Tema 9: Circuitos de Corriente Alterna (CA)

Fundamentos Físicos y Electrónicos de la Informática

Introducción

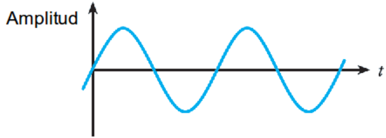
- La mayoría de la energía que eléctrica usada actualmente se produce mediante generadores de corriente alterna (ca).
- La corriente alterna es fácil de generar, transportar y distribuir. Puede adaptar su tensión a los valores requeridos por medio de transformadores.
- Transporte a altas tensiones (y bajas intensidades) minimizando las perdidas por efecto Joule.
- Cualquier función periódica puede expresarse como la suma de diferentes armónicos (teorema de Fourier).
- Reactancia, resistencia al paso de corriente alterna que presentan los condensadores e inductores y que depende de la frecuencia.
- Circuito RLC.

Introducción

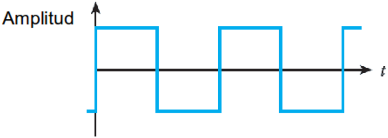
Señal = intensidad o voltaje

Señales alternas

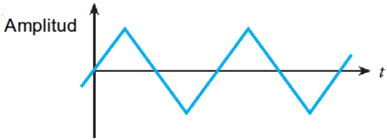
Aquellas que su valor y dirección varían periódicamente con el tiempo



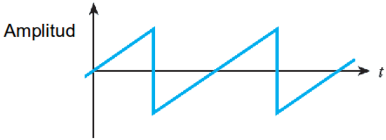
Sinusoidal



Cuadrada



Triangular



Dientes de Sierra

Introducción

En este tema nos centraremos en señales sinusoidales, que son del tipo

Intensidad de corriente sinusoidal

$$i(t) = I_{max} \operatorname{sen}(\omega t + \theta_i)$$

Diferencia de potencial o voltaje sinusoidal

$$v(t) = V_{max} \operatorname{sen}(\omega t + \theta_v)$$

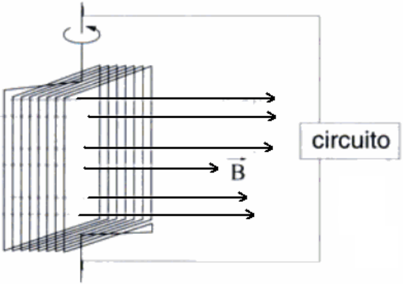
- $I_{max} \equiv$ intensidad máxima (amplitud de la señal)
- $V_{max} \equiv$ voltaje máximo (amplitud de la señal)
- $\omega \equiv$ velocidad angular o pulsación
- θ_i, θ_v ángulos de fase

Generación de corriente alterna

La forma más fácil de generar una señal alterna es haciendo girar una bobina en presencia de un campo magnético uniforme (**alternador**)

Flujo a través de la bobina

$$\Phi_B = N\mathbf{BS} \Rightarrow \Phi_B = NBS\cos\alpha$$



con $\alpha = \omega t$.

Si aplicamos Ley Faraday

$$\mathcal{E} = -\frac{d\phi_B}{dt} = NBS\,\mathrm{sen}(\omega t)$$

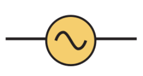
si notamos $V_{max} = NBS\omega$

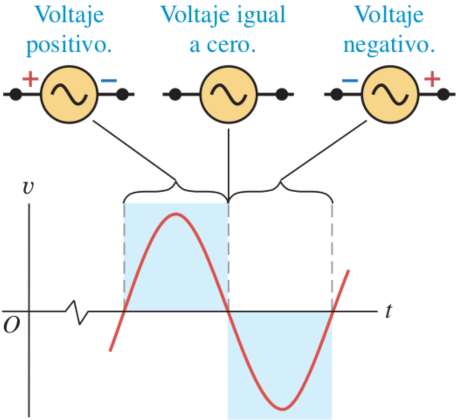
$$\mathcal{E} = v(t) = V_{max}\,\mathrm{sen}(\omega t)$$

Generador de fem alterna o generador de ca o fuente de ca, se representa con este símbolo

Generación de corriente alterna

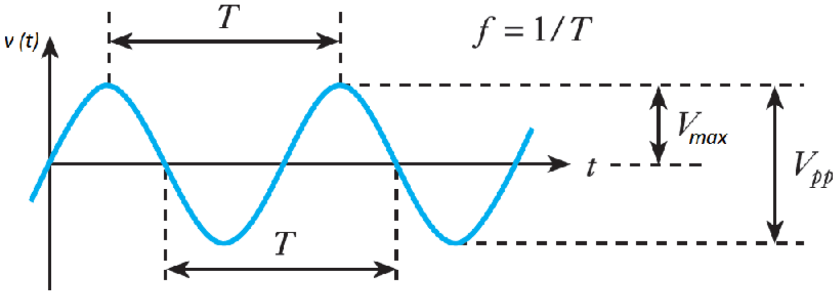
Símbolo circuital fuente de ca





Señales sinusoidales

Voltaje que varía sinusoidalmente → $v(t) = V_{max}\,\mathrm{sen}(\omega t + \theta_v)$



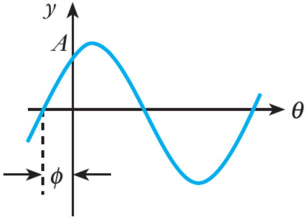
- $V_{max} \equiv$ voltaje máximo (amplitud de la señal)
- $V_{pp} \equiv$ voltaje pico pico → $V_{pp} = 2V_{max}$
- $\omega \equiv$ velocidad angular o pulsación → $\omega = 2\pi f$
- $f \equiv$ frecuencia (se mide en Hz) → ej. *Enchufes en Europa 50 Hz*
- $T \equiv$ periodo (se mide en segundos)→ $f = \frac{1}{T}$

Señales sinusoidales

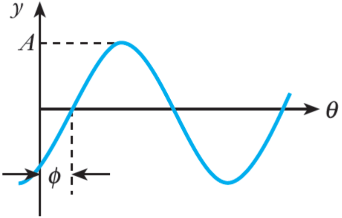
Forma más general de una señal sinusoidal

$$v(t) = V_{max}\,\mathrm{sen}(\omega t + \theta_v); \qquad \theta_v \equiv \text{el ángulo de fase.}$$

Efectos del ángulo de fase



$y = A\sin(\omega t + \phi)$



$y = A\sin(\omega t - \phi)$

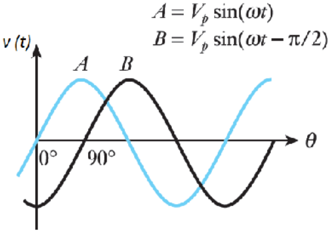
La adelanta respecto a $v(t) = V_{max}\,\mathrm{sen}(\omega t)$

La retrasa respecto a $v(t) = V_{max}\,\mathrm{sen}(\omega t)$

Señales sinusoidales

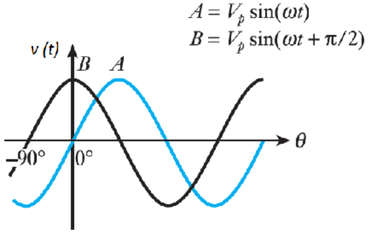
$$v(t) = V_{max}\,\text{sen}(\omega t) \qquad \text{comparada con} \qquad v(t) = V_{max}\,\text{sen}(\omega t + \theta_v)$$

Ejemplo 1. θ_v = - π/2



B está atrasada respecto a A

Ejemplo 2. θ_v = + π/2



B está adelantada respecto a A

Señales sinusoidales

Una señal sinusoidal queda completamente caracterizada por :

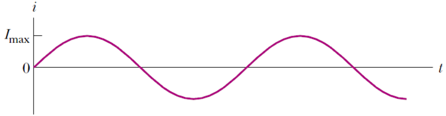
- Amplitud
- Frecuencia
- Angulo de fase

$$v(t) = V_{max}\,\mathrm{sen}(\omega t + \theta_v)$$

Valores eficaces

$i(t) = I_{max}\,\mathrm{sen}(\omega t + \theta_i) \rightarrow$ valor instantáneo de la corriente
$v(t) = V_{max}\,\mathrm{sen}(\omega t + \theta_v) \rightarrow$ valor instantáneo del voltaje

Supongamos una corriente sinusoidal, ¿ cuánto vale el valor promedio, $\overline{i}$, en un ciclo, T?



$\overline{i} = 0 \rightarrow$ Pero una corriente alterna que circule por una resistencia disipa energía por efecto Joule. Necesitamos un valor representativo !!

Valor eficaz de la intensidad de una corriente alterna (I_{ef})

El valor de la intensidad de una corriente continua constante que desarrollase la misma cantidad calor en igual tiempo y en la misma resistencia

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T i^2 R dt = I_{max}^2 \frac{R}{T}\int_0^T \mathrm{sen}^2(\omega t) dt = \frac{1}{2} I_{max}^2 R \Rightarrow I_{ef} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$$

Valores eficaces

Valor eficaz de la intensidad de una corriente alterna (I_{ef})

$$I_{ef} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$$

•Esta igualdad solo es válida para señales alternas sinusoidales.
•Una corriente alterna $i(t) = I_{max}\,\mathrm{sen}(\omega t + \theta_i) \rightarrow$ y una corriente continua $I = I_{ef}$ disipan igual potencia en la misma resistencia.
•El valor eficaz (o rms) de cualquier magnitud que varíe sinusoidalmente se calcula de la misma manera

Valor eficaz de un voltaje alterno (V_{ef})

$$V_{ef} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}}$$

ej. El voltaje de uso domestico (230 V) es el valor eficaz
ej. El voltaje que nos marcan los polímetros es el valor eficaz

Valores eficaces

Ejemplo 1: El voltaje de salida de un generador de ca viene dado en V por $v(t) = 200\,\mathrm{sen}(\omega t)$. Encuentre la corriente eficaz cuando este generador se conecta a una resistencia de 100Ω.

Sol. $V_{ef} = 141V; I_{ef} = 1{,}41A; I_{max} = 2A$

Resistencias en un circuito de ca

- Circuito compuesto por una resistencia y un generador de ca $v(t) = V_{max}\,\mathrm{sen}(\omega t)$ y

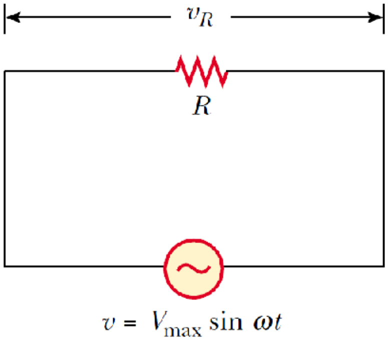
- Aplicamos la 2da Ley Kirchhoff

$$v(t) - i(t)R = 0$$

- La corriente instantánea en el circuito es

$$i(t) = I_{max}\,\mathrm{sen}(\omega t)$$

- Donde la corriente máxima es



$$I_{max} = \frac{V_{max}}{R} \Rightarrow I_{ef} = \frac{V_{ef}}{R}$$

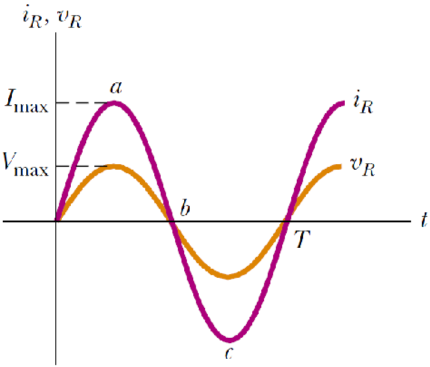
Resistencias en un circuito de ca

•$v(t)$ y $i(t)$ se anulan a la vez, alcanzan su valor máximo a la vez

$v(t) = V_{max}\,\mathrm{sen}(\omega t)$

$i(t) = I_{max}\,\mathrm{sen}(\omega t)$

Para un voltaje sinusoidal aplicado, la corriente en una resistencia siempre **está en fase** con el voltaje que cae en dicha resistencia



•En general, si la fuente de ca es del tipo $v(t) = V_{max}\,\mathrm{sen}(\omega t + \theta)$ la corriente en el circuito es

$$i(t) = I_{max}\,\mathrm{sen}(\omega t + \theta)$$

Resistencias en un circuito de ca

- El valor promedio de la corriente sobre un ciclo es cero, $\overline{i} = 0$
- Potencia en un instante $\rightarrow P(t) = i^2(t)R$

(*la intensidad va al cuadrado, da igual si es negativa o positiva*)

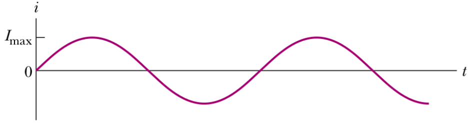
- Potencia promedio

$$\bar{P} = I_{ef}^2 R$$

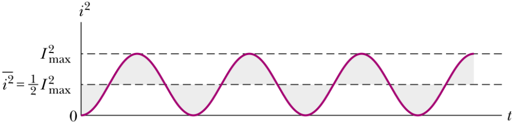
- Potencia máxima

$$P_{max} = I_{max}^2 R$$

$$P_{max} = 2\bar{P}$$



(a)



Resistencias en un circuito de ca

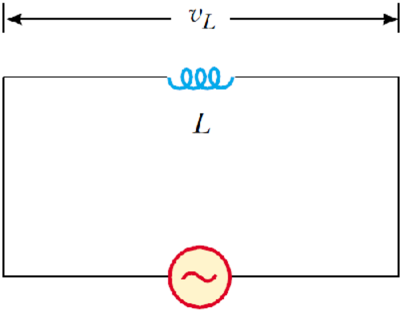
Ejemplo 2: Se conecta una resistencia de 12Ω a una fuente de ca que tiene un valor máximo de 48V. Hallar a) la intensidad eficaz; b) la potencia media y c) la potencia máxima.

Sol. a) 2.83A; b) 96 W; c) 192 W

Inductores en un circuito de ca

- Circuito compuesto por un generador de ca y un inductor

- Aplicamos la 2da Ley Kirchhoff



$$v(t) - L\frac{di(t)}{dt} = 0$$

$$L\frac{di(t)}{dt} = V_{max}\,\mathrm{sen}(\omega t)$$

$$di(t) = \frac{V_{max}}{L}\,\mathrm{sen}(\omega t) dt$$

integramos

$$i(t) = -\frac{V_{max}}{L\omega}\cos(\omega t) \Rightarrow i(t) = \frac{V_{max}}{L\omega}\,\mathrm{sen}(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

Nota: $\cos(a) = -\,\mathrm{sen}(a - \frac{\pi}{2})$

Inductores en un circuito de ca

Corriente que recorre el circuito

$$i(t) = \frac{V_{max}}{L\omega} \operatorname{sen}(\omega t - \frac{\pi}{2}) = I_{max} \operatorname{sen}(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

donde $I_{max} = \frac{V_{max}}{X_L} \Rightarrow I_{ef} = \frac{V_{ef}}{X_L}$

$X_L = L\omega$, reactancia inductiva

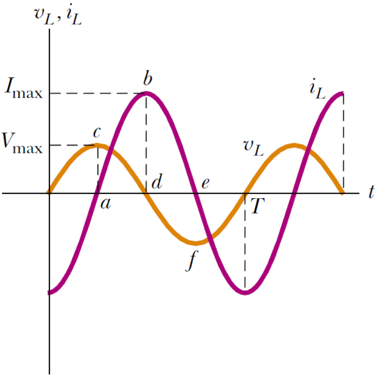
- Relaciona corrientes y voltajes en un inductor
- Sus unidades SI $\rightarrow \Omega$
- Es una medida de la oposición ofrecida por el inductor al paso de ca
- Es proporcional a la frecuencia de la señal, $X_L = L\omega \Rightarrow$ mayor oposición al paso de corriente alterna cuanto mayor sea la frecuencia
- A frecuencias más elevadas la corriente debe cambiar más rápidamente, esto causa un aumento de la fem autoinducida.
- Si $\omega \rightarrow \infty \Rightarrow$ el inductor es un circuito abierto
- Si $\omega \rightarrow 0$ (corriente continua) $\Rightarrow$ el inductor es un cortocircuito

Inductores en un circuito de ca

Para un voltaje sinusoidal la corriente en un inductor siempre está retrasada respecto a la caída de voltaje en el inductor en $\frac{\pi}{2}$ (90º)

$$v(t) = V_{max}\,\mathrm{sen}(\omega t)$$

$$i(t) = I_{max}\,\mathrm{sen}(\omega t - \frac{\pi}{2})$$



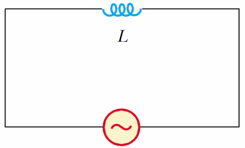
- En general, si $v(t) = V_{max}\,\mathrm{sen}(\omega t + \theta)$, la corriente en el circuito es

$$i(t) = I_{max}\,\mathrm{sen}(\omega t + \theta - \frac{\pi}{2})$$

Inductores en un circuito de ca

Ejemplo 3: a) En el circuito de la figura (L=25 mH y V_{ef}=150V) calcule la reactancia inductiva, y la corriente eficaz en el circuito si la frecuencia es de 60 Hz.

Sol. $X_L = 9{,}42\Omega$, $I_{ef} = 15{,}9$ *A*



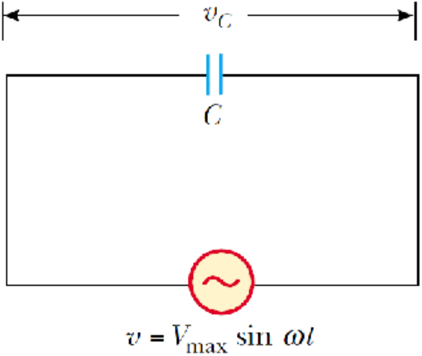
b) Calcule X_L y I_{ef} si la frecuencia es 6 KHz

Sol. $X_L = 942\Omega$, $I_{ef} = 0{,}159$ *A* $\rightarrow$ *Mucho menor que antes!!*

Condensadores en un circuito de ca

- Consideremos un generador de ca y un condensador

- Aplicamos la 2da Ley Kirchhoff



$$v(t) - \frac{q(t)}{C} = 0$$

$$q(t) = CV_{max}\,\mathrm{sen}(\omega t)$$

derivamos

$$\frac{dq(t)}{dt} = i(t) = V_{max}C\omega\cos(\omega t)$$

La corriente en el circuito es

$$i(t) = V_{max}C\omega\,\mathrm{sen}(\omega t + \frac{\pi}{2}) = I_{max}\,\mathrm{sen}(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

Nota: $\cos(a) = \mathrm{sen}(a + \frac{\pi}{2})$

Condensadores en un circuito de ca

Corriente que recorre el circuito

$$i(t) = V_{max} C\omega \operatorname{sen}(\omega t + \frac{\pi}{2}) = I_{max} \operatorname{sen}(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

donde $I_{max} = \frac{V_{max}}{X_C} \Rightarrow I_{ef} = \frac{V_{ef}}{X_C}$

$X_C = \frac{1}{\omega C}$, reactancia capacitiva

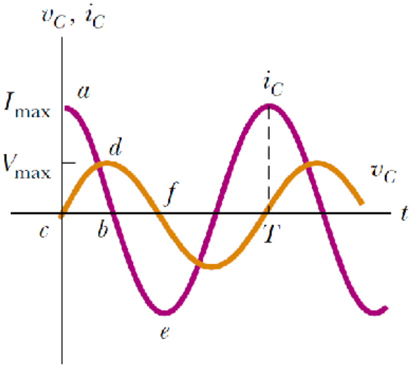
- Relaciona corrientes y voltajes en un condensador
- Sus unidades SI $\rightarrow \Omega$
- Es una medida de la oposición ofrecida por el condensador al paso de corriente alterna
- Es inversamente proporcional a la frecuencia de la señal, $X_C = \frac{1}{\omega C} \Rightarrow$ menor oposición al paso de corriente alterna cuanto mayor sea la frecuencia
- Si $\omega \rightarrow \infty \Rightarrow$ el condensador cortocircuito
- Si $\omega \rightarrow 0$ (corriente continua) $\Rightarrow$ el condensador circuito abierto

Condensadores en un circuito de ca

Para un voltaje alterno aplicado, la corriente en el condensador está adelantada respecto al voltaje en $\frac{\pi}{2}$ (90º)

$$v(t) = V_{max}\,\mathrm{sen}(\omega t)$$

$$i(t) = I_{max}\,\mathrm{sen}(\omega t + \frac{\pi}{2})$$



•En general, si $v(t) = V_{max}\,\mathrm{sen}(\omega t + \theta)$, la corriente en el circuito es

$$i(t) = I_{max}\,\mathrm{sen}(\omega t + \theta + \frac{\pi}{2})$$

Condensadores en un circuito de ca

Comentario

En un circuito de corriente continua, si un condensador en serie está cargado no existe flujo de corriente. Sin embargo, si la corriente es alterna, la carga fluye continuamente entrando y saliendo alternativamente de las placas del condensador.

Condensadores en un circuito de ca

Ejemplo 4: a) Un condensador de 8 μF se conecta a las terminales de un generador de ca de 60 Hz cuyo V_{ef}=150V. Encuentre X_C y I_{ef} en el circuito.

Sol. $X_C = 322\Omega$, $I_{ef} = 0{,}452$ *A*

b) Si la frecuencia se duplica. ¿ Qué pasa con X_C y I_{ef} ?

Sol. X_C *se reduce a la mitad e* I_{ef} *se duplica*

Representación compleja de las señales alternas

- Usamos números complejos para representar señales sinusoidales

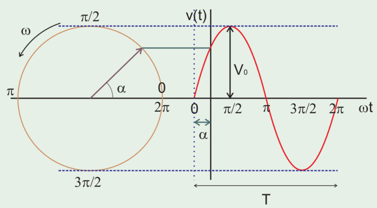
$$f(t) = F_{max}\,\mathrm{sen}(\omega t) = Im\Big\{F_{max}\big(\cos(\omega t) + j\,\mathrm{sen}(\omega t)\big)\Big\} = Im\Big\{F_{max}e^{j\omega t}\Big\}$$

$\mathbf{F}(t) = F_{max}e^{j\omega t} \rightarrow$ Fasor

Una señal sinosuidal $f(t)$ se puede considerar como la proyección sobre el eje imaginario de un vector complejo **F** que gira con una velocidad angular ω en el plano.

- Por ejemplo, $v(t) = V_{max}\,\mathrm{sen}(\omega t)$ se puede representar con el fasor $\mathbf{V}(t) = V_{max}e^{j\omega t}$

- Igualmente, $v(t) = V_{max}\,\mathrm{sen}(\omega t + \theta)$ se puede representar con el fasor $\mathbf{V}(t) = V_{max}e^{j(\omega t+\theta)}$



Representación compleja de las señales alternas

¿Por qué usamos números complejos?

•La principal ventaja es que el uso de fasores permite transformar la ecuación diferencial que define el circuito (difícil de resolver) en una ecuación algebraica (más fácil de resolver).

•La forma de operar con un fasor $\mathbf{F}(t) = F_{max}e^{j\omega t}$ es la misma que con números complejos

Derivada $\equiv$ multiplicar por $j\omega$

$$\frac{d\mathbf{F}(t)}{dt} = j\omega F_{max}e^{j\omega t} = j\omega\mathbf{F}(t)$$

Integral $\equiv$ dividir por $j\omega$

$$\int \mathbf{F}(t)dt = \frac{1}{j\omega}F_{max}e^{j\omega t} = \frac{1}{j\omega}\mathbf{F}(t)$$

Impedancia

Impedancia, Z

De un elemento en un circuito, es la relación fasorial que existe entre el caída de potencial en dicho elemento y la corriente que lo atraviesa.

$$\mathbf{Z} = \frac{\mathbf{V}}{\mathbf{I}} \Rightarrow |Z| = \frac{V_{max}}{I_{max}} = \frac{V_{ef}}{I_{ef}}, \qquad \mathbf{V}, \mathbf{I} \in \mathbb{C}$$

•Se puede ver una generalización de la ley de Ohm, $\mathbf{V} = \mathbf{ZI}$.
•El inverso se llama admitancia ($\mathbf{Y} = 1/\mathbf{Z}$).
•La impedancia es un numero complejo con unidades de Ω.

Componente	**Z**
Resistencia	R
Condensador	$\frac{1}{j\omega C}$
Inductor	$j\omega L$

Impedancia

- La impedancia de una resistencia $\rightarrow \mathbf{Z}_R = R$
- La impedancia de un condesador $\rightarrow \mathbf{Z}_C = \frac{1}{j\omega C} = -jX_C$
- La impedancia de un inductor $\rightarrow \mathbf{Z}_L = j\omega L = jX_L$

Las impedancias complejas con corrientes sinusoidales pueden ser usadas en manera similar a las resistencias en circuitos de corriente continua

- Igualmente, para la resolución de circuitos con ca, podemos usar las Leyes de kirchoff, ya que estás se deben cumplir en cada instante de tiempo.

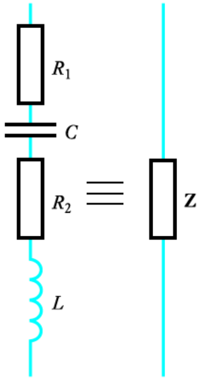
Impedancia

Ejemplo:

Asociación en serie de impedancias

La impedancia equivalente de n impedancias en serie es igual a la suma de las impedancias individuales

$$\mathbf{Z}_{eq} = \sum_{i}^{n} \mathbf{Z}_i$$



$$\begin{aligned}\mathbf{Z} &= \mathbf{Z}_{R_1} + \mathbf{Z}_C + \mathbf{Z}_{R_2} + \mathbf{Z}_L \\ &= R_1 - \mathrm{j}X_C + R_2 + \mathrm{j}X_L \\ &= (R_1 + R_2) + \mathrm{j}\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)\end{aligned}$$

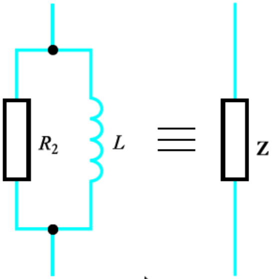
Impedancia

Ejemplo:

Asociación en paralelo de impedancias

En un sistema de impedancias en paralelo, el inverso de la impedancia equivalente es la suma de los inversos de las impedancias individuales

$$\frac{1}{\mathbf{Z}_{eq}} = \sum_{i}^{n} \frac{1}{\mathbf{Z}_i}$$



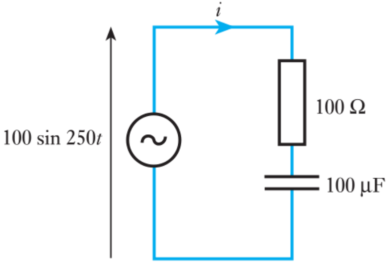
$$\frac{1}{\mathbf{Z}} = \frac{1}{\mathbf{Z}_R} + \frac{1}{\mathbf{Z}_L} = \frac{1}{R} + \frac{1}{\mathrm{j}X_L}$$

$$\mathbf{Z} = \frac{R \times \mathrm{j}X_L}{R + \mathrm{j}X_L} = \frac{R \times \mathrm{j}\omega L}{R + \mathrm{j}\omega L}$$

Impedancia

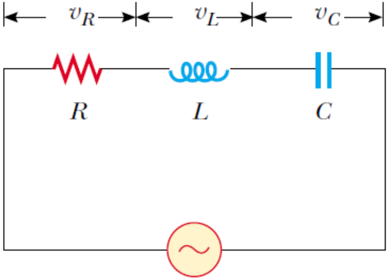
Ejemplo 5: El circuito de la figura es alimentado con un generador de fem alterna que viene dado en V por $v(t) = 100\,\mathrm{sen}(250t)$. Calcule la impedancia equivalente y corriente alterna que circula por el circuito.

Sol. $\boldsymbol{Z} = (100 - j40)\Omega$; $i(t) = 0{,}93\,\mathrm{sen}(250t + 0{,}38)$ *A*



Circuito RLC en serie

- Circuito compuesto por una resistencia, una bobina y un condensador en serie conectados a un generador de ca que varía como $v(t) = V_{max}\,\mathrm{sen}(\omega t)$
- La corriente en un instante dado es la misma en cada punto del circuito, ya que todos los elementos están en serie.
- Aplicamos la 2da Ley Kirchhoff



$$v(t) = v_R(t) + v_L(t) + v_C(t) = i(t)R + \frac{q(t)}{C} + L\frac{di(t)}{dt}$$

- Ecuación diferencial igual que la de una oscilación forzada.

Circuito RLC en serie

•La corriente en el circuito puede ser encontrada usando fasores. Es fácil ver que la impedancia equivalente del circuito es

Impedancia de un circuito RLC en serie

$$\mathbf{Z} = R + j(X_L - X_C) \Rightarrow Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}; \qquad \phi = \tan^{-1}\left(\frac{X_L - X_C}{R}\right)$$

•Luego como $\mathbf{V} = \mathbf{ZI}$, la corriente es

$$i(t) = I_{max}\,\mathrm{sen}(\omega t + \phi)$$

•El ángulo de fase ϕ es el desfase de $i(t)$ y $v(t)$.

Comentarios

- Para frecuencias altas $\rightarrow X_L > X_C \Rightarrow \phi > 0$
- Para frecuencias bajas $\rightarrow X_L < X_C \Rightarrow \phi < 0$
- Si $\rightarrow X_L = X_C \Rightarrow \phi = 0$ $v(t)$ y $i(t)$ están en fase (frecuencia de resonancia)

Circuito RLC

Ejemplo 6: Un circuito RLC en serie tiene una R= 425 Ω, L=1.25 H y C=3.5 μF. Si está conectado a una fuente de ca de f=60 Hz y V$_{max}$=150 V, a) determine X_C, X_L y Z del circuito. b) Encuentre I_{max} en el circuito. c) Encuentre el ángulo de desfase entre la corriente y el voltaje de la fuente. d) Encuentre la caída de voltaje máximo a través de cada elemento.

Sol. a) X_L*= 471* Ω*,* X_C*= 758* Ω*, Z = 512* Ω*. b)* I_{max}*=0.292 A. .c)* ϕ=-34^o *.d)* V^R_{max} *=124 V,* V^L_{max} *=138 V,*V^C_{max} *=221V*

Resonancia en un circuito RLC

- Un circuito RLC está en resonancia cuando alcanza una frecuencia tal que la corriente eficaz alcanza un valor máximo. Esa es la frecuencia de resonancia f_0 (equivalentemente ω_0 = frecuencia angular de resonancia)

$$I_{ef} = \frac{V_{ef}}{Z} = \frac{V_{ef}}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

- R y V_{ef} no varían con f.

- X_L y X_C dependen de f.
- Luego I_{ef} es máxima cuando Z es mínima $\Rightarrow X_L = X_C$
- Para $\omega = \omega_0 \rightarrow X_L = X_C \Rightarrow$ $\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$

Frecuencia de resonancia de un circuito RLC en serie

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \Rightarrow f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

- La frecuencia de resonancia no depende de la resistencia
- Para $\omega = \omega_0 \Rightarrow Z = R$
- Para $\omega = \omega_0 \Rightarrow \phi = 0$ (no existe desfase entre $i(t)$ y $v(t)$).

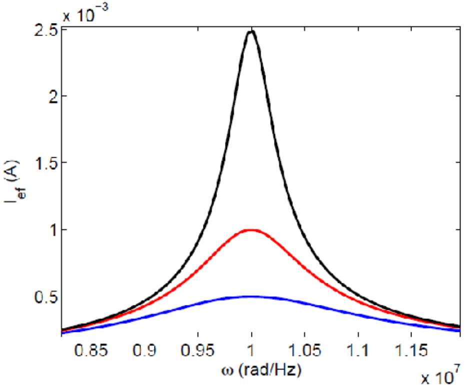
Resonancia en un circuito RLC

•Veamos el comportamiento de un circuito RLC en resonancia. Supongamos $L = 5\mu$H y $C = 2n$F, con una fuente de ca de V_{ef}=5mV.

•Si cambiamos la resistencia, cambia el valor máximo de I_{ef}. Pero siempre ocurre a la frecuencia de resonancia ω_0.

•La única frecuencia que dará lugar a una intensidad considerable es será ω_0 , el resto de frecuencias dan lugar a intensidades despreciables.

$L = 5\mu H,\ C = 2nF,\ V_{ef} = 5mV \Rightarrow \omega_0 = 10^7 rad/s,\ f_0 = 1{,}59$ MHz



R=2Ω (negro), R=5Ω (rojo) y R=10Ω (azul)

Transformador

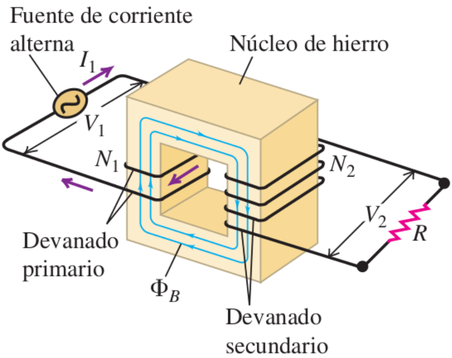
•ca mejor que cd para la distribución de energía.
•Para las transmisión de de energía a grandes distancias es más rentable usar altos voltajes y pequeñas corrientes.

•Así se reducen perdidas ($P = i^2R$) y se pueden usar cables más delgados (reduce coste)
•Las líneas de transmisión usan $V_{ef} \sim 350 - 800$ kV
•Por seguridad y eficiencia, voltaje domestico $V_{ef} = 230$ V $\rightarrow$ necesitamos un dispositivo que cambie el voltaje (**transformador**).

símbolo de un transformador

Transformador

•El transformador de ca más simple consta de 2 bobinas de alambre devanadas alrededor de un núcleo de hierro
•Devanado **Primario**: bobina que se conecta al voltaje alterno de entrada. Tiene $N1$ vueltas.
•Devanado **Secundario**: Tiene $N2$ vueltas.
•El núcleo de hierro es un medio para que casi todo el ϕ_B que pase por una bobina pase por la otra.
•Los transformadores tienen eficiencias de potencia $> 90\,\%$



Transformador

•En un transformador ideal las perdidas son nulas (eficiencia $100\,\%$), en tal caso el ϕ_B del primario es igual al del secundario.

Relación entre los voltajes del transformador

$$V_2 = \frac{N_2}{N_1} V_1$$

•Si $N_2 > N_1 \rightarrow$ transformador elevador
•Si $N_2 < N_1 \rightarrow$ transformador reductor

<ins>Ej.</ins> *El voltaje doméstico es elevado para algunos dispositivos (portátiles, cargadores móvil ...) $\rightarrow$ necesitamos un transformador reductor como el de la foto. Este también incluye diodos que rectifican (transforman ca en cd).*

Transformador

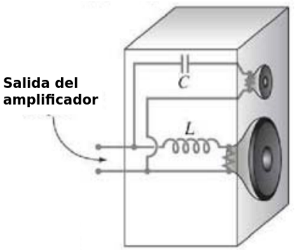
Ejemplo 7: Muchos de los timbres de la puerta están diseñados para funcionar con 12 V de ca. La energía la reciben de pequeños transformadores que convierten señales alternas de 115 V a otras de 12 V. Suponga que el primario de uno de estos transformadores tiene 1500 vueltas. ¿ Cuántas vueltas tiene el secundario?

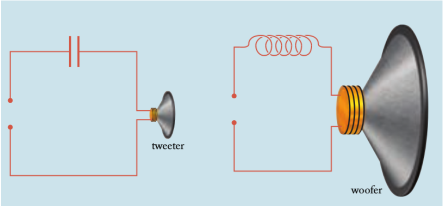
Sol. N_2*=157*

Apéndice: Filtros

Un filtro es un circuito capaz de discriminar una frecuencia dada o gama de frecuencias de una señal eléctrica que pasa a través de él.

- El comportamiento de los condensadores e inductores puede ser usado para crear filtros.
- Una aplicación la encontramos en los sistema de sonido.
- Los sonidos de baja frecuencia son producidos por el *woofer* (bafle de graves), mientras que el *tweeter* (bafle de agudos) produce los de alta frecuencia.
- Condensador $\rightarrow$ filtro de baja frecuencia (paso alto) en el *tweeter*.
- Inductor $\rightarrow$ filtro de alta frecuencia (paso bajo) en el *woofer*.





Apéndice: Radio AM

•Aplicación de un circuito RLC en resonancia: Sintonización de Radio
•El circuito de sintonía es un inductor en serie con un condensador donde se puede cambar a voluntad el valor de L y C (ruedecillas)

•Cambiando la capacidad y la inductancia, cambiamos la frecuencia de resonancia del circuito.
•La antena capta señales de muchas emisoras, cada una a una frecuencia diferente.

•La antena actúa como fuente de ca.
•Pero de las muchas frecuencias captadas, la única que dará lugar a una intensidad considerable será la de resonancia, el resto de frecuencias dan lugar a intensidades despreciables.