



ÍNDICE M3

Capítulo 14. Circuitos Resistivos, Capacitivos e Inductivos.

14.1. CIRCUITOS RESISTIVOS.	3.14.2
14.2. CIRCUITOS CON SOLO CAPACIDAD.	3.14.2
14.2.1. Reactancia capacitiva.	3.14.3
14.3. CIRCUITOS CON R Y C EN SERIE	3.14.4
14.3.1. Resolución por el método de los triángulos vectoriales.	3.14.5
14.3.2. Resolución por el método de los números complejos.	3.14.5
14.4. CIRCUITOS CON R Y C EN PARALELO.	3.14.6
14.4.1. Resolución por el método de los triángulos vectoriales.	3.14.7
14.4.2. Resolución por el método de los números complejos.	3.14.8
14.5. CIRCUITOS CON SOLO INDUCTANCIA.	3.14.9
14.5.1. Reactancia inductiva.	3.14.10
14.6. CIRCUITOS CON R Y L EN SERIE.	3.14.10
14.6.1. Resolución por el método de los triángulos vectoriales.	3.14.11
14.6.2. Resolución por el método de los números complejos.	3.14.12
14.7. CIRCUITOS RCL SERIE.	3.14.13
14.7.1. Resolución por el método de los triángulos vectoriales.	3.14.15
14.7.2. Resolución por el método de los números complejos.	3.14.16
14.8. CIRCUITO RESONANTE SERIE.	3.14.17
14.9. CIRCUITO RCL PARALELO.	3.14.19
14.9.1 Resolución por el método de los triángulos vectoriales.	3.14.20
14.9.2 Resolución por el método de los números complejos.	3.14.21
14.10. CIRCUITO RESONANTE PARALELO.	3.14.22
14.11. DISIPACION DE POTENCIA EN CIRCUITOS RCL.	3.14.23
14.12. COMPENSACION DE LA ENERGIA REACTIVA.	3.14.25

CAPÍTULO 14

CIRCUITOS RESISTIVOS, CAPACITIVOS E INDUCTIVOS

14.1. CIRCUITOS RESISTIVOS.

En los circuitos de corriente alterna en los que la carga esta constituida por una resistencia pura, la ddp aplicada y la intensidad están en fase y se representan por sendos vectores coincidentes en dirección y sentido, como se ve en la figura 3.14.1 siguiente.

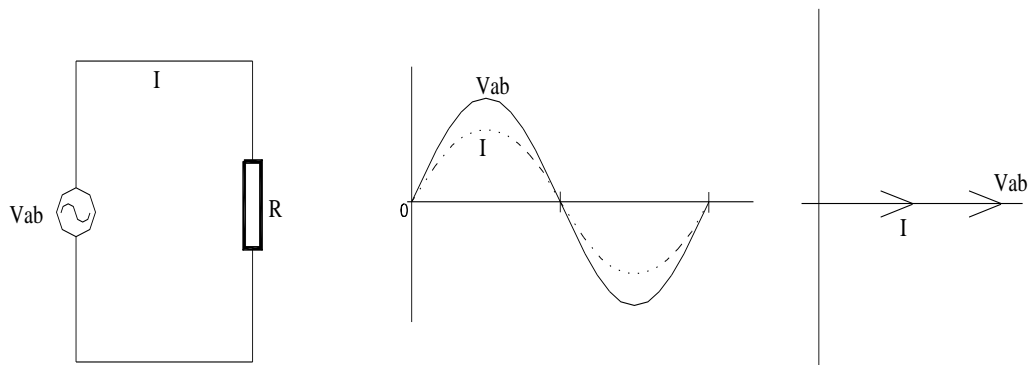


Fig. 3.14.1 Circuito con solo resistencia

La simple aplicación de la Ley de Ohm resuelve este circuito, cumpliéndose para valores máximos o eficaces de tensión y corriente.

14.2. CIRCUITOS CON SOLO CAPACIDAD.

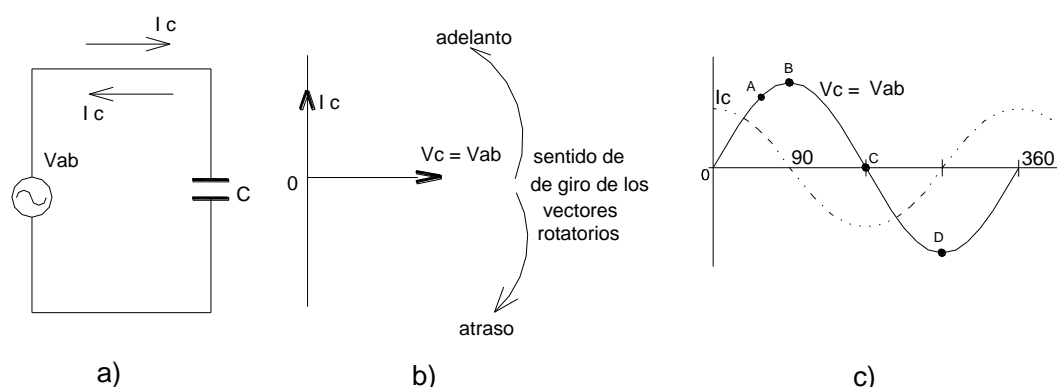


Fig. 3.14.2. Circuito solo capacitivo

Cuando se aplica una ddp al condensador, sus armaduras tendrán en todo momento la tensión aplicada, por lo que el condensador tiene que cargarse cuando la tensión crece y descargarse cuando decrece. Véase c) de la figura 3.14.2. En el punto 0, la tensión aplicada crece deprisa y la tensión en el condensador es cero, luego la intensidad alta para que el condensador pueda seguir las variaciones de la fuente. . En el punto A, la tensión crece más lentamente, la pendiente es menor, y la intensidad de carga disminuye. En el punto B, la variación de tensión es

cero, el condensador tiene el mismo voltaje de la fuente y la intensidad es cero. Después del punto B, empieza a disminuir la tensión aplicada, por lo que el condensador empieza a descargarse, lo que exige que la intensidad cambie de sentido, o sea que se invierta, de modo lento (intensidad baja) y más rápido después (intensidad alta). En el punto C, se repite lo ocurrido en el punto 0, pero con valores inversos, ya que el condensador empieza a cargarse en sentido contrario, hasta el punto D, equivalente, pero inverso al punto B.

De esto se deduce que la intensidad se adelanta 90° a la tensión en un condensador, lo que se aprecia en c) de la figura 3.14.2 anterior donde se representan los vectores de tensión e intensidad. También se dice que el **condensador se opone a variaciones de tensión entre sus bornes**.

14.2.1. Reactancia capacitiva.

Se ha visto que cuando se aplica una corriente alterna a las armaduras de un condensador circula una corriente por el circuito y que el condensador ofrece una resistencia a que circule la intensidad de corriente, al igual que la resistencia en un circuito de corriente continua. La resistencia que ofrece el condensador a la circulación de corriente se llama **reactancia capacitiva**, se mide en **ohmios** y su valor viene determinado por la expresión:

$$X_C = \frac{1}{2 \pi f C}$$

donde **f** es la frecuencia de la corriente alterna, medida en Hertzios y **C** es la capacidad del condensador, medida en faradios.

En un circuito que contenga solo capacidad, el módulo del vector intensidad que recorre el circuito sería:

$$I = \frac{V_{ab}}{X_C}$$

Y estaría situado en el eje imaginario, con valor positivo.

Vectorialmente, se puede resolver:

$$\overline{I_C} = I \angle 90^\circ \quad \overline{V_{ab}} = V \angle 0^\circ$$

$$\overline{X_C} = \frac{\overline{V_{ab}}}{\overline{I_C}} = \frac{V \angle 0^\circ}{I \angle 90^\circ} = \frac{V}{I} \angle -90^\circ$$

Gráficamente, para un diagrama de impedancias, la reactancia capacitiva se situará en el eje imaginario, con valor negativo, y la resistencia en el eje real, con valor positivo, como se muestra en c) de la figura 3.14.3.

14.3. CIRCUITOS CON R Y C EN SERIE

Si a un circuito formado por una resistencia y un condensador en serie se aplica una corriente alterna, (circuito mostrado en a) de figura 3.14.3) ocurre lo siguiente:

1°. Por ser un circuito serie, la intensidad tiene los mismos valores instantáneos (mismo valor y misma fase, según 2ª Ley de Kirchoff) en resistencia y condensador. Se coloca en el eje real, como referencia, por ser común a condensador y resistencia.

2°. La tensión en el condensador está retrasada 90° con respecto a la intensidad del circuito, según expuesto en apartado 2.

3°. La tensión en la resistencia está en fase con la intensidad, tal como se vio en el apartado 1.

4°. En aplicación de la 1ª Ley de Kirchoff, la suma vectorial de caídas de tensión en resistencia y condensador ha de ser igual a la tensión aplicada.

Como resultado de estos cuatro primeros puntos, la representación vectorial de tensiones e intensidades es la mostrada en b) de la figura 3.14.3.

5°. La resistencia se encuentra siempre en el eje real y la reactancia capacitiva se encuentra siempre en el eje imaginario negativo, como se demostró en el apartado 2.1.

6°. La oposición al paso de la corriente en un circuito de corriente alterna se conoce con el nombre de **impedancia**, se representa por la letra **Z** y es la suma vectorial de resistencias y reactancias del circuito serie.

Como resultado de los puntos 5° y 6°, la representación vectorial de resistencias es la mostrada en c) de la figura 3.14.3.

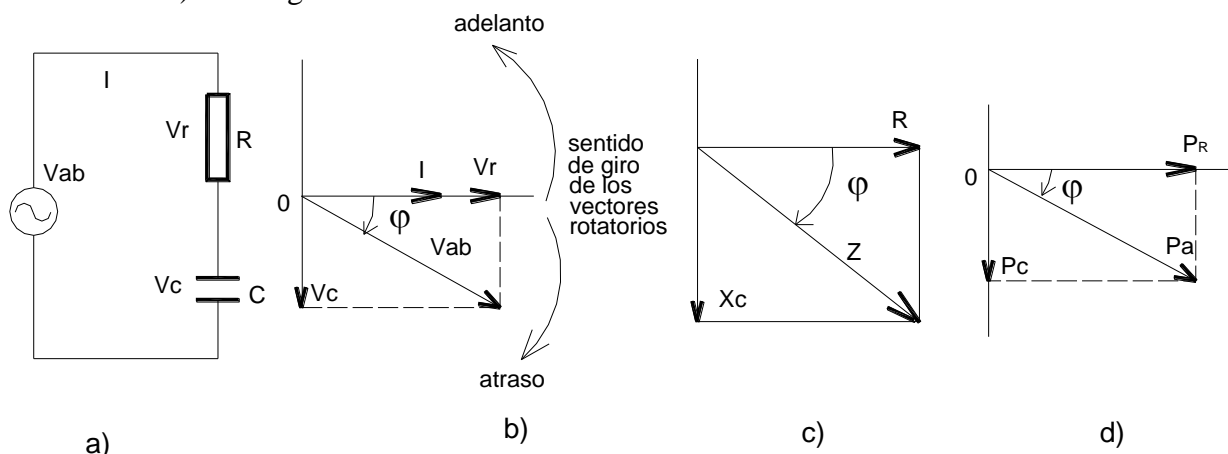


Fig. 3.14.3. Circuito RC serie

Los parámetros definidos en los párrafos precedentes se pueden cuantificar siguiendo uno de los dos métodos siguientes:

14.3.1. Resolución por el método de los triángulos vectoriales.

- Con el triángulo de impedancias se tiene:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \quad Z^2 = X^2 + R^2 \quad \varphi = \arctg \frac{X_C}{R}$$

luego $\overline{X_C} = X_C \angle -90^\circ$ $\overline{R} = R \angle 0^\circ$ y $\overline{Z} = Z \angle -\varphi$

- Con el triángulo de tensiones se tiene:

La intensidad en el circuito serie: $I = \frac{V_{ab}}{Z}$

$$V_r = I R \quad V_c = I X_C$$

Obteniéndose valores que han de cumplir el teorema de Pitágoras:

$$V_{ab}^2 = V_r^2 + V_c^2 \quad y \quad \varphi = \arctg \frac{V_c}{V_r}$$

El ángulo de desfase debe ser el mismo en ambos triángulos.

$$\text{luego } \overline{V_c} = V_c \angle -90^\circ \quad \overline{V_r} = V_r \angle 0^\circ \quad y \quad \overline{V_{ab}} = V_{ab} \angle -\varphi$$

14.3.2. Resolución por el método de los números complejos.


$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \quad \overline{Z} = R - jX_C = \sqrt{(-X_C)^2 + R^2} \angle \arctg -X_C / R$$

$$\overline{Z} = Z \angle -\varphi$$

al obtener el vector Z se ha obtenido el módulo Z y el argumento φ o ángulo de desfase.

La intensidad que circula por el circuito:

$$\overline{I} = \frac{V_{ab} \angle -\varphi}{Z \angle -\varphi} \quad \text{o en el eje real, como se sabe.}$$

	MASTER DE FORMACIÓN B1.1 y B1.3 MÓDULO 3 FUNDAMENTOS DE ELECTRICIDAD	Edición: 3 Revisión: 9 Fecha: 31/07/2017
---	---	--

Y las caídas de tensión en condensador y resistencia:

$$\overline{V_c} = I \angle 0^\circ X_c \angle -90^\circ = I X_c \angle -90^\circ \quad \overline{V_r} = I \angle 0^\circ R \angle 0^\circ = I R \angle 0^\circ$$

Las potencias consumidas en el circuito se calculan:

En la resistencia (**potencia real**): $\overline{P_R} = \overline{I} \cdot \overline{V_r} = I \angle 0^\circ V_r \angle 0^\circ = I V_r \angle 0^\circ$

En el condensador (**potencia capacitiva**): $\overline{P_c} = \overline{I} \cdot \overline{V_c} = I \angle 0^\circ V_c \angle -90^\circ = I V_c \angle -90^\circ$

Y la potencia total (**Potencia aparente**): $\overline{P_a} = \overline{P_R} + \overline{P_c} = P_R - j P_c \quad \text{ó}$

$$\overline{P_a} = \sqrt{P_R^2 + (-P_c)^2} \angle \arctg(-P_c/P_R) = P_a \angle -\varphi$$

Puesto que son magnitudes vectoriales, como el resto de los parámetros, según se representa en d) de la figura 3.14.3.

14.4. CIRCUITOS CON R Y C EN PARALELO.

Si a un circuito formado por una resistencia y un condensador en paralelo se aplica una corriente alterna, (vista a) de figura 3.14.4 ocurre lo siguiente:

1°. Por ser un circuito paralelo, la tensión tiene los mismos valores instantáneos (mismo valor y misma fase) en resistencia y condensador.

2°. La intensidad que circula por la rama capacitiva, I_c , está adelantada 90° con respecto a la tensión aplicada o tensión en el condensador, según expuesto en apartado 4.2.

3°. La intensidad que circula por la rama resistiva, I_r , está en fase con la tensión aplicada, tal como se vio en el apartado 4.1.

4°. En aplicación de la 2ª Ley de Kirchoff, la suma vectorial de intensidades en ramas capacitiva y resistiva será igual a la intensidad total del circuito.

Como resultado de estos cuatro puntos, la representación vectorial de intensidades es la mostrada en b) de la figura 3.14.4.

La impedancia total del circuito se obtendrá por aplicación de la Ley de Ohm o dividiendo tensión aplicada por intensidad total.

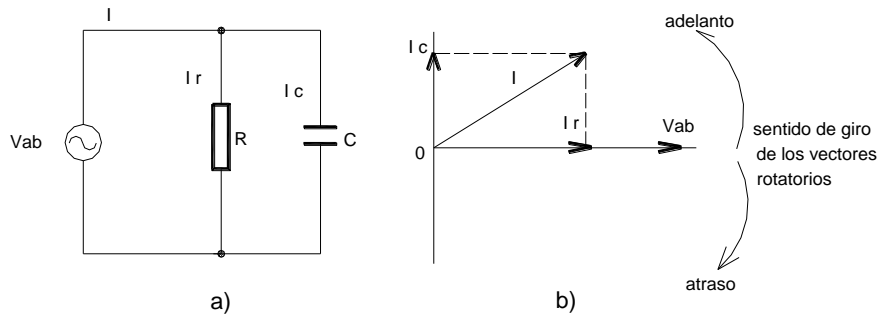


Fig. 3.14.4. Circuito RC paralelo

Los parámetros definidos en los párrafos precedentes se pueden cuantificar siguiendo uno de los dos métodos siguientes:

14.4.1. Resolución por el método de los triángulos vectoriales.

En el triángulo de intensidades se tiene (vista b) de la fig. 3.14.4:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \quad I_C = \frac{V_{ab}}{X_C} \quad I_r = \frac{V_{ab}}{R}$$

$$I^2 = I_C^2 + I_r^2 \quad \varphi = \arctg \frac{I_C}{I_r}$$

luego $\overline{I_C} = I_C \angle 90^\circ$ $\overline{I_r} = I_r \angle 0^\circ$ y $\overline{I} = I \angle \varphi$

Y el valor de la impedancia del circuito sería:

$$\overline{Z} = \frac{\overline{V_{ab}} \angle 0^\circ}{\overline{I} \angle \varphi} = \frac{V_{ab}}{I} \angle -\varphi$$

- Con el triángulo de potencias se tiene (vista c) de la fig. 3.14.4):

Potencia real: $\overline{P_r} = \overline{I_r} \overline{V_{ab}} = I_r \angle 0^\circ V_{ab} \angle 0^\circ = I_r V_{ab} \angle 0^\circ$

Potencia capacitiva: $\overline{P_c} = \overline{I_c} \overline{V_{ab}} = I_c \angle 90^\circ V_{ab} \angle 0^\circ = I_c V_{ab} \angle 90^\circ$

Y la potencia aparente: $\overline{P_a} = \overline{P_r} + \overline{P_c} = P_r + j P_c$ ó

$$\overline{P_a} = \sqrt{P_R^2 + P_C^2} \angle \arctg P_C / P_R = P_a \angle \varphi$$

Igual que en el circuito serie. No es relevante que la potencia reactiva se encuentre en el eje imaginario positivo o negativo.

14.4.2. Resolución por el método de los números complejos.

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} \quad \overline{I_c} = \frac{\overline{V_{ab}}}{X_c} = \frac{V_{ab} \angle 0^\circ}{X_c \angle -90^\circ} = \frac{V_{ab}}{X_c} \angle 90^\circ$$

$$\overline{I_r} = \frac{\overline{V_{ab}}}{R} = \frac{V_{ab} \angle 0^\circ}{R \angle 0^\circ} = \frac{V_{ab}}{R} \angle 0^\circ$$

Y la intensidad total:

$$\overline{I} = \overline{I_r} + \overline{I_c} = \sqrt{I_r^2 + I_c^2} \angle \arctg I_c / I_r = I \angle \varphi$$

La impedancia total del circuito:

$$\overline{Z} = \frac{\overline{V_{ab}}}{\overline{I} + j I_c} = \frac{V_{ab} \angle 0^\circ}{I \angle \varphi} = \frac{V_{ab}}{I} \angle -\varphi$$

Igualmente se podría resolver aplicando números complejos del modo siguiente:

$$R = R + j0 \quad Z = \frac{R \times X_c}{R + X_c}$$

$$X_c = 0 - jX_c$$

o sea

$$Z = \frac{(R + j0) \times (0 - jX_c)}{(R + j0) + (0 - jX_c)}$$

Método más complicado, matemáticamente hablando.

El triángulo de potencias se calculará de igual modo al expuesto en la solución del triángulo de potencias.

14.5. CIRCUITOS CON SOLO INDUCTANCIA.

Ya se ha visto que una bobina posee una inductancia propia o coeficiente de autoinducción, L , y que en la bobina se induce una fuerza electromotriz, f_{em} , que es proporcional a la variación de la intensidad de corriente que circula por la bobina con respecto al tiempo. Naturalmente, una bobina está formada por un hilo conductor bobinado en espiras y ese hilo presenta una resistencia al paso de la corriente, pero es tan pequeña comparada con la reactancia de la bobina, que se puede considerar despreciable.

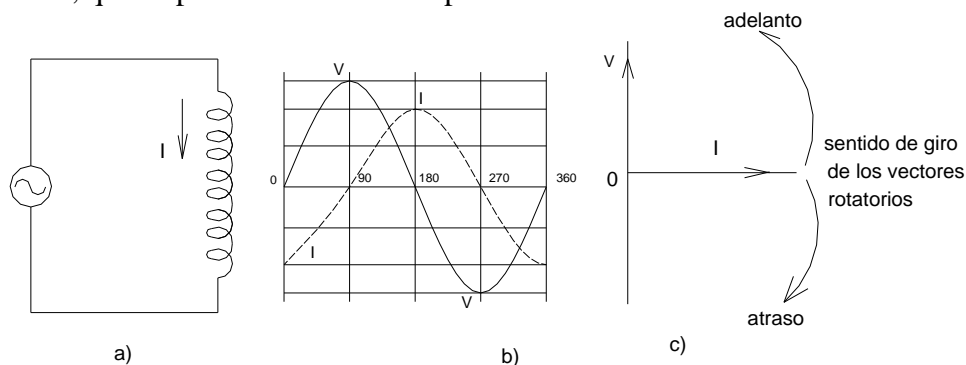


Fig. 3.14.5. Circuito con solo inductancia

Sea una autoinducción pura, como se ve en a) de la figura 3.14.5 anterior, por la que se hace circular una corriente alterna senoidal, de valor I .

Iniciemos el estudio en el instante en que I es máxima negativa (pendiente cero), como se muestra en b) de la figura 3.14.5. Como

$$E' = -L \frac{\Delta I}{\Delta T}$$

La f_{cem} inducida en la bobina es cero. Cuando I es cero (a 90°), pendiente máxima positiva, la f_{cem} de la bobina es máxima positiva. Cuando I pasa por su máximo positivo (pendiente cero), a 180° , la f_{cem} inducida en la bobina será cero. Ahora, la intensidad empieza a decrecer aumentando a negativo su pendiente, por lo que la f_{cem} empieza a aumentar a negativo hasta que la intensidad llegue a cero y la f_{cem} sea máxima negativa.

Esto da como resultado las formas de onda que se ven en b) de la figura 3.14.5.

Se dice, pues, que en una autoinducción pura la intensidad se retrasa 90° con respecto a la tensión, como se muestra en el diagrama vectorial de c) de la figura 3.14.5 anterior.

14.5.1. Reactancia inductiva.

La oposición de una bobina a las variaciones de la intensidad de corriente se llama reactancia inductiva, se mide en ohmios, y es directamente proporcional al coeficiente de autoinducción y a la frecuencia de la tensión aplicada. Esto se expresa por la fórmula:

$$X_L = 2\pi f L$$

En un circuito que contenga solo inductancia, el módulo del vector intensidad que recorre el circuito sería:

$$I = \frac{V_{ab}}{X_L}$$

Y estaría situada en el eje imaginario, con valor negativo, supuesto el voltaje en el eje real. Vectorialmente, se puede resolver:

$$\overline{I_L} = I_L \underline{-90^\circ} \quad \overline{V_{ab}} = V_{ab} \underline{0^\circ}$$

$$\overline{X_L} = \frac{\overline{V_{ab}}}{\overline{I_L}} = \frac{V_{ab} \underline{0^\circ}}{I_L \underline{-90^\circ}} \quad \overline{X_L} = \frac{V_{ab}}{I_L} \underline{90^\circ}$$

Luego el vector Reactancia Inductiva se sitúa en el eje imaginario, con valor positivo, como se muestra en el triángulo de reactancias de la figura 14.6 d).

14.6. CIRCUITOS CON R Y L EN SERIE.

Cuando a un circuito formado por una resistencia y una bobina en serie se aplica una tensión de corriente alterna senoidal, circuito a) de la figura 3.14.6 ocurre lo siguiente:

1°. Por ser un circuito serie, la intensidad tiene los mismos valores instantáneos (mismo valor y misma fase) en resistencia y bobina. Se coloca en el eje real, como referencia.

2°. La tensión en la bobina está adelantada 90° con respecto a la intensidad del circuito, según expuesto en apartado 4.5.

3°. La tensión en la resistencia está en fase con la intensidad, tal como se vio en el apartado 4.1.

4°. En aplicación de la 1ª Ley de Kirchoff, la suma vectorial de caídas de tensión en resistencia y bobina ha de ser igual a la tensión aplicada.

Como resultado de estos cuatro puntos, la representación vectorial de tensiones e intensidades es la mostrada en b) de la figura 3.14.6.

5°. La resistencia se encuentra siempre en el eje real y la reactancia inductiva se encuentra siempre en el eje imaginario positivo, como se demostró en el apartado 5.1.

6°. La oposición al paso de la corriente en un circuito de corriente alterna se conoce con el nombre de **impedancia**, se representa por la letra **Z** y es la suma vectorial de resistencias y reactancias del circuito serie.

Como resultado de estos dos puntos, la representación vectorial de impedancias es la mostrada en c) de la figura 3.14.6.

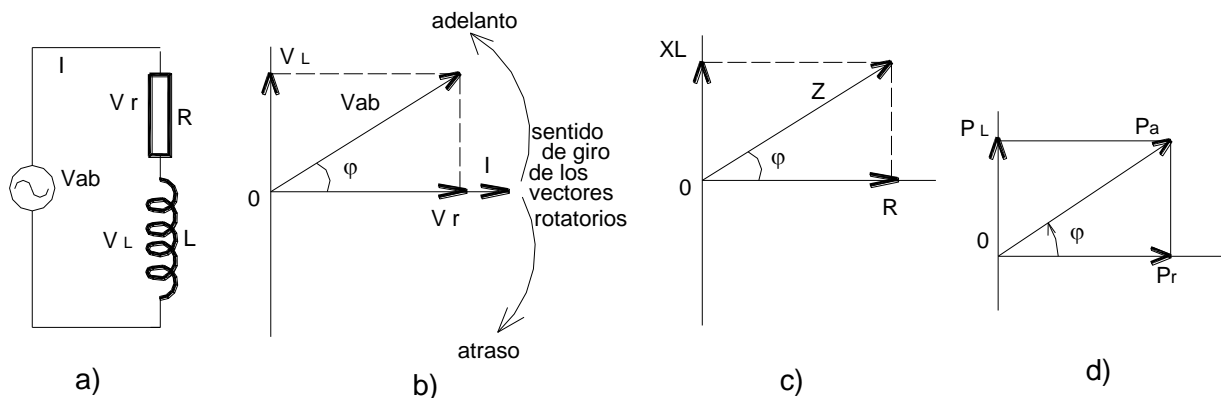


Fig. 3.14.6. Circuito RL serie

Los parámetros definidos en el párrafo precedente se pueden cuantificar siguiendo uno de los dos métodos siguientes:

14.6.1. Resolución por el método de los triángulos vectoriales.

- Con el triángulo de impedancias se tiene:

$$X_L = 2\pi f L \quad Z^2 = X_L^2 + R^2 \quad \varphi = \arctg \frac{X_L}{R}$$

$$\text{luego } \overline{X_L} = X_L \angle 90^\circ \quad \overline{R} = R \angle 0^\circ \quad \text{y} \quad \overline{Z} = Z \angle \varphi$$

- Con el triángulo de tensiones se tiene:

$$\text{La intensidad en el circuito serie: } I = \frac{V_{ab}}{Z}$$

$$V_r = I R \quad V_L = I X_L$$

Obteniéndose valores que han de cumplir el teorema de Pitágoras:

$$\mathbf{V_{ab}}^2 = \mathbf{V_r}^2 + \mathbf{V_L}^2 \quad \text{y} \quad \varphi = \arctg \frac{\mathbf{V_L}}{\mathbf{V_r}}$$

El ángulo de desfase debe ser el mismo en ambos triángulos.

$$\text{luego } \overline{\mathbf{V_L}} = \mathbf{V_L} \underline{90^\circ} \quad \overline{\mathbf{V_r}} = \mathbf{V_r} \underline{0^\circ} \quad \text{y} \quad \overline{\mathbf{V_{ab}}} = \mathbf{V_{ab}} \underline{\varphi}$$

14.6.2. Resolución por el método de los números complejos.

$$\mathbf{X_L} = 2\pi f \mathbf{L} \quad \overline{\mathbf{Z}} = \mathbf{R} + j\mathbf{X_L} = \sqrt{\mathbf{X_L}^2 + \mathbf{R}^2} \underline{\arctg \mathbf{X_L} / \mathbf{R}}$$

$$\overline{\mathbf{Z}} = \mathbf{Z} \underline{\varphi} \quad \text{siendo} \quad \mathbf{Z} = \sqrt{\mathbf{X_L}^2 + \mathbf{R}^2} \quad \text{y} \quad \varphi = \arctg \frac{\mathbf{X_L}}{\mathbf{R}}$$

al obtener el vector Z se ha obtenido el módulo Z y el argumento φ o ángulo de desfase.

La intensidad que circula por el circuito: $\overline{\mathbf{I}} = \frac{\mathbf{V_{ab}} \underline{\varphi}}{\mathbf{Z} \underline{\varphi}}$ o en el eje real, como se sabe.

Y las caídas de tensión en bobina y resistencia:

$$\overline{\mathbf{V_L}} = \mathbf{I} \underline{0^\circ} \mathbf{X_L} \underline{90^\circ} = \mathbf{I X_L} \underline{90^\circ} \quad \overline{\mathbf{V_r}} = \mathbf{I} \underline{0^\circ} \mathbf{R} \underline{0^\circ} = \mathbf{I R} \underline{0^\circ}$$

Las potencias consumidas en el circuito se calculan:

En la resistencia
 (Potencia real) : $\overline{\mathbf{P_R}} = \overline{\mathbf{I}} \overline{\mathbf{V_r}} = \mathbf{I} \underline{0^\circ} \mathbf{V_r} \underline{0^\circ} = \mathbf{I V_r} \underline{0^\circ}$

En la bobina
 (Potencia inductiva) : $\overline{\mathbf{P_L}} = \overline{\mathbf{I}} \overline{\mathbf{V_L}} = \mathbf{I} \underline{0^\circ} \mathbf{V_L} \underline{90^\circ} = \mathbf{I V_L} \underline{90^\circ}$

Y la potencia total
 (Potencia aparente) : $\overline{\mathbf{P_a}} = \overline{\mathbf{P_R}} + \overline{\mathbf{P_L}} = \mathbf{P_R} - j \mathbf{P_L}$ ó

$$\overline{\mathbf{P_a}} = \sqrt{\mathbf{P_R}^2 + \mathbf{P_L}^2} \underline{\arctg \mathbf{P_L} / \mathbf{P_R}} = \mathbf{P_a} \underline{\varphi}$$

Puesto que son magnitudes vectoriales, como el resto de los parámetros, según se representa en d) de la figura 3.14.6.

14.7. CIRCUITOS RCL SERIE.

Si se aplica una corriente alterna senoidal a un circuito formado por una resistencia, una bobina y un condensador conectados en serie, como se ve en a) de la figura 3.14.7 siguiente, los diagramas vectoriales serán los representados en b), c) y d) de la misma figura 3.14.7 por las razones siguientes:

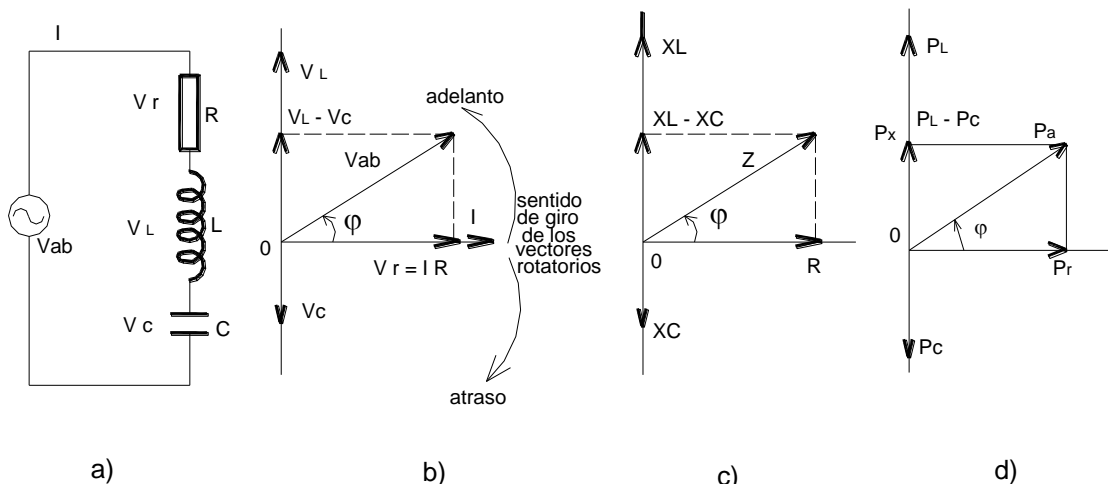


Fig. 3.14.7. Circuito RCL serie

1°. Por ser un circuito serie, la intensidad, I , tiene los mismos valores instantáneos (mismo valor y misma fase) en resistencia, condensador y bobina. Se coloca en el eje real, como referencia.

2°. La tensión en la bobina, V_L , está adelantada 90° con respecto a la intensidad del circuito, según expuesto en apartado 4.5.


3°. La tensión en la resistencia, V_r , está en fase con la intensidad, tal como se vio en el apartado 4.1.

4°. La tensión en el condensador, V_c , está retrasada 90° con respecto a la intensidad del circuito, según expuesto en apartado 4.2

5°. Las caídas de tensión en bobina y condensador se encuentran en el eje imaginario pero con valores opuestos. La resultante, $V_L - V_c$, se encontrará en el semieje positivo o en el semieje negativo dependiendo de los valores de cada una. Se ha supuesto $V_L > V_c$.

6°. En aplicación de la 1ª Ley de Kirchoff, la suma vectorial de caídas de tensión en resistencia, condensador y bobina ha de ser igual a la tensión aplicada.

Como resultado de estos seis puntos, la representación vectorial de tensiones e intensidades es la mostrada en b) de la figura 3.14.7.

	MASTER DE FORMACIÓN B1.1 y B1.3 MÓDULO 3 FUNDAMENTOS DE ELECTRICIDAD	Edición: 3 Revisión: 9 Fecha: 31/07/2017
---	---	--

NOTA

La regla nemotécnica ELICE permite recordar adelanto y atraso de tensión y corriente en bobina y condensador. Así, ELI aclara que en la bobina (L) la tensión va delante de la intensidad, mientras que ICE hace ver que en el condensador (C), la intensidad se adelanta a la tensión.

7°. La resistencia se encuentra siempre en el eje real, la reactancia inductiva se encuentra siempre en el eje imaginario positivo, como se demostró en el apartado 14.5.1 y la reactancia capacitiva se encuentra siempre en el eje imaginario negativo, como se demostró en el apartado 4.2.1.

8°. Las reactancias capacitiva e inductiva se encuentran en el eje imaginario pero con valores opuestos. La resultante, $X_L - X_C$, se encontrará en el semieje positivo o en el semieje negativo dependiendo de los valores de cada una. Se ha supuesto $X_L > X_C$, lógico, puesto que si $V_L > V_C$, como la intensidad es la misma, ha de ser $X_L > X_C$. Se dice, entonces, que un circuito es de carácter inductivo cuando la reactancia inductiva es superior a la capacitiva y viceversa, o sea es de carácter capacitivo cuando la reactancia capacitiva es superior a la inductiva.

9°. La oposición total al paso de la corriente en un circuito de corriente alterna es la **impedancia**, se representa por la letra **Z** y es la suma vectorial de resistencias y reactancias del circuito serie.

Como resultado de estos tres puntos, la representación vectorial de impedancias es la mostrada en c) de la figura 3.14.7.

El triángulo de potencias mostrado en d) de la figura 3.14.7 se ha definido con las razones siguientes:

10°. La potencia disipada por la resistencia, conocida como **potencia real**, P_r , tiene el valor, como se sabe:

$$\overline{P_r} = \overline{V_r} \overline{I} = V_r \angle 0^\circ \cdot I \angle 0^\circ = I V_r \angle 0^\circ \text{ o en el eje real.}$$

11°. La potencia consumida por la bobina, conocida como **potencia inductiva**, P_L , tiene el valor, como se sabe:

$$\overline{P_L} = \overline{V_L} \overline{I} = V_L \angle 90^\circ \cdot I \angle 0^\circ = I V_L \angle 90^\circ \text{ o en el semieje imaginario positivo}$$

12°. La potencia consumida por el condensador, conocida como **potencia capacitiva**, P_C , tiene el valor, como se sabe:

$$\overline{P_C} = \overline{V_C} \overline{I} = V_C \angle -90^\circ \cdot I \angle 0^\circ = I V_C \angle -90^\circ \text{ o en el semieje imaginario negativo}$$

13°. Las potencias capacitiva e inductiva se encuentran en el eje imaginario pero con valores opuestos. La resultante, $P_L - P_C$, se encontrará en el semieje positivo o en el semieje negativo dependiendo de los valores de cada una. Se ha supuesto $P_L > P_C$. Lógico, puesto que si $V_L > V_C$, como la intensidad es la misma, ha de ser $P_L > P_C$. Se conoce como **potencia reactiva**, P_X , a la diferencia entre las potencias inductiva y capacitiva consumidas por el circuito.

$$P_X = P_L - P_C$$

14°. La potencia total consumida por el circuito, o **potencia aparente**, será:

$$P_a = P_R + P_X = P_R + j P_X = P_R + j (P_L - P_C) \quad \text{ó}$$

$$\overline{P_a} = \sqrt{P_R^2 + (P_L - P_C)^2} \quad \angle \arctg (P_L - P_C) / P_R = P_a \angle \varphi$$

Siendo $P_a = \sqrt{P_R^2 + (P_L - P_C)^2}$ y $\varphi = \arctag \frac{P_L - P_C}{P_R}$

Los parámetros definidos en los párrafos precedentes se pueden cuantificar siguiendo uno de los dos métodos siguientes:

14.7.1. Resolución por el método de los triángulos vectoriales.

- Con el triángulo de impedancias se tiene:

$$X_L = 2\pi f L \quad X_C = \frac{1}{2\pi f C} \quad X = X_L - X_C$$

$$Z^2 = X^2 + R^2 \quad \varphi = \arctg \frac{X}{R} \quad \text{siendo } X_L > X_C$$

luego $\overline{X_C} = X_C \angle -90^\circ$ $\overline{X_L} = X_L \angle 90^\circ$ $\overline{R} = R \angle 0^\circ$ y $\overline{Z} = Z \angle \varphi$

- Con el triángulo de tensiones se tiene:

La intensidad en el circuito serie: $I = \frac{V_{ab}}{Z}$

$$V_r = I R \quad V_c = I X_C \quad V_L = I X_L \quad V = V_L - V_C$$

Obteniéndose valores que han de cumplir el teorema de Pitágoras:

$$V_{ab}^2 = V_r^2 + V^2 \quad \text{y} \quad \varphi = \arctg \frac{V}{V_r}$$

El ángulo de desfase debe ser el mismo en ambos triángulos.

luego $\overline{V_c} = V_c \angle -90^\circ$ $\overline{V_r} = V_r \angle 0^\circ$ $\overline{V_L} = V_L \angle 90^\circ$ y $\overline{V_{ab}} = V_{ab} \angle \varphi$

El triángulo de potencias se calcula según lo expuesto en los puntos de 10° a 14° de este mismo apartado.

14.7.2. Resolución por el método de los números complejos.

$$X_L = 2\pi f L \quad X_C = \frac{1}{2\pi f C} \quad X = X_L - X_C$$

$$\overline{Z} = R + j(X_L - X_C) = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \angle \arctg \frac{(X_L - X_C)}{R} = Z \angle \varphi$$

Siendo $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ y $\varphi = \arctag \frac{X_L - X_C}{R}$

Obtenida la impedancia, se obtiene la intensidad de corriente:

$$\overline{I} = \frac{\overline{V_{ab}} \angle \varphi}{Z \angle \varphi} = \frac{V_{ab}}{Z} \angle 0 = I \angle 0$$

Y las caídas de tensión en el circuito

$$\overline{V_r} = \overline{I} \overline{R} = I \angle 0 \cdot R \angle 0 = I R \angle 0$$

$$\overline{V_c} = \overline{I} \overline{V_c} = I \angle 0^\circ \cdot V_c \angle -90^\circ = I V_c \angle -90^\circ$$

$$\overline{V_L} = \overline{I} \overline{V_L} = I \angle 0^\circ \cdot V_L \angle 90^\circ = I V_L \angle 90^\circ$$

Se tiene que cumplir que:

$$\overline{V_{ab}} = \sqrt{V_r^2 + (V_L - V_c)^2} \quad \angle \arctg \frac{(V_L - V_c)}{V_r} = V_{ab} \angle \varphi$$

Siendo $V_{ab} = \sqrt{V_r^2 + (V_L - V_c)^2}$ y $\varphi = \arctag \frac{V_L - V_c}{V_r}$

Las potencias se calculan como en el método anterior.

14.8. CIRCUITO RESONANTE SERIE.

Se define como circuito **resonante** serie al formado por una capacidad y una autoinducción, conectadas en serie, en el que **la reactancia inductiva es igual a la reactancia capacitiva**.

Ya se ha visto que en un circuito RCL serie (se suma una resistencia al circuito puesto que entre los conductores, el hilo de la bobina y las placas del condensador siempre hay una resistencia) la reactancia del circuito se obtiene hallando la diferencia entre las reactancias inductiva y capacitiva. Como quiera que $X_L = 2\pi f L$ y $X_C = 1 / 2\pi f C$ según vaya aumentando la frecuencia de la tensión aplicada al circuito, irá aumentando la reactancia inductiva y disminuyendo la reactancia capacitiva hasta llegar el momento en que se igualen ambas reactancias. La frecuencia a la que son iguales reactancias inductiva y capacitiva se llama **frecuencia de resonancia** y su valor será:

$$\text{Si } X_L = X_C \quad 2\pi f L = \frac{1}{2\pi f C} \quad f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L C}}$$

que es la fórmula de la frecuencia de resonancia.

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

y $I = \frac{V_{ab}}{R}$ pero R es muy pequeña (resistencia de los hilos...)

Entonces, **en un circuito resonante serie la impedancia es mínima y la intensidad es máxima a la frecuencia de resonancia**. En teoría, la impedancia es cero y la intensidad infinita.

Se define el factor de calidad de un circuito resonante serie a la relación entre la reactancia y la resistencia de la bobina y se representa por la letra Q.

$$Q = \frac{2\pi f L}{R} \quad \text{a cualquier frecuencia}$$

Y esto es debido a que la mayor parte de las pérdidas de los circuitos resonantes prácticos tienen lugar en la resistencia del hilo de la bobina ya que las pérdidas en los condensadores son despreciables en comparación con las pérdidas en la bobina.

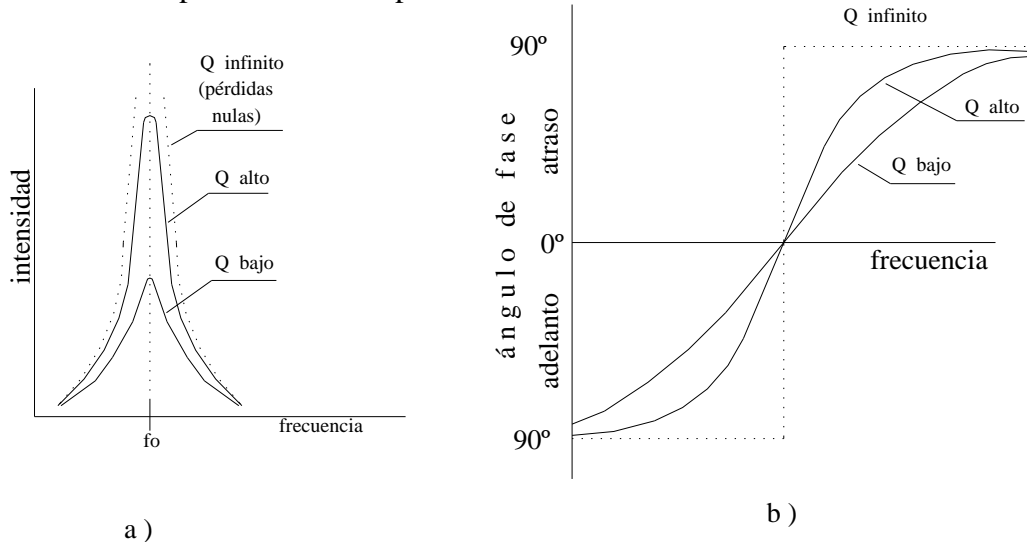


Fig. 3.14.8. Circuito resonante serie. Curvas de selectividad o factor de calidad
Variación del ángulo de fase con la frecuencia

La figura 3.14.8 anterior muestra en a) la variación de la corriente del circuito en función de la frecuencia para distintos valores de la resistencia de la bobina, o sea del Q del circuito. En ella se puede apreciar que cuando la frecuencia difiere bastante de la de resonancia la intensidad es prácticamente independiente de la resistencia de la bobina siendo casi igual a la que se tendría si no hubiese pérdidas, mientras que cuando la frecuencia es igual a la de resonancia la intensidad depende únicamente de la resistencia de la bobina. Esto es lógico, puesto que a la frecuencia de resonancia la reactancia del circuito es nula y la intensidad es igual a la tensión aplicada dividida por la resistencia y tensión aplicada, resistencia e intensidad de corriente están en fase y sobre el eje real.

A la frecuencia de resonancia, el Q se puede expresar:

$$Q = \frac{X_L}{R} \quad \text{y} \quad 2\pi f L = \frac{1}{2\pi f C} \quad \text{a} \quad f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

$$Q = \frac{2\pi f L}{R} = 2\pi f \frac{L}{R} = 2\pi \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \frac{L}{R}$$

Luego
$$Q = \frac{1}{\sqrt{LC}} \times \frac{L}{R} = \frac{\sqrt{LC} \times L}{LC \times R}$$

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \text{a la frecuencia de resonancia.}$$

Las bobinas con Q alto son preferibles a las bobinas con Q bajo especialmente en resonancia. En los circuitos resonantes, las bobinas de Q alto permiten que fluyan corrientes altas hacia la carga ya que hay muy poca energía perdida debido a la pequeña resistencia de los devanados de la bobina. Recordar que cuanto más baja sea la resistencia interna de la bobina mayor será el Q . Los circuitos resonantes serie se emplean para filtrado de frecuencias, que se estudiará en el capítulo de FILTROS, para medir frecuencias etc.

En b) de la figura 3.14.8 anterior se muestra la variación de fase de la intensidad en función de la frecuencia y según el valor del Q del circuito. Obsérvese que las curvas son idénticas antes y después de la frecuencia de resonancia, estando la corriente en adelanto a la tensión para frecuencias inferiores a la de resonancia y en atraso con respecto a la tensión para frecuencias superiores a la de resonancia.

Realmente, el Q de una bobina no tiene importancia en circuitos eléctricos siendo importante, sin embargo, en circuitos electrónicos, sobre todos en circuitos de comunicaciones.

14.9. CIRCUITO RCL PARALELO.

En este circuito se aplica una tensión de alterna a tres ramas en paralelo, la rama 1 formada por una resistencia, la rama 2 formada por un condensador y la rama 3 formada por una autoinducción y la resistencia de su hilo, en serie con la bobina, como se muestra en a) de la figura 14.9. En este caso, ocurre lo siguiente:

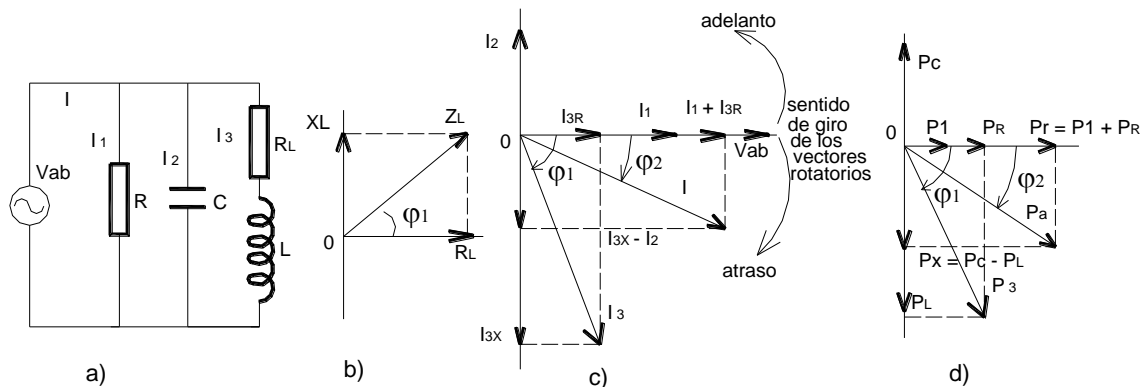


Fig. 3.14.9. Circuito RLC paralelo

1º) Al tratarse de un circuito paralelo, la ddp aplicada es común a las tres ramas, por lo que se situará en el eje real, como referencia, al igual que se hacía en los paralelos anteriores.

2º) La intensidad que circula por la rama resistiva, I_1 , se encontrará en fase con la tensión aplicada, como se sabe.

3º) La intensidad que circula por la rama capacitiva, I_2 , estará adelantada 90° al voltaje aplicado, o tensión en el condensador.

4º) La intensidad que circula por la rama inductiva, I_3 , se debe calcular siguiendo el procedimiento dado en el apartado 6. Circuitos con R y L en serie y, seguidamente, abatir el valor de la intensidad encontrado sobre los ejes reactivos y resistivos del circuito.

5º) La intensidad total que entrega la fuente será, en aplicación de la 2ª Ley de Kirchoff, la suma vectorial de las intensidades que circulan por cada rama.

Como resultado de estos 5 primeros puntos se obtiene el diagrama vectorial mostrado en c) de la figura 3.14.9.

La impedancia total del circuito será, en aplicación de la Ley de OHM, el cociente de dividir el voltaje aplicado por la intensidad total que consume el circuito.

Los parámetros definidos en los puntos anteriores se pueden calcular:

14.9.1 Resolución por el método de los triángulos vectoriales.

En el triángulo de intensidades se tiene (vista c) de la figura 3.14.9):

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \quad I_2 = \frac{V_{ab}}{X_C} \quad I_1 = \frac{V_{ab}}{R}$$

La rama inductiva, con R y L en serie, se resuelve:

$$X_L = 2\pi f L \quad I_3 = \frac{V_{ab}}{\sqrt{R_L^2 + X_L^2}} \quad \text{con } \varphi_1 = \arctg \frac{X_L}{R_L}$$

Las intensidades reactiva y resistiva totales se calculan:

$$I_{3X} = I_3 \text{ sen } \varphi_1 \quad I_{3R} = I_3 \text{ cos } \varphi_1$$

Y la intensidad total será:

$$I^2 = (I_{3X} - I_2)^2 + (I_{3R} + I_1)^2 \quad \text{con } \varphi_2 = \arctg \frac{I_{3X} - I_2}{I_{3R} + I_1}$$

Y el valor de la impedancia del circuito sería:

$$\underline{Z} = \frac{V_{ab} \angle 0^\circ}{I \angle \varphi_2} = \frac{V_{ab}}{I} \angle -\varphi_2$$

- En el triángulo de potencias se tiene (vista d) de 14.9):

$$\text{Potencia real: } \overline{P}_r = \overline{(I_{3R} + I_1)} \overline{V_{ab}} = (I_{3R} + I_1) \underline{0^\circ} V_{ab} \underline{0^\circ} = (I_{3R} + I_1) V_{ab} \underline{0^\circ}$$

$$\text{Potencia reactiva: } \overline{P}_c = \overline{(I_{3x} - I_2)} \overline{V_{ab}} = (I_{3x} - I_2) \underline{90^\circ} V_{ab} \underline{0^\circ} = (I_{3x} - I_2) \underline{90^\circ}$$

$$\text{Y la potencia aparente: } \overline{P}_a = \overline{P}_r + \overline{P}_c = P_r + j P_c \quad \text{ó}$$

$$\overline{P}_a = \sqrt{P_R^2 + P_C^2} \underline{\arctg P_C / P_R} = P_a \underline{-\phi_2}$$

No es relevante que la potencia reactiva se encuentre en el eje imaginario positivo o negativo.

14.9.2 Resolución por el método de los números complejos.

En la rama capacitiva

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \quad \overline{I_2} = \frac{\overline{V_{ab}}}{X_C} = \frac{V_{ab} \underline{0^\circ}}{X_C \underline{-90^\circ}} = \frac{V_{ab}}{X_C} \underline{90^\circ}$$

En la rama resistiva

$$\overline{I_1} = \frac{\overline{V_{ab}}}{R} = \frac{V_{ab} \underline{0^\circ}}{R \underline{0^\circ}} = \frac{V_{ab}}{R} \underline{0^\circ}$$

En la rama inductiva

$$X_L = 2\pi f L \quad \overline{Z}_L = R_L + j X_L = \sqrt{R_L^2 + X_L^2} \underline{\phi_1}$$

$$\overline{I_3} = \frac{\overline{V_{ab}}}{\overline{Z}_L} = \frac{V_{ab}}{Z_L} \underline{\arctg X_L / R_L} = I_3 \underline{\phi_1}$$

$$\text{La intensidad reactiva total: } I_x = I_{3x} - I_2$$

$$\text{La intensidad resistiva total: } I_R = I_{3R} + I_1$$

$$\text{La intensidad total del circuito: } \overline{I} = \overline{I_x} + \overline{I_R} \quad \text{o lo que es igual:}$$

$$I = \sqrt{(I_{3x} - I_2)^2 + (I_{3R} + I_1)^2} \underline{\arctg -(I_x / I_R)}$$

La impedancia total del circuito:

$$\overline{Z} = \frac{\overline{V_{ab}}}{\overline{I} + j I_c} = \frac{V_{ab} \underline{0^\circ}}{I \underline{\phi}} = \frac{V_{ab}}{I} \underline{-\phi}$$

14.10. CIRCUITO RESONANTE PARALELO.

El circuito resonante paralelo es aquel en el que, estando constituido por una capacidad en paralelo con una inductancia (supuesta nula la resistencia del hilo de la bobina), como se muestra en a) de la figura 3.14.10 siguiente, por definición, **la reactancia capacitiva es igual a la reactancia inductiva**, al igual que el circuito resonante serie.

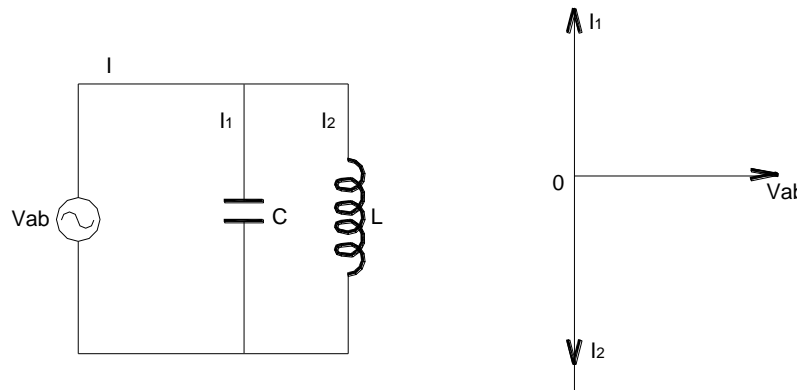


Fig. 3.14.10. Circuito resonante paralelo

Los vectores de intensidades de este circuito son los mostrados en b) de la figura 14.10.

Las intensidades del circuito tienen los valores:

$$\overline{I_2} = \frac{V_{ab}}{X_L} \angle -90^\circ \qquad \overline{I_1} = \frac{V_{ab}}{X_C} \angle 90^\circ$$

Y la intensidad total demandada a la fuente:

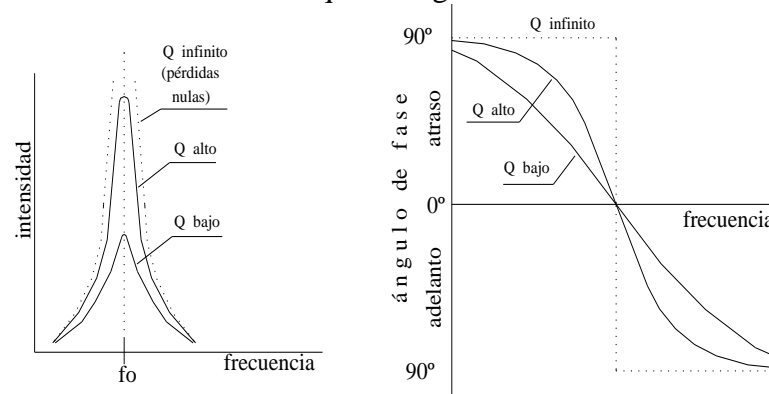
$$\overline{I} = \overline{I_1} + \overline{I_2} = \frac{V_{ab}}{X_C} \angle 90^\circ + \frac{V_{ab}}{X_L} \angle -90^\circ = 0$$

La impedancia que ve la fuente será: $Z = \frac{V_{ab}}{I} = \infty$

Como realmente siempre existe una resistencia en el circuito, la intensidad no llega a ser cero ni la impedancia a infinito, o sea **en un circuito resonante paralelo la impedancia es máxima y la intensidad es mínima a la frecuencia de resonancia**.

Nótese que un circuito resonante serie se comporta de modo inverso a un circuito resonante paralelo. Realmente, en circuitos eléctricos es el circuito resonante paralelo el que tiene verdaderas aplicaciones, que se verán en el apartado de Compensación de la Energía reactiva.

La figura 3.14.11 siguiente muestra en a) la curva que define el valor de la impedancia en función de la frecuencia y el Q del circuito y en b) la variación de la fase de la impedancia del circuito en función de la frecuencia. Nótese que son iguales a las del circuito resonante serie.



*Fig. 3.14.11. Circuito resonante paralelo. Curvas de selectividad o factor de calidad
 Variación del ángulo de fase con la frecuencia*

Las fórmulas aplicables a un circuito resonante paralelo serían las mismas que en un circuito resonante serie:

$$Q = \frac{\omega L}{R_L} \quad \text{y} \quad f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

14.11. DISIPACION DE POTENCIA EN CIRCUITOS RCL.

Se sabe que la potencia consumida por un circuito o un receptor es el producto de la tensión aplicada por la intensidad de corriente. Cuando se trata de una corriente alterna senoidal, se sabe que existe una corriente activa, la que circula por los elementos resistivos, cuyo vector se sitúa en el eje real, y una corriente reactiva, o la que circula por los elementos capacitivos e inductivos, cuyo vector se sitúa sobre el eje imaginario. La corriente activa da lugar a una potencia activa, la corriente reactiva da lugar a una potencia reactiva y la suma vectorial o resultante de estas dos potencias es la potencia total o potencia aparente. Entonces, hay tres tipos de potencia en un circuito de corriente alterna:

Potencia real (true power), o potencia activa, es la potencia consumida por los elementos resistivos de un circuito de corriente alterna y se mide en **vatios (W)**. Se representa como **P_r**.

Potencia reactiva (reactive power) es la potencia consumida por las reactancias inductiva y capacitiva del circuito de corriente alterna y se mide en **voltio-amperio reactivo (Var)**. Se representa como **P_x**.

Potencia aparente (apparent power) es la potencia total consumida por un circuito de corriente alterna y se mide en **voltio-amperios (VA)**. Se representa como **Pa**.

La figura 3.14.12 muestra estas tres potencias y su relación.

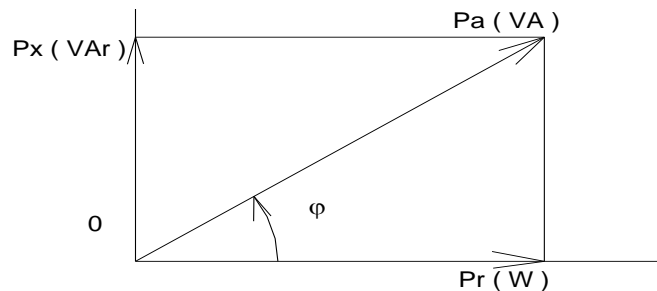


Fig. 3.14.12. Triángulo de potencias

El módulo del vector potencia real o activa de un circuito de CA se obtiene por cualquiera de las conocidas fórmulas:

$$Pr = I_a^2 R = V_R I_a = \frac{V_R^2}{R} \text{ (Vatios)}$$

siendo **I_a** la intensidad activa, **R** la resistencia del circuito y **V_R** la tensión en la resistencia.

El módulo del vector potencia reactiva de un circuito de CA se obtiene por cualquiera de las conocidas fórmulas:

$$Px = I_x^2 X = V_x I_x = \frac{V_x^2}{X} \text{ (Voltioamperios reactivos)}$$

siendo **I_x** la intensidad reactiva, **X** la reactancia total del circuito y **V_x** la tensión resultante en los elementos reactivos (bobina y condensador).

El módulo del vector potencia total o aparente de un circuito de CA se obtiene por cualquiera de las conocidas fórmulas:


$$Pa = I^2 Z = V_{ab} I = \frac{V_{ab}^2}{Z} \text{ (Voltioamperios)}$$

siendo **I** la intensidad total, **Z** la impedancia del circuito y **V_{ab}** la tensión aplicada.

La potencia total del circuito también se puede obtener resolviendo el triángulo de potencias:

$$\overline{Pa} = \sqrt{\overline{Pr}^2 + \overline{Px}^2} \quad \underline{\arctg Px / Pr} = Pa \quad \underline{\varphi}$$

Se define el **factor de potencia** (power factor = PF) de un circuito de corriente alterna a la relación entre la potencia real y la potencia aparente o coseno del ángulo que forma potencia aparente con potencia real.

	MASTER DE FORMACIÓN B1.1 y B1.3 MÓDULO 3 FUNDAMENTOS DE ELECTRICIDAD	Edición: 3 Revisión: 9 Fecha: 31/07/2017
---	---	--

$$\text{Factor de potencia (PF)} = \frac{Pr}{Pa} = \cos \varphi$$

Y determina la eficiencia de un circuito de corriente alterna. Un circuito de CA será tanto más eficiente cuanto más se aproxime a la unidad el factor de potencia, o cuanto más se aproxime a cero el consumo de reactiva o cuanto más se aproxime a cero el ángulo de desfase entre potencias aparente y real.

Los múltiplos y submúltiplos de las potencias consumidas en corriente alterna son los expuestos en la tabla siguiente.

Unidades de potencia. Múltiplos y Submúltiplos		
unidad	múltiplos	submúltiplos
Vatio (Watt)	kW = 1000 vatios (kilovatio) MW = 10 ⁶ vatios (megavatio)	mW (milivatio) = 10 ⁻³ vatios μW (microvatio) = 10 ⁻⁶ vatios
VAr Voltioamperio reactivo	kVAr = 1000 VAr (kilovoltioamperio reactivo) MVAr = 10 ⁶ VAr (megavoltioamperio reactivo)	No se emplean
VA (voltioamperio)	kVA (cavea) = 1000 VA MVA (megavea) = 10 ⁶ VA	No se emplean

14.12. COMPENSACION DE LA ENERGIA REACTIVA.

Supóngase una aeronave en la que la suma de consumos resistivos (iluminación y calefactores) asciende a 60 kW., y la suma de consumos inductivos (equipos alimentados con corriente alterna entrada a transformador, motores etc.) asciende a 80 kVAr.. El generador funciona a 115 VAC, 400 Hz, con una potencia de 115 KVA. La distribución correspondería a a) de la figura 3.14.13 y el triángulo de potencia al mostrado en b) de la misma figura.

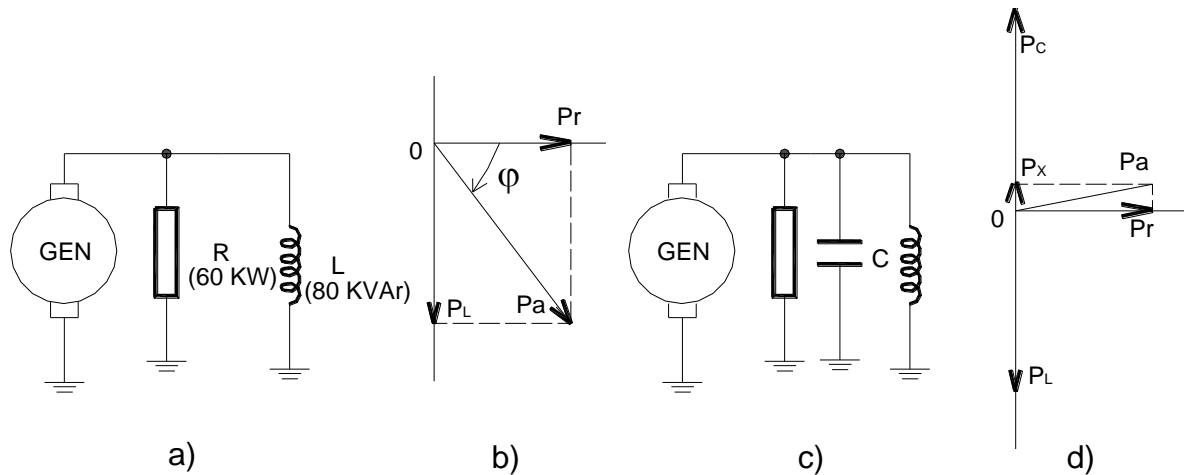


Fig. 3.14.13. Compensación energía reactiva

La potencia demandada al generador sería, resolviendo el triángulo de potencias:

$$\bar{P}_a = \sqrt{P_r^2 + P_L^2} \quad \left| \arctg \frac{P_L}{P_r} \right| = \sqrt{60^2 + 80^2} \quad \left| \arctg \frac{80}{60} \right|$$

$$\bar{P}_a = 100 \quad \left| 53^\circ \right| \text{ kVA} \quad \text{y} \quad \cos \varphi = 0,6$$

para un generador de 115 KVA, o sea con una utilización del 87%.

La compensación del consumo reactivo se efectúa instalando un condensador de la capacidad adecuada en paralelo con las demás cargas, tal como se muestra en c) de la misma figura 3.14.13. La capacidad del condensador debe ser tal que su reactancia sea igual a la reactancia inductiva del circuito (resonancia paralelo), lo que hará que sean iguales las intensidades capacitiva e inductiva y cero la intensidad reactiva con lo que el consumo reactivo será igual a cero.

$$P_c = \frac{V_{ab}^2}{X_c} \quad \text{ó} \quad X_c = \frac{V_{ab}^2}{P_c} = \frac{115^2}{80\,000} = 0,16531 \text{ ohmios.}$$

Luego, la capacidad del condensador será:

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c} = \frac{1}{6,28 \cdot 400 \cdot 0,16531} = 2\,408 \mu\text{F}$$

El condensador que más se aproxima al calculado es el de 500 μF – 400 V. Conectando en paralelo 5 condensadores de ese valor se obtiene una capacidad equivalente de 2500 μF y los cálculos serían:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{6,28 \cdot 400 \cdot 0,0025} = 0,1592 \text{ ohmios}$$

Y la potencia de la rama capacitiva:

$$P_C = \frac{V_{ab}^2}{X_C} = \frac{115^2}{0,1592} = 83\,071 \text{ Var capacitivos}$$

La potencia reactiva total:

$$P_X = P_C - P_L = 83\,071 - 80\,000 = 3,071 \text{ KVAr}$$

representado en d) de la figura 14.13.

Y la potencia que demanda el circuito al generador o potencia total, representada en d) de la figura 14.13.

$$\overline{P_a} = \sqrt{P_r^2 + P_x^2} \angle \arctg \frac{P_x}{P_r} = \sqrt{60^2 + 3,071^2} \angle \arctg \frac{0,65}{60}$$

$$\overline{P_a} \cong 60 \angle 0^\circ \text{ kVA} \quad \text{y} \quad \cos \varphi \cong 1$$

Nótese que teniendo el generador la misma demanda de energía eléctrica, tiene que entregar menos potencia, o lo que es igual tiene que trabajar con menos desgaste, concretamente con un ahorro del 60%. Entonces, **la compensación de la energía reactiva se lleva a cabo instalando condensadores de la capacidad adecuada en paralelo con la distribución de la energía de corriente alterna.**