CONCEPTOS GENERALES DE CAMPO MAGNÉTICO

Si tomamos una barra imantada y la acercamos a unas limaduras finas de hierro, observaremos como éstas quedan pegadas en los extremos de la barra, pero no en el centro. Los puntos extremos que poseen las propiedades atractivas se denominan polos del imán, y la parte central, que no posee dicha propiedad, se llama zona neutra. Si se extienden las limaduras sobre un papel colocado sobre el imán, se observa que al golpear suavemente el papel, las limaduras de hierro se van orientando y forman unas líneas que se dirigen a los polos. Eso se debe a que cada limadura se imana por influencia.

Las líneas así observadas se llaman líneas de fuerza, líneas de campo o líneas de inducción, y por convenio se les da la dirección de polo norte a polo sur. La línea de fuerza se puede definir como aquella cuyos puntos señalan la dirección del campo magnético.

Al suspender la barra imantada por su parte central, vemos que se orienta. Se llama polo norte magnético aquel que se orienta hacia el polo norte geográfico, y se denomina polo sur magnético al opuesto. La línea que une los dos polos constituye el eje magnético. Si a éste imán que puede girar horizontalmente alrededor de su punto medio, le acercamos un polo de otro imán se observa que los polos del mismo nombre se repelen y los de nombre distinto se atraen.

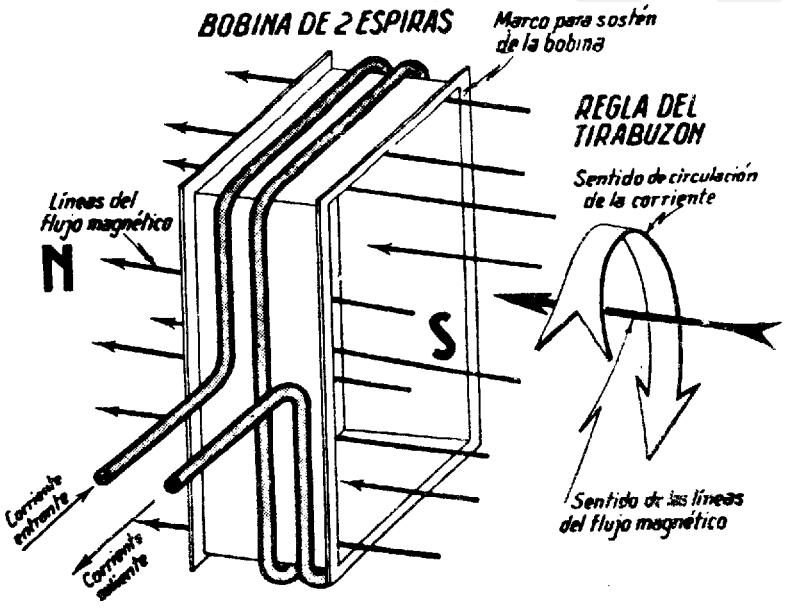
Al dividir un imán en varios trozos, cada uno de ellos, por pequeño que sea, posee los dos polos. Hoy se sabe que los imanes están formados por minúsculos imanes moleculares originados por el giro de electrones que dan lugar a corrientes eléctricas planas, y según el sentido de giro presentan una cara norte o una cara sur.

La región del espacio sometida a la acción de fuerzas de naturaleza magnética, se llama campo magnético..

BOBINA O SOLENOIDE

Consiste en un conductor arrollado, de modo que forme un cierto número de espiras regularmente distribuidas unas a continuación de otras.

Cuando una corriente eléctrica recorre el conductor, el solenoide adquiere las propiedades de un imán, con sus polos norte y sur correspondientes.



Llegamos, pues, a la conclusión de que la corriente eléctrica crea un campo magnético. Las líneas de fuerza que en él se originan, por convenio, van del polo norte al polo sur en el exterior, y en sentido contrario por el interior.

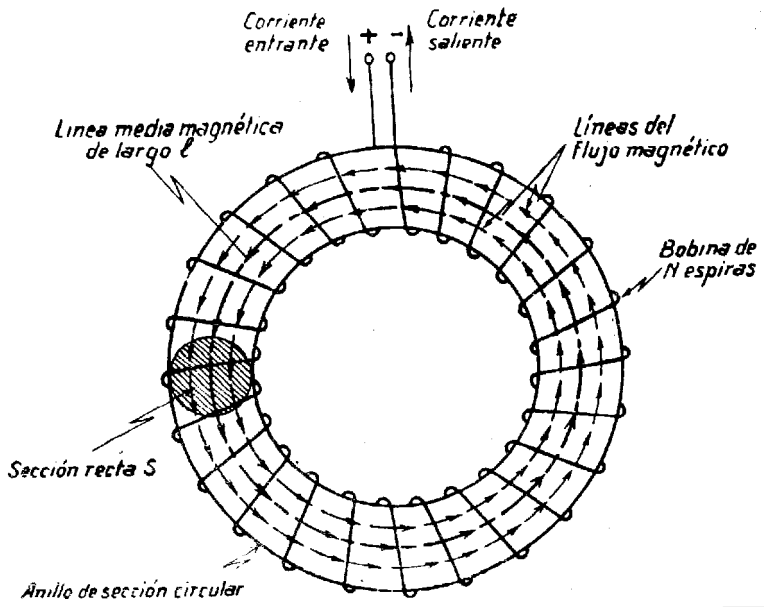
Para determinar el sentido de las líneas de campo, se usa la regla del tirabuzón.

El campo magnético generado se manifiesta también en el exterior de la bobina, con efectos más débiles, por lo tanto es necesario determinarlo en todos los puntos mediante una magnitud llamada densidad de líneas, densidad de flujo, o inducción magnética

La densidad de líneas se indica con la letra B y se mide en Tesla = Weber sobre m^2 [T = Wb/m^2] .
La cantidad total de líneas , flujo magnético, o flujo de inducción, está dado por la expresión:

$\phi = B.S$ [Wb] (1)

donde ϕ es el flujo mg en [Wb], B la inducción en [T] y S la sección recta normal a las líneas de flujo en [m2]



El estado magnético dentro y fuera de la bobina se debe a la corriente que circula (I), llamada corriente de excitación.

Para determinar la relación entre esta corriente y el campo magnético se considerará la estructura llamada "Anillo de Rowlands", que consiste en un anillo de sección circular sobre el cual se arrollan N espiras uniformemente distribuidas por las cuales circula una corriente I .(En esta distribución la simetría permite que todas las líneas de campo se cierren dentro del anillo).

Experimentalmente se determina que la densidad de líneas en el anillo es proporcional al número de vueltas y a la magnitud de la corriente, e inversamente proporcional a la longitud media de las líneas de fuerza (l).

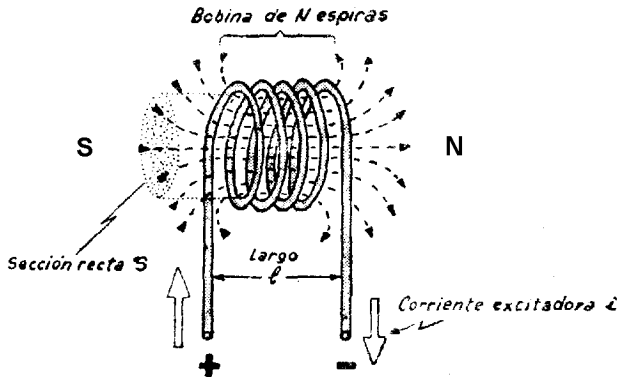
$$B = \mu_0 \frac{N.I}{l} \quad (2)$$

El valor μ_0 se denomina permeabilidad del vacío, $\mu_0 \approx 4.\pi.10^{-7} \frac{H}{m}$

Cuando la sustancia colocada en el campo magnético, no es vacío (o aire), la fórmula (2) se modifica según la permeabilidad relativa de dicha sustancia (μ).

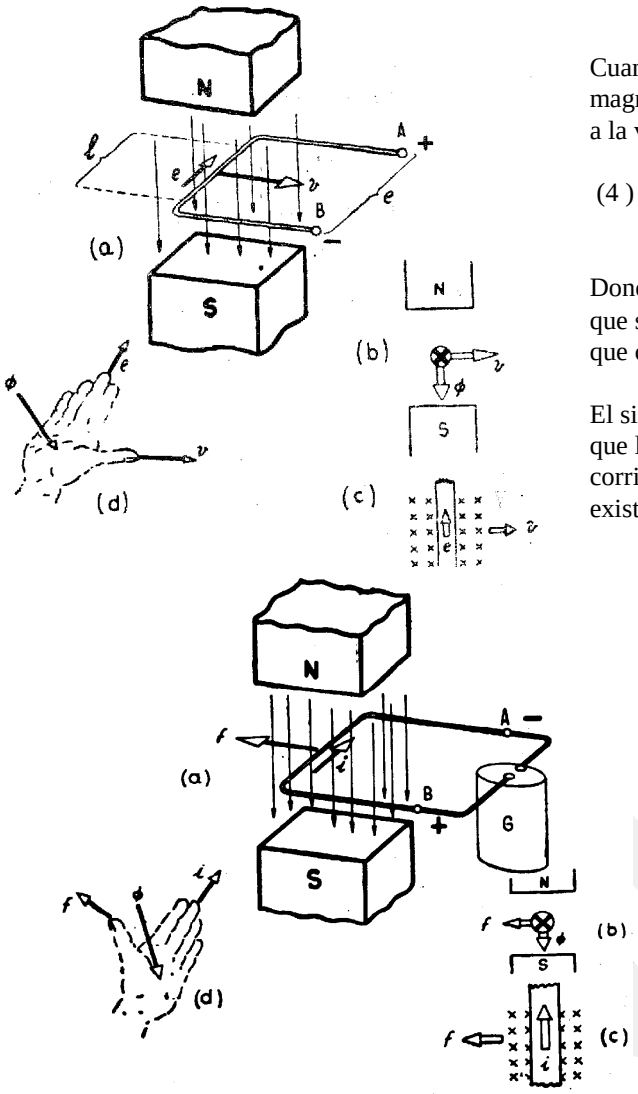
$$B = \mu.\mu_0 \frac{N.I}{l} \quad (2')$$

Además, al valor $H = \frac{N.I}{l}$ (3) se le llama intensidad de campo en [A.vuelta/m].



En una bobina común, se cumple con bastante aproximación la ecuación (3) en el interior, tomando (l) igual al largo de la bobina.

Aplicación de las leyes de Faraday-Lenz y Biot Savart-Laplace



Cuando se somete un circuito eléctrico a la acción de un campo magnético, que varía, se induce sobre él una FEM proporcional a la variación de flujo, según la ley de Faraday.

$$e = -N\frac{d\phi}{dt} \qquad (4)$$

Donde e es la FEM inducida [V], N es la cantidad de espiras que son atravesadas por el flujo mg y $d\phi/dt$ es la velocidad con que cambia el flujo.

El signo (-) en (4) significa físicamente "se opone a la causa que la genera", es decir que si el circuito se cierra circula una corriente por la espira que genera un campo opuesto al existente.

Si bien en el ejemplo la espira se mueve mientras el campo mg es fijo, la ley de Faraday no se limita a este caso, sino que en general se refiere a variaciones de campo magnético a los que está sometida la bobina, por ejemplo en una bobina fija y un campo mg variable en el tiempo.

La ley elemental de Biot-Savart y Laplace se refiere a la fuerza a que se ve sometido un trozo dl de conductor, recorrido por una corriente I , colocado en un campo de densidad B.

$$df = B.I.dl \qquad (5)$$

INDUCTANCIA

La relación entre la variación del flujo magnético que atraviesa una bobina y la variación de la corriente que circula por ella (y que origina dicha variación de flujo), se denomina coeficiente de autoinducción o inductancia. La unidad de coeficiente de autoinducción es el henry, que corresponde a la inductancia de una bobina sobre la que aparece una FEM de 1 V cuando la intensidad de corriente que la recorre sufre una variación de 1 A en 1 s.

$$L = N\frac{d\phi}{dI} \quad [H] = [Wb]/[A] \qquad (6)$$

La (6) también puede escribirse $L = N\dfrac{d\phi/dt}{dI/dt} = \dfrac{e}{dI/dt}$ y por lo tanto: $e = L\dfrac{dI}{dt}$ [V] (7)

EJEMPLO 1: Calcular la FEM de autoinducción que se origina al cortar en 1/50 s la corriente de 10 A, que circula por una bobina cuya inductancia es de 2 H.
de (7) se obtiene: e = 2 H . 10 A x 50.1/s = 1.000 V

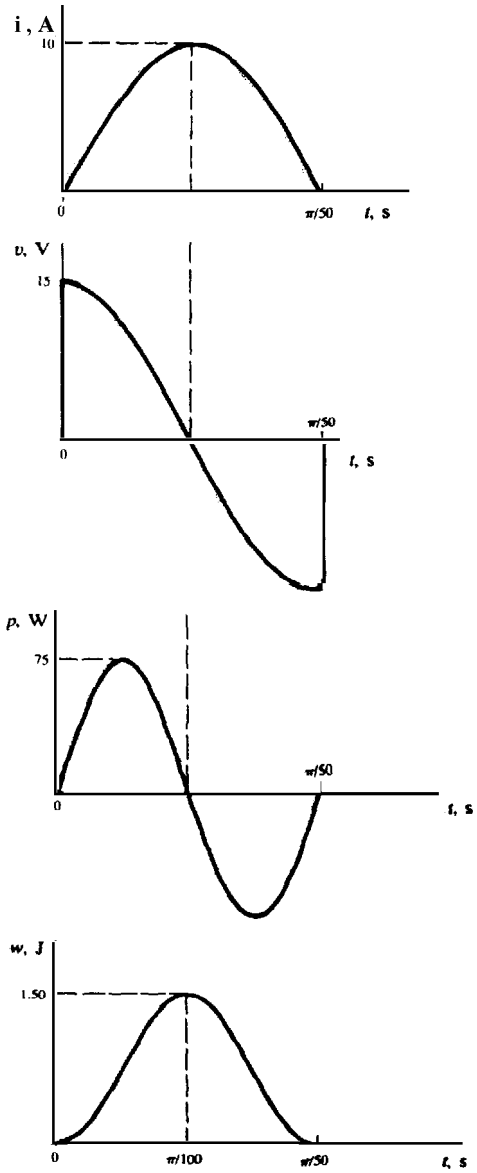
Es necesario enfatizar que esta FEM aparece debido a la variación de la corriente que circula a través de la inductancia, y vale 0 cuando la corriente que la atraviesa es constante.

EJEMPLO 2: (de Circuitos Eléctricos de J.A.Edminister). A través de una inductancia de 30 mH, circula una corriente: i = 10 Sen 50.t [A], en el intervalo $0 \le t \le \pi/50$ y para cualquier otro t, i = 0.

Calcular la tensión inducida, la potencia y la energía para la inductancia.

$$v_L = L.\frac{di}{dt} = 30mH.10.Cos(50.t).50 \ [V] = 15.Cos(50.t) \ [V] \qquad P = v_L.i = 75.Sen(100.t) \ [W]$$

$$W = \int_0^t P.dt + W(0) = \left|-0{,}75.Cos(100.t)\right|_0^t = 0{,}75\ .\ (1 - Cos(100.t)\ [J]$$



Se verifica en los gráficos un defasaje entre la corriente que circula y la tensión inducida de $\pi/2$.

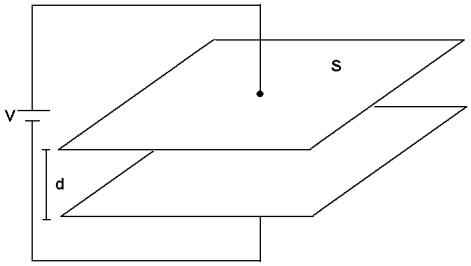
Puede verse además que en el intervalo desde 0 hasta $\pi/100$ la potencia positiva indica que se consume energía de la fuente, y se almacena en el campo magnético creado por la bobina, mientras que desde $\pi/100$ hasta $\pi/50$ la potencia negativa indica que se devuelve energía a la fuente, en el intervalo completo el consumo total de energía es 0.

De la expresión (7) puede deducirse que si se aplica a un inductor un escalón de tensión, la corriente subirá linealmente, es decir que el inductor se opone a variaciones bruscas de corriente. Se explica de esta forma, por qué en el ejemplo 1 aparece una sobretensión de 1000V debido a que el inductor trata de mantener circulando la corriente de 10 A al abrirse el circuito.

$$i_L = \int \frac{v_L}{L}.dt + i(0) \quad (8)$$

CAPACITORES

Físicamente un capacitor de placas planas y paralelas tiene la siguiente estructura:



S es el área de las placas y d es la distancia que las separa.
El valor de capacidad puede expresarse como:

$C = \varepsilon_0 . \varepsilon_r . \frac{S}{d}$ [F] donde S se mide en m^2, d en m, la constante de proporcionalidad $\varepsilon_0 = 8{,}85 .10^{-12}$ F/m es la permitividad del vacío (aproximadamente la del aire), y ε_r mide la permitividad relativa del medio cuando este no es vacío.

Como se vio anteriormente, se define C como la relación entre la carga almacenada en las placas y la ddp entre ellas (en este caso el campo eléctrico se ve casi totalmente confinado al espacio entre placas).

$$C = \frac{Q}{V} \quad \frac{[C]}{[V]} = [F] \qquad (9)$$

La unidad de capacidad Faradio [F] se definió como la capacidad correspondiente a un conductor que con una carga de 1 C soporta una ddp de 1 V.
Cuando el capacitor está sometido a ddp variables en el tiempo, la expresión (9) se convierte en:

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta V} \quad \frac{[C]}{[V]} = [F] \qquad (10)$$

El capacitor almacena energía en el campo eléctrico, (a diferencia del inductor que la almacena en el campo mg).
La ddp en el capacitor a partir de (10), puede obtenerse como:

$$v_C = \frac{1}{C} . \int dQ = \frac{1}{C} . \int i . dt = \qquad (11)$$

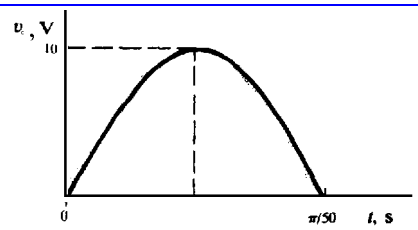
Por lo tanto, la ddp en el capacitor debe ser una función continua en el tiempo, y v_C no puede cambiar en forma instantánea de un valor a otro.
Debido a esto el capacitor se opone a las variaciones de tensión (así como el inductor se opone a las variaciones de corriente).
Siempre que se tengan dos conductores cuyas areas (o parte de ellas), se encuentren enfrentadas y posean tensiones distintas se tendrá un efecto capacitivo.

EJEMPLO 3: A través de una capacidad de 10 mF, se aplica una ddp: vc = 10 Sen 50.t [V], en el intervalo $0 \le t \le \pi/50$ y para cualquier otro t, i = 0.

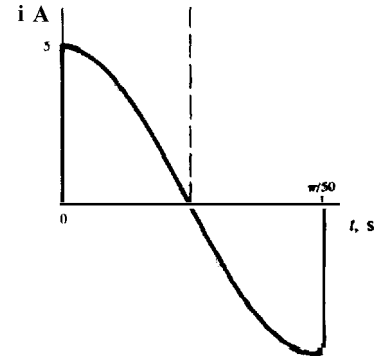
Calcular la tensión inducida, la potencia y la energía para la capacidad.

$$v_C = C . \frac{dv}{dt} = 10mF . 10 . Cos(50.t) . 50 \ [V] = 5 . Cos(50.t) \ [A] \qquad P = v_L . i = 25 . Sen(100.t) \ [W]$$

$$W = \int_0^t P . dt + W(0) = \left| -0{,}25 . Cos(100.t) \right|_0^t = 0{,}25 . (1 - Cos(100.t)) \ [J]$$

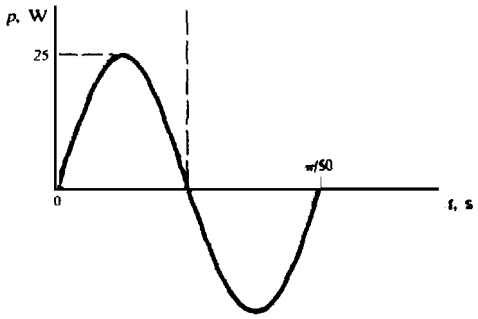


Se verifica en los gráficos un defasaje entre la corriente que circula y la tensión aplicada de π/2.

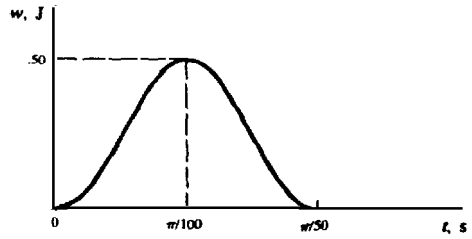


Puede verse además que en el intervalo desde 0 hasta π/100 la potencia positiva indica que se consume energía de la fuente, y se almacena en el campo eléctrico creado por el capacitor, mientras que desde π/100 hasta π/50 la potencia negativa indica que se devuelve energía a la fuente, por supuesto, en el intervalo completo el consumo total de energía es 0.

De la expresión (11) puede deducirse que si se aplica a un capacitor un escalón de corriente, la ddp subirá linealmente, como ya se dijo el capacitor se opone a variaciones bruscas de tensión.

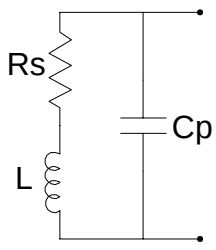


Son claras las analogías en el comportamiento de inductores y capacitores, respecto de tensiones y corrientes y almacenamiento de energía en el campo magnético o en el campo eléctrico y serán de aplicación en la resolución de circuitos.



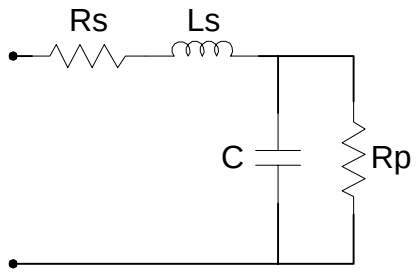
MODELOS REALES DE LOS ELEMENTOS PASIVOS

Inductores : El parámetro principal, es sin duda la inductancia (L).



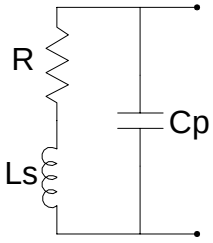
El conductor que forma las espiras tiene resistencia por lo tanto hay disipación de calor y aparece Rs como un parámetro residual (en serie con el inductor).
Existen áreas enfrentadas entre las espiras y están sometidas a distintas tensiones, por lo tanto aparece una capacidad total, producto de la contribución de las capacidades entre espiras (en paralelo con el inductor).

Capacitores: El parámetro principal es la capacidad (C)



En el capacitor de placas planas y paralelas, el medio entre las placas (dieléctrico), no es un aislante perfecto, por lo tanto algunas cargas circulan en el espacio entre placas, estableciéndose una corriente a través del medio y una disipación de energía representada por Rp (de alto valor) en paralelo, puesto que dicha corriente es función de la ddp aplicada.
Por otra parte los terminales de conexión tienen resistencia e inductancia residual (Rs y Ls),

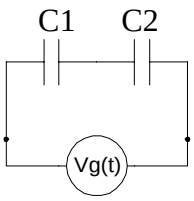
Resistores: El parámetro principal es la resistencia (R).



Los resistores, en su mayoría, se construyen sobre una forma cilíndrica o plana con el material resistivo arrollado en forma de helicoide sobre ella (similar a la construcción de un inductor); por lo tanto aparecerá una inductancia parásita (Ls), en serie con R y una capacidad parásita entre espiras
cuyo efecto total se toma en cuenta agregando Cp en paralelo.

ASOCIACION EN SERIE DE INDUCTORES O CAPACITORES

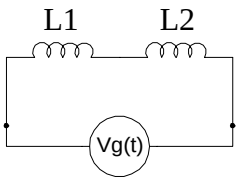
Como la corriente que atraviesa los elementos es la misma, se deduce:



Capacitores en serie: a partir de (11) puede escribirse:

$$Vg(t) = \frac{1}{C_1}.\int i.dt + \frac{1}{C_2}\int idt = \frac{1}{C_{serie}}.\int idt \quad \text{por lo tanto:}$$

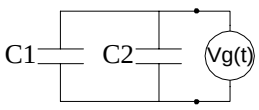
$$\boxed{\frac{1}{C_{serie}} = \sum \frac{1}{C_i}} \quad (12)$$ (idéntica a la expresión para resistores en paralelo).



Inductores en serie: A partir de(7) $V_g = L_1.\frac{di}{dt} + L_2.\frac{di}{dt} = L_{serie}.\frac{di}{dt}$

$$\boxed{L_{serie} = \sum L_i} \quad (13)$$ (idéntica al caso de resistores en serie)

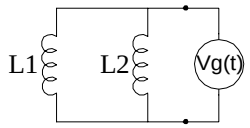
ASOCIACION EN PARALELO DE INDUCTORES Y CAPACITORES.



Capacitores en paralelo: $C_{paralelo}.\frac{dV_g}{dt} = C_1.\frac{dV_g}{dt} + C2.\frac{dV_g}{dt}$

$$\boxed{C_{paralelo} = \sum C_i} \quad (14)$$

Expresión similar al caso de resistores en serie.

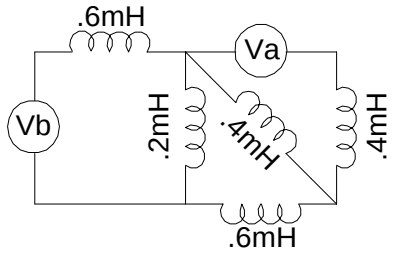


Inductores en paralelo: $\frac{1}{L_{paralelo}}.\frac{dV_g}{dt} = \frac{1}{L_1}.\frac{dV_g}{dt} + \frac{1}{L_2}.\frac{dV_g}{dt}$

$$\boxed{\frac{1}{L_{paralelo}} = \sum \frac{1}{L_i}}$$ (15) (Igual que para resistores en paralelo)

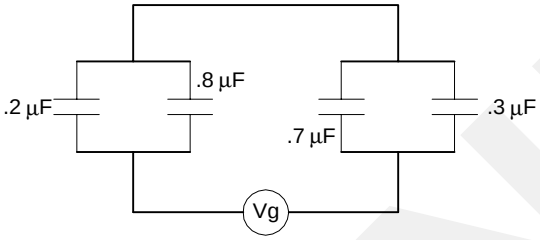
Para fijar conocimientos se resolverán los siguientes problemas:

Problema 1



Para el circuito de la figura encontrar la inductancia equivalente vista desde cada fuente.

Problema 2



a) Encontrar la capacidad equivalente vista desde V_g

b) Encontrar el valor de la carga en cada capacitor si Vg = 10 V

Problema 3

Se conectan en paralelo tres inductores L1= .5H , L2 = .8 H , L3 = ?

a) Encontrar L si la inductancia equivalente es 75.5 mH

b) Encontrar el máximo de Leq, si L es ajustable.

Problema 4

a) Reemplazar en el problema 1 los inductores por capacitores del mismo valor en mF y encontrar el valor de Ceq vista desde cada generador.

b) Encontrar la corriente que suministra el generador si Vg = 100 Sen(2000t)

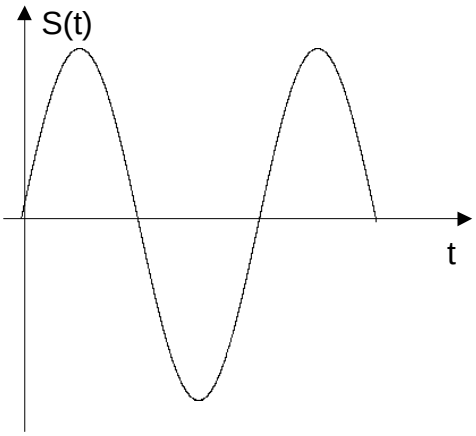
ANALISIS DE SEÑALES.

Clasificación de las señales según su comportamiento en tiempo:

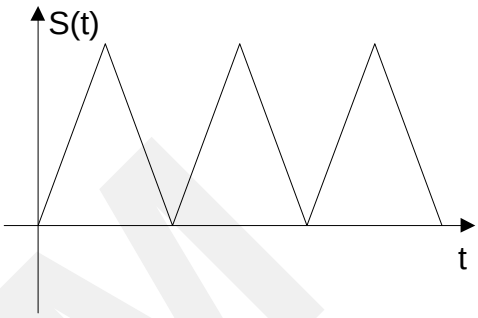
a) Señales continuas o constantes: Su amplitud se mantiene invariable en el tiempo.

b) Señales variables: Su amplitud varía en el tiempo. Se dividen en:

b.1) Periódicas. Repiten constantemente (desde -∞ a +∞),una secuencia de valores determinada. Pueden ser Alternas (o de valor medio nulo), o bien de valor medio no nulo.

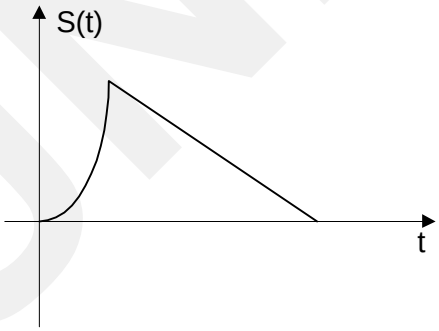


Señal Alterna (Valor medio nulo)

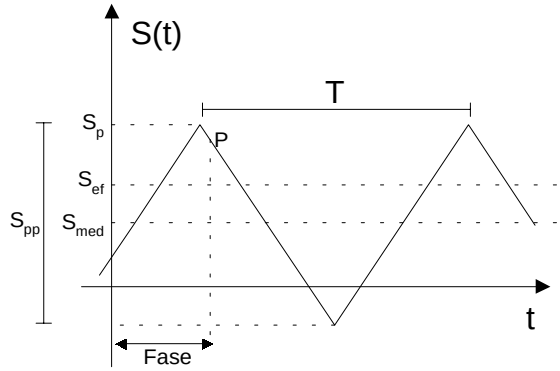


Valor medio no nulo

b-2) Aperiódicas. En estas no se repite secuencia alguna de valores entre -∞ y +∞



SEÑALES PERIÓDICAS. DEFINICIONES Y PARÁMETROS FUNDAMENTALES



Período: Es el lapso durante el cual la señal periódica recorre un paquete completo de valores (sin que interese el instante inicial). El paquete de valores contenido en un período se denomina ciclo de la señal.

Frecuencia: Es la cantidad de ciclos de la señal que ocurren en la unidad de tiempo:

$$f = \frac{N° \text{ de ciclos}}{\text{Tiempo transcurrido}} = \left[\frac{c}{s}\right] = \text{hertz} = [\text{Hz}] \quad (16)$$

En particular si el tiempo transcurrido es T (1 período), la cantidad de ciclos es 1, por lo tanto:

$$f = \frac{1}{T}[\text{Hz}] \quad (17)$$

Fase: Es la abscisa para un punto dado de la señal (en el ejemplo se graficó la fase del punto P).
Normalmente la fase se expresa en unidades de ángulo como se verá posteriormente.

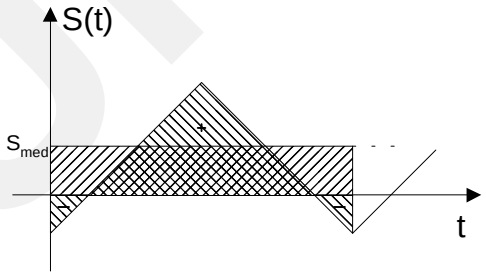
VALORES CARACTERÍSTICOS DE LAS SEÑALES

Valor instantáneo: Es la ordenada de un punto dado (por ejemplo el valor de la ordenada del punto P). Se designa con s(t), o bien v(t), i(t), según corresponda.

Valor medio: Es el valor equivalente de continua, que en un período trasportaría la misma carga neta que la señal en estudio. Se designa como Sme, Vme, Ime, etc.
Matemáticamente el valor medio de una señal se determina como sigue:

$$S_{me} = \frac{1}{T}\int_0^T s(t).dt \quad (18)$$

Se interpreta esta expresión como el área neta encerrada por la señal en un período dividido por el valor de dicho período.



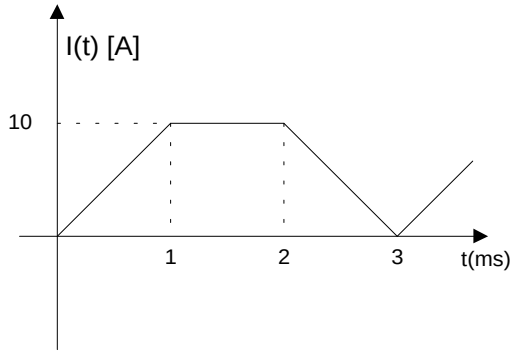
Valor máximo: Es el valor máximo positivo de la señal. También se denomina valor de cresta o valor de pico, y se simboliza S_p, V_p, I_p, según corresponda.

Valor pico a pico: Es el intervalo entre el máximo y el mínimo absolutos de la señal. Se simboliza como S_{pp}, V_{pp}, I_{pp} .

Valor eficaz: Es el valor equivalente de continua que disiparía sobre un dado resistor la misma energía que disipa la señal en estudio durante un período.
Matemáticamente su valor se calcula de la siguiente manera:

$$S_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T s^2(t).dt} \quad (19)$$

Resulta de integrar el cuadrado de la señal durante un período, dividirla por el valor del período y extraer la raíz cuadrada del resultado.

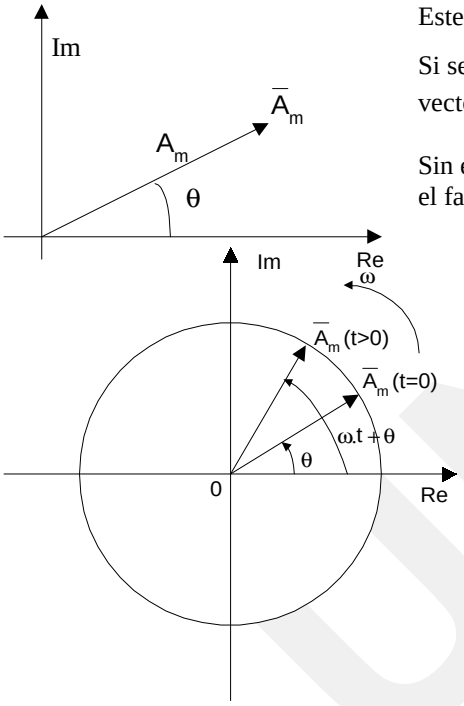


Como aplicación se realizará el siguiente problema: Calcular I_{me}, I_{ef}, I_p y I_{pp} para la siguiente forma de onda de corriente suponiendo que es periódica con T = 3ms

FASORES ARMÓNICOS Y EFICACES ASOCIADOS A LAS SEÑALES SENOIDALES

Para comenzar se supondrán conocidos los conceptos fundamentales asociados a números complejos.

Como se sabe, la expresión: $\bar{A}_m = A_m . e^{j.\theta}$ admite la representación mediante un vector de modulo A_m que forma un ángulo θ con el eje real como se ve en la siguiente figura:



Este vector recibe el nombre de fasor.

Si se efectúa $\dot{A}_m = \bar{A}_m . e^{j.w.t} = A_m . e^{j.\theta} . e^{j.w.t}$ puede interpretarse como un vector de módulo A_m que forma un ángulo (w.t+θ) con el eje real.

Sin embargo, en este caso el ángulo es dependiente del tiempo, si w es constante el fasor gira con velocidad angular w en radianes /s en sentido antihorario.

Esto quiere decir que el operador $e^{j.w.t}$ arrastra el fasor $\bar{A}_m$ haciendo que gire con velocidad angular w.

El símbolo $\dot{A}_m$ significa fasor giratorio

Cuando w.t = 2.p , el fasor giratorio vuelve a pasar por su posición inicial, luego de recorrer una revolución completa.

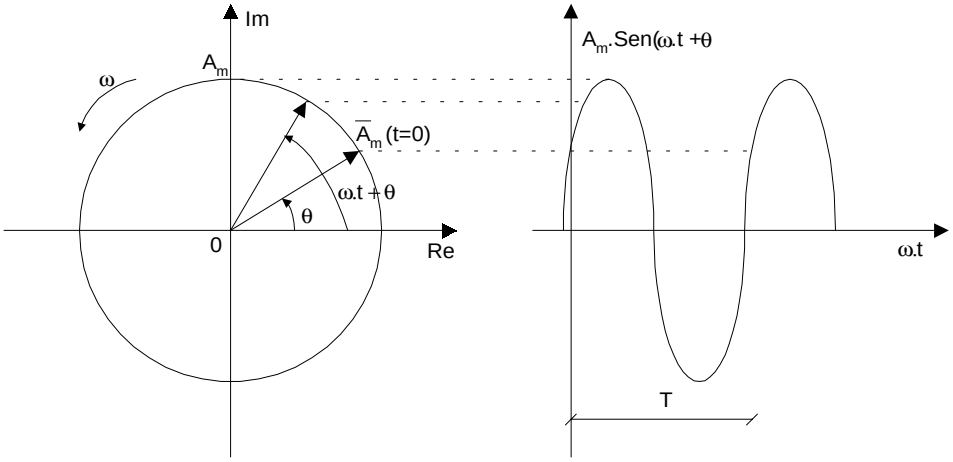
Para este caso, t = 2.p/ w = T

A los fasores giratorios pueden asociarse funciones senoidales y cosenoidales recordando la relación entre la notación exponencial de un complejo y la notación trigonométrica.

$$A_m . e^{j.(\theta+\omega.t)} = A_m . Cos(\omega.t+\theta) + j.A_m . Sen(\omega.t+\theta) \quad (20)$$

Por lo tanto:

$$A_m . Cos(\omega.t+\theta) = Re[A_m . e^{j.\omega.t}] \qquad A_m . Sen(\omega.t+\theta) = Im[A_m . e^{j.\omega.t}] \quad (21)$$



Gráficamente, la proyección del fasor giratorio sobre el eje real muestra en todo instante el valor del coseno asociado, mientras que la proyección sobre el eje imaginario proporciona el valor del seno asociado.

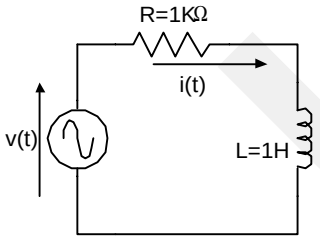
Esta asociación es de gran ayuda en el cálculo de la respuesta de circuitos a señales senoidales como se verá mas adelante.

REGIMEN PERMANENTE DE CIRCUITOS EXCITADOS POR SEÑALES SENOIDALES

En primer lugar se calcularán los valores eficaces, medio y pico asociados con una señal senoidal.
$S(t) = Vp.Sen(\omega.t + \theta)$ Por comodidad se tomará θ = 0 para los cálculos.

$$S_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T s^2(t).dt} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T Vp^2.Sen^2(\omega.t).dt} = \frac{Vp}{\sqrt{2}} \quad (21) \qquad Smed = 0 \qquad Sp = Vp$$

Se calculará la corriente que circula en el siguiente circuito:



$$v(t) = 70.Sen(1000t + \frac{\pi}{2}) \ [V]$$

De acuerdo a lo visto anteriormente de la ley de Ohm y (7), puede escribirse:

$v(t) = R.i(t) + L.\frac{di(t)}{dt}$ (22) La solución de esta ecuación puede facilitarse expresando fasorialmente las variables y además recordando que:

$$\frac{d(e^{j.\omega.t})}{dt} = j.\omega.e^{j.\omega.t} \qquad \int e^{j.\omega.t}.dt = \frac{1}{j.\omega}.e^{j.\omega.t} \quad (23)$$

De esta manera la ecuación fasorial queda:

$$\bar{V} = R.\bar{I} + j.\omega.L.\bar{I} \quad \text{y por lo tanto} \quad \bar{I} = \frac{\bar{V}}{R + j.\omega.L} = \frac{\bar{V}}{\bar{Z}}$$

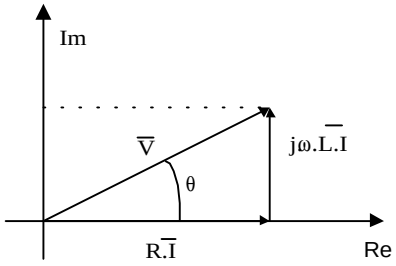
La relación $\frac{\bar{V}}{\bar{I}}$ recibe el nombre de <u>impedancia compleja de excitación</u> $\bar{Z}$

Expresada en forma fasorial $\bar{Z} = \sqrt{(R^2 + \omega^2 L^2)}.e^{j\arg.tg(\frac{\omega.L}{R})}$

Para el ejemplo $\bar{Z} = 10^3 . \sqrt{2} . e^{j.\frac{\pi}{4}}$ [Ω]

Finalmente $\bar{I} = \frac{70.e^{j\frac{\pi}{2}}[V]}{\sqrt{2}.10^3 . e^{j\frac{\pi}{4}}[\Omega]} = 50 \ . \ 10^{-3} e^{j\frac{\pi}{4}}[A]$

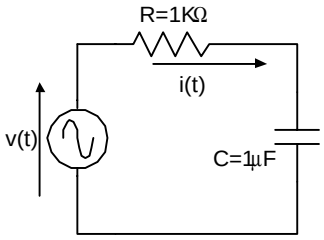
La representación gráfica de esta ecuación mediante fasores es como sigue:



La expresión completa de i(t) en base a lo anterior es:

$i(t) = 50.10^{-3} . \text{Sen}(1000.t + \frac{\pi}{4})$ [A]

Se calculará ahora la relación tensión corriente para el circuito RC de la figura:



$v(t) = 70.\text{Sen}(1000t + \frac{\pi}{2})$ [V]

De acuerdo a (11), puede escribirse:

$v(t) = R.i(t) + \frac{1}{C}.\int i(t).dt$ (24)

En este caso la ecuación fasorial queda:

$$\bar{V} = R.\bar{I} - j.\frac{1}{\omega.C}.\bar{I} \quad \text{y por lo tanto} \quad \bar{I} = \frac{\bar{V}}{R - j.\frac{1}{\omega.C}} = \frac{\bar{V}}{\bar{Z}}$$

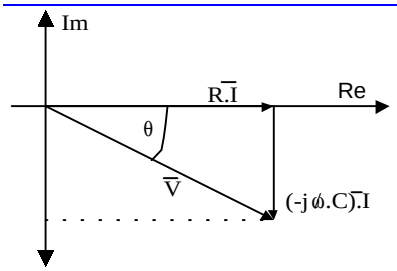
<u>La impedancia compleja de excitación</u> $\bar{Z}$ expresada en forma fasorial

$$\bar{Z} = \sqrt{(R^2 + \frac{1}{\omega^2.C^2})}.e^{-j\arg.tg(\frac{1}{\omega.C.R})}$$

Para el ejemplo $\bar{Z} = 10^3 . \sqrt{2} . e^{-j.\frac{\pi}{4}}$ [Ω]

Finalmente $\bar{I} = \frac{70.e^{j\frac{\pi}{2}}[V]}{\sqrt{2}.10^3 . e^{-j\frac{\pi}{4}}[\Omega]} = 50 \ . \ 10^{-3} e^{j\frac{3.\pi}{4}}[A]$

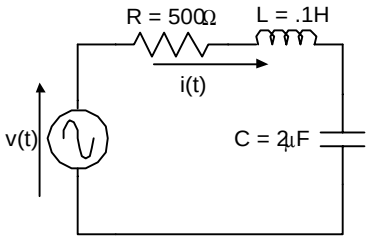
La representación gráfica de esta ecuación mediante fasores es como sigue:



y la expresión de i(t):

$$i(t) = 50.10^{-3}.\ Sen(1000.t + \frac{3.\pi}{4})\ [A]$$

CIRCUITO SERIE RLC



Para el ejemplo la excitación es: $v(t) = 10.Sen(2000.\pi.t + \frac{\pi}{6})$

$$v(t) = R.i(t) + L.\frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{C}.\int i(t).dt \quad (25)$$

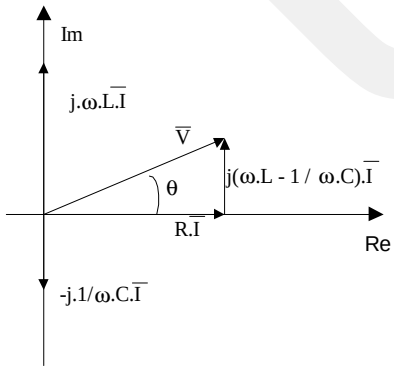
La ecuación fasorial para este caso es:

$$\bar{V} = R.\bar{I} + j.\omega.L.\bar{I} - j.\frac{1}{\omega.C}.\bar{I} \qquad \text{y por lo tanto} \qquad \bar{I} = \frac{\bar{V}}{R + j.\omega.L - j.\frac{1}{\omega.C}} = \frac{\bar{V}}{\bar{Z}}$$

$$\bar{Z} = \sqrt{R^2 + (\omega.L - \frac{1}{\omega.C})^2}.e^{j\arg.tg\left[\frac{\omega.L - \frac{1}{\omega.C}}{R}\right]}\ [\Omega]$$

En el ejemplo: $\bar{Z} = 742.37.e^{j0.83}\ [\Omega]$ (ángulo de 47.66° sexagesimales)

$\bar{I} \cong 13.47.10^{-3}.e^{-j0.1.\pi}\ [A]$ (El ángulo se toma desde V en sentido horario por ser negativo)



El término $\omega.L$ en la ecuación de $\bar{Z}$ se denomina <u>reactancia inductiva</u> y se simboliza $\boxed{XL}$

Al término $\frac{1}{\omega.C}$ se lo denomina <u>reactancia capacitiva</u> y se simboliza $\boxed{XC}$

De esta forma puede expresarse

$$\bar{Z} = \sqrt{(R^2 + (XL - XC)^2}.e^{j\arg.tg\left[\frac{XL - XC}{R}\right]}\ [\Omega] \quad (26)$$

$$\bar{V} = R.\bar{I} + j.XL.\bar{I} - j.XC.\bar{I} \qquad \text{y por lo tanto} \qquad \bar{I} = \frac{\bar{V}}{R + j.XL - j.XC} = \frac{\bar{V}}{\bar{Z}}$$