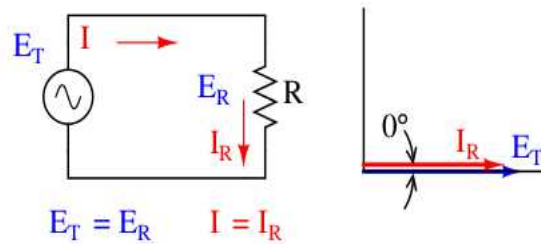


**Table of Contents**

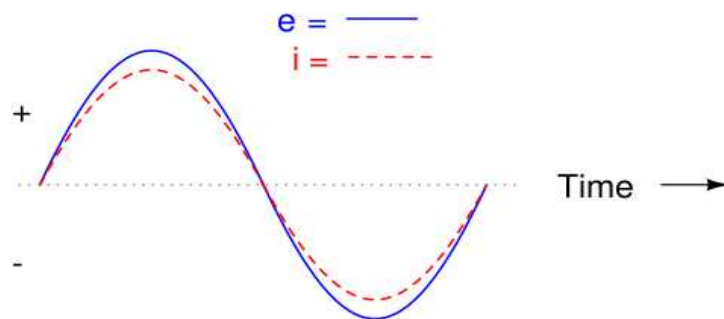
1 Resistencias en circuitos de CA.....2

2 Inductores en circuitos de CA.....4

## 1 Resistencias en circuitos de CA

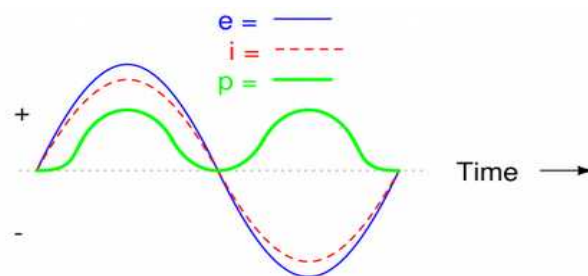


El gráfico de la corriente y la tensión de un circuito de CA muy sencillo formado por una fuente y una resistencia, sería el siguiente.



Una resistencia se opone al flujo de la corriente de forma continua y constante en el tiempo. La relación entre tensión y corriente en una resistencia es proporcional, la onda de la corriente a través de la resistencia y la onda de la caída de tensión medida en la resistencia están en fase con la onda de la fuente de alimentación. En el gráfico se puede observar cualquier punto en el tiempo a lo largo del eje horizontal y comprobar que la Ley de Ohm se aplica en este momento a los valores de corriente y tensión correspondientes. Cuando el valor instantáneo de la corriente es cero, la tensión instantánea a través de la resistencia también es cero. Del mismo modo, en el momento en que la corriente a través de la resistencia está en su pico positivo, la tensión a través de la resistencia también está en su pico positivo, y así sucesivamente. En cualquier punto dado en el tiempo a lo largo de las ondas, la Ley de Ohm se cumple para los valores instantáneos de tensión y corriente.

También se puede calcular la potencia disipada por esta resistencia, y representarla en el gráfico.



El gráfico muestra que la potencia nunca alcanza un valor negativo. Cuando la corriente es positiva (por encima del eje horizontal), la tensión también es positiva, lo que da una potencia ( $p=ie$ ) de valor positivo. A la inversa, cuando la corriente es negativa (por debajo del eje horizontal), la tensión también es negativa, volviendo a ser la potencia ( $p=ie$ ) positiva (un número negativo multiplicado por un número negativo es igual a un número positivo). Esta "polaridad" constante de la potencia nos indica que la resistencia siempre está disipando energía, tomándola de la fuente y liberándola en forma de energía térmica. Independientemente de la dirección de la corriente (positiva o negativa), la resistencia disipa energía.

## 2 Inductores en circuitos de CA

Los inductores no se comportan igual que las resistencias. Mientras que las resistencias se limitan a oponerse a la corriente que circula a través de ellas, dejando caer una tensión directamente proporcional a la corriente, los inductores se oponen a los cambios de corriente dejando caer un voltaje directamente proporcional a la tasa de cambio de la corriente. De acuerdo con la ley de Lenz, esta tensión inducida siempre es de una polaridad que se opone a la variación de la corriente. Si la corriente aumenta, la tensión inducida se opone al flujo de electrones (inductancia como carga, almacenamiento de energía en la bobina). Si la corriente disminuye, el inductor se opone a la disminución actuando como fuente de energía, su polaridad causa una suma de tensión con la de la fuente del circuito (descarga de la energía almacenada en la bobina). Esta oposición al cambio de corriente se llama reactancia.

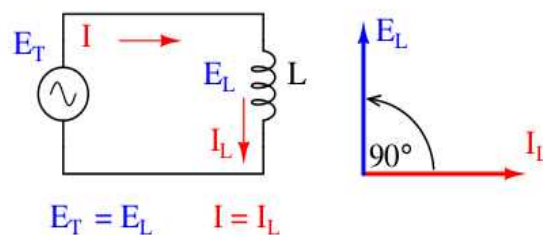
La expresión matemática de la relación entre la caída de tensión en un inductor y la variación de la corriente es la siguiente.

$$e = L \cdot \frac{di}{dt}$$

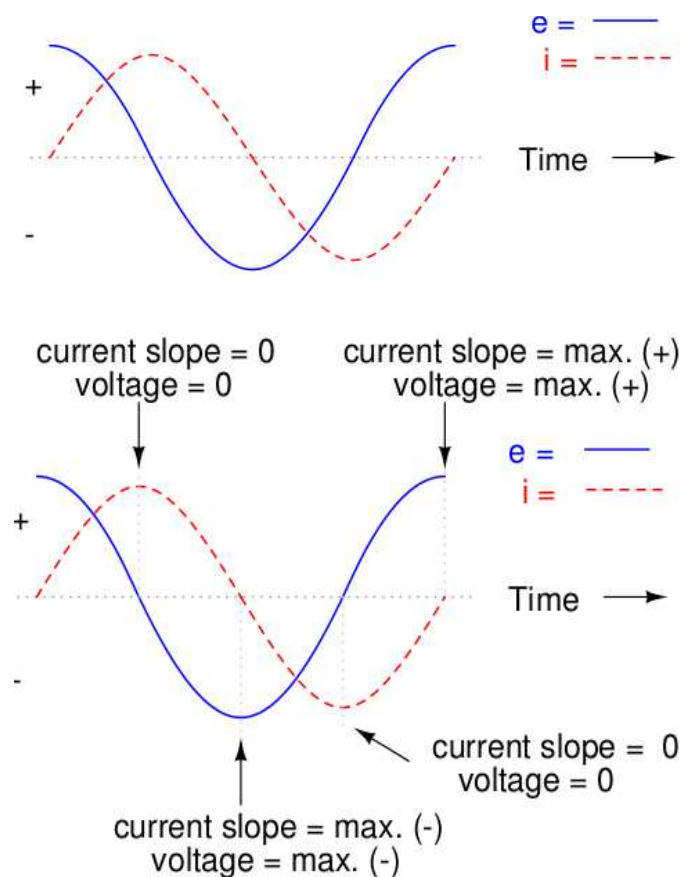
La expresión  $\frac{di}{dt}$  procede del cálculo y significa la tasa de variación de la corriente (i) a lo largo del tiempo, en amperios por segundo. La unidad de la inductancia (L) son los Henrys, y la de la tensión instantánea (e) los voltios. A veces la tensión instantánea se expresa como  $v$  en lugar de

$e \rightarrow v = L \cdot \frac{di}{dt}$ , pero significa exactamente lo mismo.

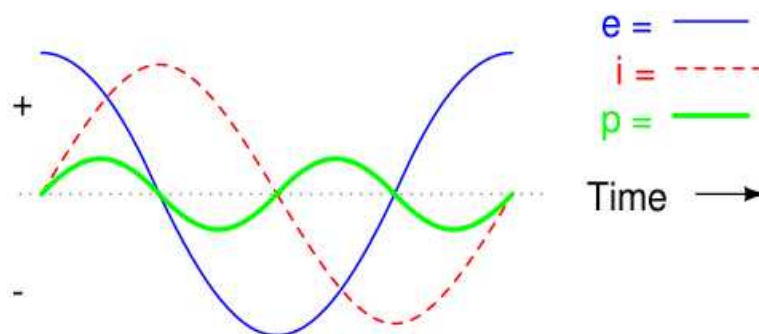
El siguiente ejemplo muestra un inductor en un circuito de CA.



A continuación se muestra el gráfico de voltaje y corriente para este circuito.



La corriente presenta un desfase de  $90^\circ$  (retardo) respecto a la tensión.



Dado que la potencia instantánea es el producto de la tensión instantánea y la corriente instantánea ( $p=ie$ ), la potencia es igual a cero siempre que la corriente o la tensión instantáneas sean cero. Siempre que la corriente y la tensión instantáneas sean ambas positivas (por encima del eje horizontal), la potencia es positiva. Como en el ejemplo de la resistencia, la potencia también es positiva cuando la corriente y la tensión instantáneas son negativas (por debajo del eje horizontal). Sin embargo, como las ondas de corriente y tensión están desfasadas  $90^\circ$ , hay momentos en los que una es positiva y la otra negativa, lo que hace que se produzcan con igual frecuencia potencias negativas y positivas.

Pero, ¿qué significa potencia negativa? Significa que el inductor devuelve potencia al circuito, mientras que una potencia positiva significa que está absorbiendo potencia del circuito. Puesto que los ciclos de potencia positiva y negativa son iguales en magnitud y duración, el inductor devuelve al circuito tanta potencia como la que absorbe en el transcurso de un ciclo completo. Esto significa que la reactancia de un inductor disipa una energía neta nula, a diferencia de la resistencia, que disipa energía en forma de calor.

Esto es sólo válido para inductores perfectos, en los que se desprecia la resistencia del hilo conductor que forma la bobina.

La oposición de un inductor al cambio de corriente se traduce en una oposición a la corriente alterna alterna en general, que por definición siempre cambia en magnitud y dirección. Esta oposición a la corriente alterna es similar a la de la resistencia, pero se diferencia en que siempre da lugar a un desfase entre la corriente y la tensión, y no disipa potencia. Debido a estas diferencias, recibe un nombre diferente: reactancia. La reactancia a la CA se expresa en ohmios, al igual que la resistencia, con la diferencia de que su símbolo matemático es  $X$  en lugar de  $R$ . De hecho, la reactancia asociada a un inductor se expresa en ohmios y suele simbolizarse con  $X_L$ .

Dado que los inductores varían la tensión en proporción a la velocidad de cambio de la corriente, la variación de tensión será mayor con corrientes que cambien rápidamente y menor con corrientes que cambien lentamente. Estas variaciones de la tensión inducida se oponen a las variaciones de corriente y por tanto a la tensión de la fuente de alimentación. Esto significa que la reactancia en ohmios de cualquier inductor es directamente proporcional a la frecuencia de la corriente alterna.

La fórmula exacta para calcular la reactancia es la siguiente.

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

Aplicando las frecuencias de 60, 120 y 2500 Hz aun inductor de 10 mH, se obtienen las reactancias de la tabla.

Frecuencia en Hz	Reactancia en $\Omega$
60	3,77
120	7,54
2500	157,08

En la ecuación de la reactancia, el término " $2\pi f$ " (todo lo que hay en el lado derecho excepto la  $L$ ) tiene un significado especial. Es el número de radianes por segundo a los que "gira" la corriente alterna, si imaginamos que un ciclo de CA representa una rotación completa.

Un radián es una unidad de medida angular.  $2\pi$  radianes corresponden a un círculo completo, así como  $360^\circ$  hacen un círculo completo. Si el alternador que produce la corriente alterna dispone de un par de polos, producirá un ciclo por cada vuelta completa de rotación del eje, es decir, cada  $2\pi$

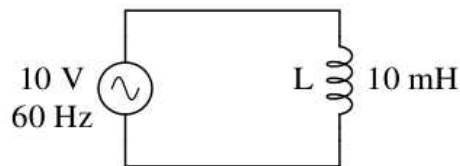
radianes, o  $360^\circ$ . La constante  $2\pi$  multiplicada por la frecuencia en hercios (ciclos por segundo), da como resultado la velocidad angular en radianes por segundo.

La velocidad angular puede representarse mediante la expresión  $2\pi f$ , o puede representarse mediante su propio símbolo, la letra griega omega en minúscula  $\omega$ . Así, la fórmula de reactancia

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \quad \text{también puede escribirse como} \quad X_L = \omega L.$$

Debe entenderse que esta "velocidad angular" es una expresión de la rapidez con que las ondas de CA realizan un ciclo completo, equivalente a un giro de  $2\pi$  radianes. Esta velocidad no es necesariamente representativa de la velocidad real del eje del alternador que produce la CA. Si el alternador tiene más de un par de polos, la velocidad angular será un múltiplo de la velocidad del eje. Por esta razón,  $\omega$  se expresa a veces en radianes eléctricos por segundo, en lugar de en radianes (normales) por segundo, para distinguirla de la velocidad angular de una onda, de la velocidad angular del movimiento mecánico de una máquina.

Independientemente de la forma que se exprese la velocidad angular del sistema, es evidente que es directamente proporcional a la reactancia en un inductor. A medida que aumenta la frecuencia (o la velocidad del eje del alternador) en un sistema de CA, un inductor ofrecerá una mayor oposición al paso de la corriente, y viceversa. La corriente alterna en un circuito inductivo simple es igual a la tensión (en voltios) dividida por la reactancia inductiva (en ohmios), al igual que la corriente alterna o continua en un circuito resistivo simple es igual a la tensión (en voltios) dividida por la resistencia (en ohmios).



$$X_L = 3,7699 \Omega$$

$$I = \frac{E}{X_L} = \frac{10 \text{ V}}{3,7699 \Omega} = 2,6526 \text{ A}$$

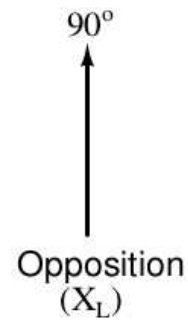
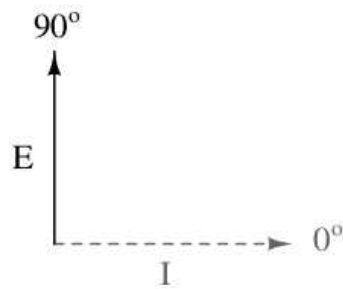
Hay que tener en cuenta que la tensión y la corriente no están en fase. Como se vio anteriormente, la tensión tiene un desfase de  $+90^\circ$  con respecto a la corriente. Representando matemáticamente estos ángulos de fase de la tensión y la corriente en forma de números complejos, se ve que la oposición de un inductor a la corriente (reactancia) también tiene un ángulo de fase.

$$\text{Oposición a la corriente} = \frac{\text{Voltaje}}{\text{corriente}}$$

$$\text{Oposición a la corriente} = \frac{10 \text{ V } 90^\circ}{2,6526 \text{ A } 0^\circ} = 3,77 \Omega 90^\circ \quad \text{en formato polar}$$

$$\text{Oposición a la corriente} = (0 + j3,77) \Omega \quad \text{en formato rectangular (binómico)}$$

*For an inductor:*



Matemáticamente, decimos que el ángulo de fase de la oposición a la corriente de un inductor es  $90^\circ$ , lo que significa que la oposición de un inductor es un valor imaginario positivo. Este ángulo de fase de la oposición reactiva a la corriente adquiere una importancia crítica en el análisis de circuitos, especialmente para circuitos de CA complejos en los que interactúan la reactancia y la resistencia. Es conveniente expresar cualquier oposición a la corriente mediante números complejos en lugar de valores escalares.



**Resumen**

- La reactancia inductiva es la oposición que un inductor ofrece a la corriente alterna debido al almacenamiento y liberación de energía en forma de campo magnético. El símbolo de la reactancia es la letra  $X$  mayúscula y se mide en ohmios al igual que la resistencia (R).
- La reactancia inductiva puede calcularse mediante la fórmula  $X_L = 2\pi \cdot f \cdot L = \omega \cdot L$
- La velocidad angular de un circuito de corriente alterna es una forma de expresar su frecuencia en radianes eléctricos por segundo, en lugar de ciclos por segundo. Se simboliza con la letra griega "omega" minúscula ( $\omega$ ).
- La reactancia inductiva aumenta con la frecuencia. En otras palabras, cuanto mayor es la frecuencia, más se opone al flujo de la corriente alterna.

### **3 Circuitos serie resistencia - inductor**

En los apartados anteriores, se comentaron los circuitos de CA simples con sólo resistencia y sólo inductor.

Ahora se verán circuitos con los dos componentes conectados en serie.

Estos apuntes son una adaptación de “[Lessons In Electric Circuits – Volume II - AC](#)” , del autor Tony R. Kuphaldt.

Traducción y adaptación Paulino Posada

Traducción realizada con la versión gratuita del traductor [www.DeepL.com/Translator](http://www.DeepL.com/Translator)