

**Table of Contents**

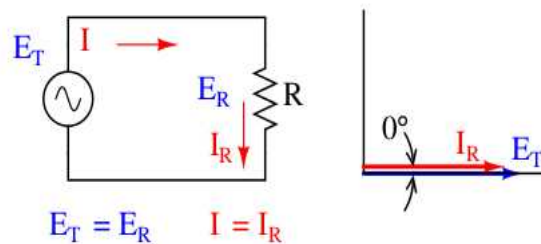
1 Resistencias en circuitos de CA.....2

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

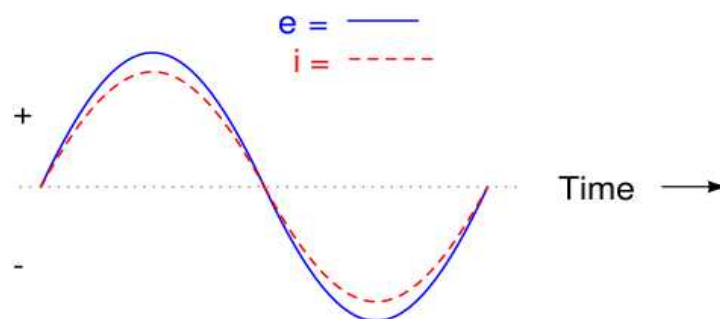
3 Circuitos serie resistencia - inductor.....10

4 Circuitos paralelo resistencia - inductor.....16

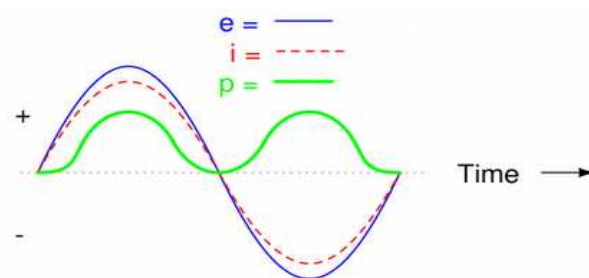
# 1 Resistencias en circuitos de CA



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.

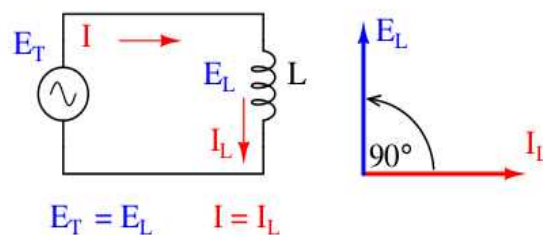
La expresión matemática de la relación entre la caída de tensión en un inductor y la variación de la corriente es la siguiente.

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

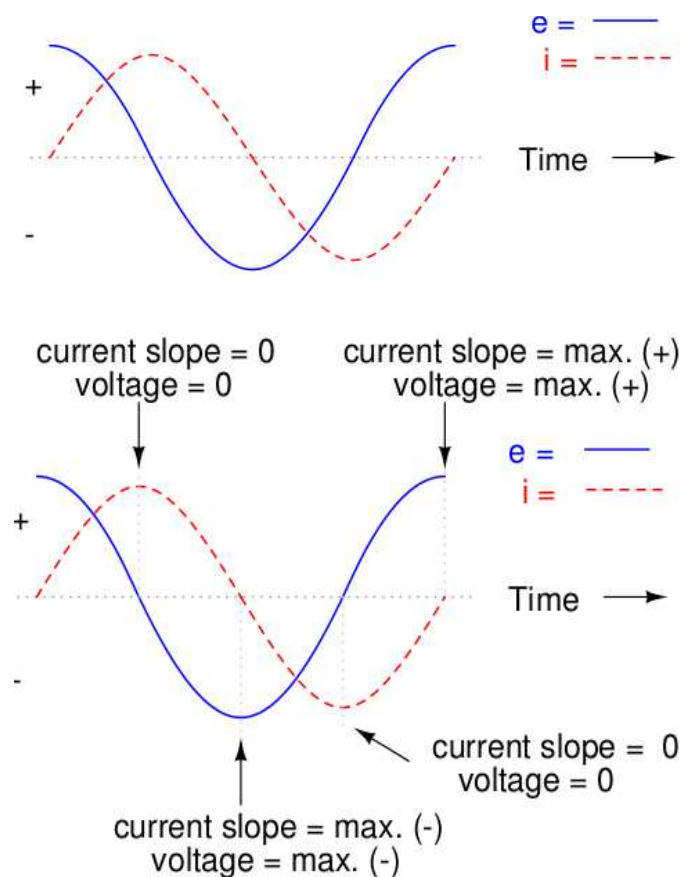
La expresión  $\frac{di}{dt}$  procede del cálculo y significa la tasa de variación de la corriente (i) a lo largo del tiempo, en amperios por segundo. La unidad de la inductancia (L) son los Henrys, y la de la tensión instantánea (e) los voltios. A veces la tensión instantánea se expresa como  $v$ 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

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

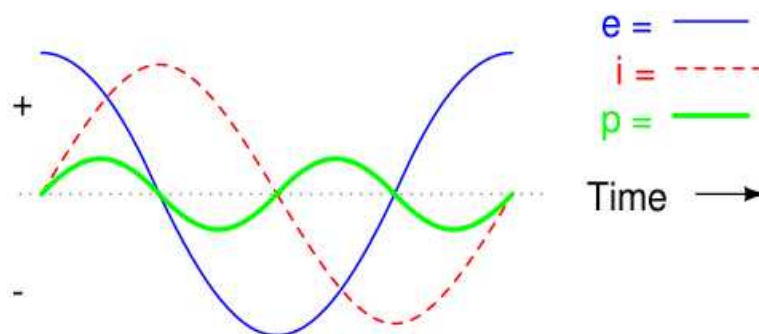
El siguiente ejemplo muestra un inductor en un circuito de CA.



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  $2\pi$

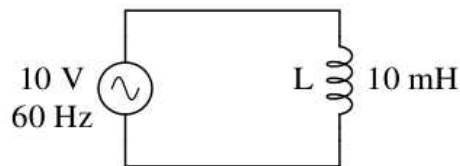
radianes, o  $360^\circ$ . La constante  $2\pi$  multiplicada por la frecuencia en hercios (ciclos por segundo), da como resultado la velocidad angular en radianes por segundo.

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).



$$X_L = 3,7699 \Omega$$

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

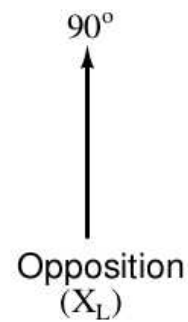
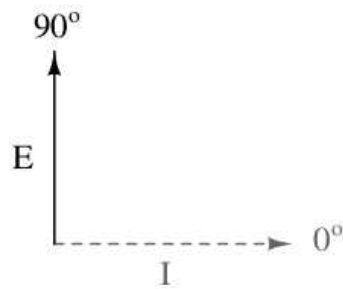
Hay que tener en cuenta que la tensión y la corriente no están en fase. Como se vio anteriormente, la tensión tiene un desfase de  $+90^\circ$  con respecto a la corriente. Representando matemáticamente estos ángulos de fase de la tensión y la corriente en forma de números complejos, se ve que la oposición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

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

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

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

*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.



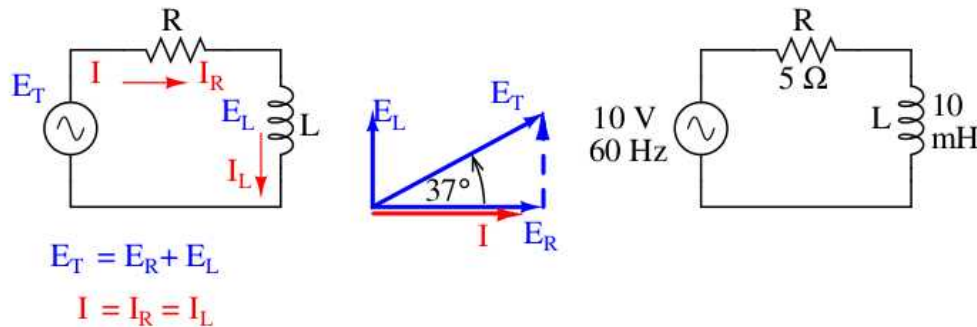
**Resumen**

- 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.



La resistencia de  $5 \Omega$  es independiente de la frecuencia de la CA, mientras que el inductor ofrecerá  $3,7699 \Omega$  de reactancia a la corriente de 60 Hz. Como la resistencia es un número real,  $5 \Omega \angle 0^\circ$  en formato polar o  $(5 + j0) \Omega$  en formato rectangular, y la reactancia del inductor es un número imaginario,  $3,7699 \Omega \angle 90^\circ$  o  $(0 + j3,7699) \Omega$ , el efecto combinado de los dos componentes será una oposición a la corriente igual a la suma compleja de los dos componentes. Esta oposición combinada será una suma vectorial de resistencia y reactancia. Para expresar esta oposición, se utiliza la impedancia, su símbolo es  $Z$ , y también se expresa en unidad de ohmios, al igual que la resistencia y la reactancia. En el ejemplo anterior, la impedancia del circuito es:

$$Z_{total} = 5 \Omega + 3,7699 \Omega \text{ reactancia inductiva}$$

$$Z_{total} = 5 \Omega + 3,7699 \Omega (X_L)$$

$$Z_{total} = 5 \Omega + 3,7699 \Omega \angle 90^\circ$$

$$Z_{total} = (5 + j3,7699) \Omega = 6,26 \Omega \angle 37,02^\circ$$

La impedancia está relacionada con la tensión y la corriente de forma similar a la resistencia en la Ley de Ohm.

Ley de Ohm para circuitos de CA

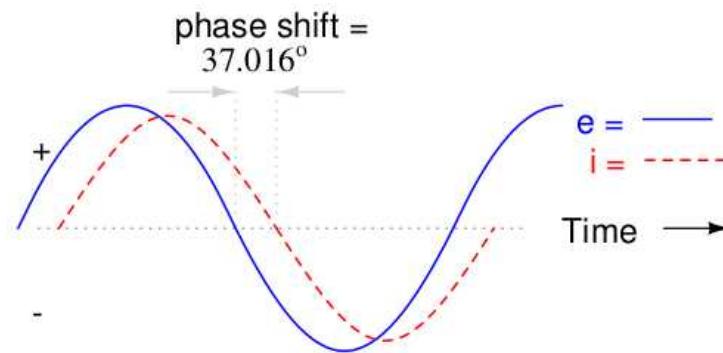
$$E = I \cdot Z \quad \text{con todos los valores expresados por números complejos, no escalares}$$

De hecho, se trata de una forma mucho más completa de la Ley de Ohm que la utilizada en circuitos de CC ( $E = IR$ ), del mismo modo que la impedancia es una expresión mucho más amplia de la oposición al flujo de corriente que la resistencia. Cualquier resistencia y cualquier reactancia, por separado o en combinación (serie/paralelo), pueden y deben representarse como una única impedancia en un circuito de CA.

Para calcular la corriente en el circuito anterior, primero se debe dar una referencia de ángulo de fase para la fuente de tensión, que generalmente se supone que es cero. (Los ángulos de fase de la impedancia resistiva e inductiva son siempre  $0^\circ$  y  $+90^\circ$ , respectivamente, independientemente de los ángulos de fase dados de la tensión o corriente).

$$I = \frac{E}{Z} \rightarrow \frac{10 \text{ V} \angle 0^\circ}{6,26 \Omega \angle 37,02^\circ} = 1,6 \text{ A} \angle -37,02^\circ$$

Al igual que en el circuito puramente inductivo, la onda de corriente va por detrás de la onda de tensión (de la fuente), aunque esta vez el desfase no es tan grande: sólo  $37,02^\circ$  frente a los  $90^\circ$  del circuito puramente inductivo.



Para la resistencia y el inductor, las relaciones de fase entre la tensión y la corriente no han cambiado. La tensión en la resistencia está en fase (desplazamiento  $0^\circ$ ) con la corriente a través ella y la tensión en el inductor está desfasada  $+90^\circ$  con respecto a la corriente que lo atraviesa.

Expresado matemáticamente es.

$$E = I \cdot Z$$

$$E_R = 1,6 \text{ A} \angle -37,02^\circ \cdot 5 \Omega \angle 0^\circ = 8 \text{ V} \angle -37,02^\circ$$

Atención al ángulo de fase de la tensión en la resistencia, que es igual al ángulo de fase de la corriente.

$$E_L = 1,6 \text{ A} \angle -37,02^\circ \cdot 3,7699 \Omega \angle 90^\circ = 6 \text{ V} \angle 52,98^\circ$$

El ángulo de fase de la tensión en el inductor está  $90^\circ$  adelantado a la corriente que circula por el inductor.

El voltaje que cae en el inductor tiene un ángulo de fase de  $52,98^\circ$ , mientras que la corriente a través del inductor tiene un ángulo de  $-37,02^\circ$ . La diferencia entre los dos ángulos da exactamente  $90^\circ$ . Por tanto la corriente  $I$  y la tensión  $E$  en el inductor continúan desfasados  $90^\circ$ .

La Ley de la tensión de Kirchhoff de que la suma de las tensiones de una malla es cero, mantiene su validez con valores complejos.

$$E_{total} - E_R - E_L = 0$$

$$10\text{ V} \angle 0^\circ - 8\text{ V} \angle -37,02^\circ - 6\text{ V} \angle 52,98^\circ$$

$$\rightarrow (10 + j0)\text{ V} - (6,39 - j4,817)\text{ V} - (3,61 + j4,79)\text{ V}$$

$$\rightarrow (10 - 6,39 - 3,61)\text{ V} + j(4,8 - 4,8)\text{ V} = (0 + j0)\text{ V}$$

Para mantener un orden, resulta útil volver a utilizar la tabla de valores conocida del análisis de redes. Aplicando esta tabla a CA, se incluirán los valores conocidos en formato complejo de E, I y Z.

	R	L	Total	
E			(10 + j0) V 10 V $\angle 0^\circ$	V
I				A
Z	(5 + j0) $\Omega$ 5 $\Omega$ $\angle 0^\circ$	(0 + j3,77) $\Omega$ 3,77 $\Omega$ $\angle 90^\circ$		$\Omega$

Ahora que los valores conocidos están insertados en sus respectivos lugares de la tabla, se determina la impedancia total a partir de las impedancias individuales. Tratándose de un circuito en serie, la suma de las impedancias da la impedancia total.

	R	L	Total	
E			(10 + j0) V 10 V $\angle 0^\circ$	V
I				A
Z	(5 + j0) $\Omega$ 5 $\Omega$ $\angle 0^\circ$	(0 + j3,77) $\Omega$ 3,77 $\Omega$ $\angle 90^\circ$	(5 + j3,77) $\Omega$ 6,26 $\Omega$ $\angle 37,02^\circ$	$\Omega$

$$Z_{total} = Z_R + Z_L$$

Conociendo el voltaje total y la impedancia total, se calcula la corriente total aplicando la Ley de Ohm.

$$I = \frac{E_{total}}{Z_{total}} = \frac{10 \text{ V} \angle 0^\circ}{6,26 \Omega \angle 37,02^\circ} = 1,6 \text{ A} \angle -37,02^\circ$$

	R	L	Total	
E	(6,4 - j4,8) V 8 V $\angle -37,02^\circ$	(3,6 + j4,8) V 6 V $\angle 52,98^\circ$	(10 + j0) V 10 V $\angle 0^\circ$	V
I	(1,28 - j0,96) A 1,6 A $\angle -37,02^\circ$	(1,28 - j0,96) A 1,6 A $\angle -37,02^\circ$	(1,28 - j0,96) A 1,6 A $\angle -37,02^\circ$	A
Z	(5 + j0) $\Omega$ 5 $\Omega$ $\angle 0^\circ$	(0 + j3,77) $\Omega$ 3,77 $\Omega$ $\angle 90^\circ$	(5 + j3,77) $\Omega$ 6,26 $\Omega$ $\angle 37,02^\circ$	$\Omega$

Para el circuito en serie:  $I_{total} = I_R = I_L$

Al igual que ocurre en CC, la corriente total en un circuito en serie de CA es igual para todos los componentes. Esto sigue siendo válido porque en un circuito de conexión en serie sólo hay un camino para que fluyan la corriente, por lo que su flujo debe ser igual en todo el circuito. Por eso, se copia el valor de la corriente total a las columnas de la resistencia y del inductor.

Por último queda calcular las caídas de tensión en la resistencia y el inductor. Esto se hace utilizando la Ley de Ohm.

$$E_R = I \cdot Z_R \rightarrow E_R = 1,6 \text{ A} \angle -37,02^\circ \cdot 5 \Omega \angle 0^\circ = 8 \text{ V} \angle -37,02^\circ$$

$$E_L = I \cdot Z_L \rightarrow E_L = 1,6 \text{ A} \angle -37,02^\circ \cdot 3,77 \Omega \angle 90^\circ = 6 \text{ V} \angle 52,98^\circ$$

Ahora la tabla está completa. Las mismas reglas que se aplicaban en el análisis de los circuitos de CC se aplican también a los circuitos de CA, con la salvedad de que todos los valores deben representarse y calcularse en forma compleja en lugar de escalar. Siempre que el desplazamiento de fase se represente correctamente en los cálculos, no habrá ningún problema. Si el desplazamiento de fase se aplica correctamente en los cálculos, no hay ninguna diferencia fundamental en la forma de abordar el análisis básico de los circuitos de CA en y los de CC.

¿Cuál es la relación entre los resultados de los cálculos del análisis de un circuito en forma de números complejos con formato rectangular o polar y los valores de medidos con un polímetro ?

Los valores que indica un polímetro al medir, coinciden con el módulo (longitud, valor absoluto, magnitud, amplitud) del vector con el que se representa el número complejo. Si se conectara un voltímetro a la resistencia de este circuito, indicaría 8 V, no 6,4 V (valor rectangular real) o 4,8 V (valor rectangular imaginario). Los instrumentos de medición simplemente indican la longitud del vector correspondiente a la tensión o corriente.

La notación rectangular, aunque útil para las sumas y restas aritméticas, es más abstracta que la notación polar en relación con las medidas del mundo real. Los resultados de los cálculos se indicarán tanto la forma polar como rectangular en las tablas de circuitos de CA para facilitar el cálculo matemático. Esto no es necesario, pero puede ser útil para realizar cálculos sin calculadora. En caso de tener que elegir una sola forma de notación, convendría utilizar la polar, porque puede relacionarse directamente con mediciones reales y permite hacerse una idea del tamaño y dirección del vector.

La impedancia  $Z$  de un circuito R-L en serie puede calcularse, conociendo la resistencia  $R$  y la reactancia inductiva  $X_L$ . Puesto que  $E=I \cdot R$ ,  $E=I \cdot X_L$ , y  $E=I \cdot Z$ , la resistencia, la reactancia y la impedancia son proporcionales a la tensión, respectivamente. Por lo tanto, el diagrama fasorial de tensión puede sustituirse por un diagrama de impedancia similar,

### Ejercicio 3\_1

En un circuito en serie de una resistencia de  $40 \Omega$  y un inductor de  $79,58 \text{ mH}$ , con una fuente de alimentación de  $60 \text{ Hz}$ , calcula la impedancia en formato rectangular y polar.

Dibuja un esquema del circuito y el diagrama de vectores de corriente y tensiones (fasorial de tensión) y de impedancias.

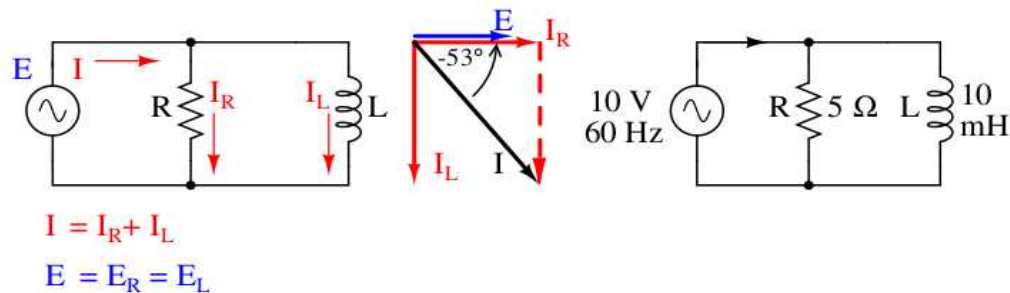
**Resumen**

- La impedancia es la medida total de la oposición a la corriente eléctrica y es la suma compleja (vector) de la resistencia ("real") y la reactancia ("imaginaria"). Se simboliza con la letra "Z" y se mide en ohmios, al igual que la resistencia R y la reactancia X.
- Las impedancias Z se manejan igual que las resistencias R en el análisis de circuitos en serie: las impedancias en serie se suman para obtener la impedancia total. Es necesario realizar todos los cálculos en forma compleja (no escalar).  $Z_{total} = Z_1 + Z_2 + \dots Z_n$
- Una impedancia puramente resistiva siempre tendrá un ángulo de fase de exactamente  $0^\circ$
- (  $Z_R = R \Omega \angle 0^\circ$  ).
- Una impedancia puramente inductiva siempre tendrá un ángulo de fase de exactamente  $+90^\circ$
- (  $Z_L = X_L \Omega \angle 90^\circ$  ).
- Ley de Ohm para circuitos de corriente alterna:  $E = IZ$  ;  $I = E/Z$  ;  $Z = E/I$
- Cuando se mezclan resistencias e inductancias en circuitos, la impedancia total tendrá un ángulo de fase comprendido entre 0 o  $+90^\circ$ . La corriente del circuito tendrá un ángulo de fase entre  $0^\circ$  y  $-90^\circ$ .
- Los circuitos de corriente alterna en serie presentan las mismas propiedades fundamentales que los circuitos de corriente continua en serie: la corriente es uniforme en todo el cir.
- La corriente es la misma en todo el circuito, las caídas de tensión se suman para formar la tensión total y las impedancias se suman para formar la impedancia total.

## 4 Circuitos paralelo resistencia - inductor

Para el circuito de conexión en paralelo, se utilizan los mismos componentes conocidos del circuito en serie del apartado anterior (  $R=5\ \Omega$  y  $L=10\text{ mH}$  ).

Suponiendo una fuente de alimentación de 60 Hz, la reactancia vuelve a ser  $X_L=3,76\ \Omega$  .



Se comienza el análisis del circuito con los valores conocidos.

	R	L	Total	
E			$(10 + j0)\text{ V}$ $10\text{ V } \angle 0^\circ$	V
I				A
Z	$(5 + j0)\ \Omega$ $5\ \Omega \angle 0^\circ$	$(0 + j3,77)\ \Omega$ $3,77\ \Omega \angle 90^\circ$		$\Omega$

En los circuitos en paralelo, la tensión es la misma en todos los componentes del circuito. Por tanto se pueden completar las casillas de tensión de la resistencia y del inductor copiando la tensión total.

$$E_{total} = E_R = E_L$$

	R	L	Total	
E	$(10 + j0)\text{ V}$ $10\text{ V } \angle 0^\circ$	$(10 + j0)\text{ V}$ $10\text{ V } \angle 0^\circ$	$(10 + j0)\text{ V}$ $10\text{ V } \angle 0^\circ$	V
I				A
Z	$(5 + j0)\ \Omega$ $5\ \Omega \angle 0^\circ$	$(0 + j3,77)\ \Omega$ $3,77\ \Omega \angle 90^\circ$		$\Omega$



Ahora se calculan las corrientes que circulan por  $R$  y  $L$ .

$$I_R = \frac{E}{R} = \frac{10 \text{ V} \angle 0^\circ}{5 \Omega \angle 0^\circ} = 2 \text{ A} \angle 0^\circ \quad \text{y} \quad I_L = \frac{E}{X_L} = \frac{10 \text{ V} \angle 0^\circ}{3,77 \Omega \angle 90^\circ} = 2,65 \text{ A} \angle -90^\circ$$

	R	L	Total	
E	(10 +j0) V 10 V $\angle 0^\circ$	(10 +j0) V 10 V $\angle 0^\circ$	(10 +j0) V 10 V $\angle 0^\circ$	V
I	(2 +j0) A 2 A $\angle 0^\circ$	(0 -j2,65) A 2,65 A $\angle -90^\circ$		A
Z	(5 +j0) $\Omega$ 5 $\Omega$ $\angle 0^\circ$	(0 +j3,77) $\Omega$ 3,77 $\Omega$ $\angle 90^\circ$		$\Omega$

En el circuito en paralelo, la corriente total es la suma de las corrientes de las ramas.

$$I_{total} = I_R + I_L$$

	R	L	Total	
E	(10 +j0) V 10 V $\angle 0^\circ$	(10 +j0) V 10 V $\angle 0^\circ$	(10 +j0) V 10 V $\angle 0^\circ$	V
I	(2 +j0) A 2 A $\angle 0^\circ$	(0 -j2,65) A 2,65 A $\angle -90^\circ$	(2 -j2,65) A 3,32 A $\angle -53^\circ$	A
Z	(5 +j0) $\Omega$ 5 $\Omega$ $\angle 0^\circ$	(0 +j3,77) $\Omega$ 3,77 $\Omega$ $\angle 90^\circ$		$\Omega$

Finalmente, la impedancia total se puede calcular con tensión y corriente totales.

$$Z_{total} = \frac{E_{total}}{I_{total}} = \frac{10 \text{ V} \angle 0^\circ}{3,32 \text{ A} \angle -53^\circ} = 3 \Omega \angle 53^\circ$$

	R	L	Total	
E	(10 +j0) V 10 V $\angle 0^\circ$	(10 +j0) V 10 V $\angle 0^\circ$	(10 +j0) V 10 V $\angle 0^\circ$	V
I	(2 +j0) A 2 A $\angle 0^\circ$	(0 -j2,65) A 2,65 A $\angle -90^\circ$	(2 -j2,65) A 3,32 A $\angle -53^\circ$	A
Z	(5 +j0) $\Omega$ 5 $\Omega$ $\angle 0^\circ$	(0 +j3,77) $\Omega$ 3,77 $\Omega$ $\angle 90^\circ$	(1,8 +j2,4) $\Omega$ 3 $\Omega$ $\angle 53^\circ$	$\Omega$

La impedancia total también puede calcularse utilizando la fórmula recíproca idéntica a la utilizada para calcular las resistencias en paralelo.

$$Z_{\text{paralelo}} = \frac{1}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \dots + \frac{1}{Z_n}}$$

Igual que con los circuitos de CC, a menudo existen múltiples opciones para calcular las cantidades de las tablas de análisis. Cualquiera que sea la forma de calcular la impedancia total (ley de Ohm o fórmula recíproca), se obtendrá la misma cifra.

$$Z_{\text{total}} = \frac{E_{\text{total}}}{I_{\text{total}}} = \frac{1}{\frac{1}{Z_R} + \frac{1}{Z_L}}$$

$$Z_{\text{total}} = (1,8 + j2,4) \Omega = 3 \Omega \angle 53^\circ$$

**Resumen**

- Las impedancias  $Z$  se comportan igual que las resistencias  $R$  en el análisis de circuitos en paralelo. Las impedancias en paralelo disminuyen para formar la impedancia total mediante la fórmula recíproca. Todos los cálculos se realizan con números complejos, no escalares.

$$Z_{\text{paralelo}} = \frac{1}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \cdots + \frac{1}{Z_n}}$$

- Ley de Ohm para circuitos de corriente alterna:  $E = I \cdot Z$  ;  $I = \frac{E}{Z}$  ;  $Z = \frac{E}{I}$
- Cuando se combinan resistencias e inductancias en circuitos en paralelo (al igual que en circuitos en serie), la impedancia total tendrá un ángulo de fase comprendido entre  $0^\circ$  y  $-90^\circ$ .
- Los circuitos paralelos de corriente alterna presentan las mismas propiedades fundamentales que los circuitos paralelos de corriente continua. La tensión es la misma para todos los componentes del circuito, las corrientes de las ramas se suman para formar la corriente total y el aumento del número de impedancias en paralelo reduce la impedancia total.

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)