

MODULO Nº 2

POTENCIA DE LA CORRIENTE ALTERNA

Si por una bobina de resistencia R circula una corriente alterna de valor eficaz I , se consumirá en ella la potencia $I^2 R$. Este consumo se nota por el calentamiento del conductor .

La potencia absorbida en los bornes de la bobina se denomina potencia real y la designaremos por P ó P_b . La tensión óhmica es $U_R = I.R$, de donde

$$P = I^2 R = U_R \cdot I$$

Según el triángulo de tensiones, es $U_R = U_b \cos \varphi$
Por consiguiente, se obtiene

$$P = U_b I \cos \varphi$$

Al deducir esta fórmula se ha supuesto que toda la potencia (trabajo en la unidad de tiempo) suministrada a la bobina se ha transformado por completo en calor. Sin embargo, en la bobina puede haber otras transformaciones de la energía. Prácticamente, es de especial importancia el caso en que el trabajo eléctrico aportado sea absorbido por el campo magnético alterno creado por la corriente de la bobina. No es de importancia saber bajo qué forma se manifiesta el trabajo absorbido por la bobina, si aparece en forma de energía eléctrica, como en un transformador, o si en forma de energía mecánica como en un motor. Aquí solamente interesa el hecho de que el trabajo eléctrico aportado a la bobina no es necesario que se transforme completamente en calor. Este fenómeno puede compararse a lo que ocurre con una rueda dentada. Si la rueda gira en vacío no se necesita suministrarle más trabajo que el necesario para vencer los rozamientos; este trabajo se transforma en calor. Pero si la rueda dentada tiene que accionar cualquier aparato, habrá que suministrarle no sólo el necesario para vencer los rozamientos, sino también el que hay que transmitir al aparato.

Sea un circuito al que se suministra un trabajo eléctrico; no tendremos ahora en cuenta lo que ocurra con este trabajo en el circuito. Sea U_b el valor instantáneo de la tensión en los bornes, e i el valor instantáneo de la corriente correspondiente al mismo momento. Ambos valores instantáneos pueden considerarse como constantes durante el corto espacio de tiempo dt . El trabajo durante este tiempo es :

$$dL = U_b i dt.$$

Realizando un procedimiento matemático , se obtiene para el trabajo durante un semiciclo o semiperiodo

$$L = U_{b_{\max}} I_{\max} \frac{T}{4} \cos \varphi$$

La potencia media es,

$$P = \frac{L}{\frac{T}{2}} = \frac{U_{b_{\max}} I_{\max}}{2} \cos \varphi$$

o bien
$$P = \frac{U_{b_{\max}}}{\sqrt{2}} \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} \cos \varphi$$

Pero

$$\frac{U_{b_{\max}}}{\sqrt{2}} = U_b \quad \text{e} \quad \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} = I$$

Por lo tanto, se obtiene como Valor medio de la potencia en un semiperiodo

$$P = U_b I \cos \varphi$$

Si U_b es la tensión eficaz medida en los bornes e I la intensidad eficaz de la corriente, la potencia se obtiene siempre por la fórmula anterior. La magnitud $\cos \varphi$ se llama factor de potencia; φ es el ángulo de fase entre la corriente y la tensión. En el caso de carga no inductiva resulta $\varphi = 0$ y $\cos \varphi = 1$. En corriente continua la potencia es $P = U_b I$, fórmula que sólo es aplicable a corriente alterna cuando el ángulo $\varphi = 0$. Pero en corriente alterna la magnitud $U_b I$ tiene otra significación. $U_b I$ es la máxima potencia que puede suministrar una máquina a la tensión de bornes correspondiente. Las dimensiones de la máquina están fijadas por la magnitud $U_b I$, ya que la sección de los conductores se fija según la intensidad de la corriente, y el aislamiento según la tensión, de la que depende asimismo el valor del flujo de fuerza y, por lo tanto, la sección del hierro. En esta es completamente indiferente el valor del factor de potencia y, por lo tanto, de la potencia real. La pérdida de potencia $I^2 R$ en una línea depende también exclusivamente de la intensidad de la corriente y no de la potencia real del receptor. Como quiera que a una central eléctrica sólo se le abona, por lo general, la potencia real de los receptores conectados a su red, resulta que aquella tiene interés en mantener todo lo más alta posible la potencia real que le abonan en relación a la pérdida de potencia en las líneas que va a cuenta suya; en otras palabras, la central eléctrica prescribe un cierto valor mínimo del factor de potencia. La magnitud $U_b I$, de gran importancia para las máquinas y líneas eléctricas, y que no incluye en sí el factor de potencia, se denomina potencia aparente y se representa por P_a . Se tiene entonces

$$P_a = U_b I$$

Para distinguir la potencia aparente, que es solamente una magnitud de cálculo, de la potencia real, se indica la primera en **voltamperios (VA)** o en **kilovoltamperios (kVA)**.

Como se deduce de lo dicho, la potencia aparente es siempre numéricamente mayor que la potencia real, excepto en el caso de carga no inductiva, en el que : $\cos \varphi = 1$ es $P_a = P$

Si en el triángulo de tensiones se multiplica la tensión en los bornes por la intensidad I , se obtiene la potencia aparente $U_b I$

Multiplicando, en cambio, la tensión óhmica por la intensidad I , se obtiene, la potencia real

$$U_R I = U_b I \cos \varphi$$

Esto nos induce, sin tener en cuenta la significación física, a multiplicar la tensión reactiva U_L por la intensidad I , obteniendo entonces la potencia reactiva

$$P_r = U_L I = I^2 \omega L = I^2 X_L = U_b I \text{ Sen } \varphi$$

La potencia reactiva se indica en voltamperios reactivo o en kilovoltamperios reactivo, (VAR y KVAR)

Con las tres magnitudes P_a , P , P_r al igual que con las homólogas tensiones, resistencias, se puede dibujar un triángulo, que se llama triángulo de potencias (fig. 1).

Para una descripción más clara del significado físico de estos conceptos, consideremos los valores instantáneos de las potencias. En la figura 2 se han reproducido las curvas de tensión U_b y de corriente I de un circuito que solamente contiene resistencia óhmica,

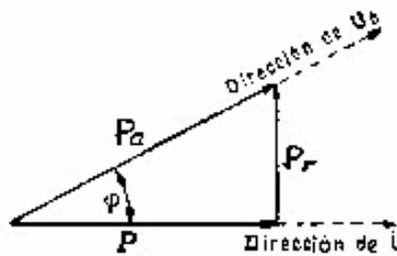


fig. 1
triángulo de potencia

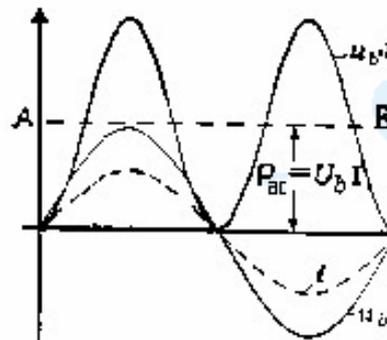


fig. 2
curva de tensión, corriente y potencia en circuito con sólo resistencia óhmica

dándose también la curva de las potencias instantáneas $U_b i = i^2 R$

Como el producto de los factores con el mismo signo es siempre positivo, sólo se obtendrán valores positivos para la potencia. Trazando la línea media **AB** se ve que la potencia tiene una frecuencia doble

de la tensión y de la intensidad. El valor medio de los cuadrados de los valores instantáneos es I^2 ; por lo tanto, la magnitud $I^2 R = U_b I$ representa el valor medio de la potencia, P (activa o real).

En un receptor con autoinducción (fig. 3 a y b) existe entre la intensidad i y la tensión aplicada a los bornes U_b una diferencia de fase φ . La máquina suministra en cada momento la potencia $U_b i$. Considerando el primer cuarto de período, se verá que una parte (le la potencia, a saber, la potencia $U_R i$, se consume como potencia real.

En una simple bobina es $U_R i = i^2 R$. La otra parte de la potencia, a saber, la potencia $U_L i$ sirve para la formación del campo magnético (del flujo de fuerza). La potencia total en cada momento debe ser igual a la suma de estas dos potencias: $U_b i = U_R i + U_L i$.

Las superficies rayadas representan el trabajo $\int U_L i dt$. Formando la potencia reactiva con ayuda de la fuerza electromotriz de autoinducción e_a , se obtendrá en el primer cuarto de período, en cada momento, la potencia en $-e_a i$. El signo de la potencia puede interpretarse físicamente aceptando que el positivo se refiera a una potencia suministrada, y el negativo, por el contrario, a una potencia absorbida

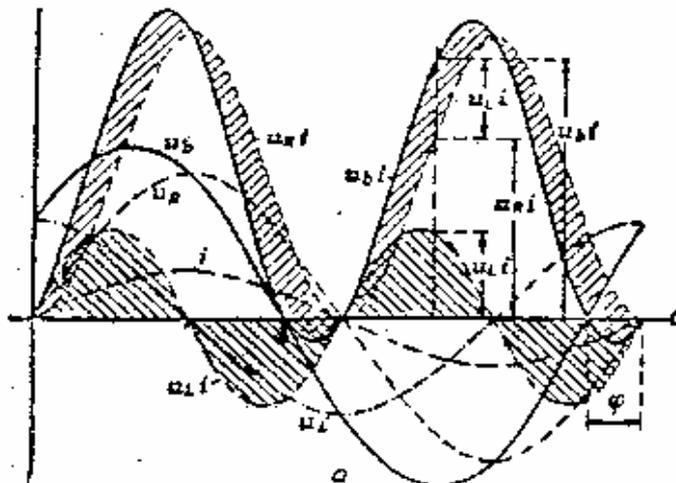


FIG. 3. a y b, curvas de tensión, corriente y potencia en circuito con resistencia y autoinducción; c, con sólo autoinducción

Así, pues, se puede decir que $+U_L i$ es la potencia suministrada por un generador para formar el campo magnético del receptor considerado, y $-e_a i$ la potencia absorbida por el campo magnético, en consecuencia, será $U_L i = -e_a i$. En realidad, estas dos potencias son una misma, y sólo se diferencian en que la primera expresa la potencia suministrada por la máquina y la última la absorbida por el campo. Al cabo de un cuarto de período, el flujo de fuerza alcanza su valor máximo y comienza a declinar, suministrando entonces la potencia $+e_a i$, o, lo que es igual, absorbiendo la máquina o el circuito la potencia $-U_L i$, de modo que ahora la potencia total suministrada por la máquina es

$$U_b i = U_R i - U_L i.$$

Durante el tiempo en que $U_R i < U_L i$ se obtiene para $U_b i$ un valor negativo, esto es, la potencia total de la máquina es, con relación a esta, una potencia absorbida.

Si la potencia real $U_R i$ es $\cong 0$, y, por lo tanto, también $R \cong 0$, será $U_b i = U_L i$.

. El circuito posee solamente autoinducción, la intensidad está desplazada 90° con relación a la tensión en los bornes (fig. 3 c), y da lugar exclusivamente a un flujo de fuerza sin producir pérdidas por calor de Joule (porque si $R = 0$, será también $I^2 R = 0$). El trabajo de la máquina en el primer cuarto de período se consume en la producción del flujo de fuerza; en el cuarto de período siguiente, el flujo que desaparece devuelve este trabajo, y así sucesivamente. Según esto, no existe en definitiva consumo de trabajo. El valor medio a lo largo de medio período es igual a cero.

Según lo que antecede, sería falso físicamente indicar el valor medio de la potencia reactiva en un

semiperíodo por $U_L I = U_b I \text{ Sen } \varphi$, e igualmente tampoco el valor medio de la potencia aparente puede representarse por $U_b I$; por el contrario, la potencia real P representa, como ya se ha dicho, es el valor medio. En las curvas de la figura 3a puede reconocerse que no es posible justificar físicamente la formación de un triángulo de las potencias (fig. 1). La potencia reactiva y la aparente, así como el triángulo de las potencias, son sólo conceptos matemáticos que no corresponden a los fenómenos físicos propiamente dichos, pero ofrecen tales ventajas para el cálculo que ello basta para justificar su empleo.

La potencia real es $U_b I \text{ Cos } \varphi$.

La magnitud $I \text{ Cos } \varphi$ se denomina corriente activa I_{ac}

Se tiene

$$I_{ac} = I \text{ Cos } \varphi$$

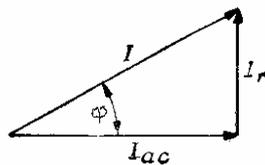


FIG. 4
 Triángulo de intensidades

En la potencia reactiva $U_b I \text{ Sen } \varphi$, se designa el valor $I \text{ Sen } \varphi$ con el nombre de corriente reactiva I_r que se manifiesta produciendo el campo magnético, por lo que, también se lo llama corriente magnetizante. Se tiene:

$$I_r = I \text{ Sen } \varphi$$

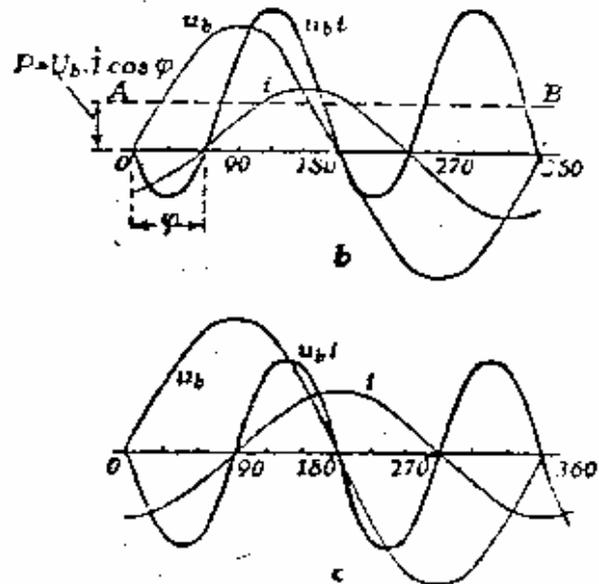
La corriente I medida con un instrumento térmico se puede, pues, descomponer en sus dos componentes I_{ac} (componente activa) e I_r (componente reactiva) Como fácilmente puede verse, estas tres corrientes forman un triángulo rectángulo, al que se da el nombre de triángulo de intensidades (fig. 4) Esta descomposición es también sólo un procedimiento de cálculo, no susceptible de interpretación física Para la potencia real se obtiene entonces la fórmula

$$P = U_b I_{ac}$$

y para la potencia reactiva

$$P_r = U_b I_r$$

fig. 3 b y c



Medida de la potencia de la corriente alterna

Midiendo los valores eficaces de la tensión entre bornes y de la intensidad se puede determinar la potencia aparente $U_b I$, que en los circuitos no inductivos coincide con la potencia real.

Dicha potencia real la da directamente un vatímetro. Tal instrumento está formado por una bobina de hilo fino montada sobre un eje giratorio, que se encuentra dentro de otra bobina fija de hilo grueso, de tal modo que puede oscilar en el campo magnético de una segunda bobina fija y que está frenada por un resorte cuya cupla antagónica es proporcional al ángulo girado .

El par que tiende a ser girar la bobina es proporcional simultáneamente a la intensidad de la corriente que la recorre y al campo magnético creado en la bobina fija , siendo a su vez este campo magnético proporcional a la corriente i de la bobina fija. Luego si la bobina fija se conecta como un amperímetro la corriente que por ella pasa es la corriente total, y su campo magnético es proporcional a esta intensidad.

Si la bobina móvil se conecta como un voltímetro la intensidad de la corriente que la recorre es proporcional a la diferencia de potencial entre los bornes del circuito.

luego la cupla que tiende a hacer girar la aguja es proporcional al producto de la intensidad de la corriente por la diferencia de potencial , teniendo en cuenta implícitamente el ángulo de desfase, o sea que es proporcional a la potencia real absorbida por el circuito. Debido al efecto de esta cupla la bobina gira asta una posición en la cual el momento antagónico del resorte iguala al momento desviador. y la aguja indica en la escala el valor de la potencia real .

Si al circuito de corriente alterna se conecta simultáneamente un amperímetro , un voltímetro y un vatímetro puede medirse la tensión , la intensidad de corriente y la potencia independientemente.

Este método experimental con el cual se puede medir el factor de potencia de un circuito (figura 5).

$$P = U_b I \cos \varphi$$

$$P_a = U_b I$$

De estas dos expresiones se obtiene el factor de potencia,

$$\frac{P}{P_a} = \cos \varphi .$$

También se utiliza para medir el factor de potencia un instrumento llamado fasímetro, el cual indica directamente en una escala el valor del coseno de φ

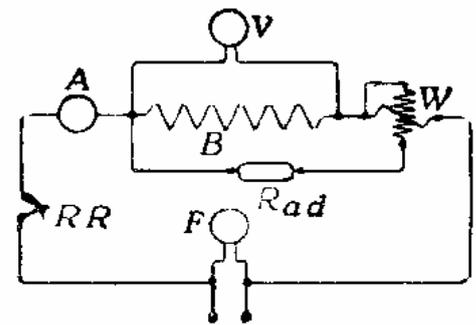


FIG. 5.

Dispositivo de medida de las magnitudes eléctricas de una bobina

X0

X

