

CIRCUITOS SIMPLES EN RÉGIMEN ESTACIONARIO SENOIDAL

1.- Introducción

1.1.- Formas de onda senoidales

La función senoidal: $f(t) = E_0 \text{ sen } (\omega t + \varphi)$ es una función periódica.

donde: E_0 = Amplitud
 ω = Pulsación
 $(\omega t + \varphi)$ = Angulo de fase
 φ = Angulo de fase inicial

El periodo T satisface la relación:

$$\omega T = 2\pi, \quad \text{luego: } T = 2\pi / \omega \Rightarrow \omega = 2\pi / T = 2\pi f$$

El estado o valor de esta función queda definido por el argumento $(\omega t + \varphi)$. Por este motivo se acostumbra a expresar la fase o la diferencia de fase de fases por medio de valores angulares, en lugar de hacerlo mediante valores de t. Es fácil pasar de valores angulares a valores de tiempo, puesto que el periodo T corresponde a 2π radianes.

Para abreviar, el ángulo de fase se suele denominar simplemente fase.

1.2.- Razones para la utilización de la corriente alterna senoidal

Razones teóricas:

- Si una red eléctrica, constituida por elementos lineales, se excita mediante una fuente de tensión o de intensidad senoidal, las tensiones o intensidades que se originan en todas las partes de la red, pasado un corto periodo transitorio, son también senoidales. Estas funciones se diferencian entre sí y de la función de excitación, a lo sumo en sus amplitudes y fases, pero tienen todas la misma frecuencia.
- Si se suman dos o más funciones senoidales, de la misma frecuencia, pero de amplitudes y fases arbitrarias, la función resultante es una senoide de la misma frecuencia.
- La onda senoidal es la única que conserva su forma al derivarla o integrarla, cualquiera que sea el número de veces que se repita una u otra operación. En realidad de esta y de la anterior propiedad se deduce la primera.
- El estudio de circuitos en corriente alterna senoidal adquiere generalidad con la posibilidad que tienen las funciones periódicas de ser desarrolladas en series de Fourier. Es más, cualquier función del tiempo puede expresarse mediante una suma de funciones senoidales, a través del desarrollo en series de Fourier, sin más que considerar el periodo de la función tan grande como se quiera.

Razones prácticas:

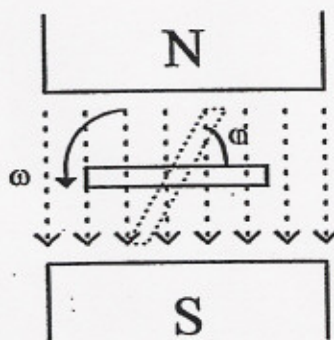
- Generación. Facilidad de generación de una tensión alterna senoidal mediante un alternador. Es posible construir grandes generadores de corriente alterna, de modo que su coste de construcción y sus gastos de explotación por Kw resulten reducidos.

- Transformación. En corriente continua no existen transformadores, sin embargo la corriente alterna es muy fácil de transformar con rendimientos muy altos. Con ello, es posible el transporte económico de energía eléctrica como corriente alterna a grandes distancias, valiéndose de altas tensiones de transporte.

Los elevados rendimientos de transporte que pueden alcanzarse con corriente alterna, hace que sea económico producir energía eléctrica en grandes cantidades en una única central para distribuirla luego sobre un extenso territorio.

1.3.- Generación de una tensión senoidal

Supongamos un campo magnético uniforme en el que gira una bobina de N espiras a una velocidad angular constante ω rad/seg. Sea T el periodo y $f = 1/T$ la frecuencia.



Tomando como origen la posición en la que se encuentra la espira de trazo continuo y como sentido positivo el de rotación de la espira, el ángulo de giro α , en función del tiempo es:

$$\phi = 2\pi t/T = 2\pi f t = \omega t \text{ (radianes)}$$

$$\omega = 2\pi f \text{ (pulsación o frecuencia angular)}$$

Si el origen de tiempos coincide con el de ángulos, la expresión del flujo que atraviesa la espira en un instante t , es:

$$\phi = \mathbf{B} \cdot \mathbf{S} \quad \text{donde:} \quad \begin{array}{l} \mathbf{B} \text{ vector inducción magnética} \\ \mathbf{S} \text{ vector superficie de la espira} \end{array}$$

$$\phi = \phi_0 \cos \omega t$$

siendo ϕ_0 el flujo máximo abarcado por la espira. Si se tiene en cuenta t a partir del momento en que la espira pasa por ϕ , entonces el flujo vendrá expresado por:

$$\phi = \phi_0 \cos (\omega t + \phi) \text{ que es la forma más general de una función senoidal.}$$

La fuerza electromotriz inducida en la bobina, debido a la variación del flujo, será:

$$e = -N d\phi/dt = N \omega \phi_0 \sin (\omega t + \phi) = E_0 \sin (\omega t + \phi)$$

La fuerza electromotriz inducida en la bobina queda representada por una senoide. siendo:

$$N \omega \phi_0 = E_0$$

El dispositivo dibujado en la figura, constituye un alternador elemental.

1.4.- Valores asociados a las formas de onda senoidales

Para las formas de onda senoidales, podemos definir los siguientes términos:

Valor de cresta.- Es el mayor valor de la función. Coincide con la amplitud.

$$A_c = E_0$$

Valor de cresta a cresta.- Es la diferencia algebraica entre el valor máximo y el mínimo. Es el doble de la amplitud.

$$A_{c+} - A_{c-} = 2 E_0$$

Valor medio.- Es el promedio integral en un periodo, es decir, el valor medio de un ciclo. Su expresión es:

$$A_m = 1/T \int_0^T f(t) dt$$

En funciones senoidales se considera el valor medio en un semiciclo, ya que el valor medio en un periodo es cero. Se tiene, pues:

$$A_m = 2E_0/T \int_0^{T/2} \sin \omega t dt = 2E_0/T [-\cos \omega t/\omega]_0^{T/2} = 2/\pi E_0 = 0,6366 E_0 = 0,6366 A_c$$

Valor eficaz.- Es la raíz cuadrada del valor medio del cuadrado de la función en un periodo.

$$A = \sqrt{(1/T \int_0^T f^2(t) dt)}$$

En funciones senoidales:

$$A^2 = E_0^2/T \int_0^T \sin^2 \omega t dt = E_0^2/T [t/2 - \sin 2t/4\omega]_0^T = E_0^2/2$$

$$A = E_0/\sqrt{2} = 0,707 A_c$$

Factor de cresta.- En las ondas senoidales se le suele llamar también factor de amplitud.

$$A_c/A = \sqrt{2}$$

Factor de forma.- Es la relación entre el valor eficaz y el valor medio.

$$A/A_m = \pi/2\sqrt{2}$$

Podemos deducir el valor eficaz de la fuerza electromotriz generada por un alternador elemental:

$$E = E_0/\sqrt{2} = (N \omega \phi_0)/\sqrt{2}$$

Teniendo en cuenta que:

$$\omega = 2 \pi f$$

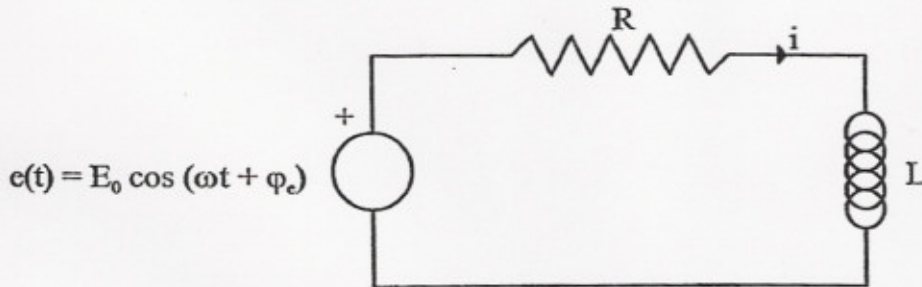
El valor eficaz de la fuerza electromotriz inducida es:

$$E = \sqrt{2} \pi f N \phi_0 \cong 4,44 f N \phi_0$$

Expresión muy utilizada en Electrotecnia.

2.- Determinación del régimen estacionario senoidal por el método de los coeficientes indeterminados

Para el circuito de la figura:



La ecuación diferencial representativa, es:
donde:

$$(LD + R)i = E_0 \cos(\omega t + \varphi_e)$$

D es el operador diferencial

Ensayamos una solución del tipo:

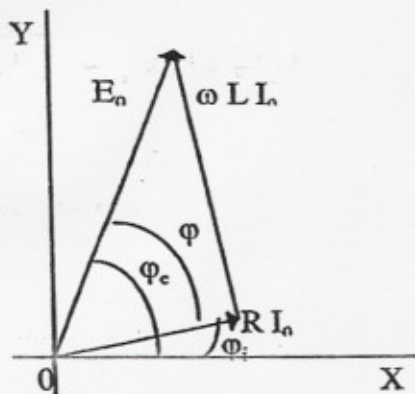
$$i = I_0 \cos(\omega t + \varphi_i)$$

$$E_0 \cos(\omega t + \varphi_e) = -\omega L I_0 \sin(\omega t + \varphi_i) + R I_0 \cos(\omega t + \varphi_i)$$

ecuación que se ha de verificar para cualquier valor de t.

- Para $\omega t = 0 \rightarrow E_0 \cos \varphi_e = R I_0 \cos \varphi_i - \omega L I_0 \sin \varphi_i$
- Para $\omega t = \pi/2 \rightarrow E_0 \sin \varphi_e = R I_0 \sin \varphi_i + \omega L I_0 \cos \varphi_i$

Estas dos ecuaciones constituyen un sistema que nos permite calcular I_0 y φ_i , que determinan el valor de i. Son las ecuaciones de proyección sobre el eje 0X y sobre el eje 0Y de la relación vectorial que se muestra en la figura.



De la figura deducimos:

$$E_0 = \sqrt{(R^2 I_0^2 + \omega^2 L^2 I_0^2)} = I_0 \sqrt{(R^2 + \omega^2 L^2)}$$

$$I_0 = \frac{E_0}{\sqrt{(R^2 + \omega^2 L^2)}}$$

$$\varphi_i = \varphi_e - \arctan \frac{\omega L}{R}$$

La solución estacionaria es:

$$i(t) = \frac{E_0}{\sqrt{(R^2 + \omega^2 L^2)}} \cos(\omega t + \varphi_e - \varphi_i), \quad \text{siendo:} \quad \varphi = \arctan \frac{\omega L}{R}$$

La expresión $\sqrt{(R^2 + \omega^2 L^2)}$ la denominamos impedancia.

Este método presenta dificultades para determinar la solución en un circuito más complicado.

3.- Representación por números complejos

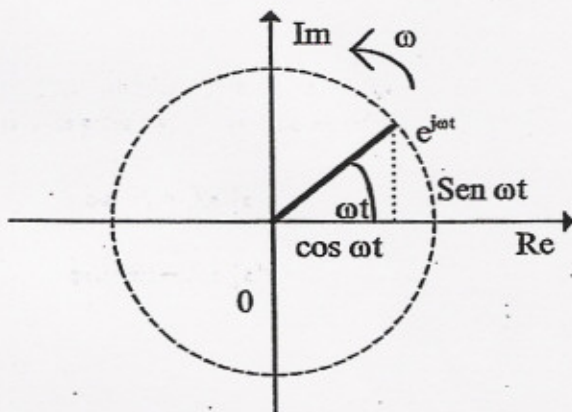
Esta representación está basada en la fórmula de Euler.

$$e^{j\omega t} = \cos \omega t + j \sin \omega t \quad (*)$$

$$e^{-j\omega t} = \cos \omega t - j \sin \omega t$$

siendo: $\cos \omega t = \frac{e^{j\omega t} + e^{-j\omega t}}{2}; \quad \sin \omega t = \frac{e^{j\omega t} - e^{-j\omega t}}{2j}$

La ecuación (*) representa en el plano complejo un vector unitario que gira en el sentido directo, con velocidad ω rad/s y que genera la onda $\cos \omega t$ por su proyección sobre el eje real, y la onda $\sin \omega t$ por su proyección sobre el eje imaginario.



Designando por Re a la parte real y por Im a la imaginaria, podemos escribir:

$$\cos \omega t = \operatorname{Re} [e^{j\omega t}]$$

$$\sin \omega t = \operatorname{Im} [e^{j\omega t}]$$

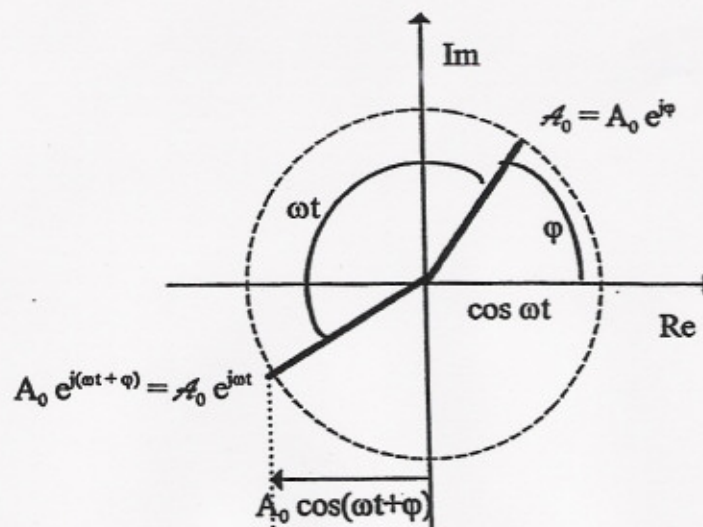
Para una función senoidal general podemos poner:

$$f(t) = \cos(\omega t + \varphi) = \operatorname{Re} [A_0 e^{j(\omega t + \varphi)}] = \operatorname{Re} [(A_0 e^{j\varphi}) e^{j\omega t}]$$

$$f(t) = \sin(\omega t + \varphi) = \operatorname{Im} [A_0 e^{j(\omega t + \varphi)}] = \operatorname{Im} [(A_0 e^{j\varphi}) e^{j\omega t}]$$

4.- Representación fasorial

Hemos visto que se pueden tomar ciertos números complejos y sus vectores asociados como representativos de las funciones senoidales.



Sea una función armónica general, $f(t) = A_0 \cos(\omega t + \varphi)$, que puede escribirse de la forma:

$$A_0 \cos(\omega t + \varphi) = \operatorname{Re} [A_0 e^{j(\omega t + \varphi)}] = \operatorname{Re} [(A_0 e^{j\varphi}) e^{j\omega t}]$$

El número complejo $\mathcal{A}_0 = A_0 e^{j\varphi}$ y su vector asociado definido por la posición que ocupa para $t=0$ el vector rotatorio de módulo A_0 , contienen información necesaria para determinar $A_0 \cos(\omega t + \varphi)$ pues la posición del vector rotatorio en un instante cualquiera t , se obtiene multiplicando $\mathcal{A}_0$ por $e^{j\omega t}$, (se entiende que la pulsación ω es conocida).

Al número $\mathcal{A}_0$ se denomina amplitud compleja y puede expresarse en alguna de estas formas:

$$\mathcal{A}_0 = A_0 e^{j\varphi} = A_0 \angle \varphi = A_0 (\cos \varphi + j \sin \varphi) = A'_0 + j A''_0$$

$A_0 e^{j\varphi}$	(forma exponencial)
$A_0 \angle \varphi$	(forma polar)
$A_0 (\cos \varphi + j \sin \varphi)$	(forma factorial o trigonométrica)
$A'_0 + j A''_0$	(forma binómica)

El método de cálculo basado en la representación de las funciones armónicas por números complejos se denomina método de las magnitudes complejas, método de las amplitudes complejas, o método simbólico.

Determinación del régimen estacionario senoidal por el método simbólico

Sea un circuito cualquiera con una sola fuente de excitación, que suponemos que es de tensión:

$$e = E_0 e^{j(\omega t + \varphi_e)} = (E_0 e^{j\varphi_e}) e^{j\omega t} = \mathcal{E}_0 e^{j\omega t} = E_0 \cos(\omega t + \varphi_e) + j E_0 \sin(\omega t + \varphi_e)$$

La tensión o la intensidad que aparece en cualquiera de los elementos del circuito como respuesta a la excitación, se puede determinar aplicando el principio de superposición, como suma de las respuestas a las excitaciones:

$$\begin{aligned} e_r &= E_0 \cos(\omega t + \varphi_e) \\ e_i &= j E_0 \sin(\omega t + \varphi_e) \end{aligned}$$

Por el carácter lineal de las ecuaciones de los circuitos, la respuesta a la excitación e_i es la misma que se obtendría para:

$$e = E_0 \sin(\omega t + \varphi_e), \quad \text{pero multiplicada por } j.$$

No tiene existencia real una fuente de alimentación compleja, pero los resultados anteriores nos dicen que si queremos determinar la respuesta a la excitación real expresada por e_i podemos obtenerla calculando la respuesta a la excitación compleja y tomando de ella la parte real. Análogamente, para determinar la respuesta $e = E_0 \sin(\omega t + \varphi_e)$, tomaremos la parte imaginaria.

Para concretar ideas, volviendo al circuito RL visto anteriormente.

La fuente de tensión de excitación es: $e(t) = E_0 \cos(\omega t + \varphi_e)$

La intensidad que aparece como respuesta a la excitación, teniendo en cuenta la expresión simbólica de la tensión de la fuente $e = (E_0 e^{j\varphi_e}) e^{j\omega t} = \mathcal{E}_0 e^{j\omega t}$, se tomará como solución particular a determinar:

$$i = (I_0 e^{j\varphi_i}) e^{j\omega t} = \mathcal{I}_0 e^{j\omega t}$$

Sustituyendo en la ecuación diferencial del circuito:

$$(LD + R) \mathcal{I}_0 e^{j\omega t} = \mathcal{E}_0 e^{j\omega t} \Rightarrow (j\omega L + R) \mathcal{I}_0 = \mathcal{E}_0$$

y, por tanto

$$I_0 e^{j\varphi_i} = \frac{E_0 e^{j\varphi_e}}{R + j\omega L} = \frac{E_0}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} e^{j(\varphi_e - \varphi_i)}$$

siendo:

$$\varphi = \varphi_e - \varphi_i = \arctan \frac{\omega L}{R}$$

Tomando la parte real, tenemos:
$$i(t) = I_0 \cos(\omega t + \varphi_i) = \frac{E_0}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} \cos(\omega t + \varphi_e - \varphi)$$

En resumen de la ecuación diferencial hemos obtenido la ecuación algebraica, sin más que sustituir el operador D por $j\omega$ y los valores instantáneos de la tensión y de la intensidad por sus respectivas amplitudes complejas.

Si la tensión hubiese sido: $e(t) = E_0 \sin(\omega t + \varphi_e)$

La intensidad tendría por expresión:
$$i(t) = I_0 \sin(\omega t + \varphi_i) = \frac{E_0}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} \sin(\omega t + \varphi_e - \varphi)$$

Se denomina impedancia compleja a la expresión:

$$\mathcal{Z} = R + j\omega L = R + jX = Z e^{j\varphi} = Z \cos \varphi + j Z \sin \varphi = Z \angle \varphi$$

Podemos escribir: $\mathcal{E}_0 = \mathcal{Z} \mathcal{I}_0$ expresión compleja semejante a la Ley de Ohm.

5.- Respuesta senoidal de los elementos pasivos básicos

Resistencia

Ecuación:

$$u(t) = R i(t)$$

Cálculo simbólico:

$$u = \sqrt{2} \mathcal{U} e^{j\omega t}$$

$$i = \sqrt{2} \mathcal{I} e^{j\omega t}$$

Sustituyendo en la ecuación del elemento:

$$\mathcal{U} = R \mathcal{I}$$

donde:

$$\mathcal{U} = U e^{j\varphi_u}$$

$$\mathcal{I} = I e^{j\varphi_i}$$

Las ecuaciones anteriores nos dicen que:

$$U = R I$$

$$\varphi_u = \varphi_i$$

Las ondas de tensión e intensidad están en fase, siendo la relación entre sus amplitudes, o entre sus valores eficaces, igual a R.

Pasando a expresiones en el campo real:

$$u = \sqrt{2} U \cos(\omega t + \varphi_u), \quad i = \sqrt{2} \frac{U}{R} \cos(\omega t + \varphi_u)$$

Condensador

Ecuación:
$$u(t) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i dt$$

Cálculo simbólico:
$$\mathcal{U} e^{j\omega t} = \frac{1}{C D} \mathcal{I} e^{j\omega t} = \frac{1}{j\omega C} \mathcal{I} e^{j\omega t} \Rightarrow \mathcal{U} = \frac{1}{j\omega C} \mathcal{I}, \quad \mathcal{I} = j\omega C \mathcal{U}$$

Es decir:
$$U = \frac{1}{\omega C} I, \quad I = \omega C U$$

$$\varphi_u = \varphi_i - \pi/2$$

La onda de intensidad está adelantada $\pi/2$ respecto de la onda de tensión.

En valores reales se tiene:

$$u = \sqrt{2} U \cos(\omega t + \varphi_u), \quad i = \sqrt{2} \omega C U \cos(\omega t + \varphi_u + \pi/2)$$

Bobina

Ecuación:
$$u(t) = L \frac{di}{dt}$$

Cálculo simbólico:
$$\mathcal{U} e^{j\omega t} = L D \mathcal{I} e^{j\omega t} = j\omega L \mathcal{I} e^{j\omega t} \Rightarrow \mathcal{U} = j\omega L \mathcal{I}, \quad \mathcal{I} = \frac{1}{j\omega L} \mathcal{U}$$

Es decir:
$$U = \omega L I, \quad I = \frac{1}{\omega L} U$$

$$\varphi_u = \varphi_i + \pi/2$$

La onda de intensidad está retrasada $\pi/2$ respecto de la onda de tensión.

Pasando a funciones reales:

$$u = \sqrt{2} U \cos(\omega t + \varphi_u), \quad i = \sqrt{2} \frac{U}{\omega L} \cos(\omega t + \varphi_u - \pi/2)$$

6.- Impedancia y admitancia compleja

Las relaciones algebraicas entre la tensión y la intensidad complejas se puede expresar en la forma general:

$$\mathcal{U} = \mathcal{Z} \mathcal{I} \quad \text{o en la forma:} \quad \mathcal{I} = \mathcal{Y} \mathcal{U}$$

$\mathcal{Z}$ es una cierta expresión de $j\omega$ a la que denominamos impedancia compleja, o simplemente impedancia, e $\mathcal{Y}$ es otra expresión de $j\omega$ que se denomina admitancia compleja, o admitancia.

Impedancia compleja $\mathcal{Z} = R + jX = Z \angle \varphi = Z e^{j\varphi} = Z (\cos \varphi + j \sin \varphi)$

Definiciones: Resistencia: $R = \text{Re} [\mathcal{Z}]$
 Reactancia: $X = \text{Im} [\mathcal{Z}]$
 Impedancia: $Z = |\mathcal{Z}|$

Las tres magnitudes tienen la dimensión de una resistencia y se expresan en Ω .

Admitancia compleja $\mathcal{Y} = G + jB = Y \angle \psi = Y e^{j\psi} = Y (\cos \psi + j \sin \psi)$

Definiciones: Conductancia: $G = \text{Re} [\mathcal{Y}]$
 susceptancia: $B = \text{Im} [\mathcal{Y}]$
 Admitancia: $Y = |\mathcal{Y}|$

Las tres magnitudes tienen la dimensión de una conductancia y se expresan en Siemens.

Tenemos las siguientes relaciones:

IMPEDANCIAS

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$\varphi = \arctg \frac{X}{R}$$

$$R = Z \cos \varphi$$

$$X = Z \sin \varphi$$

ADMITANCIAS

$$Y = \sqrt{G^2 + B^2}$$

$$\psi = \arctg \frac{B}{G}$$

$$G = Y \cos \psi$$

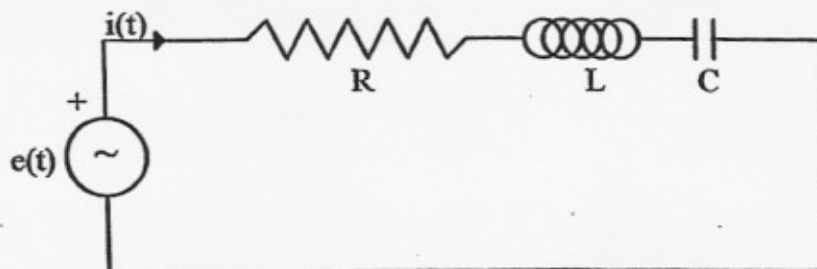
$$B = Y \sin \psi$$

$$Z e^{j\varphi} = \frac{1}{Y e^{j\psi}} \Rightarrow Z = \frac{1}{Y}, \quad \varphi = -\psi$$

Para una bobina: $\mathcal{Z} = j\omega L = \omega L \angle \pi/2 \Rightarrow X_L = \omega L, \quad Z = \omega L$

Para un condensador: $\mathcal{Z} = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{\omega C} \angle -\pi/2 = \frac{-j}{\omega C} \Rightarrow X_C = -\frac{1}{\omega C}, \quad Z = \frac{1}{\omega C}$

7.- Circuitos básicos R, L, C



Para el régimen senoidal permanente se verifica:

$$\mathcal{U} = (R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}) \mathcal{I} = [R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})] \mathcal{I} = \mathcal{Z} \mathcal{I}$$

$$\mathcal{Z} = R + j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) = R + j (X_L + X_C),$$

Las reactancias X_L y X_C son de signo opuesto. La reactancia total es: $X = X_L + X_C$

Si la reactancia total X es positiva, la reactancia tiene carácter inductivo:

$$X_L > X_C \quad \omega L > \frac{1}{\omega C}, \quad L > \frac{1}{C},$$

La intensidad va en retraso respecto a la tensión.

Si la reactancia total X es negativa, la reactancia tiene carácter capacitivo:

$$X_L < X_C \quad \omega L < \frac{1}{\omega C}, \quad L < \frac{1}{C},$$

La intensidad va en adelanto respecto a la tensión.

En la expresión polar tenemos: $\mathcal{Z} = Z \angle \varphi$

siendo: $Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}, \quad \varphi = \arctan \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$

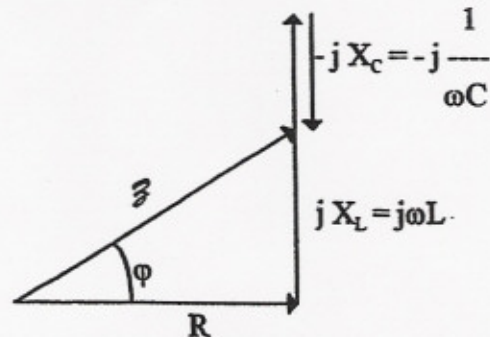
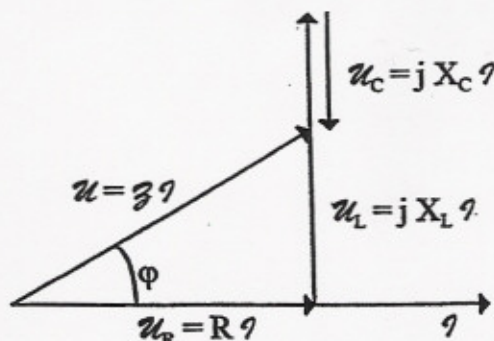
8.- Diagramas vectoriales de los circuitos básicos R, L, C

A toda operación entre números complejos corresponde otra entre sus vectores asociados. Por consiguiente, los circuitos pueden ser estudiados mediante operaciones con vectores. Este procedimiento gráfico ofrece la ventaja, respecto del algebraico, de que las relaciones de fase y amplitud entre todas las tensiones e intensidades quedan expuestas de una forma muy clara e inmediata.

Agrupación en serie:

Tomamos la intensidad común a todos los elementos como origen de fases. Consideramos tres casos:

Impedancia inductiva: $X = X_L + X_C > 0 \rightarrow \omega L > \frac{1}{\omega C}$

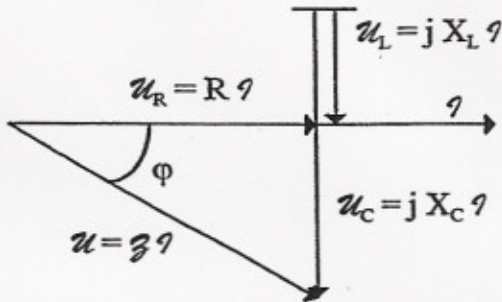


La intensidad va retrasada respecto de la tensión.

$$u = u_R + u_L + u_C$$

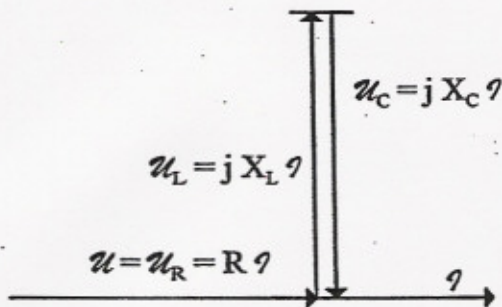
Diagrama de impedancias

Impedancia capacitiva: $X = X_L + X_C < 0 \rightarrow \omega L < \frac{1}{\omega C}$



La intensidad va adelantada respecto de la tensión.

Impedancia resistiva pura: $X = X_L + X_C = 0 \rightarrow \omega L = \frac{1}{\omega C}$

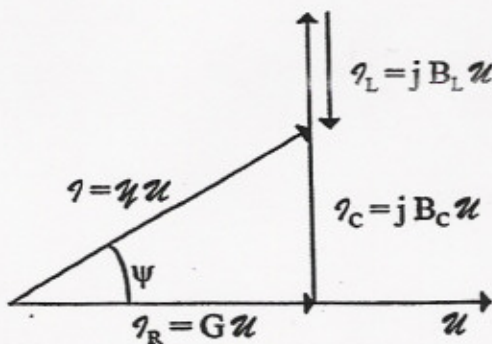


La intensidad y la tensión están en fase.

Agrupación en paralelo:

Tomamos la tensión común a todos los elementos como origen de fases. Consideramos tres casos:

Admitancia capacitiva: $B = B_C + B_L > 0 \rightarrow \omega C > \frac{1}{\omega L}$



La tensión va retrasada respecto de la intensidad.

$$i = i_R + i_L + i_C$$

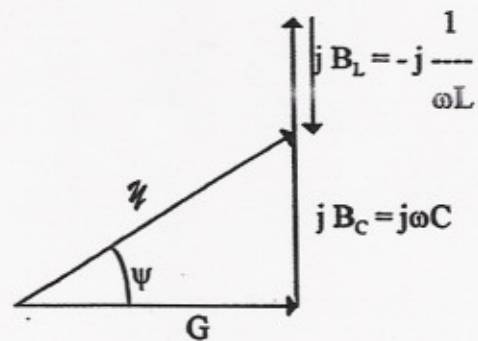
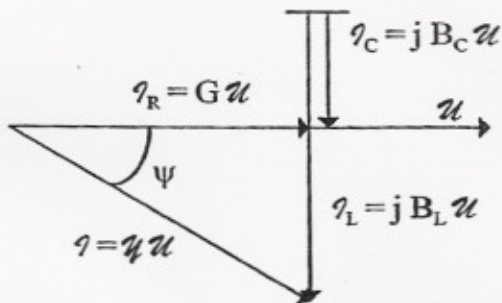


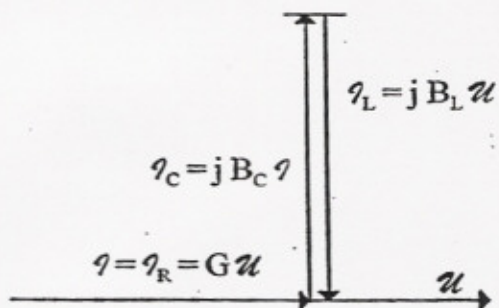
Diagrama de admitancias

Admitancia inductiva: $B = B_C + B_L < 0 \rightarrow \omega C < \frac{1}{\omega L}$



La tensión va adelantada respecto de la intensidad.

Admitancia conductiva pura: $B = B_C + B_L = 0 \rightarrow \omega C = \frac{1}{\omega L}$



La intensidad y la tensión están en fase.

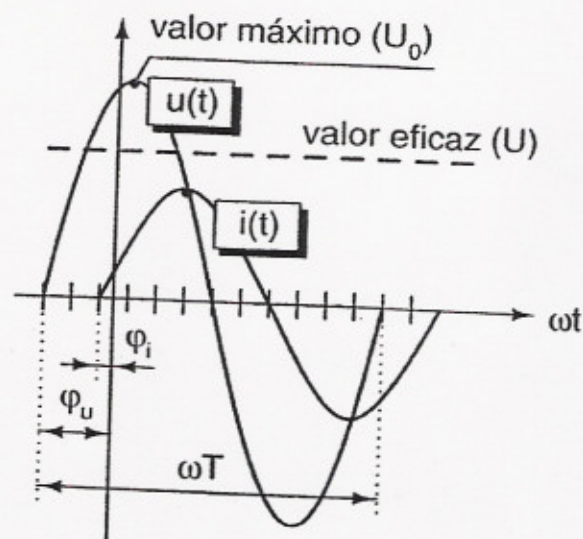


Figura 2.1 Parámetros básicos de la onda senoidal

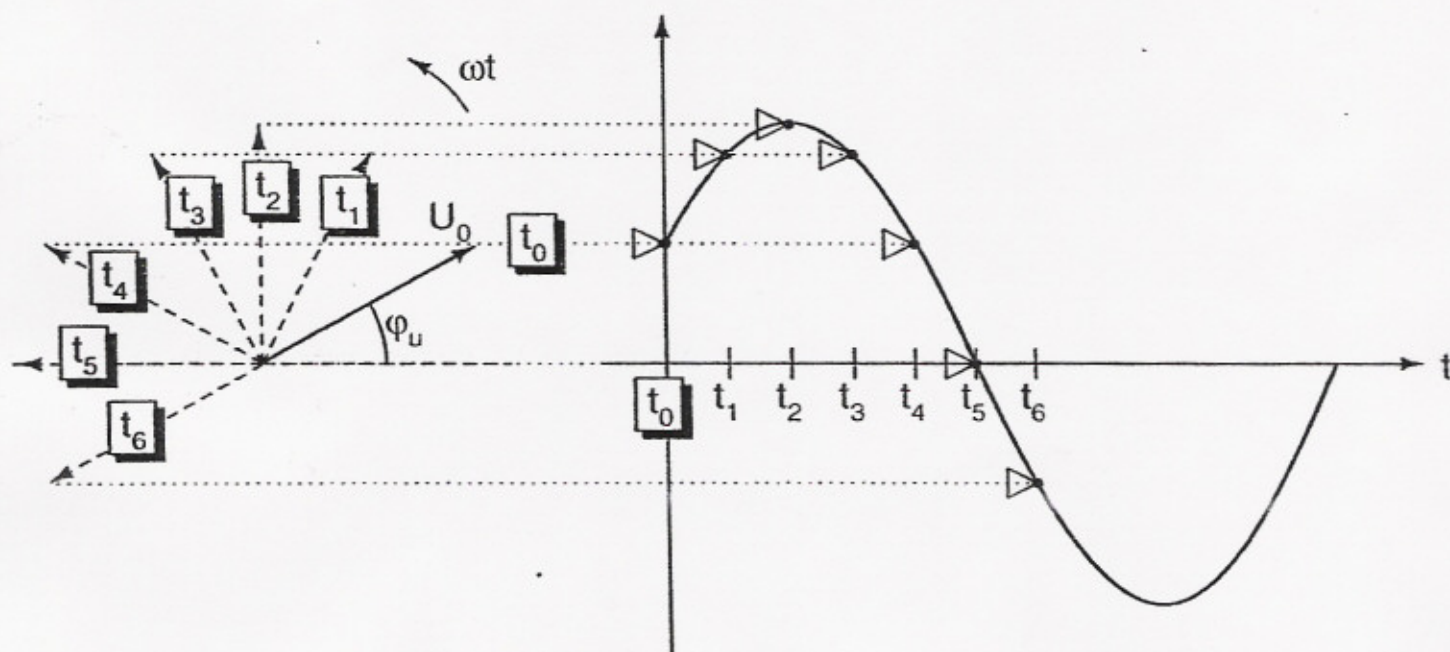
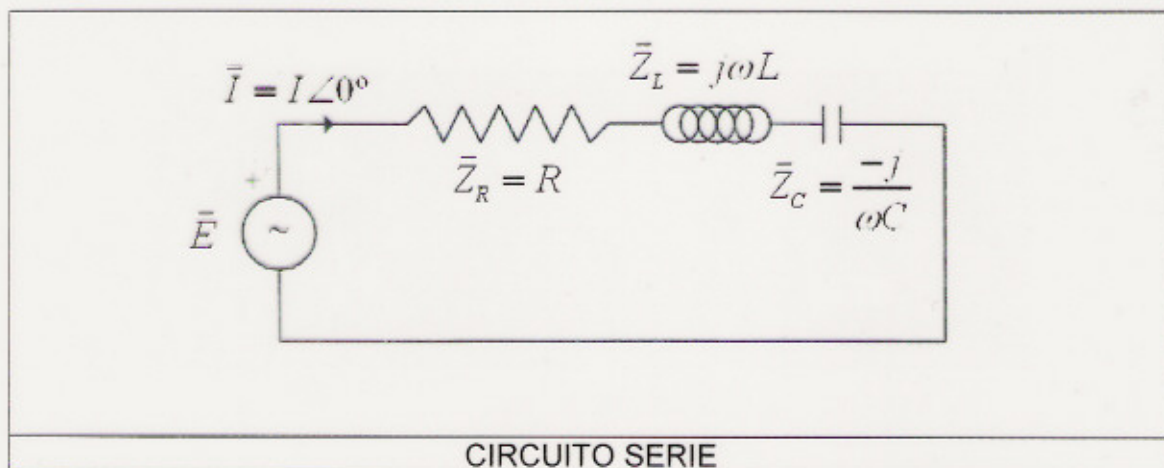


Figura 2.2 Representación de senoide en un plano complejo y en el dominio del tiempo



$$\begin{aligned}
 \vec{E} &= \vec{Z}_R \vec{I} + \vec{Z}_L \vec{I} + \vec{Z}_C \vec{I} \\
 &= (\vec{Z}_R + \vec{Z}_L + \vec{Z}_C) \vec{I} \\
 &= \left(R + j\omega L - \frac{j}{\omega C} \right) \vec{I}
 \end{aligned}$$

ORIGEN DE FASES
$\vec{I} = I \angle 0^\circ = 10 \angle 0^\circ \text{ A}$

DATOS	
Carga Principalmente Inductiva	Carga Principalmente Capacitiva
$R = 2 \Omega$	$R = 2 \Omega$
$X_L = 3 \Omega$	$X_L = 3 \Omega$
$X_C = -2 \Omega$	$X_C = -4 \Omega$
TENSIÓN DE LA FUENTE	
$\vec{E} = 22,36 \angle 26,56^\circ \text{ V}$	$\vec{E} = 22,36 \angle -26,56^\circ \text{ V}$

DOMINIO TEMPORAL	
$i(t) = \sqrt{2} I \cos(\omega t) = \sqrt{2} \cdot 10 \cdot \cos(2\pi 50 \cdot t)$	
$e(t) = \sqrt{2} E \cos(\omega t + \text{fase}(\vec{E}))$ $= \sqrt{2} \cdot 22,36 \cdot \cos(2\pi 50 \cdot t + 26,56^\circ)$	$e(t) = \sqrt{2} E \cos(\omega t + \text{fase}(\vec{E}))$ $= \sqrt{2} \cdot 22,36 \cdot \cos(2\pi 50 \cdot t - 26,56^\circ)$