Circuitos de corriente alterna

Estos grandes transformadores se utilizan para aumentar el voltaje en una planta generadora de energía eléctrica para distribuir la energía por transmisión eléctrica a la red. Es posible cambiar los voltajes con relativa facilidad porque la potencia se distribuye por corriente alterna en lugar de corriente directa. (Lester Lefkowitz/Getty Images)

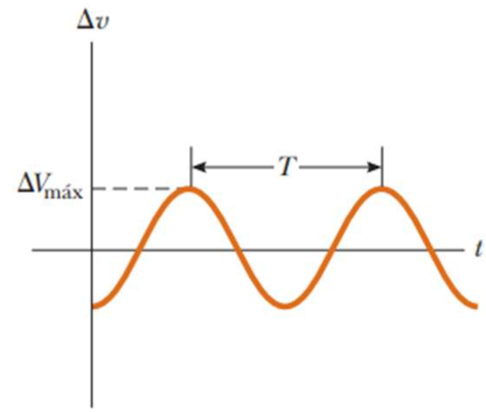
Circuitos de corriente alterna

- Aplicaremos una fuente de voltaje alterno CA a un circuito en serie que contiene resistores, inductores y condensadores para conocer cuales son las características de amplitud y tiempo de la corriente alterna.

Fuentes de CA

Un circuito de CA está conformado por elementos de circuito y una fuente de energía que le proporciona un voltaje alterno Δv que varía con el tiempo:

$$\Delta v = \Delta V_{máx} \text{ sen } \omega t$$



$\Delta V_{máx}$ = Amplitud de voltaje máx.

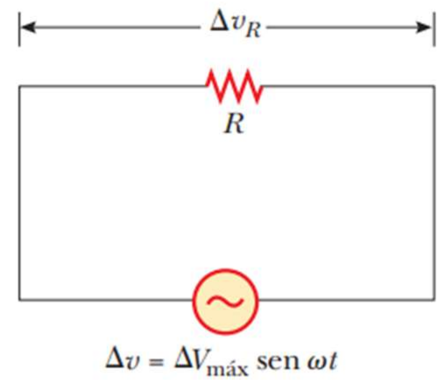
ω = frecuencia angular del voltaje → $\omega = 2\pi f = \dfrac{2\pi}{T}$

f es la frecuencia de la fuente y T el período

En Argentina: $f = 50\ Hz$; $\omega = 314\ \text{rad/s}$ y $T = 20\ \text{ms}$

Resistores en un circuito de CA

Considere un circuito CA formado por un resistor y una fuente de CA:



Aplicando Kirchhoff:

$$\Delta v - i_R R = 0$$

Despejando i_R :

$$i_R = \frac{\Delta v}{R} = \frac{\Delta V_{máx}}{R} sen\ \omega t = I_{máx}\ sen\ \omega t$$

donde $Imáx$ es la corriente máxima:

$$I_{máx} = \frac{\Delta V_{máx}}{R}$$

y el voltaje instantáneo a través del resistor es:

$$\Delta v_R = i_R R = I_{máx} R\ sen\ \omega t$$

Ambas i_R y Δv_R varían como $sen\ \omega t$ se dice que están en fase.

Gráficas

Gráficas

Diagrama de fasores

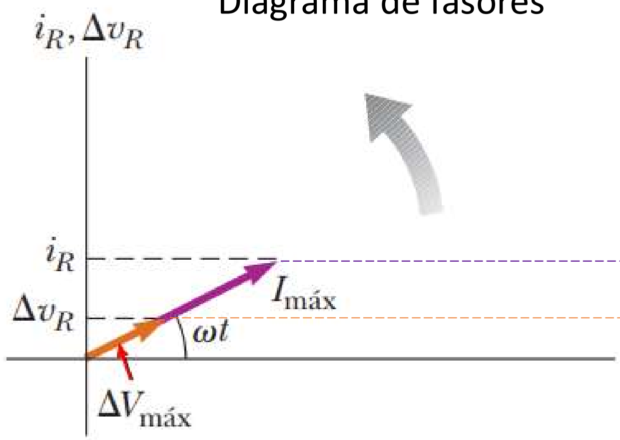
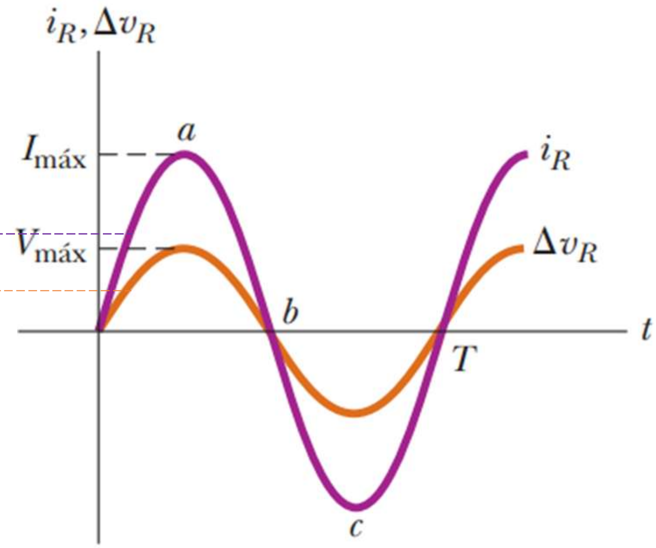


Diagrama temporal



Fasor:

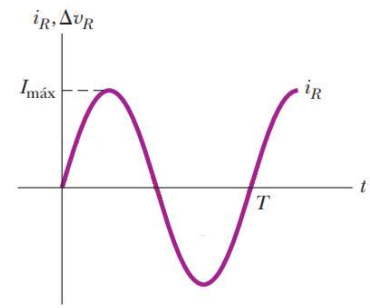
Un fasor es un vector cuya longitud es la amplitud máx. de la variable que representa ($\Delta V_{\text{máx}}$ para voltaje e $I_{\text{máx}}$ para corriente) y que gira en sentido antihorario con una rapidez angular ωt.

La proyección del fasor sobre el eje vertical representa el valor instantáneo de la cantidad que representa.

Para un voltaje senoidal aplicado, la corriente en un resistor siempre está en fase con el voltaje en las terminales del resistor.

Los resistores se comportan esencialmente en la misma forma en circuitos de CD y de CA.

Corriente media:



El valor promedio de la corriente en todo un ciclo es cero.

No obstante, el sentido de la corriente no afecta el comportamiento del resistor.

Las colisiones entre electrones y los átomos fijos del resistor generan un aumento en la temperatura del resistor

Este aumento de temperatura depende de la magnitud de la corriente y no del sentido de ésta.

Corriente eficaz (rms):

La rapidez con la que se entrega energía a un resistor es la potencia

$$\mathcal{P} = i^2 R$$

no importa el signo de i

No obstante, el aumento de temperatura producido por una CA que tiene un valor máximo $I_{\text{máx}}$ no es el mismo que el producido por una CD del mismo valor.
Esto se debe a que la CA está en su máx. valor sólo durante un breve instante en cada ciclo.

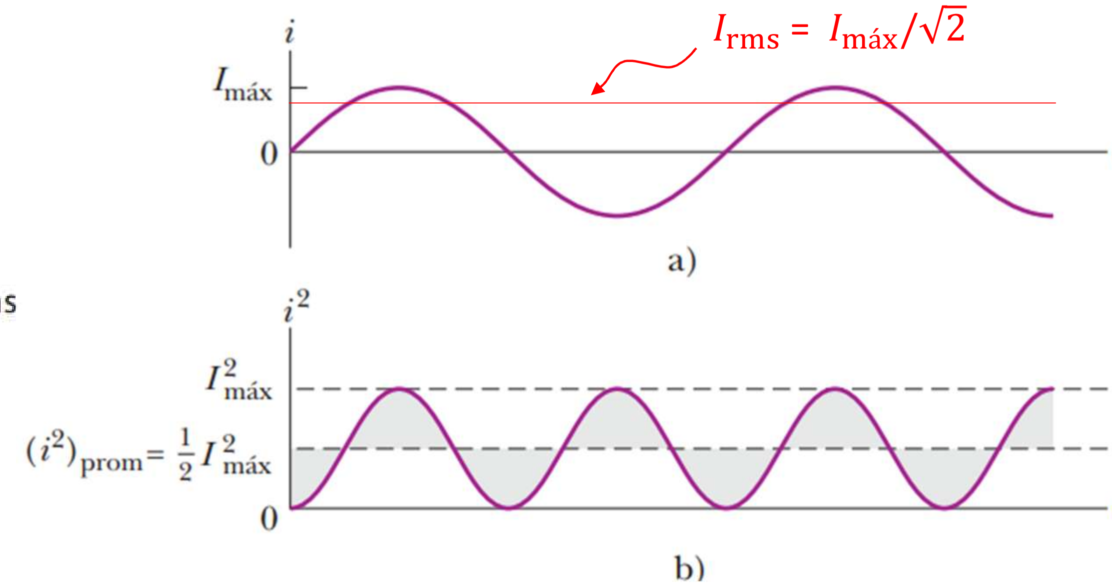
Lo que es importante en un circuito de CA es el valor promedio de corriente, que se conoce como **corriente rms.**

rms: (root mean square) raíz cuadrada media o *media cuadrática*

Se trata de la raíz cuadrada del valor medio (promedio) del “cuadrado de la corriente”.

$$I_{\text{prom}} = \sqrt{(i^2)_{\text{prom}}}$$

Como i^2 varía con $\text{sen}^2\omega t$ y porque el valor promedio de i^2 es $\frac{1}{2}I_{máx}^2$



la corriente **rms** es:

$$I_{\text{prom}} = \sqrt{\frac{1}{2}I^2_{\text{máx}}} = \frac{I_{\text{máx}}}{\sqrt{2}} = 0{,}707\ I_{\text{máx}}$$ ◀ Corriente rms

Una CA cuyo valor máx. es 2.00 A entrega a un resistor la misma potencia que una CD que tiene un valor de (0.707)(2.00 A) = 1.41 A

Así, la potencia promedio entregada a un resistor que lleva una corriente alterna es:

$$\mathcal{P}_{\text{prom}} = I_{\text{prom}}^2 R$$

◀ Potencia promedio entregada a un resistor

El voltaje alterno también tiene una correspondencia rms idéntica a la de la corriente

$$\Delta V_{\text{prom}} = \frac{\Delta V_{\text{máx}}}{\sqrt{2}} = 0{,}707\ \Delta V_{\text{máx}}$$

Cuando se mide un voltaje alterno de 220 V de una toma de corriente eléctrica, su valor máx. es 311 V

EJEMPLO 33.1 ¿Cuál es la corriente rms?

El voltaje de salida de una fuente CA se conoce por la expresión $\Delta v = (200\text{ V})$ sen ωt. Encuentre la corriente rms en el circuito cuando esta fuente se conecta a un resistor de 100 Ω.

SOLUCIÓN

Conceptualizar La figura 33.2 muestra la situación física para este problema.

Categorizar La corriente se evalúa con una ecuación desarrollada en esta sección, así que este ejemplo se clasifica como un problema de sustitución.

Al comparar esta expresión para un voltaje de salida con la forma general $\Delta v = \Delta V_{\text{máx}}$ sen ωt se demuestra que $\Delta V_{\text{máx}} = 200$ V. Calcule el voltaje rms a partir de la ecuación 33.5:

$$\Delta V_{\text{rms}} = \frac{\Delta V_{\text{máx}}}{\sqrt{2}} = \frac{200\text{ V}}{\sqrt{2}} = 141\text{ V}$$

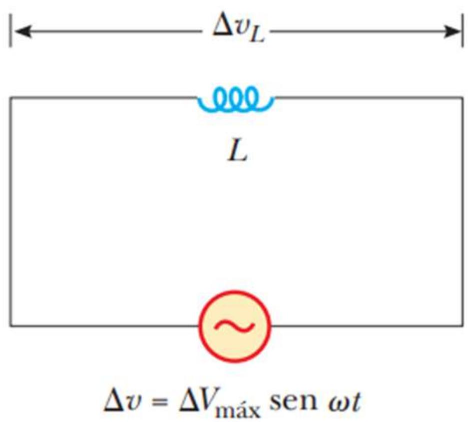
Encuentre la corriente rms:

$$I_{\text{rms}} = \frac{\Delta V_{\text{rms}}}{R} = \frac{141\text{ V}}{100\ \Omega} = \boxed{1.41\text{ A}}$$

Inductores en un circuito de CA

Sabiendo que: $\Delta v_L = \mathcal{E}_L = -L\left(\frac{di_L}{dt}\right)$ (voltaje autoinducido en las terminales del inductor)

Aplicando Kirchhoff:



$$\Delta v - L\left(\frac{di_L}{dt}\right) = 0$$

Sustituyendo $\Delta v = \Delta V_{máx} \text{ sen } \omega t$

$$\Delta v = L\left(\frac{di_L}{dt}\right) = \Delta V_{máx} \text{ sen } \omega t$$

Despejando la corriente:

$$di_L = \frac{\Delta V_{máx}}{L} \text{ sen } \omega t \, dt$$

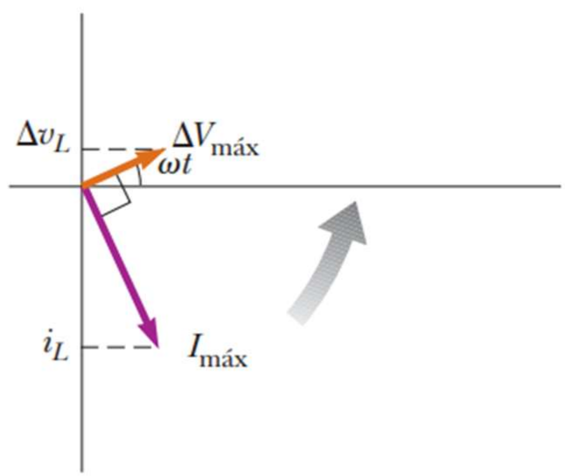
e integrando

$$i_L = \frac{\Delta V_{máx}}{L} \int \text{sen } \omega t \, dt = -\frac{\Delta V_{máx}}{\omega L} \cos \omega t$$

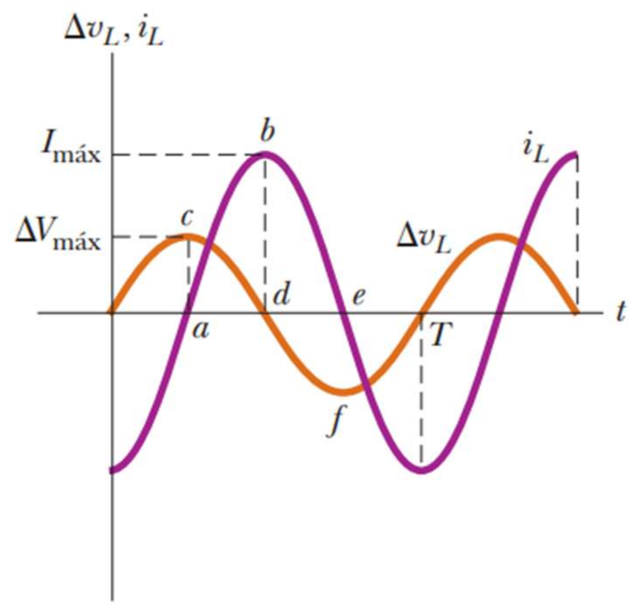
$$i_L = -\frac{\Delta V_{máx}}{\omega L} \cos \omega t$$ y usando la identidad trigonométrica $$\cos \omega t = -\text{sen}\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$i_L = \frac{\Delta V_{máx}}{\omega L} \text{sen}\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$ ◀ Corriente en un inductor

para un voltaje aplicado senoidal, la corriente en un inductor siempre se atrasa 90° respecto al voltaje en las terminales del inductor



b)



a)

corriente máx. en el inductor

$$② \quad I_{máx} = \frac{\Delta V_{máx}}{\omega L} \xrightarrow{\text{Ec. Análoga a:}} I = \frac{\Delta V}{R} \longrightarrow \text{Luego } \omega L \text{ debe tener unidades de Ohms}$$

ωL depende de la frecuencia aplicada ω.

El inductor reacciona ofreciendo oposición a la I para distintas frecuencias

Por esta razón, ωL es la reactancia inductiva X_L

$$X_L = \omega L$$ ◀ Reactancia inductiva

② se escribe:

$$I_{máx} = \frac{\Delta V_{máx}}{X_L}$$ ◀ Corriente máxima en un inductor

$$I_{rms} = \frac{\Delta V_{rms}}{X_L}$$ ◀ Corriente rms en un inductor

El voltaje instantáneo en los extremos del inductor es:

$$\Delta v_L = -L\frac{di_L}{dt} = \Delta V_{máx} \operatorname{sen} \omega t = I_{máx}\, X_L \operatorname{sen} \omega t$$ ◀ Voltaje en las terminales de un inductor

EJEMPLO 33.2 Un circuito CA completamente inductivo

En un circuito CA simplemente inductivo, $L = 25.0$ mH y el voltaje rms es de 150 V. Calcule la reactancia inductiva y la corriente rms en el circuito, si la frecuencia es de 60.0 Hz.

SOLUCIÓN

Conceptualizar La figura activa 33.6 muestra la situación física para este problema.

Categorizar La reactancia y la corriente se evalúan a partir de ecuaciones desarrolladas en esta sección, de modo que este ejemplo se clasifica como un problema de sustitución.

Use la ecuación 33.10 para encontrar la reactancia inductiva:

$$X_L = \omega L = 2\pi f L = 2\pi(60.0\text{ Hz})(25.0 \times 10^{-3}\text{ H})$$
$$= \boxed{9.42\ \Omega}$$

Use una versión rms de la ecuación 33.11 para encontrar la corriente rms:

$$I_{\text{rms}} = \frac{\Delta V_{\text{rms}}}{X_L} = \frac{150\text{ V}}{9.42\ \Omega} = \boxed{15.9\text{ A}}$$

¿Qué pasaría si? Si la frecuencia aumenta a 6.00 kHz, ¿qué sucede con la corriente rms en el circuito?

Respuesta Si la frecuencia aumenta, la reactancia inductiva también aumenta porque la corriente cambia con una mayor rapidez. El aumento en reactancia inductiva resulta en una menor corriente.

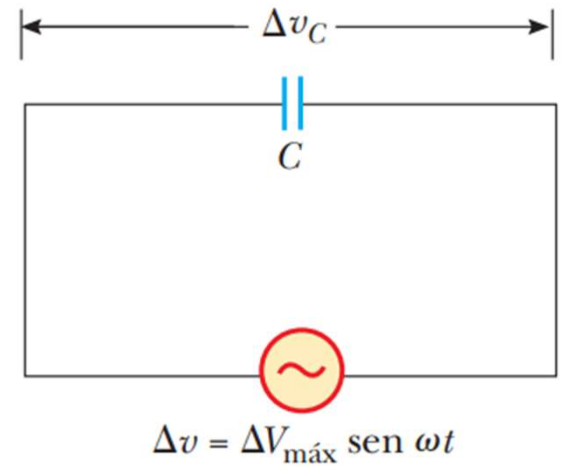
Calcule la nueva reactancia inductiva y la nueva corriente rms:

$$X_L = 2\pi(6.00 \times 10^3\text{ Hz})(25.0 \times 10^{-3}\text{ H}) = 942\ \Omega$$

$$I_{\text{rms}} = \frac{150\text{ V}}{942\ \Omega} = 0.159\text{ A}$$

Capacitores en un circuito de CA

Aplicamos Kirchhoff :



$$\Delta v - \frac{q}{C} = 0$$

Sustituyendo $\Delta v = \Delta V_{máx}\,\text{sen}\,\omega t$

$$\Delta V_{máx}\,\text{sen}\,\omega t - \frac{q}{C} = 0$$

despejamos q

$$q = C\,\Delta V_{máx}\,\text{sen}\,\omega t$$

Derivando obtenemos corriente instantánea

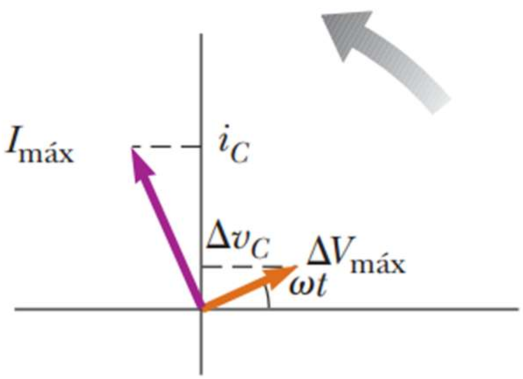
$$i_C = \frac{dq}{dt} = \omega C\,\Delta V_{máx}\cos\omega t$$

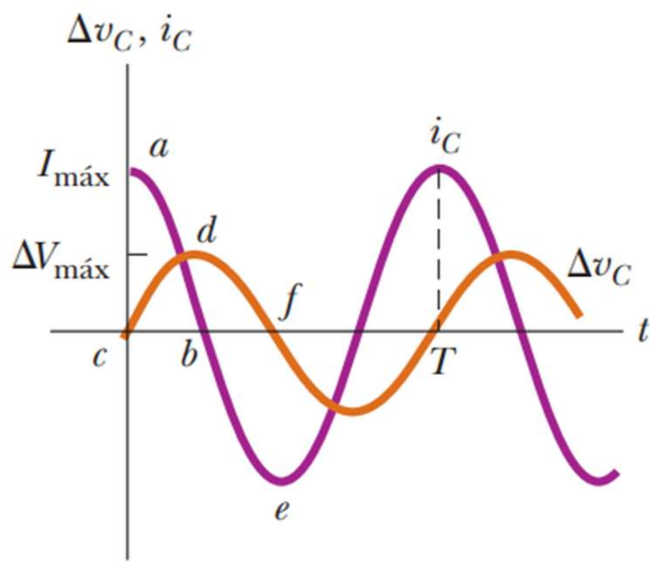
y usando la identidad trigonométrica $\cos\omega t = \text{sen}\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$

$$i_C = \frac{dq}{dt} = \omega C\ \Delta V_{máx}\text{sen}\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

◀ Corriente en un capacitor

para un voltaje aplicado senoidal, la corriente en un capacitor siempre se adelanta 90° respecto al voltaje en las terminales del capacitor.





corriente máx. en el capacitor

$$③ \quad I_{máx} = \omega C \Delta V_{máx} = \frac{\Delta V_{máx}}{1/\omega c}$$

$\longrightarrow$ Luego $1/\omega$C debe tener unidades de Ohms

Por esta razón, $1/\omega C$ es la reactancia capacitiva X_C

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

◄ Reactancia capacitiva

③ se escribe:

$$I_{máx} = \frac{\Delta V_{máx}}{X_C}$$

◄ Corriente máxima en un condensador

$$I_{rms} = \frac{\Delta V_{rms}}{X_C}$$

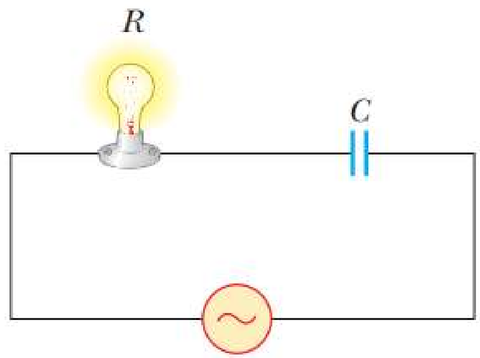
◄ Corriente rms en un capacitor

El voltaje instantáneo en los extremos del capacitor es:

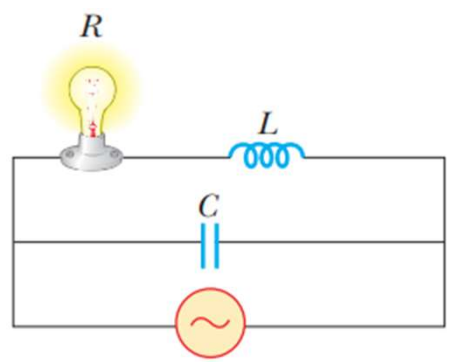
$$\Delta v_C = \Delta V_{máx} \text{ sen } \omega t = I_{máx} X_C \text{ sen } \omega t$$

◄ Voltaje en las terminales de un capacitor

Pregunta rápida 33.3 Considere el circuito de CA de la figura 33.11. La frecuencia de la fuente de CA se ajusta en tanto la amplitud de su voltaje se mantiene constante. La lámpara tendrá un brillo máximo a) a altas frecuencias, b) a bajas frecuencias, o c) el brillo será igual a cualquier frecuencia.



Pregunta rápida 33.4 Considere el circuito de CA de la figura 33.12. La frecuencia de la fuente de CA está ajustada en tanto la amplitud de su voltaje se mantiene constante. La lámpara tendrá un brillo máximo a) a altas frecuencias, b) a bajas frecuencias, o c) el brillo será igual a cualquier frecuencia.



EJEMPLO 33.3 Un circuito de CA solamente capacitivo

Un capacitor de 8.00 μF es conectado a las terminales de una fuente CA de 60.0 Hz, cuyo voltaje rms es 150 V. Encuentre la reactancia capacitiva y la corriente rms en el circuito.

SOLUCIÓN

Conceptualizar La figura 33.9 muestra la situación física para este problema.

Categorizar La reactancia y la corriente se evalúan a partir de ecuaciones desarrolladas en esta sección, así que este ejemplo se clasifica como un problema de sustitución.

Use la ecuación 33.18 para encontrar la reactancia capacitiva:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi(60\text{ Hz})(8.00 \times 10^{-6}\text{ F})} = 332\ \Omega$$

Use una versión rms de la ecuación 33.19 para encontrar la corriente rms:

$$I_{\text{rms}} = \frac{\Delta V_{\text{rms}}}{X_C} = \frac{150\text{ V}}{332\ \Omega} = \boxed{0.452\text{ A}}$$

¿Qué pasaría si? ¿Y si la frecuencia se duplica? ¿Qué sucede con la corriente rms en el circuito?

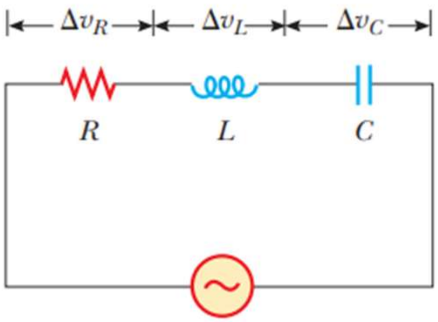
Respuesta Si la frecuencia aumenta, la reactancia capacitiva disminuye, que es justo lo opuesto del caso de un inductor. La disminución en reactancia capacitiva resulta en un aumento en la corriente.

Calcule la nueva reactancia capacitiva y la nueva corriente rms:

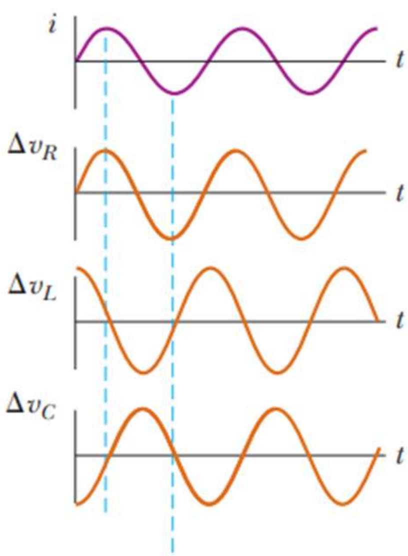
$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi(120\text{ Hz})(8.00 \times 10^{-6}\text{ F})} = 166\ \Omega$$

$$I_{\text{rms}} = \frac{150\text{ V}}{166\ \Omega} = 0.904\text{ A}$$

Circuito RLC en serie



a)



b)

Un circuito contiene un resistor, un inductor y un condensador conectados en serie a las terminales de una fuente de AC.

El voltaje instantáneo aplicado es:

$$\Delta v = \Delta V_{máx} \text{ sen } \omega t$$

y la corriente:

$$i = I_{máx} \text{ sen } (\omega t - \phi)$$

ϕ ángulo de fase entre la corriente y el voltaje aplicados

Debemos determinar $I_{máx}$ y ϕ

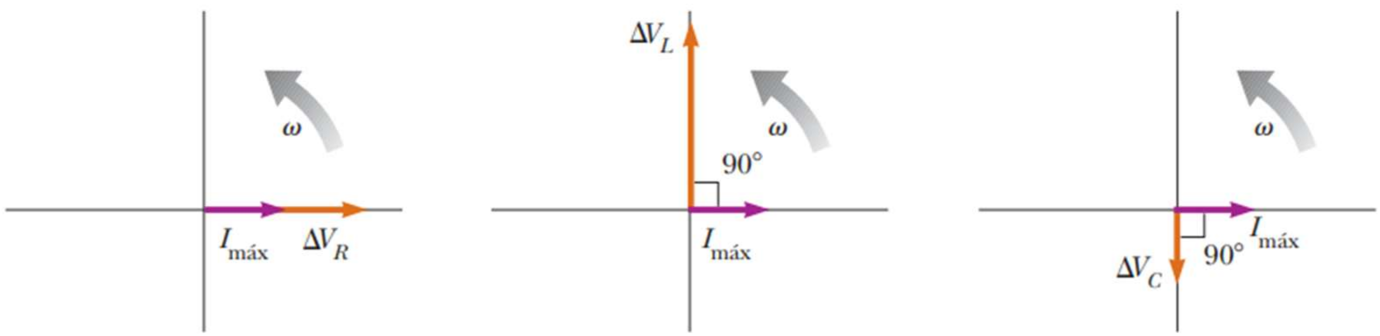
Los voltajes instantáneos en las terminales de los tres elementos de circuito se expresan como:

$$\Delta v_R = I_{máx}\, R\ sen\ \omega t = \Delta V_R\ sen\ \omega t$$

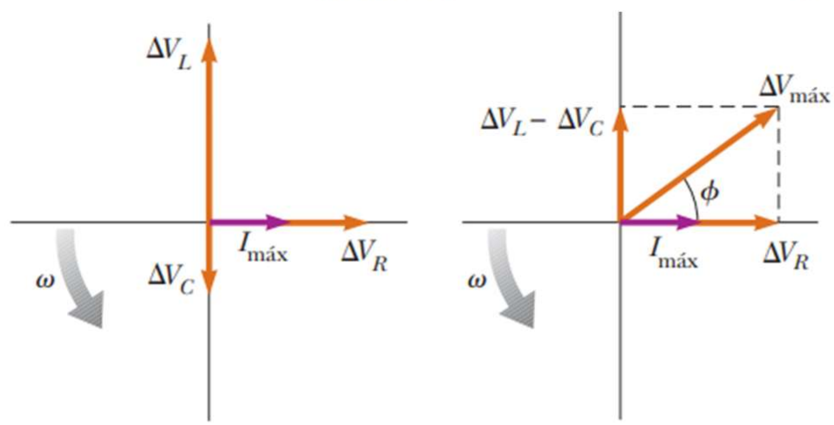
$$\Delta v_L = I_{máx}\, X_L \text{ sen } \left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = \Delta V_L \cos \omega t$$

$$\Delta v_C = I_{máx}\, X_C \text{ sen } \left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = -\,\Delta V_C \cos \omega t$$

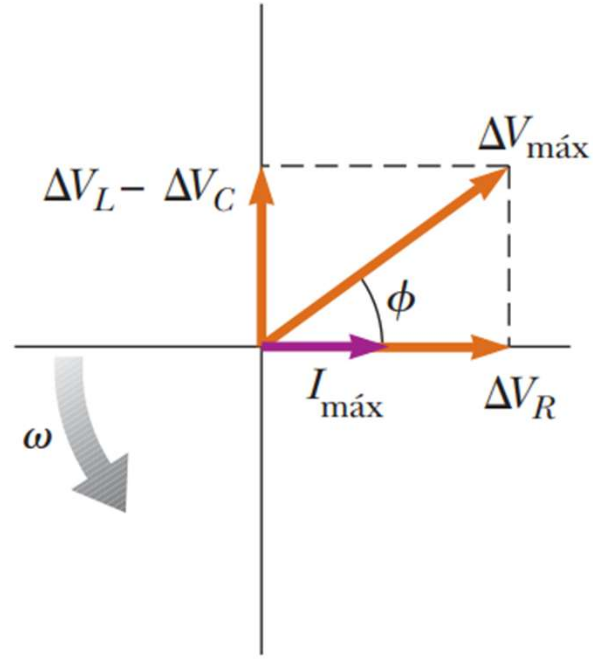
La suma de los tres voltajes debe ser igual al voltaje de la fuente de CA pero es una suma de vectores (fasores)



a) Resistor b) Inductor c) Condensador



La suma vectorial de las amplitudes de voltaje Δv_R, Δv_L y Δv_C es igual a un fasor cuya magnitud es el voltaje aplicado, $\Delta V_{máx}$, y que forma un ángulo ϕ con el fasor de $I_{máx}$



$$\Delta V_{\text{máx}} = \sqrt{\Delta V_R{}^2 + (\Delta V_L - \Delta V_C)^2} = \sqrt{(I_{\text{máx}}R)^2 + (I_{\text{máx}}X_L - I_{\text{máx}}X_C)^2}$$

$$\Delta V_{\text{máx}} = I_{\text{máx}}\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

y la corriente máxima

$$I_{\text{máx}} = \frac{\Delta V_{\text{máx}}}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

◄ Corriente máxima en un circuito *RLC*

El denominador se llama **impedancia** Z del circuito

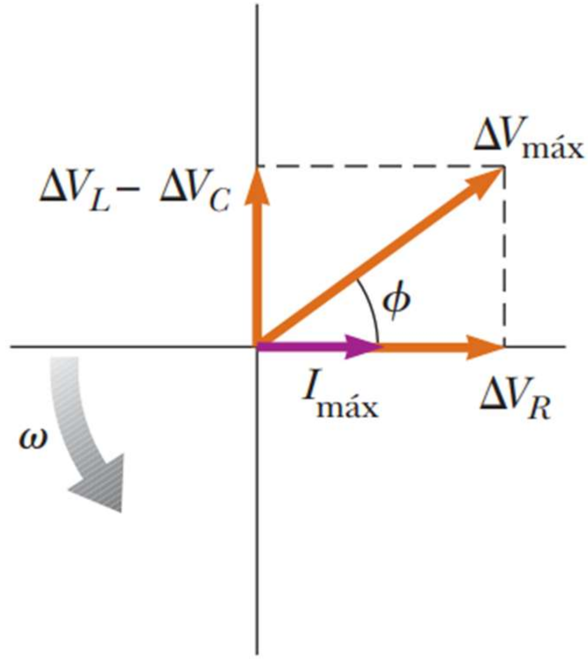
$$Z \equiv \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad [\Omega]$$

◄ Impedancia

la $I_{máx}$ se escribe como:

$$I_{\text{máx}} = \frac{\Delta V_{\text{máx}}}{Z}$$

Por el triángulo rectángulo en el diagrama del fasor en la figura el ángulo de fase ϕ entre la corriente y el voltaje es:

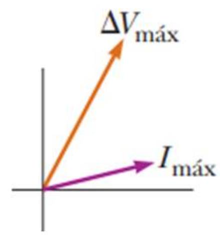


$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta V_L - \Delta V_C}{\Delta V_R}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{I_{\text{máx}} X_L - I_{\text{máx}} X_C}{I_{\text{máx}} R}\right)$$

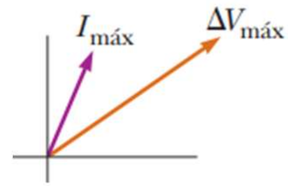
$$\boxed{\phi = \tan^{-1}\left(\frac{X_L - X_C}{R}\right)}$$

Cuando:

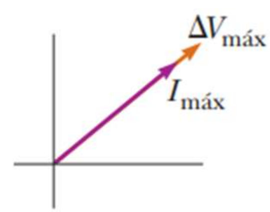
$X_L > X_C$ El ángulo de fase es positivo, la corriente se atrasa al voltaje aplicado, el circuito es de naturaleza inductivo.



$X_L < X_C$ El ángulo de fase es negativo, la corriente se adelanta al voltaje aplicado, el circuito es de naturaleza capacitivo.



$X_L = X_C$ El ángulo de fase es cero, la corriente esta en fase con el voltaje aplicado, el circuito es completamente resistivo.



EJEMPLO 33.4 **Análisis de un circuito *RLC* en serie**

Un circuito *RLC* en serie tiene $R = 425\ \Omega$, $L = 1.25$ H, $C = 3.50\ \mu$F. Está conectado a una fuente CA con $f = 60.0$ Hz y $\Delta V_{\text{máx}} = 150$ V.

A) Determine la reactancia inductiva, la reactancia capacitiva y la impedancia del circuito.

SOLUCIÓN

Conceptualizar El circuito de interés en este ejemplo se muestra en la figura 33.13a. La corriente en la combinación del resistor, inductor y capacitor oscila en un ángulo de fase particular respecto al voltaje aplicado.

Categorizar El circuito es un circuito *RLC* en serie simple, así que se puede usar el planteamiento explicado en esta sección.

Analizar Encuentre la frecuencia angular:

$$\omega = 2\pi f = 2\pi(60.0\text{ Hz}) = 377\text{ s}^{-1}$$

Use la ecuación 33.10 para encontrar la reactancia inductiva:

$$X_L = \omega L = (377\text{ s}^{-1})(1.25\text{ H}) = \boxed{471\ \Omega}$$

Use la ecuación 33.18 para encontrar la reactancia capacitiva:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{(377\text{ s}^{-1})(3.50 \times 10^{-6}\text{ F})} = \boxed{758\ \Omega}$$

Use la ecuación 33.25 para encontrar la impedancia:

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

$$= \sqrt{(425\ \Omega)^2 + (471\ \Omega - 758\ \Omega)^2} = \boxed{513\ \Omega}$$

B) Encuentre la corriente máxima en el circuito.

SOLUCIÓN

Use la ecuación 33.26 para encontrar la corriente máxima:

$$I_{\text{máx}} = \frac{\Delta V_{\text{máx}}}{Z} = \frac{150\ \text{V}}{513\ \Omega} = \boxed{0.292\ \text{A}}$$

C) Encuentre el ángulo de fase entre la corriente y el voltaje.

SOLUCIÓN

Use la ecuación 33.27 para calcular el ángulo de fase:

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{X_L - X_C}{R}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{471\ \Omega - 758\ \Omega}{425\ \Omega}\right) = \boxed{-34.0°}$$

D) Encuentre el voltaje máximo a través de cada elemento.

SOLUCIÓN

Use las ecuaciones 33.2, 33.11 y 33.19 para calcular los voltajes máximos:

$$\Delta V_R = I_{\text{máx}} R = (0.292\ \text{A})(425\ \Omega) = \boxed{124\ \text{V}}$$

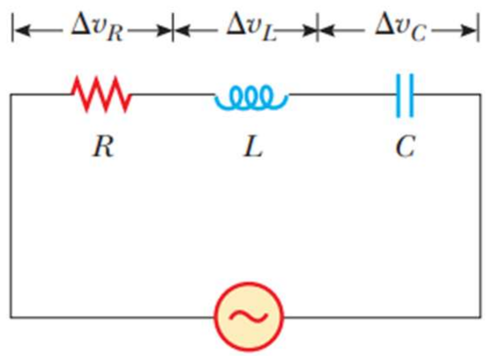
$$\Delta V_L = I_{\text{máx}} X_L = (0.292\ \text{A})(471\ \Omega) = \boxed{138\ \text{V}}$$

$$\Delta V_C = I_{\text{máx}} X_C = (0.292\ \text{A})(758\ \Omega) = \boxed{221\ \text{V}}$$

Potencia en un circuito de CA

Consideremos la transferencia de energía de la fuente (Δv) de CA al circuito

La potencia instantánea entregada por una fuente de CA a un circuito es el producto de la corriente de la fuente y el voltaje aplicado



$\Delta v = \Delta V_{máx}$ sen ωt

$$\mathcal{P} = i\,\Delta v = I_{máx}\,\text{sen}\,(\omega t - \phi)\,\Delta V_{máx}\,\text{sen}\,\omega t$$

$$\mathcal{P} = I_{máx}\,\Delta V_{máx}\,\text{sen}\,\omega t\,\text{sen}\,(\omega t - \phi) \qquad (4)$$

Identidad trigonométrica

$$\text{sen}\,(\omega t - \phi) = \text{sen}\,\omega t\cos\phi - \cos\omega t\,\text{sen}\,\phi$$

Sustituyendo en (4)

$$\mathcal{P} = I_{máx}\,\Delta V_{máx}\,\text{sen}^2\omega t\cos\phi - I_{máx}\,\Delta V_{máx}\,\text{sen}\,\omega t\cos\omega t\,\text{sen}\,\phi$$

Sabiendo que $I_{máx}$, $\Delta V_{máx}$, ϕ y ω son ctes.

y tomando el promedio en el tiempo de $\mathcal{P}$ en uno o más ciclos

$$\mathcal{P} = I_{máx}\, \Delta V_{máx}\, \underbrace{\text{sen}^2}\omega t \cos\phi - I_{máx}\, \Delta V_{máx}\, \underbrace{\text{sen}\,\omega t \cos\omega t}\, \text{sen}\,\phi$$

$$\text{sen}^2\omega t = \frac{1}{2}(1 - \cos 2\omega t) \longrightarrow \textit{Promedio} = \frac{1}{2}$$

$$\text{sen}\,\omega t \cos\omega t = \frac{1}{2}\,\text{sen}\,2\omega t \longrightarrow \textit{Promedio} = 0$$

Por lo tanto, se expresa la potencia promedio $\mathcal{P}_{prom}$ como:

$$\mathcal{P}_{prom} = \frac{1}{2}\, I_{máx}\, \Delta V_{máx} \cos\phi$$

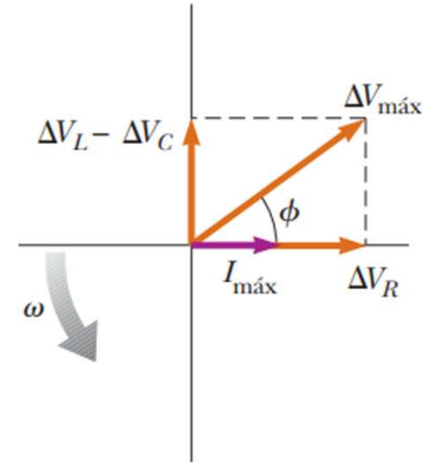
$$\mathcal{P}_{prom} = \frac{I_{máx}}{\sqrt{2}} \frac{\Delta V_{máx}}{\sqrt{2}} \cos\phi$$

$$\boxed{\mathcal{P}_{prom} = I_{rms}\, \Delta V_{rms} \cos\phi} \quad [\mathrm{W}]$$

$\cos\phi$ se denomina **factor de potencia.**

El voltaje máx. en las terminales del resistor es:

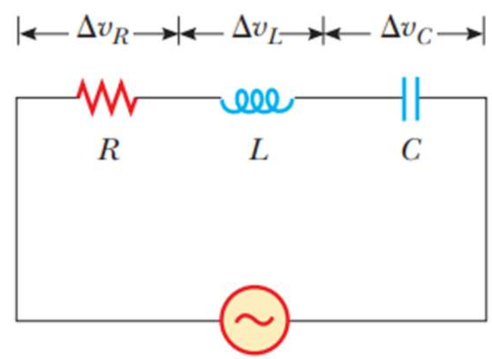
$$\Delta V_R = V_{máx}\cos\phi = I_{máx}\,R \quad \longrightarrow \quad \cos\phi = \frac{I_{máx}R}{V_{máx}}$$



Expresamos la $\mathcal{P}_{prom}$ como:

$$\mathcal{P}_{prom} = I_{rms}\,\Delta V_{rms}\cos\phi = I_{rms}\frac{\cancel{V_{máx}}\,\overset{I_{rms}}{I_{máx}}R}{\sqrt{2}\,\cancel{V_{máx}}} =$$

$$\boxed{\mathcal{P}_{prom} = I_{rms}^2 R}$$



La potencia promedio entregada por la fuente se convierte en energía interna en el resistor.

Cuando la carga es completamente resistiva, $\phi = 0$, $\cos\phi = 1$, y por la ecuación:

$$\boxed{\mathcal{P}_{prom} = I_{rms}\,\Delta V_{rms}\cos\phi}$$

$$\downarrow$$

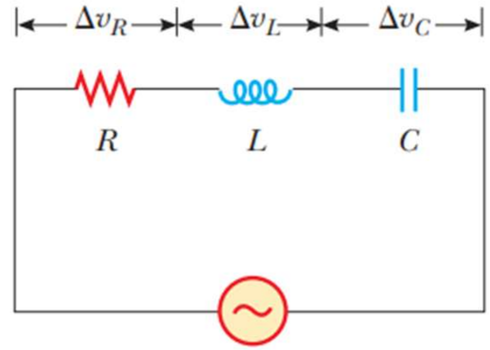
$$\mathcal{P}_{prom} = I_{rms}\,\Delta V_{rms}$$

No existen pérdidas de potencia asociadas con capacitores puros e inductores puros en un circuito de CA.

Resonancia en un circuito RLC en serie

Ocurre cuando la reactancia capacitiva es igual a la inductiva

$$|X_L| = |X_C| \longrightarrow \omega L = \frac{1}{\omega C}$$



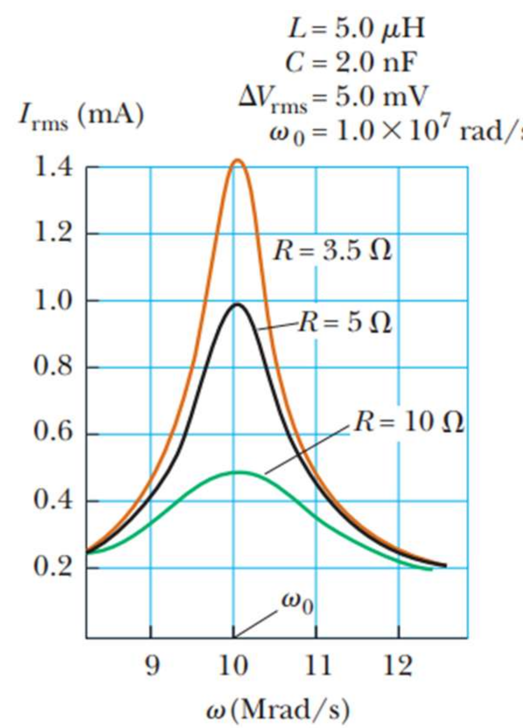
$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Frecuencia de resonancia

$$Z \equiv \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = R$$

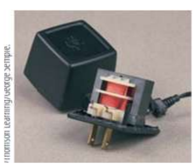
$$I_{rms} = \frac{\Delta V_{rms}}{R}$$

alcanza su valor máx.
en la resonancia



El transformador y la transmisión de energía

El transformador



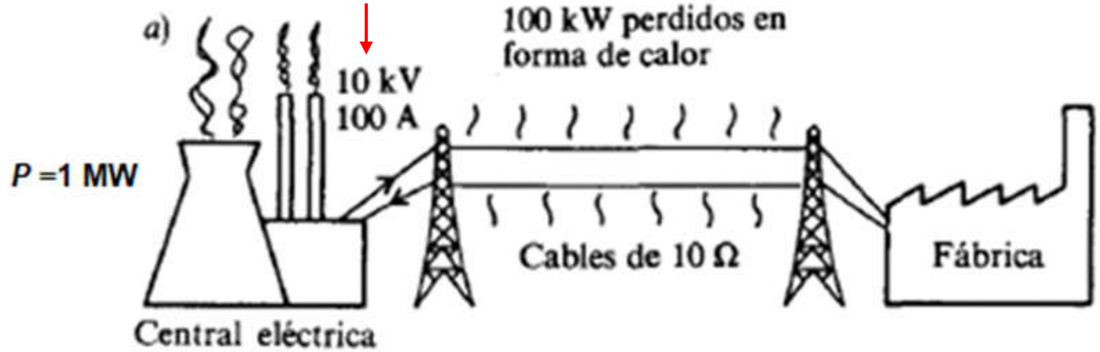
Transmisión de la Energía

Es económico usar un voltaje alto y una corriente baja para minimizar la pérdida I^2R

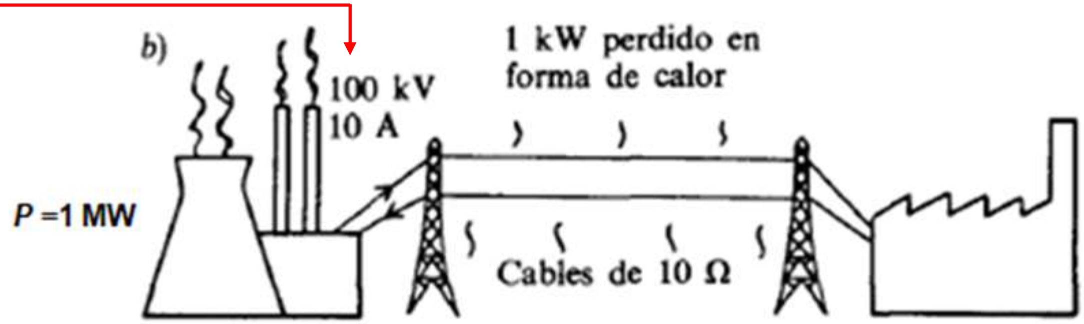
Ejemplo: ¿Qué potencia se pierde en los cables en el transporte?

con

Se quiere transmitir



¿Y si aumentamos el voltaje a 100kV?



La transmisión en alta tensión permite perder menor energía

Son comunes líneas de 350 kV y, en muchas áreas, incluso se usan líneas con voltajes más altos (765 kV)

En el extremo receptor de tales líneas, el consumidor requiere potencia a bajo voltaje.

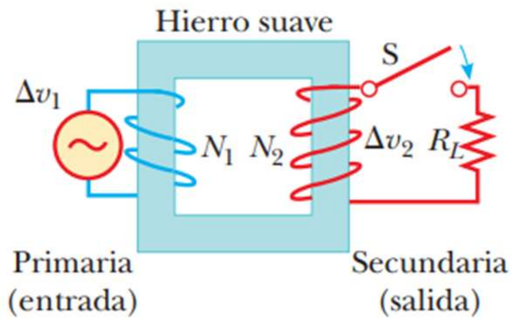
En la práctica, el voltaje reduce a aproximadamente 66-132 kV en una estación distribuidora,

Luego a 13,3 kV para entrega a áreas residenciales.

Finalmente a 220 V y 380 V en el sitio del consumidor.

El transformador CA es el dispositivo que puede cambiar el voltaje y la corriente alternos sin causar cambios apreciables en la potencia entregada.

EL transformador de CA consta de dos bobinas de alambre enrolladas alrededor de un núcleo de hierro



Según la ley de Faraday:

$$\Delta \boldsymbol{v_1} = -N_1 \frac{d\boldsymbol{\Phi}_B}{dt}$$

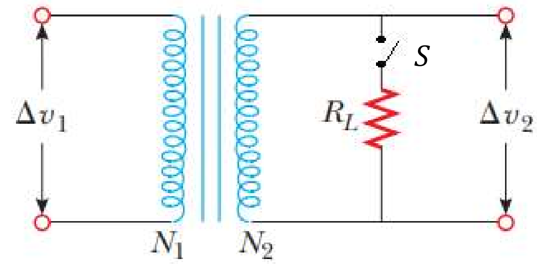
$\boldsymbol{\Phi}_B$: es el flujo magnético que pasa por cada vuelta

el $\boldsymbol{\Phi}_B$ que pasa por el primario es igual al $\boldsymbol{\Phi}_B$ que pasa por el secundario, luego:

$$\Delta \boldsymbol{v_2} = -N_2 \frac{d\boldsymbol{\Phi}_B}{dt}$$

Como el $\boldsymbol{\Phi}_B$ es el mismo, despejamos e igualamos

$$\frac{d\boldsymbol{\Phi}_B}{dt} = -\frac{\Delta \boldsymbol{v_1}}{N_1} = -\frac{\Delta \boldsymbol{v_2}}{N_2}$$



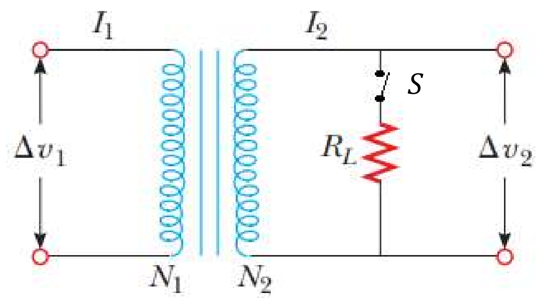
y encontramos que:

$$\Delta \boldsymbol{v_2} = \frac{N_2}{N_1}\,\Delta \boldsymbol{v_1}$$

Si $N_2 > N_1$, el voltaje de salida $\Delta \boldsymbol{v_2}$ es mayor que el voltaje de entrada $\Delta \boldsymbol{v_1}$ $\longrightarrow$ *Transformador elevador*

Si $N_2 < N_1$, el voltaje de salida $\Delta \boldsymbol{v_2}$ es menor que el voltaje de entrada $\Delta \boldsymbol{v_1}$ $\longrightarrow$ *Transformador reductor*

Cuando se cierra el interruptor S, se induce una corriente I_2 en el secundario.



La potencia del secundario la proporciona la fuente de CA conectada al circuito primario. Es decir:

$$\boldsymbol{I_1 \Delta V_1 = I_2 \Delta V_2}$$

El valor de la resistencia de carga R_L determina el valor de la corriente I_2

$$I_2 = \frac{\Delta V_2}{R_L}$$

$$\frac{d\boldsymbol{\Phi}_B}{dt} = -\frac{\Delta \boldsymbol{v_1}}{N_1} = -\frac{\Delta \boldsymbol{v_2}}{N_2}$$

Además, la corriente del primario es:

$$I_1 = \frac{\Delta V_1}{R_{eq}}$$

Con

$$R_{eq} = \frac{\Delta V_1}{I_1} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 R_L$$

Rectificadores y filtros

Los aparatos electrónicos portátiles, como radios, reproductores etc… se alimentan con CD suministrada por baterías

Los dispositivos traen convertidores de CA-CD

Este convertidor contiene un transformador que reduce el voltaje de 220 V a generalmente 9V o menos .

y luego un circuito que convierte CA en CD.

El proceso de convertir CA en CD se denomina **rectificación** y el aparato convertidor se llama **rectificador.**

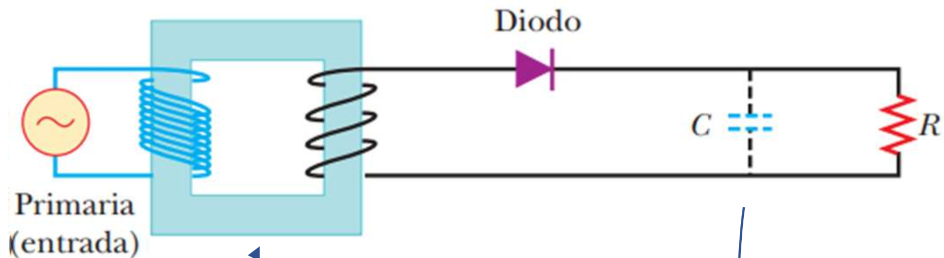
El diodo

Elemento que conduce corriente en un solo sentido.

El símbolo es  la flecha indica la dirección de la corriente en el diodo

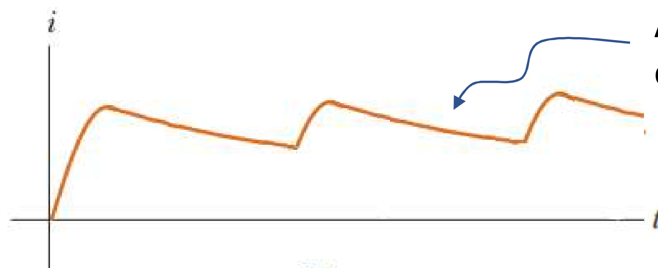
Funcionamiento:

Rectificador de media onda: la corriente está presente en el circuito sólo durante la mitad de cada ciclo.



transformador reductor

Agregando un capacitor



b)