

PRÁCTICA Nº 22

CIRCUITOS DE CORRIENTE ALTERNA

OBJETIVO:

Estudiar los circuitos en serie RL, RC y RLC en corriente alterna. Aplicación al cálculo de L y C.

MATERIAL:

Alimentación de potencia: c.a. 6.3 V a 50 Hz. Voltímetro electrónico (c.a. 0-10 V) u osciloscopio. Miliamperímetro (1 mA) Resistencias: 47 KΩ Condensadores: 470 nF. Autoinducciones: bobina de 8 H a 1 mA (aproximadamente). Interruptor y cable de conexión.

FUNDAMENTO:

Cuando a los extremos de una resistencia óhmica se aplica una tensión alterna, $V = V_M \text{ sen } \omega t$, la intensidad de la corriente que se origina se deduce a partir de la ley de Ohm:

$$i = \frac{V_m}{R} \text{ sen } \omega t = I_m \text{ sen } \omega t \quad (1)$$

resultando que la intensidad también varía sinusoidalmente con el tiempo, con la misma frecuencia que la tensión aplicada, y que su valor máximo vale

$$I_m = \frac{V_m}{R} \quad (2)$$

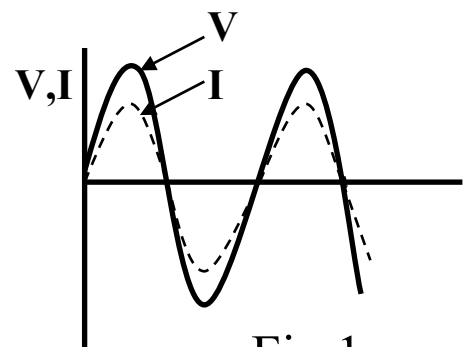


Fig. 1

Por tanto, cuando un circuito sólo contiene resistencia óhmica, la intensidad de la corriente no presenta diferencia de fase respecto a la tensión aplicada que la origina (fig. 1).

En general, en los circuitos de corriente alterna se suelen utilizar otros elementos además de las resistencias óhmicas. Supongamos que existen, conectadas en serie con una resistencia R , una bobina L y un condensador C . Al aplicar una tensión alterna a los extremos de dicho circuito en serie, se establece, una vez desaparecidos los efectos transitorios de corta duración, una corriente estacionaria que viene expresada por

$$i = I_m \text{ sen } (\omega t - \phi) \quad (3)$$

en la que se pone claramente de manifiesto que la frecuencia $f = \omega/2\pi$ de la intensidad es la misma que la correspondiente a la tensión, pero que la intensidad está desfasada en un ángulo ϕ (ángulo de desfase o *desfase*) respecto a la tensión.

Los valores instantáneos de una intensidad de corriente, f.e.m. o diferencia de potencial alternas, varían de un modo continuo desde un valor máximo en un sentido, pasando por cero, hasta un valor máximo en el sentido opuesto, y así sucesivamente. El comportamiento de un determinado circuito en serie queda expresado por los valores máximos de la intensidad (I_m) y de la tensión (V_m) (también del valor del desfase ϕ), pero es mucho más interesante estudiar los circuitos de corriente alterna en función de los valores eficaces, I_{ef} y V_{ef} , en lugar de los valores máximos, porque los valores que se miden con los voltímetros y amperímetros de c.a. son precisamente los eficaces.

La *intensidad eficaz* de una corriente alterna se define como el valor de la intensidad de una corriente continua que desarrollase la misma cantidad de calor en la misma resistencia y en el mismo tiempo. Se demuestra que

$$I_{ef} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707I_m \quad (4)$$

y análogamente, la *tensión eficaz*,

$$V_{ef} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0.707V_m \quad (5)$$

De ahora en adelante, se interpretará que las letras I y V sin subíndices hacen referencia a los valores eficaces de las magnitudes correspondientes.

La intensidad máxima I_m está relacionada con la tensión máxima V_m por una expresión que tiene la misma forma que la que expresa la ley de Ohm para corrientes continuas

$$I_m = \frac{V_m}{Z} \quad (6)$$

denominándose la magnitud Z , *impedancia* del circuito, que es una generalización de la resistencia R de la ley de Ohm en corriente continua. Naturalmente, dividiendo los dos miembros de (6) por $\sqrt{2}$, se obtiene para los valores eficaces

$$I = \frac{V}{Z} \quad (7)$$

La relación que existe entre la impedancia Z del circuito RLC en serie y las características R , L y C de los tres elementos considerados es

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - (1/\omega C))^2} \quad (8)$$

que, introduciendo las siguientes simplificaciones,

$$X_L = \omega L \qquad X_C = 1/\omega C \qquad X = X_L - X_C \qquad (9)$$

se escribe

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \qquad (10)$$

Por otra parte, el desfase ϕ , viene dado por la expresión

$$\phi = \arctg \frac{X}{R} \qquad (11)$$

La magnitud X recibe el nombre de reactancia; X_L y X_C son la *reactancia inductiva* o *inductancia* y la *reactancia capacitativa* o *capacitancia*. Tanto la impedancia como la reactancia se miden en ohmios (Ω).

Los papeles de la inductancia y de la capacitancia son contrapuestos, tanto en lo que se refiere a la limitación de la corriente, como al desfase que introducen entre la intensidad y la tensión. Así, mientras que un aumento de inductancia reduce la intensidad, un aumento de capacitancia la hace aumentar. Además, la inductancia retrasa la intensidad respecto a la tensión, en tanto que la capacitancia la adelanta. Tanto la inductancia como la capacitancia dependen de la frecuencia de la tensión alterna aplicada.

La relación que existe entre la impedancia Z de un circuito RLC en serie y los valores de R , X_L y X_C puede representarse gráficamente considerando estas magnitudes como vectores. La resistencia R se representa por un vector situado sobre el eje Ox en sentido positivo del mismo; y las reactancias X_L y X_C , por vectores situados sobre el eje Oy , en los sentidos positivo y negativo, respectivamente. La impedancia Z

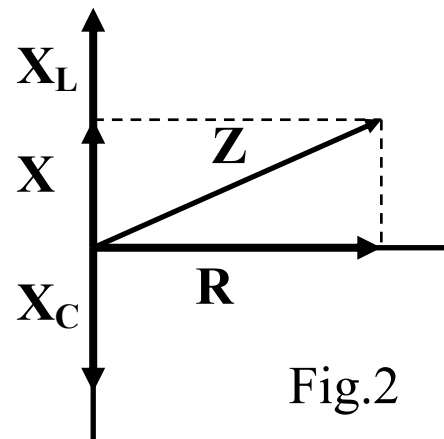


Fig.2

será el vector suma de los tres vectores. Véase la figura 2, denominada *diagrama del vector impedancia* del circuito. En dicha figura, se ha considerado el caso en que $X_L > X_C$, y por tanto X es positiva, y también es positivo el desfase ϕ . Diremos que el circuito representado por dicho diagrama es "inductivo". En el caso contrario, esto es $X_C > X_L$, el circuito sería "capacitivo".

Como casos especiales, es evidente que si el circuito sólo contiene una resistencia pura, entonces $X = 0$; $Z = R$ y $\phi = 0$, y la intensidad está en fase con la tensión aplicada.

Si el circuito contiene autoinducción pura, será $R = 0$, $Z = X_L = \omega L$ y $\phi = +\pi/2$, y la intensidad se retrasa 90° respecto a la tensión aplicada.

Pero si el circuito se compone de capacidad pura, se tendrá $R = 0$, $Z = X_C = 1/\omega C$ y $\phi = -\pi/2$, y la intensidad adelanta en un ángulo de 90° a la tensión.

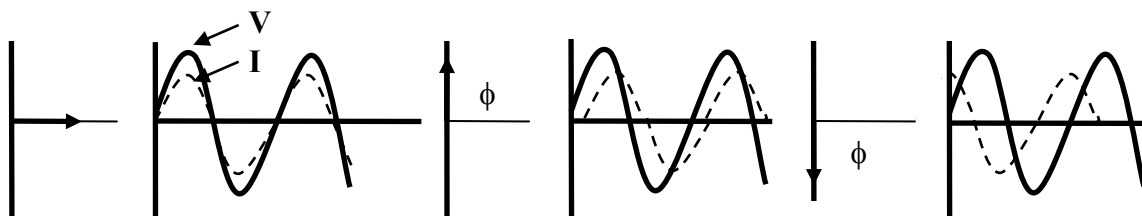


Fig.3

La intensidad de la corriente tiene la misma fase en todas las partes de un circuito en serie. Es decir: es máxima en la resistencia, autoinducción y condensador al mismo tiempo; nula en los tres un instante después; máxima, pero de sentido opuesto, otro instante todavía posterior, y así sucesivamente.

La diferencia de potencial (d.d.p.) entre dos puntos cualesquiera de un circuito es igual al producto de la intensidad por la impedancia del mismo entre los dos puntos considerados, siempre que no exista ninguna f.e.m. comprendida entre dichos puntos. Así,

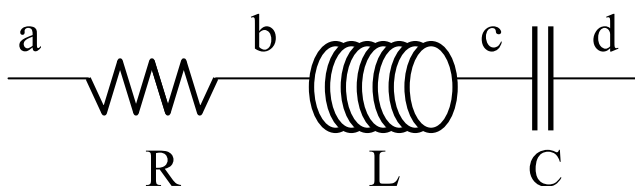


Fig.

$$V_{ab} = I Z_{ab} \quad (12)$$

La diferencia de fase ϕ entre V_{ab} e I será

$$\phi = \arctg (X_{ab}/R_{ab}) \quad (13)$$

En la figura 4, la impedancia Z_{ab} entre a y b es R y, por consiguiente, $V_{ab} = IR$ y $\phi = \arctg 0 = 0$. Esto es, la d.d.p. entre los terminales de una resistencia pura está en fase con la intensidad de la corriente.

Entre los puntos b y c es $Z_{bc} = X_L$, $V_{bc} = IX_L$ y $\phi = \arctg \pi/2$. Esto es, la d.d.p. entre los terminales de una autoinducción pura está adelantada 90° respecto a la intensidad.

Entre los puntos c y d es $Z_{cd} = X_C$, $V_{cd} = IX_C$ y $\phi = \arctg -\pi/2$. Esto es, la d.d.p. entre los terminales de una capacidad pura está retrasada 90° respecto a la intensidad.

Debido a estos desfases, la suma de la diferencia de potenciales eficaces entre los extremos de un cierto número de elementos de un circuito en serie no es igual a la diferencia de potencial entre los extremos del conjunto. La suma de tensiones deberá efectuarse geoméricamente, como se indica en la figura 5, donde V_R , V_L y V_C son las tensiones entre los extremos de la resistencia R , autoinducción L y capacidad C , respectivamente, y V es la tensión entre los extremos de la asociación en serie RLC.

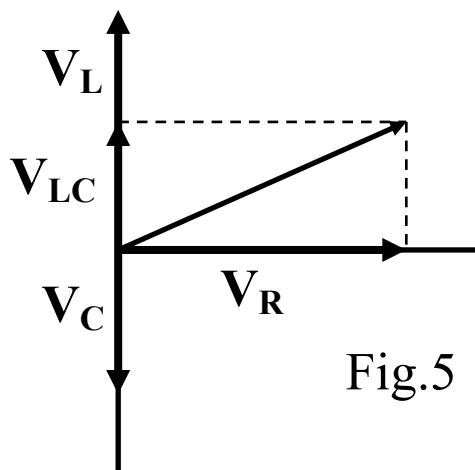


Fig.5

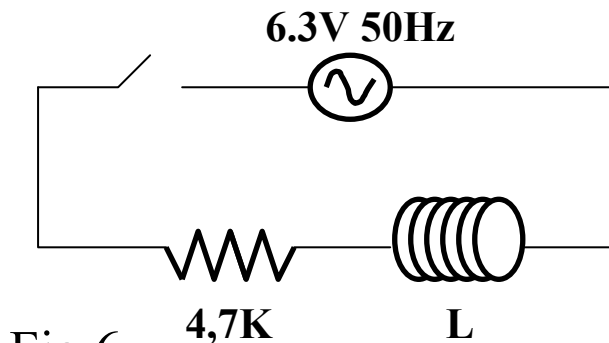
MÉTODO:

(a) Circuito RL en serie

(1) Mídase con el *óhmetro* (o con un puente de Wheatstone) la resistencia R de la resistencia suministrada para esta práctica. Anótese el valor medido.

(2) Procédase, análogamente, a medir la resistencia óhmica de la bobina, R_L . Anótese.

(3) Móntese el circuito de la figura 6. Ciérrase el interruptor.



(4) Con el voltímetro (o con el osciloscopio), mídase las diferencias de potencial eficaz entre los extremos de la resistencia, V_R , de la autoinducción, V_L , y del conjunto, V . Anótese los resultados.

(5) Mídase, con el miliamperímetro, la intensidad eficaz, I , del circuito.

(6) Calcúlese la intensidad eficaz del circuito a partir de la fórmula (12).

(7) Utilizando la ec. (12), determínese la inductancia, X_L , de la bobina y, a partir de dicho valor, calcúlese la autoinducción, L , de la misma.

(8) Determínese la impedancia Z del circuito RL en serie a partir de los valores de V e I .

(9) Calcúlese la impedancia Z del circuito RL a partir de la fórmula (10).

(10) Calcúlese el desfase ϕ entre la intensidad y la tensión a partir de (11).

(11) Dibújense los diagramas vectoriales de impedancias y de tensiones.

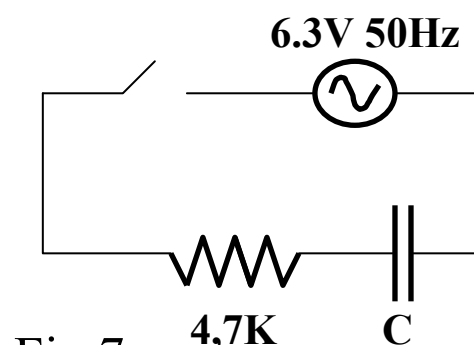
(b) Circuito RC en serie

(12) Móntese el circuito de la figura 7. Ciérrase el interruptor.

(13) Mídase la tensión eficaz entre los extremos de la resistencia, V_R , de la capacidad, V_C , y del conjunto RC, V .

(14) Mídase la intensidad eficaz del circuito, I , con el miliamperímetro.

(15) Aplicando la ec. (12), calcúlese la capacitancia del condensador y la capacidad del mismo.



(16) Determínese la impedancia Z del circuito RC en serie a partir de los valores de V e I .

(17) Calcúlese el desfase ϕ entre la intensidad y la tensión aplicada.

(18) Dibújense los diagramas vectoriales de impedancias y de tensiones.

(c) Circuito RLC en serie

(19) Móntese el circuito de la figura 8. Ciérrese el interruptor.

(20) Mídase las tensiones eficaces entre los extremos de la resistencia, V_R , de la autoinducción, V_L , del condensador, V_C , y del montaje RLC en serie.

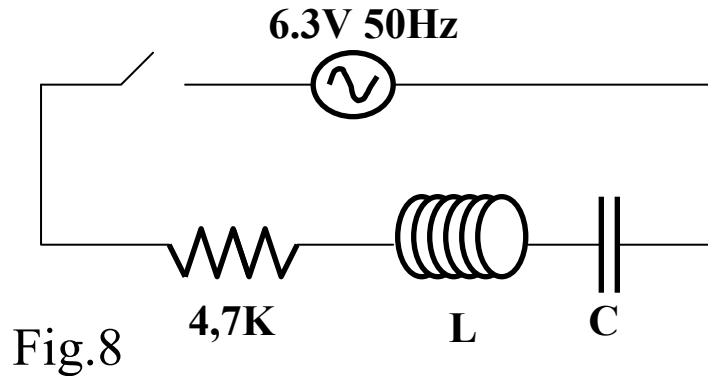


Fig.8

(21) Mídase con el miliamperímetro la intensidad eficaz en el circuito.

(22) Calcúlese, aplicando la ec. (12), la intensidad eficaz en el circuito.

(23) Calcúlense X_L , X_C , L y C , como en los circuitos anteriores.

(24) Calcúlese la impedancia Z del circuito RLC en serie a partir de los valores de la intensidad I y de la tensión total V .

(25) Calcúlese la impedancia del circuito RLC en serie aplicando la ec. (10).

(26) Determínese el desfase entre la intensidad y la tensión total.

(27) Dibújense los diagramas vectoriales de impedancias y de tensiones.

(28) Representesen gráficamente las funciones intensidad instantánea, i , y tensión instantánea, v , en función del tiempo para cada uno de los circuitos estudiados en la práctica.