

## CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA

### FACTOR DE POTENCIA

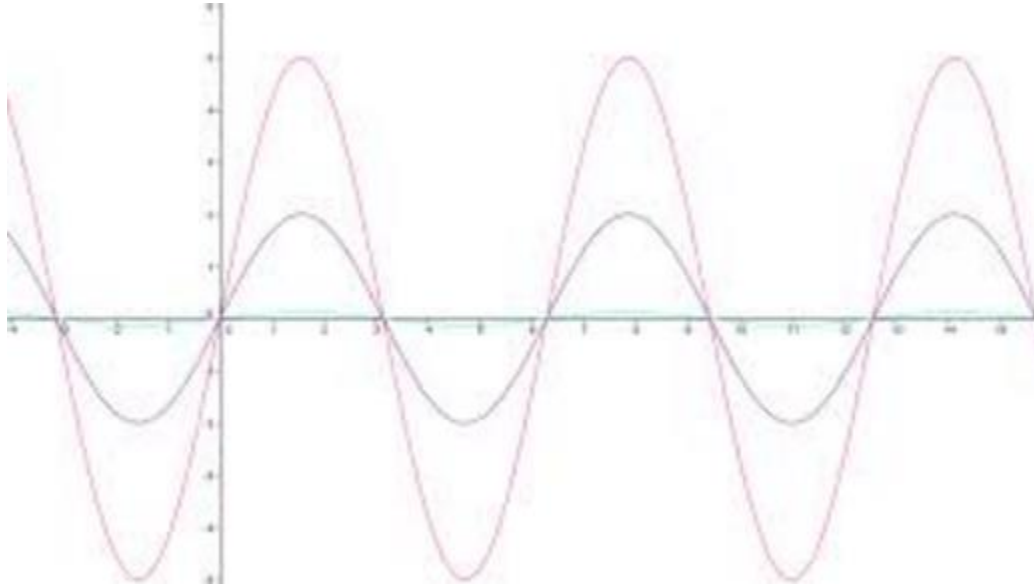
Si se considera un circuito compuesto por solo fuentes senoidales, resistencias, inductancias y capacitancias, este circuito será lineal; con una entrada senoidal que se encuentra en estado estable, todos los voltajes y las corrientes de los elementos serán senoidales y tendrán la misma frecuencia que la entrada. Este circuito puede analizarse en el dominio de la frecuencia utilizando fasores. En particular, la potencia generada o absorbida en un circuito, o en cualquier elemento de un circuito, puede calcularse en el dominio de la frecuencia utilizando fasores.

Las cargas en las redes eléctricas especialmente las industriales por su naturaleza eléctrica son reactivas a causa de la presencia principalmente de equipos de transformación, motores, etc. Al consumo de potencia activa (KW) se suma un consumo denominado potencia reactiva (KVAR), las cuales en su conjunto determinan el comportamiento operacional de dichos equipos y motores. Esta potencia reactiva ha sido tradicionalmente suministrada por las empresas de electricidad, aunque puede ser suministrada por las propias industrias. Al ser suministradas por las empresas de electricidad deberá ser producida y transportada por las redes, ocasionando necesidades de inversión en capacidades mayores de los equipos y redes de transmisión y distribución. La potencia reactiva, la cual no produce un trabajo físico directo en los equipos, es necesaria para producir el flujo electromagnético que pone en funcionamiento elementos tales como: motores, transformadores, lámparas fluorescentes, equipos de refrigeración y otros similares. Cuando la cantidad de estos equipos es apreciable los requerimientos de potencia reactiva también se hacen significativos.

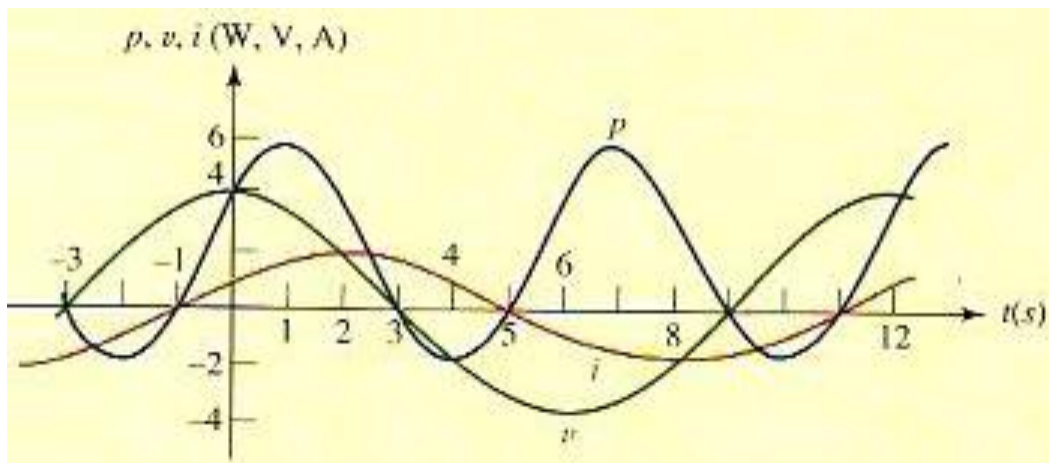
Aunque la naturaleza inductiva de la carga no puede modificarse, es posible incrementar su factor de potencia de una carga o un conjunto de cargas instalando capacitores.

### POTENCIA Y FACTOR DE POTENCIA

Cuando  $v$  e  $i$  son ambos positivos o ambos negativos, su producto  $p$  es positivo. Por consiguiente, se consume potencia durante todo el ciclo (Gráfica 1). Si  $v$  es negativo e  $i$  positivo durante cualquier parte del ciclo (Gráfica 2), o si  $i$  es negativo mientras  $v$  es positivo, su producto será negativo. Esta "potencia negativa" no está disponible para realizar trabajo; es potencia que se regresa a la línea.



Gráfica 1



Gráfica 2

El producto del voltaje y la corriente que pasa por una resistencia es siempre positivo y se llama *potencia real*.

Puede considerarse a la potencia real como potencia resistiva que se disipa como calor. Como el voltaje en una reactancia está siempre  $90^\circ$  fuera de fase con la corriente debido a la reactancia, el producto  $p_x = v_x i_x$  es siempre negativo. Este producto se llama *potencia reactiva* y es causado por la reactancia del circuito. Similarmente, el producto del voltaje de la línea y la corriente de la línea se conoce con el nombre de *potencia aparente*.

Si en un circuito la corriente se atrasa al voltaje (es decir, un circuito inductivo), se dice que tiene un FP atrasado (Fig. 14-12b); si en un circuito la corriente adelanta al voltaje (es decir, un circuito capacitivo), se dice que tiene un FP adelantado.

El factor de potencia se expresa como un número decimal o como un porcentaje. Un factor de potencia de 0.7 es lo mismo que un factor de potencia del 70%. Con la unidad (FP = 1 o el 100%), la corriente y el voltaje están en fase. Un FP de 70% significa que el aparato usa sólo 70% de la entrada de voltamperes. Es aconsejable diseñar circuitos que tengan un FP grande porque tales circuitos hacen el uso más eficiente de la corriente entregada a la carga.

Cuando se afirma que un motor consume 10kVA (1 kVA = 1 000 VA) de una línea de alimentación, se refiere a la potencia aparente que recibe el motor. Los kilovoltamperes siempre se refieren a la potencia aparente. Similarmente, cuando decimos que un motor consume 10kW, significa que la potencia real que recibe el motor es 10kW.

Por qué es importante corregir el factor de potencia?

El término  $\cos \phi$  de un circuito es el factor de potencia, FP, del circuito. El factor de potencia determina qué porción de la potencia aparente es potencia real y puede variar desde 1 cuando el ángulo de fase  $\phi$  es  $0^\circ$ , a 0 cuando  $\phi$  es  $90^\circ$ . Cuando

$\phi = 90^\circ$ ,  $P = VI \times 0 = 0$ , indicando que no se gasta o que no se consume potencia.

Para comprender la importancia del factor de potencia se van a considerar dos receptores con la misma potencia, 1000W, conectados a la misma tensión de 230V, pero el primero con un fp alto de 0,96 y el segundo con uno fp bajo de 0,25.

▪ **Primer receptor**

$$I_1 = \frac{P_1}{U \cos \varphi_1} = \frac{1000W}{230V \cdot 0,96} \simeq 4,53A$$

$$S_1 = UI_1 = 230V \cdot 4,53A \simeq 1.042VA$$

▪ **Segundo receptor**

$$I_2 = \frac{P_2}{U \cos \varphi_2} = \frac{1000W}{230V \cdot 0,25} \simeq 17,39A$$

$$S_2 = UI_2 = 230V \cdot 17,39A \simeq 4.000VA$$

Cotejando ambos resultados, se obtienen las siguientes conclusiones:

- Un fp bajo comparado con otro alto, origina, para una misma potencia, una mayor demanda de corriente, lo que implica la necesidad de utilizar cables de mayor sección.

- La potencia aparente es tanto mayor cuanto más bajo sea el  $fp$ , lo que origina una mayor dimensión de los generadores.

Ambas conclusiones nos llevan a un mayor coste de la instalación alimentadora. Esto no resulta práctico para las compañías eléctricas, puesto que el gasto es mayor para un  $fp$  bajo. Es por ello que las compañías suministradoras penalizan la existencia de un  $fp$  bajo, obligando a su mejora o imponiendo costes adicionales.

Así pues, es benéfico tanto para una compañía de ese tipo como para el consumidor industrial hacer un gran esfuerzo por minimizar el nivel de corriente o mantener el factor de potencia lo más cercano a la unidad.

Cuando una compañía eléctrica suministra potencia a grandes consumidores industriales, casi siempre incluye una cláusula de  $fp$  en sus tarifas. De acuerdo con esta cláusula, se hace un cargo adicional al consumidor siempre que el  $fp$  este por debajo de cierto valor específico, casi siempre alrededor de 0,9 atrasado. Se consume muy poca potencia industrial a  $fp$  adelantados debido a la naturaleza de las cargas industriales.

Dado que la mayoría de las cargas en las industrias son inductivas como se observa en la figura 1, el  $fp$  se corrige al instalar deliberadamente un capacitor en paralelo con la carga como se observa en la figura 2. El efecto de añadir el capacitor puede ilustrarse en el diagrama fasorial de las corrientes, ver figura 3, donde se observa que la adición del capacitor ha causado que el ángulo de fase entre la tensión y la corriente suministradas se reduzca de  $\theta_1$  a  $\theta_2$ . Con lo que se ha incrementado el  $fp$ . De las magnitudes de los vectores en la figura 3 también se desprende que, con la misma tensión suministrada, el circuito de la figura 1 toma mayor corriente  $I_L$  que la corriente  $I$  tomada por el circuito de la figura 2.

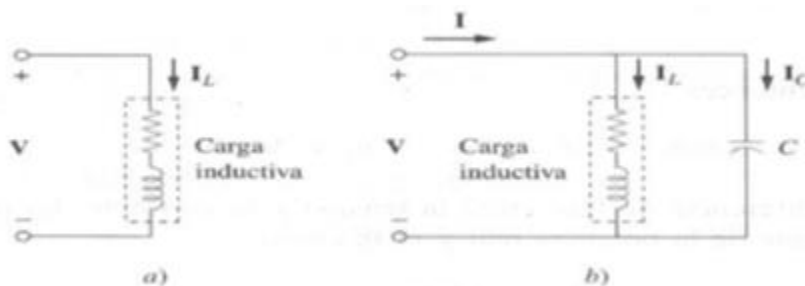


Figura 1

Figura 2

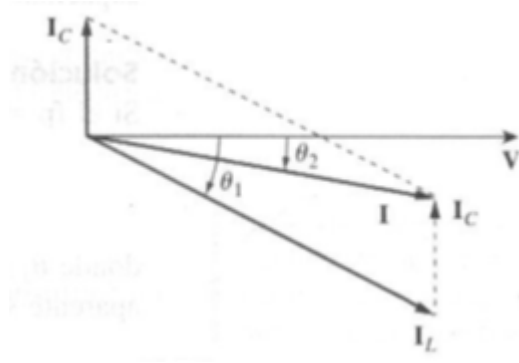


Figura 3

La corrección del fp puede examinarse desde otra perspectiva, considerando el triángulo de potencias de la figura 4

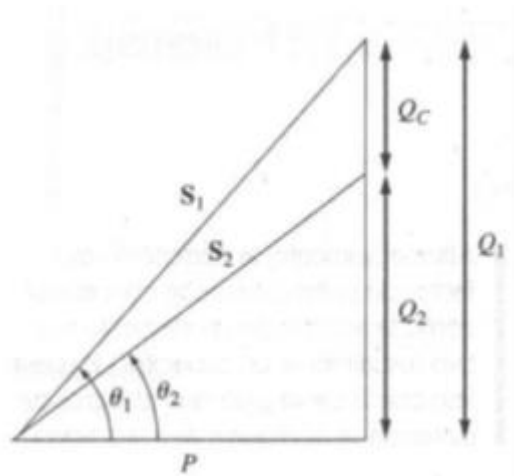


Figura 4

$$P = S_1 \cos \theta_1$$

$$Q_1 = S_1 \sin \theta_1 = P \tan \theta_1$$

Si se desea incrementar el fp de  $\cos \theta_1$  a  $\cos \theta_2$  la nueva potencia reactiva sería

$$Q_2 = P \tan \theta_2$$

La reducción de la potencia reactiva es causada por el capacitor, es decir

$$Q_C = Q_1 - Q_2$$

$$Q_C = P (\tan \theta_1 - \tan \theta_2)$$

La potencia promedio no se ve afectada por la corrección del fp, ya que la potencia promedio debida a la capacitancia es de cero.

Aunque la situación más común en la práctica es la de una carga inductiva, también puede ser capacitiva. En este caso debe conectarse un inductor en la carga para la corrección del fp. La inductancia en paralelo requerida se puede calcular a partir de

$$Q_L = Q_1 - Q_2$$

## **ENERGIA ACTIVA Y ENERGIA REACTIVA**

En el Sistema Internacional de Unidades la energía es el producto de la potencia por el tiempo (w-s), a esta unidad se le denomina Joule (J).

Sin embargo en los sistemas comerciales de las empresas de energía es usual medir la potencia en kilovatios kW y la energía en kilovatios-hora (kWh).

Analogamente se mide el consumo de potencia reactiva en el tiempo surgiendo la medida de la potencia reactiva en kVAr y de energía reactiva en kVArh que son las unidades que aparecen en los medidores de consumo y con la cuales se realiza la facturación.

## **FACTOR DE POTENCIA EXIGIDO A LOS CONSUMIDORES EN COLOMBIA**

En Colombia, con el fin de minimizar pérdidas en el sistema eléctrico nacional, las compañías del sector han establecido que a los grandes consumidores de los sectores comercial e industrial, se les cobre el consumo de energía reactiva que supere el 50% del consumo de energía activa, es decir se les obliga a que sus cargas tengan en promedio un fp de aproximadamente 0.9 ( $\tan \phi = 0.5$ ), o de lo contrario deben pagar la energía reactiva en exceso al mismo valor de la energía activa.

### **EJEMPLO:**

- Cuando se conecta a una línea de potencia de 120 V (rms) a 60 Hz, una carga absorbe 4Kw con fp atrasado de 0.8. halle el valor de la capacitancia necesaria para aumentar el fp a 0.95.

## **SOLUCION:**

$$\cos \theta_1 = 0.8$$

$$\theta_1 = 36.87^\circ$$

$$S = P / \cos \theta_1$$

$$S = 4000 / 0.8 = 5000 \text{ VA}$$

$$Q_1 = S_1 \sin \theta_1 = 5000 \sin 36.87^\circ = 3000 \text{ VAR}$$

Cuando el  $\text{fp}$  aumenta a 0.95

$$\cos \theta_2 = 0.95$$

$$\theta_2 = 18.19^\circ$$

La potencia promedio no cambia, pero la potencia aparente si, su nuevo valor es

$$S_2 = P / \cos \theta_2$$

$$S_2 = 4000 / 0.95 = 4210.5 \text{ VA}$$

La nueva potencia reactiva es

$$Q_2 = S_2 \sin \theta_2 = 1314.4 \text{ VAR}$$

La diferencia entre la nueva y antigua potencia reactiva se debe a la adición del capacitor en paralelo a la carga, el cual tiene un valor de

$$Q_C = Q_1 - Q_2 = 3000 - 1314.4 = 1685.6 \text{ VAR}$$

$$C = Q_C / \omega V^2_{\text{rms}}$$

$$C = 1685.6 / 2\pi \cdot 60 \cdot 120^2 = 310.5 \mu\text{F}$$

Comercialmente para la adquisición de los capacitores se da la potencia reactiva que suministran al voltaje nominal, por tanto no se acostumbra dar el valor de C en Faradios.