}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \cdots + \frac{1}{L_N} = \sum_{n=1}^N \frac{1}{L_n}$$

Asociación serie:



$$L_{\text{eq}} = L_1 + L_2 + \cdots + L_N = \sum_{n=1}^N L_n$$

# Bobinas: Tipos

**Bobina con núcleo de aire:** Bobinas, normalmente circulares que no tienen núcleo. El conductor suele ser de cobre esmaltado. Se emplean en circuitos de frecuencias altas, circuitos de radio, televisión, transmisión de señales, ..



# Bobinas: Tipos

**Bobina con núcleo de ferrita:** Se utilizan normalmente en aplicaciones como antenas de radio, choques o filtros de alta frecuencia en circuitos de sintonización o fuentes de alimentación



# Bobinas: Tipos

**Bobina con núcleo toroidal:** El núcleo de la bobina tiene forma de anillo. Se usan normalmente en circuitos de radiofrecuencia o transformadores para frecuencias de radio, permitiendo el aislamiento galvánico entre partes de un circuito y adaptar niveles de tensión. También se usan como adaptadores de impedancia entre diferentes circuitos.



# Bobinas: Tipos

**Bobina con núcleo ferromagnético:** Los núcleos de estas bobinas se suelen construir con materiales como hierro o hierro-silicio. Se emplean en elementos transformadores que permiten convertir niveles de tensión o corriente conservando la potencia.



# Bobinas: Tipos

**Bobina variable:** Diseñadas con un núcleo móvil que modifica el valor de autoinductancia de la bobina. Normalmente se encierran en cubiertas metálicas para no afectar al resto de circuitos.



# Bobinas: Tipos

**Bobina SMD:** Bobinas para montaje en superficie en circuitos impresos. Las bobinas SMD tienen un código de identificación de valor similar a las resistencias SMD. Si una bobina indica 101 en el encapsulado, significa que su valor es de  $10\mu\text{H} \times 10 = 100\mu\text{H}$ .



# Resumen

**TABLE 6.1** Important characteristics of the basic elements.<sup>†</sup>

Relation	Resistor ( $R$ )	Capacitor ( $C$ )	Inductor ( $L$ )
$v$ - $i$ :	$v = iR$	$v = \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i \, dt + v(t_0)$	$v = L \frac{di}{dt}$
$i$ - $v$ :	$i = v/R$	$i = C \frac{dv}{dt}$	$i = \frac{1}{L} \int_{t_0}^t v \, dt + i(t_0)$
$p$ or $w$ :	$p = i^2 R = \frac{v^2}{R}$	$w = \frac{1}{2} C v^2$	$w = \frac{1}{2} L i^2$
Series:	$R_{\text{eq}} = R_1 + R_2$	$C_{\text{eq}} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$	$L_{\text{eq}} = L_1 + L_2$
Parallel:	$R_{\text{eq}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$	$C_{\text{eq}} = C_1 + C_2$	$L_{\text{eq}} = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2}$
At dc:	Same	Open circuit	Short circuit
Circuit variable that cannot change abruptly:	Not applicable	$v$	$i$

<sup>†</sup>Passive sign convention is assumed.