

POTENCIA EN CIRCUITOS MONOFASICOS

2.1 Generalidades

En todo circuito eléctrico es de suma importancia determinar la potencia que se genera y que se absorbe.

Todo aparato eléctrico tiene una capacidad para transformar energía eléctrica en otro tipo de energía (Eléctrica, calorífica, mecánica, etc.), lo cual hace que el cálculo de la potencia asociada sea de suma importancia.

La potencia instantánea está dada por el producto del voltaje instantáneo por la corriente instantánea.

A los efectos de definir si la potencia es entregada ó absorbida por el elemento en estudio, adoptaremos la siguiente convención de acuerdo a los diagramas de la figura 2.1 y 2.2.

a) Fuentes de tensión

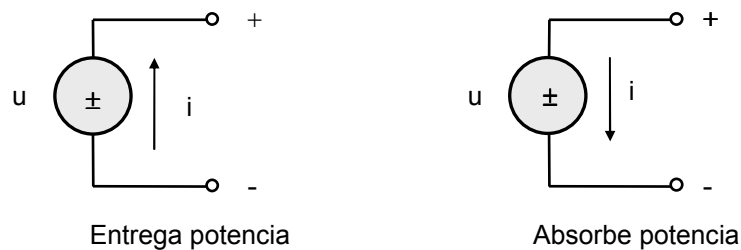


Figura 2.1 Esquemas para determinar el sentido de flujo de potencia en fuentes de tensión

b) Fuentes de corriente

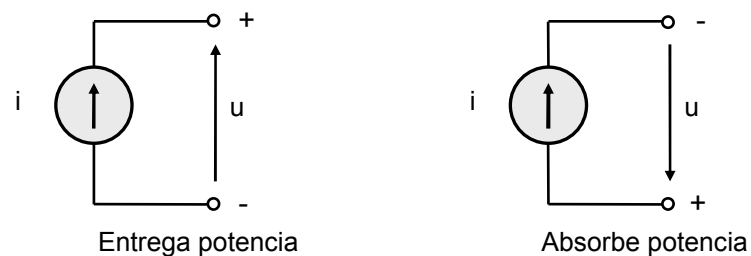


Figura 2.2 Esquemas para determinar el sentido de flujo de potencia en fuentes de corriente

2.2 Elementos pasivos

El resistor es un elemento que absorbe energía y la transforma en forma irreversible. El inductor y el capacitor por ser elementos que tienen capacidad de acumular energía en forma de campo magnético y eléctrico, lo que permite que absorban ó entreguen energía durante pequeños lapsos de tiempo. En la figura 2.3 se muestra los sentidos del flujo de potencia en los elementos considerados pasivos.

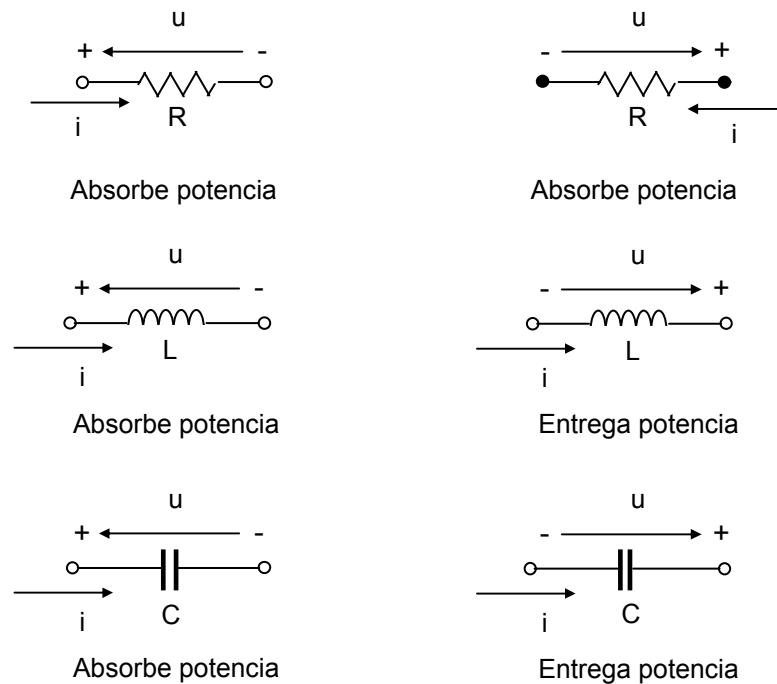


Figura 2.3 Esquemas para determinar el sentido de flujo de potencia en elementos pasivos

2.3 Potencia instantánea

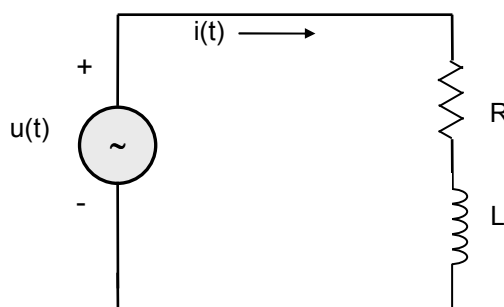


Figura 2.4 Circuito compuesto por una resistencia y un inductor en serie

Si analizamos la potencia instantánea entregada por una fuente de tensión senoidal a un elemento de un circuito, conformado por un resistor y un inductor como se muestra en la figura 2.4, el valor de la misma esta dado por:

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) \quad \text{Siendo :}$$

$$u(t) = U_m \sen \omega t$$

$$i(t) = I_m \sen (\omega t - \varphi)$$

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + \omega^2 \cdot L^2}}$$

$$\varphi = \text{Arc tg} \frac{\omega \cdot L}{R}$$

$$p(t) = U_m \sen \omega t \cdot I_m \sen (\omega t - \varphi)$$

De acuerdo a la siguiente identidad trigonométrica:

$$\sen (\omega t - \varphi) = \sen \omega t \cos \varphi - \cos \omega t \sen \varphi \quad \text{con lo que nos queda:}$$

$$p(t) = U_m I_m \sen \omega t (\sen \omega t \cos \varphi - \cos \omega t \sen \varphi)$$

$$p(t) = U_m I_m (\sen^2 \omega t \cos \varphi - \sen \omega t \cos \omega t \sen \varphi)$$

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

$$\sen \omega t \cdot \cos \omega t = \frac{\sen 2 \omega t}{2}$$

$$p(t) = \frac{U_m \cdot I_m}{2} [(1 - \cos 2 \omega t) \cos \varphi - \sen 2 \omega t \cdot \sen \varphi]$$

De acuerdo a la definición de valores eficaces esta ecuación quedará:

$$p(t) = U \cdot I \cos \varphi - U \cdot I \cos 2\omega t \cos \varphi - U \cdot I \sen 2\omega t \sen \varphi$$

De la cual podemos analizar lo siguiente:

- El primer término de la ecuación es constante y representa el valor medio de la función, ya que los dos términos siguientes al integrarlos en un período, su valor es cero, ó sea que $P = U \cdot I \cos \varphi$ (Potencia media, ó Potencia activa)
- La frecuencia de la potencia instantánea es dos veces la frecuencia de la corriente ó de la tensión.

En el gráfico de la figura 2.5 vemos superpuestos los valores de tensión, corriente y potencia instantáneos, para un circuito que presenta características “óhmico-inductivas”.

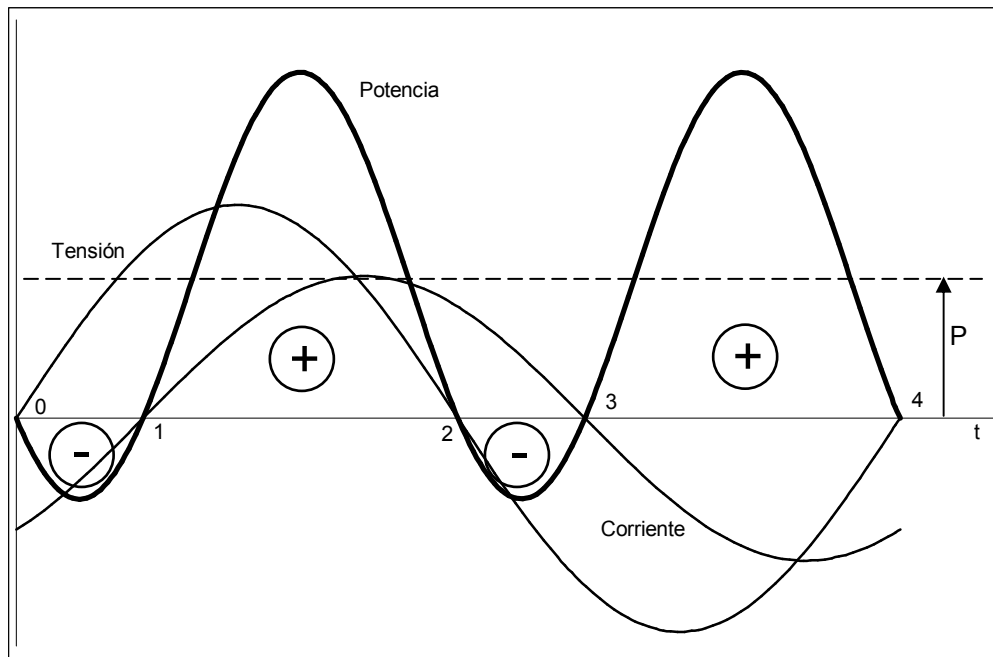
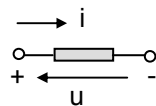


Figura 2.5 Valores instantáneos de tensión, corriente y potencia en un circuito R-L

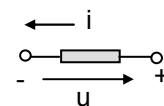
Vemos que la potencia instantánea, puede ser negativa y ello se debe a que siendo la red pasiva, se está extrayendo energía almacenada en el campo magnético de los inductores ó en el campo eléctrico de los capacitores. De la figura podemos efectuar el siguiente análisis, utilizando la siguiente convención de signos:

La onda de corriente es positiva con este sentido sobre la impedancia.

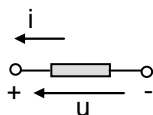


La onda de tensión es positiva con esta polaridad sobre la impedancia.

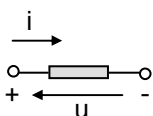
La onda de corriente es negativa con este sentido sobre la impedancia.



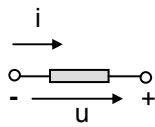
La onda de tensión es negativa con esta polaridad sobre la impedancia.



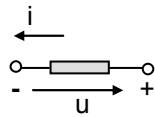
- Entre los instantes 0 y 1, la tensión tiene signo positivo y la corriente negativo, lo cual nos indica que la corriente está saliendo por el borne positivo de la impedancia, por lo tanto en este lapso de tiempo la impedancia entrega energía al sistema la cual estaba almacenada en el campo magnético de la bobina (Es el caso que estamos analizando)



- Entre los instante 1 y 2 tanto la tensión como la corriente tienen signo positivo, o sea que la corriente entra por el borne positivo de la impedancia, por lo tanto en este lapso de tiempo la misma absorbe energía del sistema.



- Entre los instantes 2 y 3, la tensión tiene signo negativo y la corriente positivo, lo cual nos indica que la corriente está saliendo por el borne positivo de la impedancia, por lo tanto en este lapso de tiempo la impedancia entrega energía al sistema.



- Entre los instantes 3 y 4 tanto la tensión como la corriente tienen signo negativo, o sea que la corriente entra por el borne positivo de la impedancia, por lo tanto en este lapso de tiempo la misma absorbe energía del sistema.

Del análisis de las curvas, se llega a la conclusión, que parte de la potencia que entrega la fuente que alimenta el sistema, se absorbe y consume en forma irreversible y parte de ella se acumula en los campos magnéticos ó eléctricos durante ciertos intervalos de tiempo, y a continuación esta es devuelta al sistema. Esta energía acumulada en los campos mencionados, oscila en el sistema entre la fuente y los elementos acumuladores, sin que la misma se consuma, pero tanto la fuente como los conductores que la transportan deben tener la capacidad suficiente para generar y transportar ambas.

2.3.1 Resistor puro

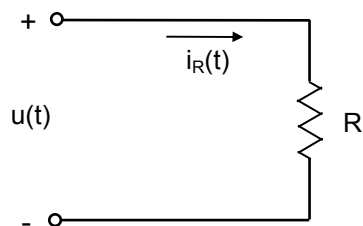


Figura 2.6 Carga resistiva pura

En el caso de tener un resistor puro, según se muestra en la figura 2.6, la tensión y la corriente sobre el mismo están en fase por lo que " $\varphi = 0$ ", luego, la potencia instantánea toma el siguiente valor:

$$p(t) = U \cdot I_R \cos \varphi - U \cdot I_R \cos 2\omega t \cos \varphi$$

$$p(t) = P - P \cos 2\omega t$$

A este valor de potencia se le da el nombre de "Potencia activa instantánea", denominando "**P**" a la potencia **activa**, valor que se utiliza para describir la potencia que se transforma de forma eléctrica a no eléctrica, que en el caso de un resistor, la transformación es a energía térmica.

En el gráfico de la figura 2.7 se observan los valores de tensión, corriente y potencia instantáneos. Cada medio período las dos funciones se hacen cero, simultáneamente.

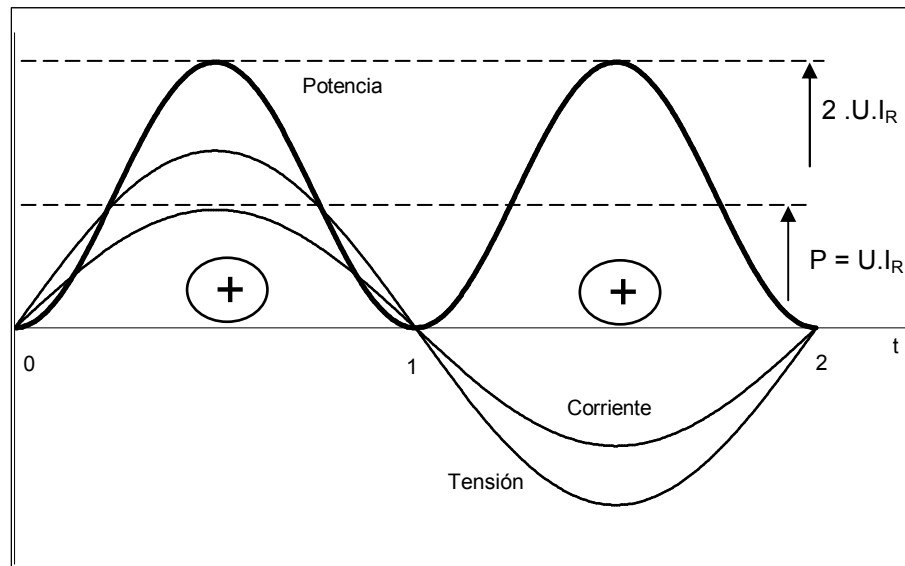
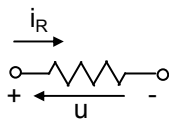
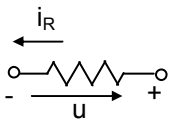


Figura 2.7 Valores instantáneos de tensión, corriente y potencia con carga resistiva pura

Analicemos que ocurre en la resistencia con la tensión y la corriente:



- Entre los instantes 0 y 1 tanto la tensión como la corriente tienen signo positivo, o sea que la corriente entra por el borne positivo de la impedancia, por lo tanto en este lapso de tiempo la misma absorbe energía del sistema.



- Entre los instantes 1 y 2 tanto la tensión como la corriente tienen signo negativo, o sea que la corriente entra por el borne positivo de la impedancia, por lo tanto en este lapso de tiempo la misma absorbe energía del sistema.

Se observa que la potencia instantánea siempre tiene signo positivo, ya que no se puede extraer potencia de una red puramente resistiva.

El valor medio de la potencia está dado por:

$$P = U \cdot I_R = \frac{U^2}{R} = I_R^2 \cdot R$$

La unidad que se utiliza es el watt [W]

2.3.2 Inductor puro

En la figura 2.8 vemos un circuito con una carga inductiva pura.

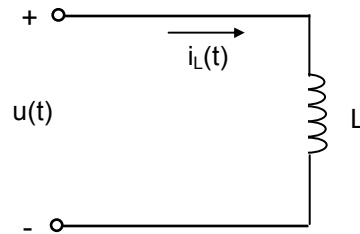


Figura 2.8 Carga inductiva pura

Con este tipo de circuito, la corriente atrasa 90° a la tensión sobre la inductancia. Por lo tanto la potencia instantánea queda como:

$$p(t) = -U \cdot I_L \sin 2\omega t$$

Vemos que la potencia media tiene valor cero, ó sea que no hay transformación de energía, si no que la misma oscila entre el circuito y la fuente que lo alimenta.

El gráfico de tensión, corriente y potencia instantánea es el de la figura 2.9, en la cual vemos que cada cuarto de período, una de las funciones se hace cero (Tensión ó corriente).

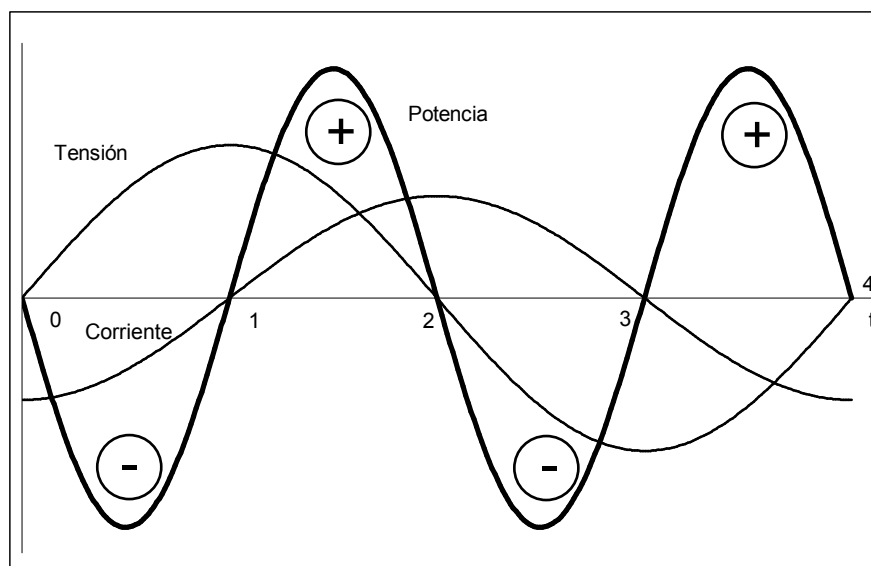
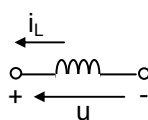
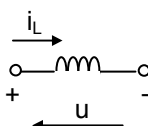


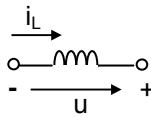
Figura 2.9 Valores instantáneos de tensión, corriente y potencia en un inductor puro

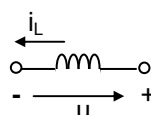


- Entre los instantes 0 y 1, la tensión tiene signo positivo y la corriente es negativa, lo cual nos indica que la corriente está saliendo por el borne positivo de la bobina, por lo tanto en este cuarto de período la bobina entrega energía al sistema la cual estaba almacenada en su campo magnético.



- Entre los instante 1 y 2 tanto la tensión como la corriente tienen signo positivo, o sea que la corriente entra por el borne positivo de la bobina, por lo tanto en este lapso de tiempo la misma absorbe energía del sistema, y la acumula en forma de campo magnético.

- 

 - Entre los instantes 2 y 3, la tensión tiene signo negativo y la corriente es positiva, lo cual nos indica que la corriente está saliendo por el borne positivo de la bobina, por lo tanto en este lapso de tiempo la bobina entrega energía al sistema.
- 

 - Entre los instantes 3 y 4 tanto la tensión como la corriente tienen signo negativo, o sea que la corriente entra por el borne positivo de la bobina, por lo tanto en este lapso de tiempo la misma absorbe energía del sistema.

Se observa que durante un cuarto de período, la potencia es positiva, o sea que se almacena en forma de campo magnético en la inductancia y durante el cuarto de período siguiente la potencia es negativa lo cual nos indica que se extrae potencia del campo magnético.

2.3.3 Capacitor puro

Sea el circuito con una carga capacitiva pura según la figura 2.10.

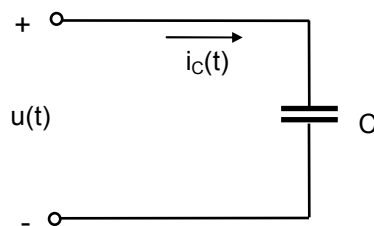


Figura 2.10 Carga capacitiva pura

En este caso la corriente está adelantada 90° a la tensión sobre el capacitor, con lo que la expresión de la potencia queda:

$$p(t) = U \cdot I_C \sin 2\omega t$$

Vemos que aquí también la potencia media en un período vale cero, o sea que la potencia oscila entre la fuente que alimenta el circuito y el campo eléctrico asociado con el capacitor. En la figura 2.11 vemos los valores instantáneos de tensión, corriente y potencia, observando que cada medio período una de las funciones (Tensión ó corriente) se hace cero.

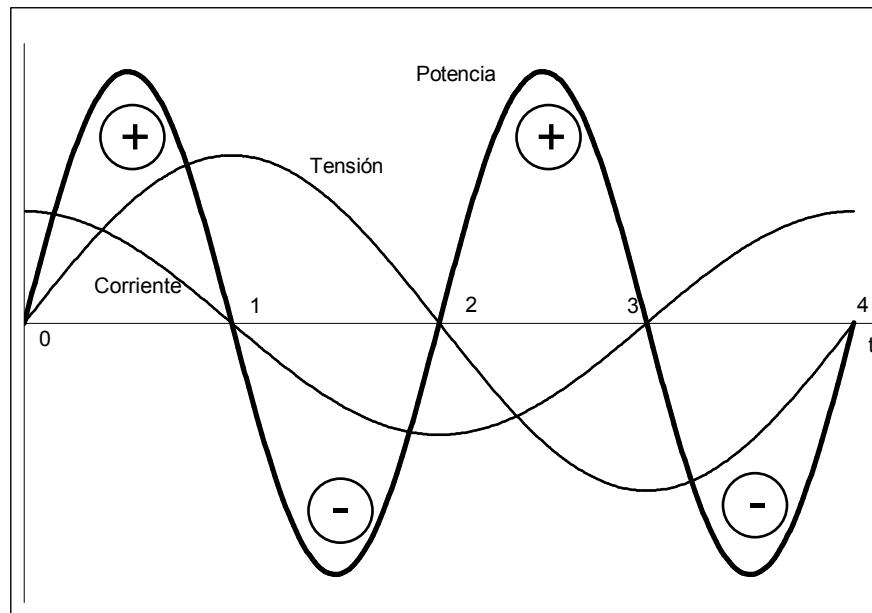
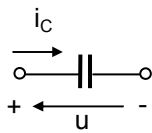
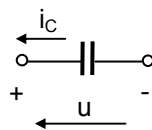


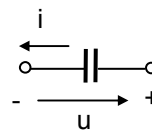
Figura 2.11 Valores instantáneos de tensión, corriente y potencia en un capacitor puro



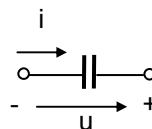
- Entre los instantes 0 y 1, la tensión tiene signo positivo y la corriente es positiva, lo cual nos indica que la corriente está entrando por el borne positivo de la bobina, por lo tanto en este cuarto de período el capacitor absorbe energía almacenándola en su campo eléctrico.



- Entre los instante 1 y 2 tanto la tensión es positiva y la corriente es negativa, o sea que la corriente sale por el borne positivo del capacitor, por lo tanto en este lapso de tiempo el mismo entrega la energía acumulada en su campo eléctrico al sistema.



- Entre los instantes 2 y 3, la tensión tiene signo negativo y la corriente es negativa, lo cual nos indica que la corriente está entrando por el borne positivo del capacitor, por lo tanto en este lapso de tiempo el mismo absorbe energía del sistema.



- Entre los instante 3 y 4 tanto la tensión tiene signo negativo y la corriente es positiva, o sea que la corriente sale por el borne positivo del capacitor, por lo tanto en este lapso de tiempo el mismo entrega energía al sistema.

2.4 Potencia reactiva

La potencia asociada a circuitos puramente inductivos ó capacitivos, se denomina “Potencia reactiva”, cuya expresión para valores instantáneos está dada por:

$$P_r(t) = - U.I \sin \varphi \sin 2\omega t$$

Siendo el valor medio en un período de la misma, igual a cero, pero para poder dimensionar la misma se adopta:

$$Q = U.I \sin \varphi \quad \text{Potencia reactiva}$$

Tanto la potencia activa “P” como la potencia reactiva “Q”, tienen las mismas dimensiones, pero a los efectos de distinguirlas, se utiliza para la potencia reactiva el término VAR (Volt Amper reactivo).

2.5 Potencia aparente

Todo aparato eléctrico está diseñado para soportar determinados valores de tensión y de corriente. Por tal motivo su dimensionamiento no está dado por la potencia activa (Que depende de la diferencia de fase entre la tensión y la corriente), sino por la “potencia aparente”, que está representada por el producto de los valores eficaces de la tensión y de la corriente:

$$S = U.I$$

De aquí surge que la misma corresponde al valor máximo de la potencia activa.

Aunque la potencia aparente tiene las mismas dimensiones que las potencias activa y reactiva, para diferenciarla se utiliza para su dimensionamiento el VA (Volt Amper).

2.6 Factor de potencia

El ángulo “ φ ” me define el desfase entre la tensión y la corriente, siendo en atraso para un circuito óhmico inductivo o en adelanto de ser óhmico capacitivo.

El coseno de dicho ángulo se denomina “**Factor de potencia**”. El mismo define la relación que existe entre la potencia activa y reactiva.

De acuerdo a lo visto hasta ahora podemos resumir los valores de las potencias:

$$P = U.I \cos \varphi \quad [W] \quad \quad Q = U.I \sin \varphi \quad [VAR] \quad \quad S = U.I \quad [VA]$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q}{P}$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

Dado que la potencia activa es la que se transforma en otro tipo de potencia que se aprovecha o utiliza, surge la conveniencia de que en cualquier instalación eléctrica, el factor de potencia sea lo más cercano a la unidad, ya que en ese caso, se logra un mejor aprovechamiento de las instalaciones.

Para un consumo de potencia activa determinada, la corriente es menor a mayor factor de potencia, lo cual permite reducir el tamaño de los conductores alimentadores, así como las instalaciones previstas para alimentar dicho consumo, ya que el valor de la potencia activa se acerca a la potencia aparente, siendo esta última la que determina el dimensionamiento de todo aparato eléctrico.

Siendo que las instalaciones eléctricas trabajan con un valor de tensión constante, podemos ver que si la potencia activa se mantiene constante, la corriente varía de acuerdo a:

$$P = U.I \cos \varphi \quad \Leftrightarrow \quad I = P/U. \cos \varphi \quad \Leftrightarrow \quad I = K/\cos \varphi$$

O sea que el valor de la corriente es inversamente proporcional al factor de potencia, llegando a valores muy elevados a medida que el ángulo “ φ ” tiende a 90° , pudiendo ver dicha tendencia en el gráfico de la figura 2.12.

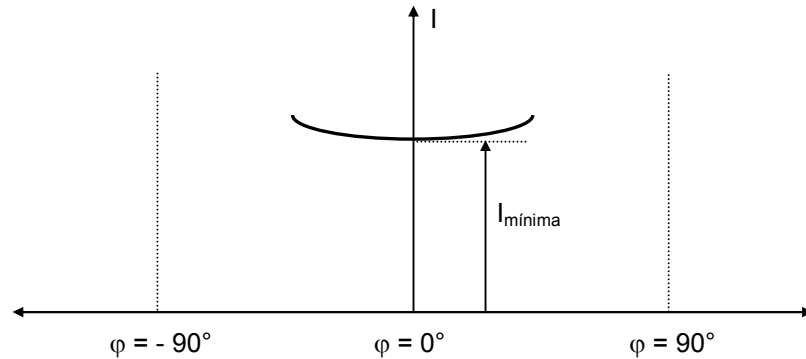


Figura 2.12 Variación de la corriente con el ángulo de la carga

Cabe mencionar que también se verán reducidas las pérdidas por transmisión debido a la resistencia óhmica propia de los conductores ($R \cdot I^2$) debido a la disminución de la corriente.

2.7 Potencia compleja

La potencia aparente la podemos calcular como la suma compleja de la potencia activa (P) y la reactiva (Q).

$$S = P + j Q$$

Adoptando la convención de que la **potencia reactiva inductiva tiene signo “positivo”**, podemos definir la potencia aparente compleja como:

$$S = U \cdot I^*$$

Producto del fasor tensión por el fasor corriente conjugado.

De esta forma los gráficos de potencia para los dos tipos de carga mixta son los de la figura 2.13.

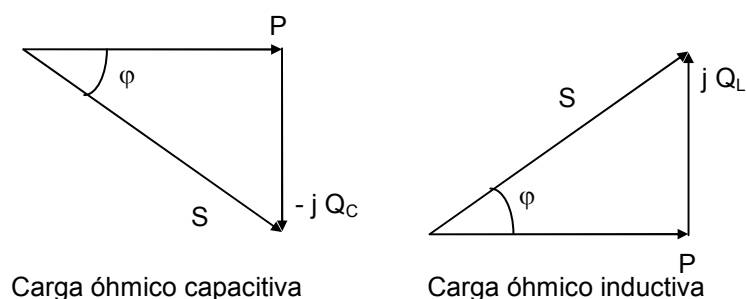


Figura 2.13 Gráficos de potencia

2.8 Máxima transferencia de potencia

En ciertas ocasiones es importante poder suministrar desde una red a una carga la máxima potencia posible, sin que el rendimiento del sistema sea lo más importante.

Para analizar en que condiciones se verifica esta situación, pasaremos a representar la red, vista desde los terminales de la carga, como una fuente real equivalente de Thevenin, de acuerdo a la figura 2.14.

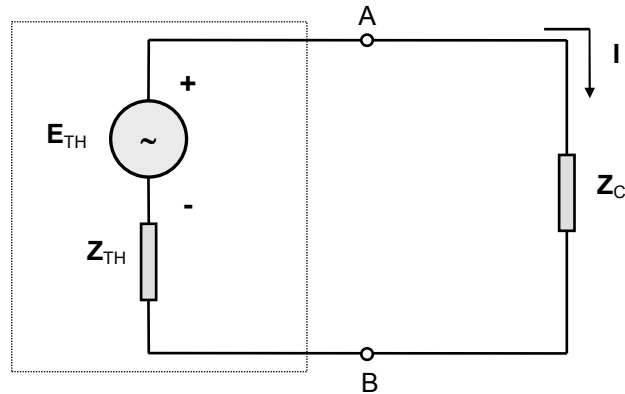


Figura 2.14 Reemplazo de una red de alimentación por una fuente equivalente de Thevenin

E_{TH} Tensión equivalente de Thevenin

$Z_{TH} = R_{TH} + j X_{TH}$ Impedancia equivalente de Thevenin

$Z_C = R_C + j X_C$ Impedancia de carga

El valor de la corriente que circula por la carga está dado por:

$$I = \frac{E_{TH}}{\sqrt{(R_{TH} + R_C)^2 + (X_{TH} + X_C)^2}}$$

La potencia suministrada a la carga tiene el siguiente valor:

$$P = I^2 R_C \quad \text{Reemplazando:}$$

$$P = \frac{E_{TH}^2 \cdot R_C}{(R_{TH} + R_C)^2 + (X_{TH} + X_C)^2}$$

En esta expresión las variables independientes son R_C y X_C , cuyos valores deberán ser tales que hagan máxima la potencia suministrada. A tales efectos se deberá cumplir que:

$$\frac{\partial P}{\partial R_C} = 0 \quad \text{y} \quad \frac{\partial P}{\partial X_C} = 0 \quad \text{Luego nos queda:}$$

$$\frac{\partial P}{\partial R_C} = \frac{E_{TH}^2 [(R_{TH} + R_C)^2 + (X_{TH} + X_C)^2 - 2R_C(R_{TH} + R_C)]}{[(R_{TH} + R_C)^2 + (X_{TH} + X_C)^2]^2}$$

$$\frac{\partial P}{\partial X_C} = \frac{-E_{TH}^2 \cdot 2 \cdot R_C (X_{TH} + X_C)}{[(R_{TH} + R_C)^2 + (X_{TH} + X_C)^2]^2}$$

Para que esta última ecuación sea cero se debe cumplir: $X_C = -X_{TH}$ (1)

Y para la primera: $[(R_{TH} + R_C)^2 + (X_{TH} + X_C)^2 - 2 R_C (R_{TH} + R_C)] = 0$

Al cumplirse (1) $(R_{TH} + R_C)^2 = 2 R_C (R_{TH} + R_C)$ De aquí: $R_C = R_{TH}$

Con lo obtenemos que la impedancia de carga debe ser conjugada de la impedancia equivalente de Thevenin:

$$Z_C = Z_{TH}^*$$

2.8.1 Valor de la potencia máxima transferida

Dado que el circuito presenta una impedancia total óhmica: $Z = R_{TH} + R_C = 2 R_C$

$$I = \frac{E_{TH}}{2 \cdot R_C}$$

$$P = \frac{E_{TH}^2 \cdot R_C}{4 \cdot R_C^2} = \frac{E_{TH}^2}{4 \cdot R_C}$$

2.8.2 Rendimiento para potencia máxima transferida

$$\eta = \frac{\text{Potencia útil}}{\text{Potencia absorbida}} = \frac{R_C \cdot I^2}{E_{TH} \cdot I} = \frac{R_C \cdot I}{E_{TH}} = \frac{R_C \cdot E_{TH}}{2 \cdot R_C \cdot E_{TH}} = 0,50$$

2.9 Compensación del factor de potencia

La mayoría de las cargas industriales presentan un factor de potencia en atraso.

Para poder mejorar el factor de potencia de estas cargas se adicionan capacitores a la línea que alimenta a las mismas, lo que se observa en la figura 2.15.

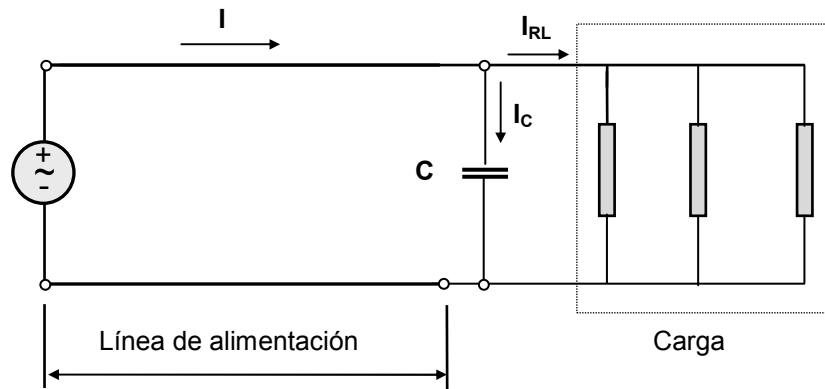


Figura 2.15 agregado de capacitores a un sistema de cargas

En función de las cargas instaladas, y teniendo en cuenta que no todo funciona en forma simultánea, tendremos un factor de potencia medio de acuerdo al siguiente cálculo:

$$P_m = \sum \text{Potencias activas parciales} \times \text{Coeficiente de simultaneidad}$$

$$Q_m = \sum \text{Potencias reactivas parciales} \times \text{Coeficiente de simultaneidad}$$

$$S_m = \sqrt{P_m^2 + Q_m^2}$$

$$\operatorname{tg} \varphi_m = \frac{Q_m}{P_m}$$

Al adicionar un elemento reactivo, modificamos la potencia reactiva, de forma tal de llegar al valor deseado, y cuyo ángulo llamaremos φ_R .

En el gráfico de la figura 2.16, vemos el diagrama de potencias y como se modifica con el agregado de capacitores en paralelo.

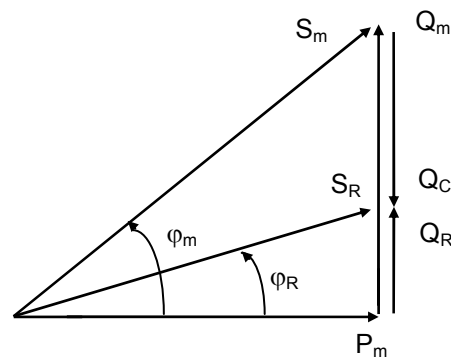


Figura 2.16 Variación de las potencias con el agregado de capacitores

Del gráfico obtenemos:

$$Q_R = Q_m - Q_C \Rightarrow Q_C = Q_m - Q_R$$

$$Q_m = P_m \operatorname{tg} \varphi_m$$

$$Q_R = P_m \operatorname{tg} \varphi_R$$

$$Q_C = P_m (\operatorname{tg} \varphi_m - \operatorname{tg} \varphi_R)$$

Como los capacitores se colocan en paralelo con las cargas:

$$Q_C = \frac{U^2}{X_C} = \frac{U^2}{1/\omega \cdot C} \Rightarrow C = \frac{Q_C}{\omega \cdot U^2}$$

$$C = \frac{P_m (\operatorname{tg} \varphi_m - \operatorname{tg} \varphi_R)}{\omega \cdot U^2} \quad [F]$$

Desde el punto de vista de las corrientes, la corriente que alimenta el sistema se reduce con el agregado de los capacitores mencionados, siendo el esquema fasorial correspondiente el de la figura 2.17.

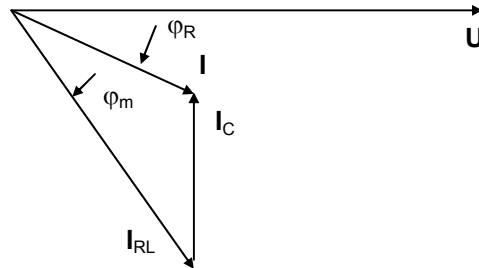
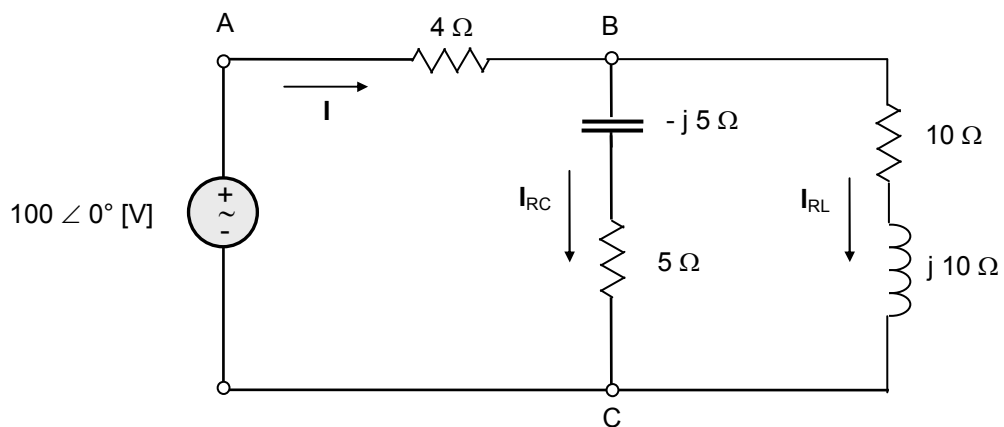


Figura 2.17 Diagrama fasorial resultante del agregado de capacitores en paralelo

Ejemplo N° 1: En el circuito de la figura, hallar el balance de potencias en cada elemento.



$$\mathbf{Z}_{RC} = 5 - j 5 = 7,07 \angle -45^\circ \Omega$$

$$\mathbf{Y}_{RC} = 1/\mathbf{Z}_{RC} = 0,1 + j 0,1 = 0,141 \angle 45^\circ \text{ S}$$

$$\mathbf{Z}_{RL} = 10 + j 10 = 14,14 \angle 45^\circ \Omega$$

$$\mathbf{Y}_{RL} = 1/\mathbf{Z}_{RL} = 0,05 - j 0,05 = 0,0707 \angle -45^\circ \text{ S}$$

$$\mathbf{Y}_{BC} = \mathbf{Y}_{RC} + \mathbf{Y}_{RL} = 0,1 + j 0,1 + 0,05 - j 0,05 = 0,15 + j 0,05 = 0,158 \angle 18,44^\circ \text{ S}$$

$$\mathbf{Z}_{BC} = 1/\mathbf{Y}_{BC} = 1/0,158 \angle 18,44^\circ = 6 - j 2 = 6,33 \angle -18,44^\circ \Omega$$

$$\mathbf{Z}_{AC} = 4 + 6 - j 2 = 10 - j 2 = 10,20 \angle -11,31^\circ \Omega$$

$$\mathbf{I} = \frac{\mathbf{U}_{AC}}{\mathbf{Z}_{AC}} = \frac{100 \angle 0^\circ}{10,20 \angle -11,31^\circ} = 9,80 \angle 11,31^\circ$$

$$\mathbf{U}_{BC} = \mathbf{Z}_{BC} \cdot \mathbf{I} = 6,33 \angle -18,44^\circ \cdot 9,80 \angle 11,31^\circ = 62,03 \angle -7,13^\circ \text{ V}$$

$$\mathbf{I}_{RC} = \mathbf{U}_{BC} \cdot \mathbf{Y}_{RC} = 62,03 \angle -7,13^\circ \cdot 0,141 \angle 45^\circ = 8,75 \angle 37,87^\circ \text{ A}$$

$$\mathbf{I}_{RL} = \mathbf{U}_{BC} \cdot \mathbf{Y}_{RL} = 62,03 \angle -7,13^\circ \cdot 0,0707 \angle -45^\circ = 4,39 \angle -52,13^\circ \text{ A}$$

Elemento	Potencia activa	Potencia reactiva	Cálculo
	W	VA _r	---
Resistor de 4 Ω	384,16	---	$R \cdot I^2 = 4 \cdot 9,80^2$
Resistor de 10 Ω	192,72	---	$R \cdot I_{RL}^2 = 10 \cdot 4,39^2$
Resistor de 5 Ω	382,81	---	$R \cdot I_{RC}^2 = 5 \cdot 8,75^2$
Capacitor	---	- 382,81	$X_C \cdot I_{RC}^2 = 5 \cdot 8,75^2$
Inductor	---	192,72	$X_L \cdot I_{RL}^2 = 10 \cdot 4,39^2$
Fuente	- 960,97	192,19	S = - (U · I*)

Dado el sentido de la corriente asignado en la fuente la misma entrega potencia por lo tanto en el cálculo de la potencia le asignaremos signo negativo.

$$\mathbf{S} = - \mathbf{U} \cdot \mathbf{I}^* = -(100 \angle 0^\circ \cdot 9,80 \angle -11,31^\circ) = -960,97 + j 192,15$$

Del balance energético surge que la suma de las potencias activas y la suma de las potencias reactivas es prácticamente cero, lo que debe ocurrir, siendo su diferencia debido al redondeo en los cálculos previos.

Ejemplo N° 2: Se tienen 3 cargas en paralelo de:

- a) 3 kVA, $\cos \varphi = 0,70$ capacitivo,
- b) 7 kVA, $\cos \varphi = 0,80$ en atraso, y c) una resistencia de 2 Ω en serie con una reactancia de 6,37 mH.

Si se las alimenta con una fuente de 220 V - 50 Hz, determinar:

1. La potencia entregada por la fuente y el factor de potencia de la misma.
2. El capacitor a colocar en paralelo para que la fuente trabaje con un factor de potencia igual a 0,95 en atraso.
3. El valor de la corriente en el generador en esta última situación.

Carga "a" $P_a = S_a \cdot \cos \varphi_a = 3000 \cdot 0,7 = 2100 \text{ W}$ $\varphi_a = 45,57^\circ$

$$Q_a = S_a \cdot \sin \varphi_a = 3000 \cdot 0,714 = 2142 \text{ VA}_r \text{ (Capacitivo)}$$

Carga "b" $P_b = S_b \cdot \cos \varphi_b = 7000 \cdot 0,80 = 5600 \text{ W}$ $\varphi_b = 36,87^\circ$

$$Q_b = S_b \cdot \sin \varphi_b = 7000 \cdot 0,6 = 4200 \text{ VA}_r \text{ (Inductivo)}$$

Carga "c" $X_L = \omega L = 2 \pi 50 \cdot 6,37 \cdot 10^{-3} = 2 \Omega$

$$\mathbf{Z}_c = 2 + j 2 = 2,83 \angle 45^\circ \Omega$$

$$\mathbf{I}_c = \frac{220 \angle 0^\circ}{2,83 \angle 45^\circ} = 77,74 \angle -45^\circ \text{ A}$$

$$P_c = R \cdot I_c^2 = 2 \cdot 77,74^2 = 12.087 \text{ W}$$

$$Q_c = X_L \cdot I_c^2 = 2 \cdot 77,74^2 = 12.087 \text{ VAR (Inductivo)}$$

$$S_c = U \cdot I = 220 \cdot 77,74 = 17.103 \text{ VA}$$

Potencia entregada por el generador

$$P = P_a + P_b + P_c = 2100 + 5600 + 12087 = 19787 \text{ W}$$

$$Q = Q_a + Q_b + Q_c = -2142 + 4200 + 12087 = 14145 \text{ Var (Inductivo)}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{19787^2 + 14145^2} = 24323 \text{ VA}$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{19787}{24323} = 0,814 \quad (\text{Factor de potencia medio})$$

$$\varphi = 35,51^\circ \text{ (En atraso)}$$

$$I = \frac{S}{U} = \frac{24323}{220} = 110,6 \text{ A}$$

Capacitor a colocar:

$$C = \frac{P(\tan \varphi - \tan \varphi_R)}{\omega \cdot U^2}$$

$$C = \frac{19787 (\tan 35,51^\circ - \tan 18,19^\circ)}{314 \cdot 220^2} = 501 \mu\text{F}$$

Corriente con en el capacitor :

$$I_T = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi_R} = \frac{19787}{220 \cdot \cos 18,19^\circ} = 94,67 \text{ A}$$