

LECCION 8

TEORIA: LECCION N° 8

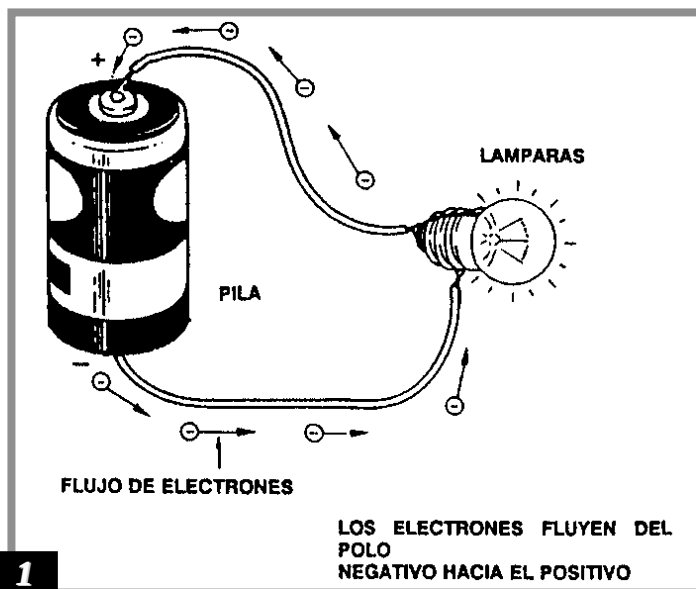
Los Componentes en Corriente Alterna

Vimos que, cuando una corriente recorre un conductor, crea un campo magnético y que éste tiende a oponerse a la corriente que lo genera: este efecto tiene mucha importancia en electrónica. Los inductores, que son los componentes que presentan inductancia, tienen un comportamiento que depende del tipo de corriente que circula por ellos. Además de la corriente continua, existe otro tipo de corriente de suma importancia que es la corriente alterna. Por todo esto, es necesario que conozca los lineamientos básicos de la corriente alterna y el comportamiento de los componentes pasivos (R, L y C) frente a su paso.

Coordinación: Horacio D. Vallejo

Los lectores que ya arman aparatos electrónicos o que tienen ciertas nociones sobre la electricidad, saben perfectamente que la corriente que tomamos de la línea es alterna y es muy diferente de la que obtenemos de pilas o baterías.

Pero cuál es la diferencia y de qué modo influye en el comportamiento de los distintos componentes que estudiamos hasta el momen-



to, es lo que veremos enseguida.

Corriente Continua y Corriente Alterna

Si conectamos un resistor, un cable conductor o una lámpara a una pila o batería, según muestra la figura 1, se establecerá una corriente que es un flujo de electrones libres.

Esos electrones van a dirigirse del polo nega-

LOS COMPONENTES EN CORRIENTE ALTERNA

tivo (que los tiene en exceso) al polo positivo (que los tiene en defecto).

Suponiendo que la resistencia del resistor, conductor o lámpara no varíe en el transcurso del tiempo, el flujo de electrones será constante como ilustra el gráfico de la figura 2.

Esta es una corriente continua porque: **"Circula siempre en el mismo sentido y tiene intensidad constante"**. Una corriente continua se representa en forma abreviada por CC (corriente continua) o DC (direct current).

Pero existe otro tipo de corriente.

Vamos a suponer que se establezca una corriente en un conductor, resistor u otra clase de carga, de manera que su intensidad no es constante sino que varía cíclicamente, es decir, siempre de la misma manera.

Una corriente que cambia en forma constante su sentido de circulación y varía su intensidad es una corriente alterna.

A nosotros va a interesarnos al principio la corriente alterna sinusoidal, que explicaremos enseguida.

Un conductor que corte las líneas de fuerza de un campo magnético, manifestará en sus extremos una fuerza electromotriz que puede calcularse mediante la expresión:

$$E = B \times L \times \sin \alpha$$

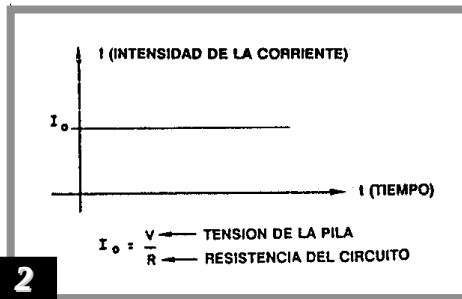
Donde:

E es la fuerza electromotriz

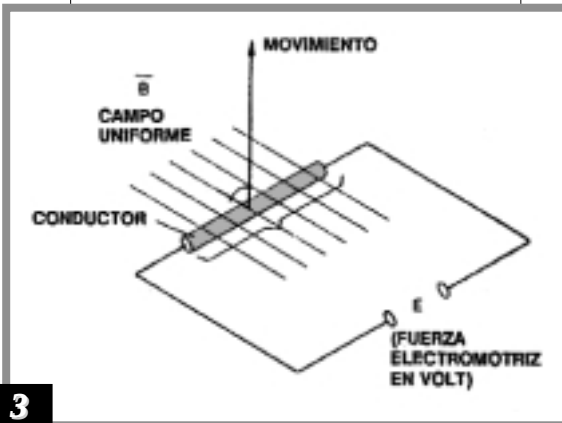
B es el vector inducción magnética

L es la longitud del alambre

α es el ángulo en que el con-



2



3

ductor corta las líneas del campo.

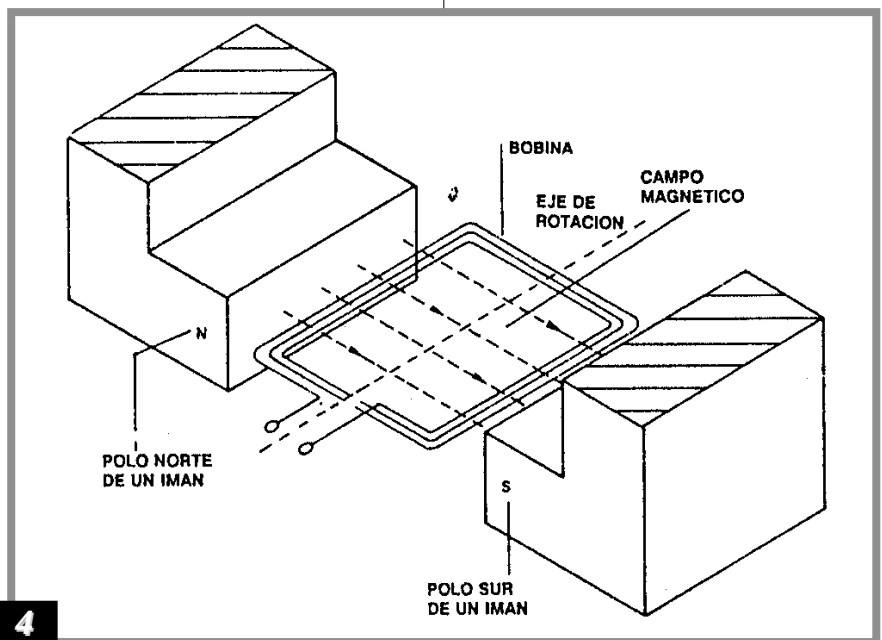
Vea que la inducción de una tensión será tanto mayor cuanto mayor sea el ángulo según el que el conductor corta las líneas de fuerza del campo magnético.

Partiendo de ese hecho, vamos

a suponer que montamos una espira (una vuelta completa del alambre conductor) de manera de girar dentro del campo magnético uniforme, como se ve en la figura 4.

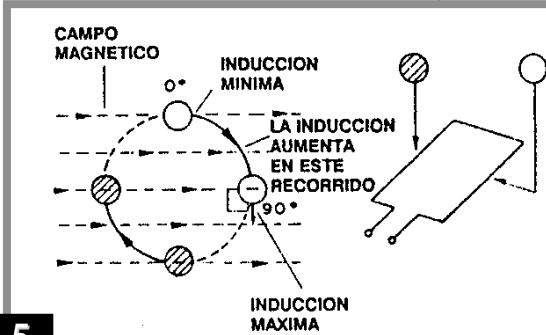
Un campo magnético uniforme se caracteriza por tener la misma intensidad en todos sus puntos, lo que nos lleva a representarlo por líneas de fuerza paralelas. Vamos a representar esta espira vista desde arriba para comprender con mayor facilidad los fenómenos que se producirán cuando la giramos, como muestra la figura 5. Partiendo entonces de la posición de la figura 5, hacemos que la espira gire 90° en el sentido indicado, de modo que corte las líneas de fuerza del campo magnético (figura 6).

Vea entonces que, en estas condiciones, a medida que la espira "entra" en el campo, el ángulo se va acentuando de manera que al llegar a 90, el valor va desde cero hasta el máximo.



4

LOS COMPONENTES EN CORRIENTE ALTERNA



corta las líneas de fuerza del campo magnético.

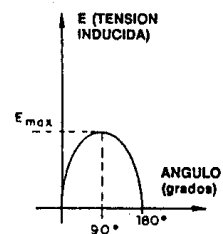
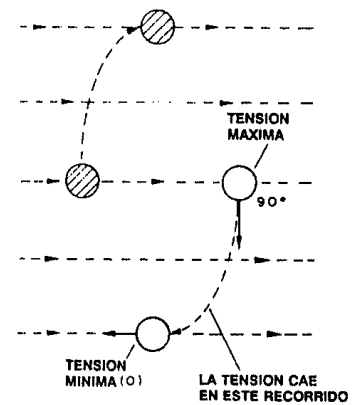
La tensión inducida en estas condiciones cae hasta el mínimo en este arco.

Vea que realmente la tensión cae a cero pues a 180°, aunque sólo por un instante,

el movimiento de la espira es paralelo a las líneas de fuerza y entonces no hay inducción.

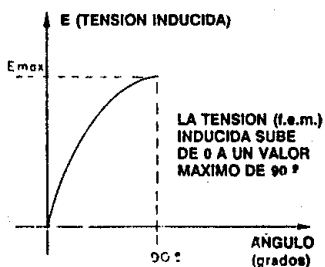
En la figura 8 se tiene la representación gráfica de lo que ocurre con el valor de la tensión en estos arcos de 90° (0° a 90° y 90° a 180°).

Recorriendo ahora 90° más, de 180 a 270°, la espira vuelve a "penetrar" en el campo magnético en forma más acentuada pero en sentido opuesto al del arco inicial. Así ocurre la inducción pero la polaridad de tensión en los extremos de la espira se ha invertido, es decir, si tomamos una referencia inicial que



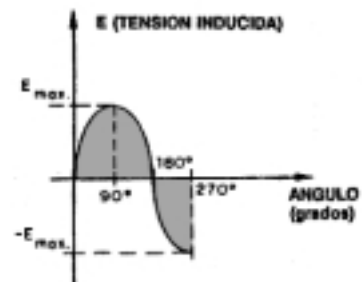
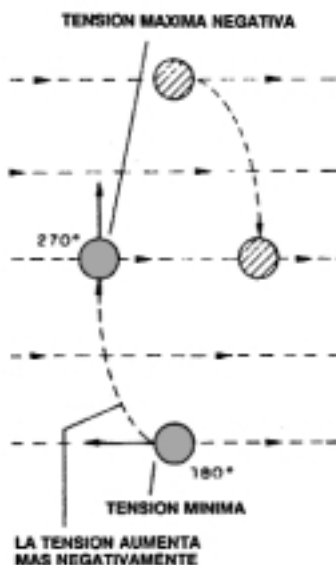
lleve a una representación positiva en los 180 grados iniciales, a partir de este punto la representación será negativa como muestra la figura 9.

Igualmente, la tensión asciende, pero hacia valores negativos máximos, hasta llegar en los 270 grados

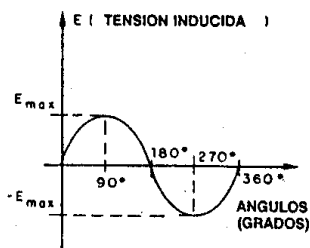
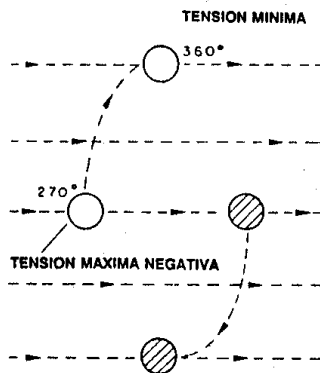


En esta posición, la espira corta el campo en forma perpendicular aunque sólo sea por un instante. Como la tensión inducida depende del ángulo, vemos que en este arco de 90°, el valor va desde 0 hasta el máximo, lo que puede representarse mediante el gráfico siguiente (Fig. 7).

Continuando la rotación de la espira, vemos que entre 90° y 180° tiende a "salir" del campo y se va reduciendo el ángulo según el cual



LOS COMPONENTES EN CORRIENTE ALTERNA



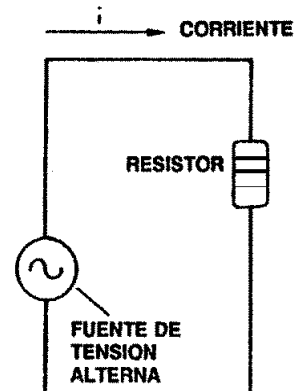
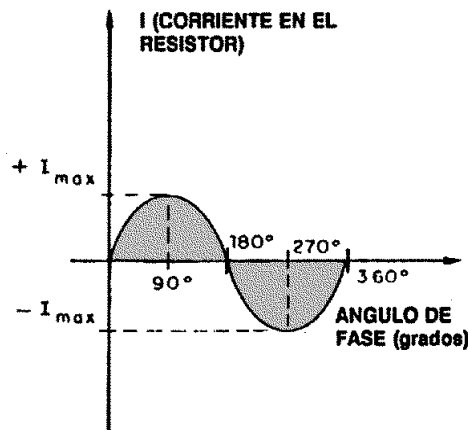
10

al punto de corte, prácticamente perpendicular aunque sea por un breve instante.

En los 90° finales de la vuelta completa, de 270 a 360 grados, nuevamente el ángulo en el que la espira corta las líneas de fuerza, disminuye y la tensión inducida cae a cero.

El ciclo completo de representación de la tensión generada se ve en la figura 10.

El lector podrá percibir que, si tuviéramos un circuito externo para la circulación de la corriente y si la resistencia fuera constante, la intensidad dependerá exclusivamente de la tensión (figura 11). La corriente circulante tendrá entonces las mismas características de la



11

tensión, es decir, variará según la misma curva.

Como la tensión generada está regida por la función seno ($\text{sen } \alpha$) que determina el valor según el ángulo, ya que B y L son constantes, la forma de la onda recibe el nombre de senoide. Se trata, por lo tanto de una corriente alterna sinusoidal. Para generar esta corriente alterna sinusoidal se establece una tensión también sinusoidal. Esa tensión, también alterna tiene la misma representación gráfica.

Podemos decir entonces:

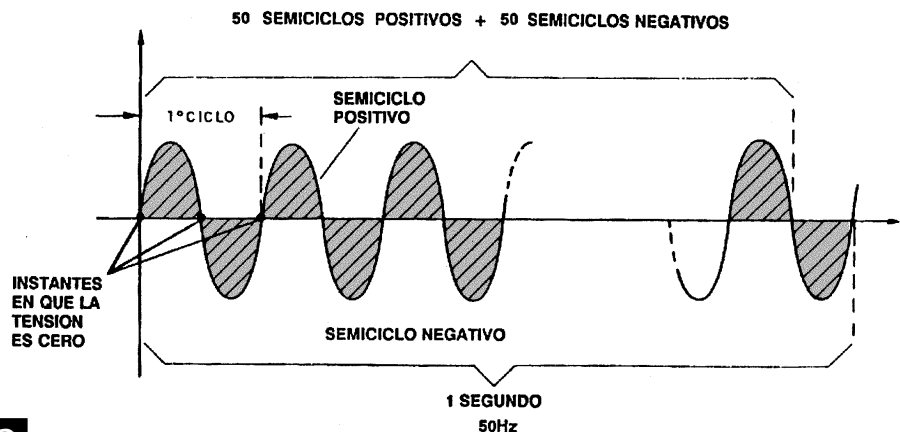
"Una tensión alterna produce

una corriente alterna que es aquella cuya intensidad varía en forma constante según una función periódica y su sentido se invierte constantemente."

Vea que una "función periódica" es la que se repite continuamente como la senoide que es la misma a cada vuelta de espira (figura 12).

Recuerde: una corriente alterna sólo puede ser establecida por una tensión alterna.

El tiempo que la espira tarda en dar una vuelta completa determina un valor muy importante de la corriente alterna, que podemos medir.



12

LOS COMPONENTES EN CORRIENTE ALTERNA

Este tiempo de una vuelta es el periodo que se representa con T y se mide en segundos.

El número de vueltas que da la espira en un segundo determina otra magnitud importante que es la frecuencia, representada por f y medida en hertz (Hz).

Numéricamente, la frecuencia es la inversa del período.

$$T = 1/f$$

Los alternadores de las usinas hidroeléctricas (y atómicas) que envían energía eléctrica a nuestras casas, operan con una frecuencia de 50 hertz (50Hz).

Decimos entonces que la corriente altera obtenida en las tomas de energía tiene una frecuencia de 50 hertz.

Esto significa que en cada segundo, la corriente es forzada a circular 50 veces en un sentido y 50 veces en el opuesto, pues ése es el efecto de la inversión de la polaridad (vea nuevamente la figura 12).

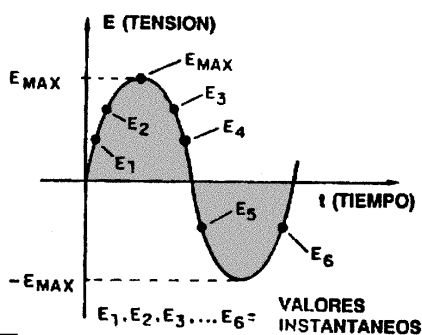
Alimentando una lámpara incandescente común, en cada segundo existen 100 instantes en que la corriente se reduce a cero, pero la lámpara no llega a apagarse por la inercia del filamento que se mantiene caliente.

La tensión producida puede variar y es de 220V.

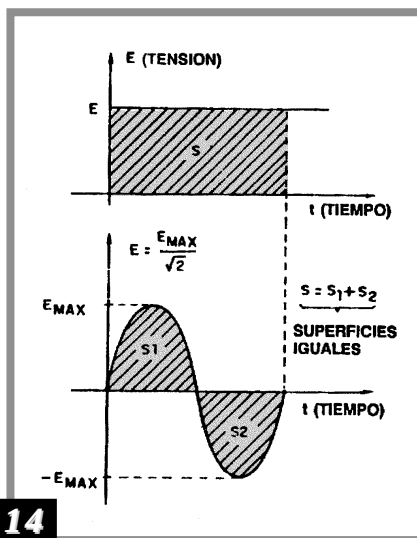
El lector debe darse cuenta de que no podemos hablar de un valor fijo de tensión o de corriente pues el cambio de la polaridad y del valor es constante (figura 13).

¿Qué significa entonces 220V?

Si tenemos en cuenta la tensión sinusoidal de la toma de energía de la red, vemos que lo cierto sería hablar de valores instantáneos, es de-



13



14

cir: de la tensión que encontramos en cada instante, que depende del instante de cada ciclo considerado. Podemos encontrar tanto un mínimo negativo como un máximo positivo, o cero, según el instante dado.

Es claro que a los efectos prácticos, eso no tiene mucho sentido. Es así que, para medir tensiones y corrientes alternas es preciso establecer una manera que nos dé una idea del efecto promedio o real obtenido.

Esto puede entenderse de la siguiente manera:

Como ya dijimos, si alimentamos una lámpara común con tensión alterna en los instantes en que la corriente circula por el filamento, en

un sentido o en otro, se produce el calentamiento y la lámpara se enciende. El efecto es el mismo que tendríamos si la alimentáramos con una tensión continua de determinado valor. ¿Cuál sería ese valor?

Si comparamos el gráfico que representa la circulación de corriente continua por un circuito (una lámpara, por ejemplo) y el gráfico que representa la circulación de una corriente alterna, la

superficie cubierta en un intervalo se relaciona con la cantidad de energía que tenemos a disposición. Entonces nos basta hacer la pregunta siguiente para tener la respuesta a nuestro problema:

¿Cuál debe ser el valor de la tensión continua que nos produce el mismo efecto que determinada tensión alterna?

En la figura 14 vemos que, si la tensión alterna llega a un valor máximo X , el valor que la tensión continua debe tener para producir el mismo efecto se consigue dividiendo X por la raíz cuadrada de 2, o sea: 1,4142. El valor máximo alcanzado en un ciclo (el mínimo también) se llama valor de pico, mientras que el valor que produce el mismo efecto, se llama valor eficaz o r.m.s. ("root mean square").

Para la red de 220V, los 220V representan el valor r.m.s. Existen instantes en que la tensión de la red llega a 220V multiplicados por 1,4142 y así obtenemos que el valor pico es 311,12V.

Este valor se logra dividiendo el promedio de todos los valores en cada instante del semiciclo, o sea la mitad del ciclo completo, pues si entrasen en el cálculo valores negativos, el resultado sería cero (figura 15).

LOS COMPONENTES EN CORRIENTE ALTERNA

Podemos entonces resumir los "valores" en la forma siguiente:

Valor pico: es el valor máximo que alcanza la tensión o la corriente en un ciclo, pudiendo ser tanto negativo como positivo. Es un valor instantáneo, es decir, aparece en un breve instante en cada ciclo de corriente o tensión alternada.

Valor eficaz o r.m.s.: es el valor que debería tener la tensión o corriente si fuese continua para que se obtuvieran los mismos efectos de energía.

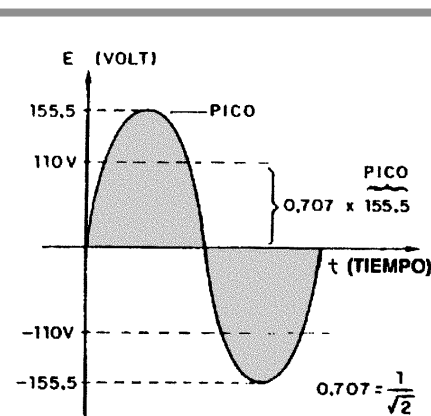
Valor medio: obtenemos este valor dividiendo la suma de los valores instantáneos de un semiciclo por su cantidad, o sea: sacamos la media aritmética de los valores instantáneos en un semiciclo.

15

No podemos hablar de polaridad para una tensión alterna, ya que cambia constantemente.

Una corriente de cualquier carga conectada a un generador de corriente alterna invierte su sentido en forma constante.

En el caso de la red, sabemos



que uno de los polos "produce shock" y el otro, no. Eso nos lleva a las denominaciones de polo vivo y polo neutro.

¿Qué sucede entonces?

Si tenemos en cuenta que el generador de energía de las compañías tiene uno de los cables conectado a tierra, que se usa como conductor de energía, resulta fácil entender lo que ocurre (figura 16).

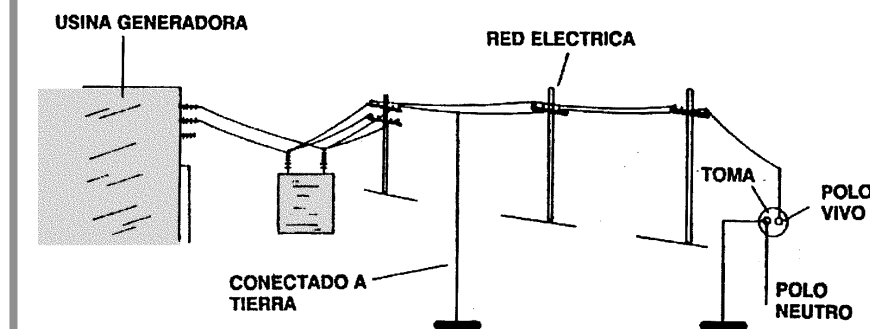
Al estar en contacto con la tierra, cualquier objeto, en cualquier instante, tendrá el mismo potencial del polo generador conectado a tierra que es entonces la referencia. Este es el polo neutro, que tocado por una persona no causa shock porque estando al mismo potencial no hay circulación de corriente.

La tensión varía alrededor del valor del polo de referencia según la sinusoide del otro polo. Es así que en relación al neutro, el otro polo, es decir el polo vivo, puede estar positivo o negativo, 50 veces por segundo.

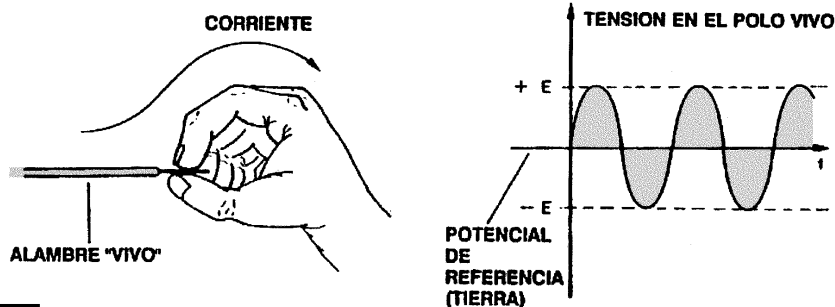
Al tocar el polo vivo (figura 17), habrá una diferencia de potencial respecto de tierra (variará 50 veces por segundo), pero ella puede causar la circulación de una corriente eléctrica y producir el shock eléctrico.

Otro hecho importante que los lectores deben tener en cuenta es que en los circuitos electrónicos pueden encontrarse otros tipos de corrientes que no son ni la continua pura ni la alterna pura con forma de onda sinusoidal. Si una corriente circula siempre en el mismo sentido pero es interrumpida a intervalos regulares, como sugiere la figura 18, tendremos una corriente continua "pulsante".

Abriendo y cerrando rápidamente



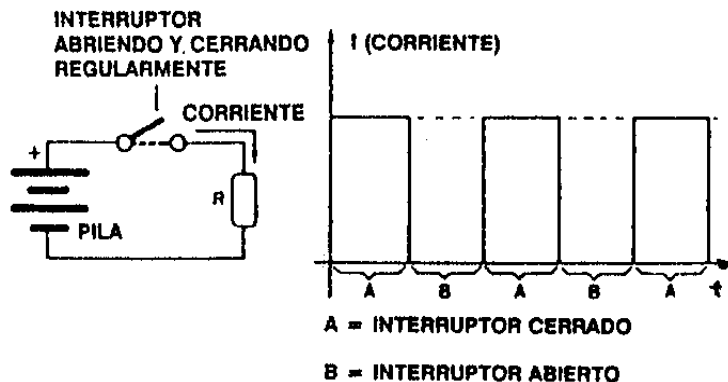
16



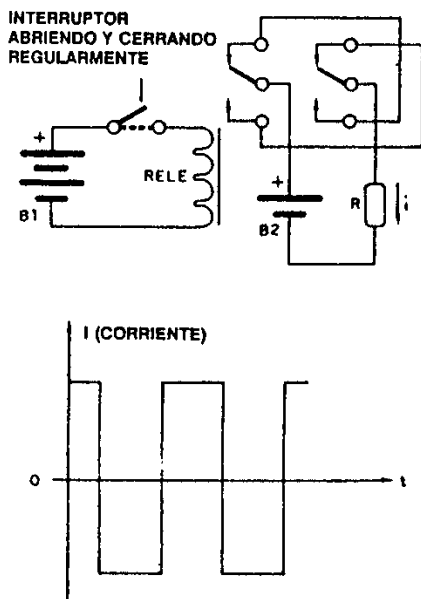
17

LOS COMPONENTES EN CORRIENTE ALTERNA

18



19



te un interruptor se produce una corriente continua pulsante.

Un relé que tenga dos pares de contactos reversibles y que abra y cierre con rapidez puede generar una corriente que circula en un sentido y enseguida en otro pero que no se invierte suavemente como la sinusoidal sino con brusquedad.

Esta corriente tendrá la forma de onda que se muestra en la figura 19 y es una corriente alterna cuya forma de onda es rectangular.

En los circuitos electrónicos pue-

den encontrarse corrientes de frecuencias tan bajas como algunos hertz y tan altas como algunos millones de hertz.

Recuerde

* Las pilas y baterías dan corrientes continuas mientras que los alternadores generan corriente alterna.

* En una corriente continua el flujo de cargas va siempre en el mismo sentido.

* Una espira que gira en un campo uniforme genera una tensión alterna.

* La forma de onda de la tensión generada es sinusoidal.

* En cada vuelta se genera un semiciclo positivo y uno negativo.

* Para establecer una corriente alterna hace falta una tensión alterna.

* Numéricamente, el período es la inversa de la frecuencia.

* El período es el tiempo de un ciclo y la frecuencia es el número de ciclos por segundo.

* La unidad de frecuencia

es el hertz.

* El valor pico es el valor máximo que la tensión o corriente alcanza en un ciclo.

* El valor m.r.s. o eficaz es el valor que corresponde al efecto que una tensión o corriente continua debería tener para dar por resultado el mismo efecto que una alterna.

* No podemos hablar de polaridad de una tensión alterna.

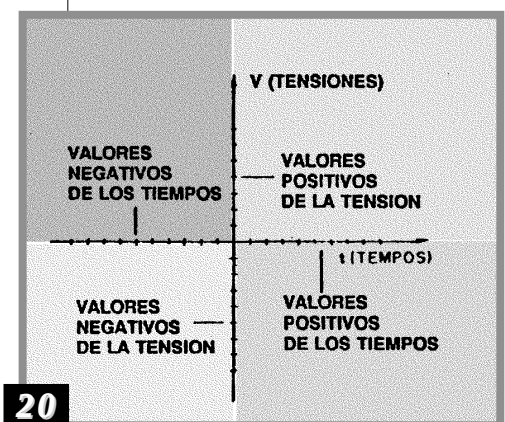
Representación Gráfica de la Corriente Alterna

Los lectores deben acostumbrarse a la representación de fenómenos de naturaleza diversa mediante gráficos.

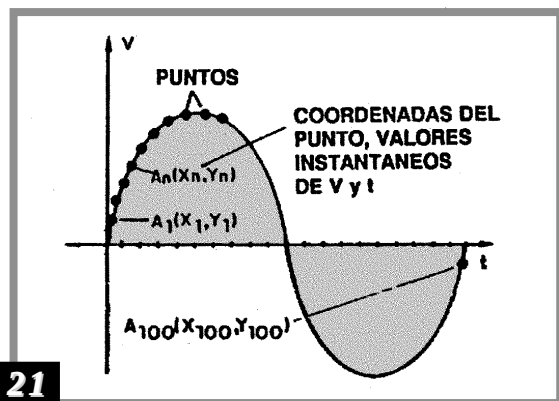
Cuando se tiene un fenómeno que ocurre de manera dinámica, una magnitud varía en función de otra; por ejemplo, en el caso de la corriente alterna, la intensidad de la corriente o la tensión son las que varían con el tiempo.

Para representar esas variaciones hacemos un gráfico de tensión versus tiempo ($V \times t$) como muestra la figura 20.

Colocamos, entonces, en el eje vertical (Y) los valores de tensión, graduamos este eje en la forma adecuada y en el eje horizontal (X)



20



21

colocamos los valores del tiempo (t), graduamos también el eje en forma adecuada. Después definimos cada punto del gráfico como un par de valores (X e Y), dado por el valor de la tensión en un determinado instante.

Para el caso de la tensión alterna, si dividimos el tiempo de un ciclo (1/50 de segundo) en 100 partes, por ejemplo, podemos determinar 100 puntos que unidos darán la curva que representa la forma de onda de esta tensión.

Es claro que el gráfico ideal se obtiene con infinitos puntos pero eso no siempre es posible.

Mientras, por distintos procedimientos podemos tener una aproximación que haga continua la curva y se obtenga así un gráfico (curva) ideal. A partir de esta representación podemos entonces obtener el valor instantáneo de la tensión en cualquier momento y del mismo modo, dado el valor podemos encontrar el instante en que se produce.

"¿De dónde viene el valor 1,4142 (raíz cuadrada de 2) usado en el cálculo del valor RMS?"

El valor 1,4142 tiene origen en la energía que se puede transportar por medio de corrientes alternas cuyas formas de onda sean sinusoidales.

Según vimos, esta energía está dada por el área del gráfico en un

intervalo considerado. Para calcular el área en el caso de la senoide, debemos emplear recursos del cálculo integral. (Los lectores que no dominan esa clase de cálculos, no deben preocuparse si no entienden pues no tendrán problemas para comprender las futuras lecciones.)

La potencia desarrollada en una carga de resistencia R, alimentada por una tensión sinusoidal, de modo que circule una corriente media I, está dada por:

$$P = I^2(t) \times R$$

$$\text{donde } I^2(t) = \frac{I^2_{\max}}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \sin^2 \theta \, d\theta \quad (17.2)$$

donde θ aumenta 2π en cada período

$$\text{La función } g(x) = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f^2(x) dx}$$

Representa el valor cuadrático medio de la función f(x) que bien se puede aplicar a la fórmula dada arriba y representa el "valor eficaz" de la función f(x).

$$\frac{I^2_{\max}}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \sin^2 \theta \, d\theta = \frac{I^2_{\max}}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \frac{1}{2}(1 - \cos 2\theta) \, d\theta$$

$$= \frac{I^2_{\max}}{4\pi} \left[\int_{-\pi}^{\pi} d\theta - \int_{-\pi}^{\pi} \cos 2\theta \, d\theta \right]$$

$$= \frac{I^2_{\max}}{4\pi} \left[\frac{\theta}{1} - \frac{\sin 2\theta}{2} \right]_{-\pi}^{\pi}$$

$$I^2_{\text{ef}} = \frac{I^2_{\max}}{4\pi} (2\pi - 0)$$

$$I^2_{\text{ef}} = \frac{I^2_{\max}}{4\pi} \times 2\pi = \frac{I^2_{\max}}{2}$$

Sacando raíz cuadrada:

$$I_{\text{ef}} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} = 0,707 I_{\max}$$

Para los que no dominan este tipo de cálculo, digamos que todo esto puede resumirse en la siguiente conclusión:

El valor eficaz de una corriente varía en forma sinusoidal y es 1/2 veces el valor máximo de corriente. Un razonamiento análogo se aplica a la tensión para obtener su valor eficaz.

Reactancia

Vimos que existen fundamentalmente dos tipos de corriente que pueden usarse para el transporte de energía eléctrica. La corriente continua que puede obtenerse de pilas y baterías y la corriente alterna que se obtiene de la red y es generada por alternadores. Conocemos el comportamiento de los capacitores e inductores en circuitos de corriente continua pero, ¿qué sucedería si conectáramos esos dispositivos a generadores de corriente alterna?

Los componentes en cuestión presentarán una propiedad denominada "reactancia" y eso es lo que vamos a estudiar.

Si se conecta un capacitor a un generador de corriente continua, como una pila, por ejemplo, una vez que cierta cantidad de cargas fluya a sus armaduras y se cargue, desaparece cualquier movimiento de esas cargas y la corriente en el circuito pasa a ser indefinidamente nula (figura 22).

En esas condiciones, el capacitor está totalmente cargado, posee una resistencia infinita y no deja circular la corriente.

Por otra parte, si conectamos al mismo generador un inductor ideal (que no presenta resistencia en el

LOS COMPONENTES EN CORRIENTE ALTERNA

alambre del cual está hecho) una vez que la corriente se haya establecido y el campo magnético adquiera la intensidad máxima, no encontramos efecto alguno de inductancia. Las cargas podrán fluir con la intensidad máxima como si el inductor no existiera (Figura 23).

La presencia del capacitor y del inductor en un circuito de corriente continua es importante sólo en el instante en que ocurren variaciones: **cuando la corriente se establece o cuando la corriente se desconecta. Ya estudiamos ampliamente los fenómenos que se producen en esos instantes.**

Pero, ¿qué sucedería si se conectara el inductor o el capacitor a un circuito de corriente alterna en el que la tensión varía con rapidez, en forma repetitiva? ¿Qué fenómenos importantes se producirían?

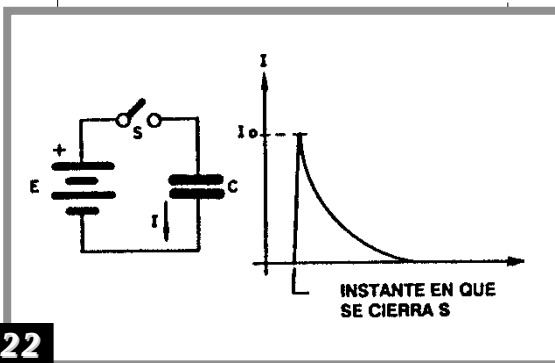
Reactancia Capacitiva

Vamos a empezar con el capacitor, lo conectamos, por ejemplo, a un circuito de corriente alterna de 50 hertz, de la red, como muestra la figura 24.

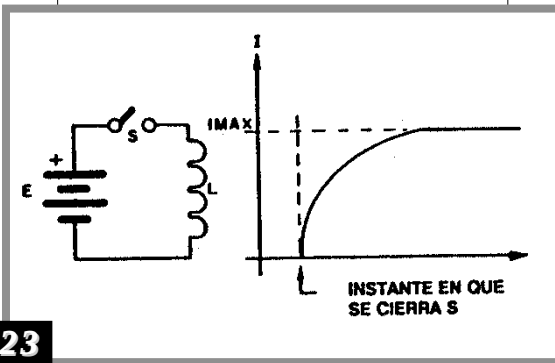
Durante el primer cuarto del ciclo, cuando la tensión aumenta de cero a su valor máximo, el capacitor se carga con la armadura A positiva y la B negativa. Eso sucede en un intervalo de $1/200$ de segundo.

En el segundo cuarto, cuando la tensión cae a cero desde el valor máximo, se invierte la corriente en el capacitor y se descarga.

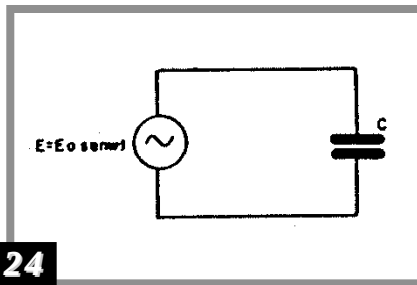
En el tercer cuarto se invierte la



22



23



24

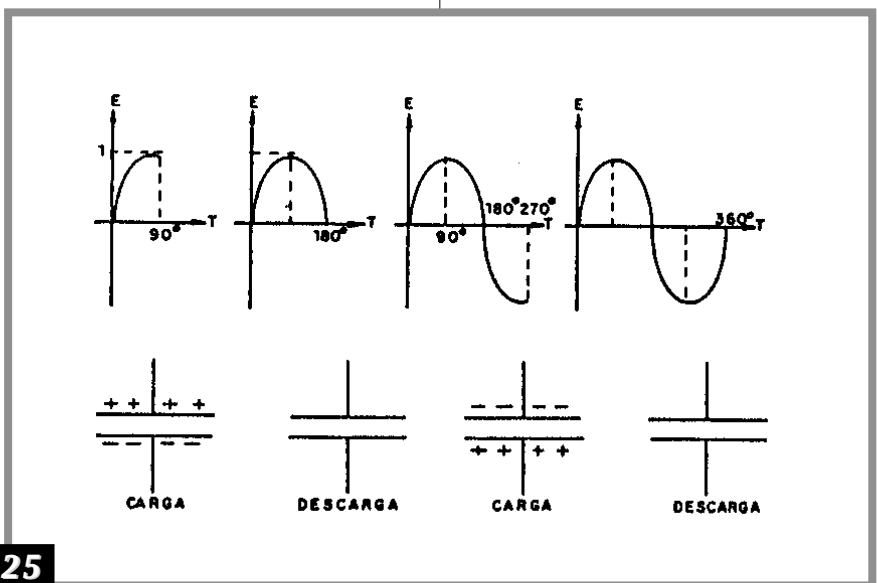
polaridad de la red de manera que la corriente de descarga continúa en el mismo sentido pero carga positivamente la armadura B. El capacitor invierte su carga hasta un valor máximo.

En el último cuarto, cuando la tensión vuelve a caer a cero, la corriente se invierte y la carga del capacitor cae a cero.

En la figura 25 tenemos la representación del proceso que ocurre en un ciclo y que se repite indefinidamente en cada ciclo de alimentación. Como se tienen 50 ciclos en cada segundo, el capacitor se carga y descarga positivamente primero y luego negativamente, 50 veces por segundo.

Al revés de lo que ocurre cuando la alimentación es con corriente continua, en la que, una vez cargado, cesa la circulación de corriente; con corriente alterna ésta queda en forma permanente en circulación por el capacitor, carga y descarga con la misma frecuencia de la red.

La intensidad de la corriente de



25

LOS COMPONENTES EN CORRIENTE ALTERNA

carga y descarga va a depender del valor del capacitor y también de la frecuencia de la corriente alterna.

Cuanto mayor es la capacidad del capacitor, mayor será la intensidad de la corriente (la corriente es entonces directamente proporcional a la capacidad) y cuanto mayor sea la frecuencia, mayor será la intensidad de la corriente (la corriente también es proporcional a la frecuencia). Entonces se verifica que el capacitor, alimentado con corriente alterna, se comporta como si fuese una "resistencia" y permite mayor o menor circulación de corriente en función de los factores explicados antes.

Como el término "resistencia" no es el adecuado para el caso pues no se trata de un valor fijo, como en el caso de los resistores, sino que varía con la frecuencia y no es sólo inherente al componente, se prefiere decir que el capacitor presenta una "reactancia" y en el caso específico del capacitor, una "reactancia capacitiva" (abreviada X_c).

Podemos, entonces, redefinir la reactancia capacitiva así:

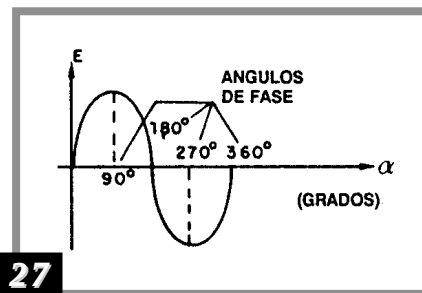
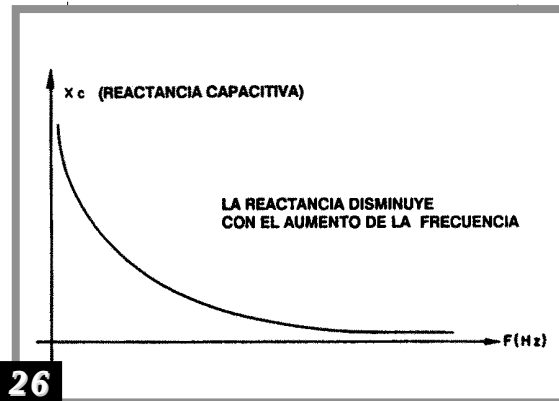
"Se denomina reactancia capacitiva (X_c) a la oposición que un capacitor ofrece a la circulación de una corriente alterna."

Para calcular la reactancia capacitiva, se tiene la fórmula siguiente:

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot f \cdot C} \quad (1)$$

Donde,

X_c es la reactancia medida en ohm.



3,14 es la constante pi (π)

f es la frecuencia de la corriente alterna en hertz.

C es la capacidad del capacitor en farad.

El valor "**2 . 3,14 . f**" puede representarse con la letra omega (ω) y este valor se llama "**pulsación**". La fórmula de la reactancia capacitiva queda entonces:

$$X_c = \frac{1}{\omega \cdot C} \quad (2)$$

Sobre la base de lo visto podemos dar algunas propiedades importantes de los capacitores en los circuitos de corriente alterna.

* La reactancia capacitiva es menor cuanto más alta es la frecuencia, para un capacitor de valor fijo.

Puede decirse que los capacitores dejan pasar con más facilidad las señales de frecuencias más altas (figura 26).

* La reactancia capacitiva es menor en los capacitores de mayor valor, para una frecuencia constante. Puede decirse que los capacitores mayores ofrecen menos oposición al pasaje de las corrientes alternas.

Más adelante veremos cómo pueden usarse esas propiedades para proyectar circuitos de "filtros" capaces de bloquear o de dejar pasar señales (corrientes alternas) de determinadas frecuencias.

Al final de la lección daremos algunas tablas con los valores calculados de las reactancias de capacitores en diversas frecuencias, lo que es de gran utilidad en diversos tipos de proyectos.

Fase en el Circuito Capacitivo

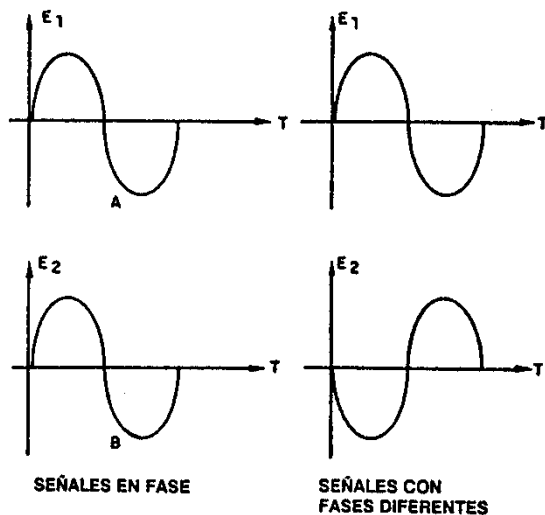
Cuando estudiamos corriente alterna, llegamos a referirnos al ángulo de fase para mostrar las distintas tensiones que obtenemos según los diferentes ángulos que resultan en la sinusoide representativa de la misma señal (figura 27).

Dos señales pueden estar en fases diferentes o en concordancia de fase, conforme sus formas de onda coincidan por superposición en un instante dado y siempre que tengan la misma frecuencia (figura 28).

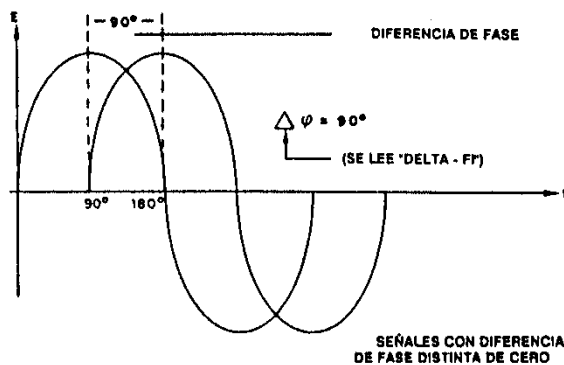
Podemos hablar también de la diferencia de fase entre dos señales de corriente alterna y entre una corriente alterna y una tensión si llegaran a los puntos de máximo (o de mínimo) en distintos instantes.

Esta diferencia entre los instantes nos da la diferencia de fase que puede expresarse con un ángulo

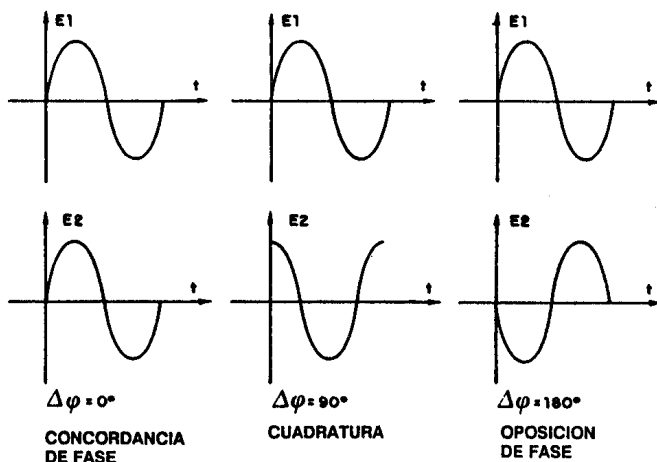
LOS COMPONENTES EN CORRIENTE ALTERNA



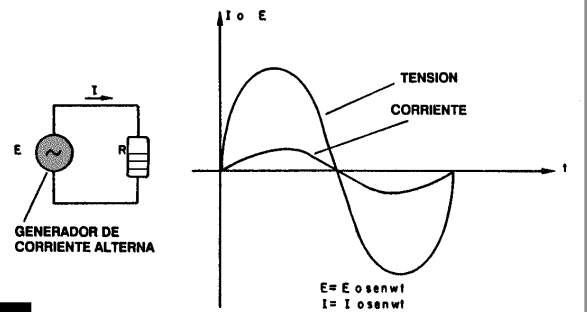
28



29



30



31

como muestra la figura 29.

Si dos señales estuvieran en concordancia de fase, es evidente que la diferencia sería cero. Si la diferencia fuera de 90 grados, diremos que las señales están en cuadratura y si fuera de 180 grados, diremos que las señales están en oposición

de fase. La figura 30 ilustra las tres situaciones.

Conectando un resistor en un circuito de corriente alterna, es evidente que siendo la tensión la causa y la corriente el efecto, deben estar en concordancia de fase, es decir, cuando la tensión aumenta, la corriente debe aumentar en la misma proporción (figura 31).

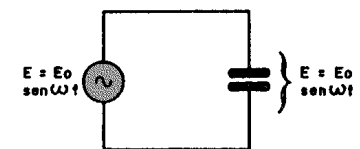
Pero si conectamos un capacitor en un circuito de corriente alterna, las cosas no suceden de este modo.

Si consideramos un capacitor de capacidad C conectado a un generador de corriente alterna cuya tensión esté dada por $E = E_0 \text{ sen } \omega t$, veremos que la diferencia de potencial entre las placas del capacitor varía con el tiempo (figura 32).

La corriente en las armaduras del capacitor estará dada por:

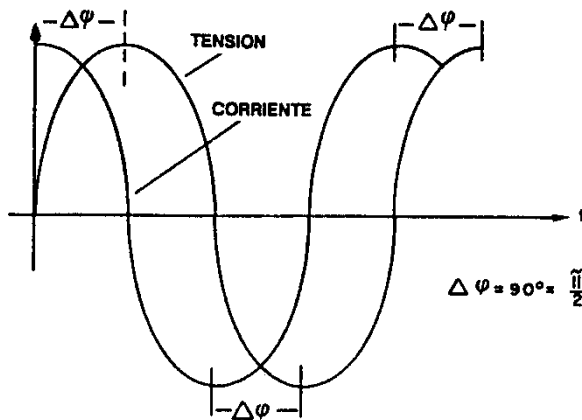
$$i = dq/dt$$

Como la relación $V = Q/C$ también es válida en este caso, podemos escribir la fórmula siguiente



32

LOS COMPONENTES EN CORRIENTE ALTERNA



inductancia L a un generador de corriente alterna, por ejemplo 50Hz de la red (figura 34). Durante el primer cuarto del ciclo, la tensión sube a cero hasta el valor máximo

opone. Pero aun así, el campo magnético se contrae hasta desaparecer.

En el tercer cuarto, la tensión invierte su polaridad y aumenta de valor hasta un máximo negativo; variación a la que el inductor se opone pero lo hace estableciendo un campo magnético que se expande.

Finalmente, en el último cuarto, encontramos oposición del inductor a la circulación de la corriente. Las líneas de fuerza se contraen durante este cuarto de ciclo.

En realidad, según veremos va a existir un pequeño atraso en esta retracción de las líneas.

Lo importante es observar que mientras en el circuito de corriente continua, una vez establecido el campo, la resistencia (oposición) desaparecía y la corriente circulaba libremente, en este caso la oposición es permanente.

En la figura 35 se ve la representación de este proceso.

Vea entonces que se establece un campo magnético alterno en el inductor que varía constantemente en intensidad y polarización.

La oposición constante manifies-

33

para la carga del capacitor:

$$q = C.E_0 \sin \omega t$$

La corriente estará dada por:

$$i = \omega C E_0 \cos \omega t$$

Como:

$$\cos \omega t = \sin (\omega t + n/2)$$

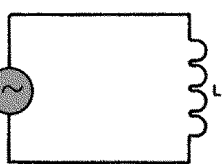
(con $n = N^\circ$ entero impar), obtenemos que la corriente varía con la misma frecuencia que la tensión (ω) pero con una diferencia de fase de $n/2$ o sea 90 grados.

La corriente estará ADELANTADA 90 grados respecto de la tensión (figura 33).

Reactancia Inductiva

Veamos ahora lo que ocurre cuando conectamos un inductor de

$$E = E_0 \sin \omega t$$

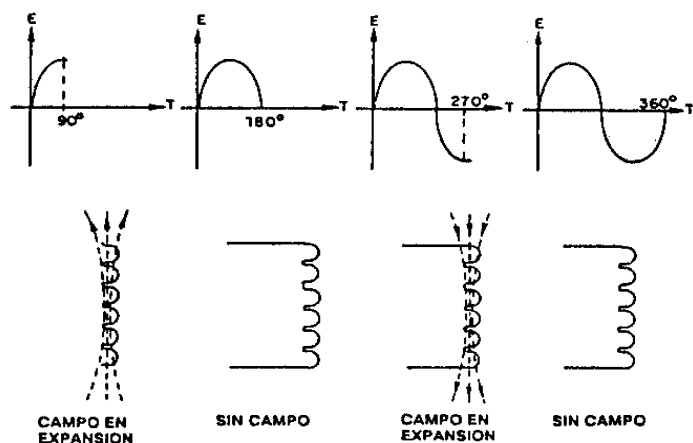


34

que corresponde a una variación a la que el inductor se opone. En estas condiciones, comienza a circular una corriente por el inductor que crea el campo magnético, hasta su máximo.

En el segundo cuarto, la tensión cae a cero lo que también es una variación a la que el inductor se opone. En estas condiciones, comienza a circular una corriente por el inductor que crea el campo magnético, hasta su máximo.

En el segundo cuarto, la tensión cae a cero lo que también es una variación a la que el inductor se



35

LOS COMPONENTES EN CORRIENTE ALTERNA

tada por el inductor a las variaciones de la tensión va a depender tanto de la inductancia como de la frecuencia de la corriente.

Cuanto mayor sea la inductancia, mayor será la oposición a la circulación de la corriente.

El inductor también se comporta como una "resistencia" a la circulación de la corriente alterna, pero el término resistencia tampoco cabe en este caso pues no es algo inherente sólo al componente sino también a las características de la tensión aplicada.

Nos referimos entonces a reactancia inductiva, representada por X_L , como la oposición que un inductor presenta a la circulación de una corriente alterna.

La reactancia inductiva se mide en ohms como la reactancia capacitiva y puede calcularse mediante la siguiente fórmula:

$$X_L = 2 \cdot 3,14 \cdot f \cdot L \quad (3)$$

Donde:

X_L es la reactancia inductiva en ohms

$3,14$ es la constante pi (π)

f es la frecuencia de la corriente alterna en hertz.

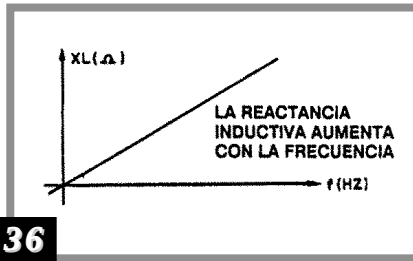
L es la inductancia en henry.

Como la expresión " $2 \cdot 3,14 \cdot f$ " puede expresarse como " ω " (pulsación), podemos escribir:

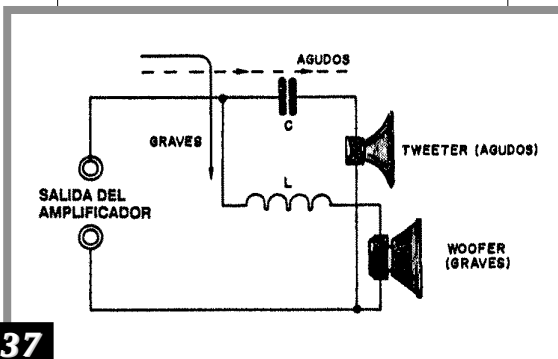
$$X_L = \omega \cdot L \quad (4)$$

Tenemos finalmente las propiedades de los inductores en los circuitos de corriente alterna:

* La reactancia inductiva es tanto mayor cuanto mayor sea la frecuencia. Puede decirse que los inducto-



36



37

res ofrecen una oposición mayor a las corrientes de frecuencias más altas (figura 36).

* la reactancia inductiva es mayor para los inductores de mayor valor para una frecuencia determinada. Los inductores de mayor valor ofrecen una oposición mayor a la circulación de corrientes alternas.

En la figura 37 damos un circuito de filtro separador de frecuencias para altoparlantes.

Los tweeters son parlantes de agudos, es decir, deben recibir y reproducir señales de las frecuencias más altas, mientras que los woofers son los parlantes de graves, que deben recibir y reproducir las señales de frecuencias más bajas.

Conectando en serie un tweeter con un capacitor, se dificulta el paso de las señales de frecuencias más bajas y se deja pasar con más facilidad las de frecuencias altas (agudos).

Conectando en serie un woofer con un inductor, las señales de bajas frecuencias no encuentran mu-

cha oposición a su paso y llegan al altoparlante, pero las de frecuencias altas encuentran gran oposición y prácticamente no logran pasar.

Fase en el Circuito Inductivo

Si conectamos un inductor a un circuito de corriente alterna, la corriente no estará en fase con la tensión. Veamos qué ocurre:

La bobina de inductancia L está conectada a un circuito de corriente alternada en el que la tensión está dada por:

$$E = E_o \text{ sen } \omega t$$

En cualquier instante que se considere existe una f.e.m. inducida en el inductor que está dada por:

$$E = L \cdot di/dt$$

Aplicando la Ley de Kirchhoff al circuito tenemos que:

$$E - L \cdot di/dt = 0$$

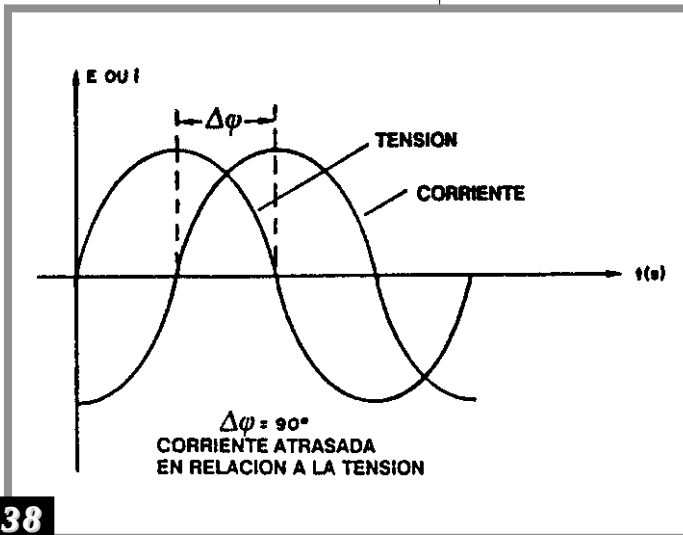
La Ley de Kirchhoff afirma que la suma de las caídas de tensión a lo largo de todo el circuito es cero.

De esta ecuación deducimos que:

$$E = L \cdot di/dt$$

La velocidad con la que cambia la corriente en función del tiempo es proporcional a la tensión instantánea aplicada al inductor.

Podemos escribir entonces la ecuación anterior de la siguiente manera:



oposición a la circulación de corrientes alternas, llamada reactancia inductiva.

- La reactancia capacitiva es mayor para las frecuencias menores.
- La reactancia inductiva es mayor para las frecuencias mayores.

Las reactancias se expresan en ohm.

- Los capacitores e inductores pueden utilizarse en filtros que separan señales de frecuencias diferentes.

- En un capacitor, la corriente está atrasada 90 grados respecto de la tensión.

- Los capacitores ofrecen mayor dificultad a la circulación de corriente de frecuencias bajas. Los inductores ofrecen mayor dificultad a la circulación de corrientes de alta frecuencia.

¿Que es una señal?

En los circuitos electrónicos aparecen corrientes de distintos tipos: continuas puras, continuas pulsantes y alternas con diversas formas de onda.

En el caso específico de los aparatos de sonido, por ejemplo, las formas de onda son "retrasos" del sonido que debe reproducirse y que aparecen en una amplia variedad de formas de onda y de frecuencias.

Las corrientes con que trabajan los circuitos —amplificadoras, productoras, reproductoras o captadoras— se denominan señales. Encontramos, en los circuitos electrónicos, señales que pueden ser desde simples corrientes continuas hasta señales cuyas frecuencias pueden llegar a centenas de millones de hertz.

¿Es importante conocer las fórmulas solamente o saber deducirlas?

La deducción de una fórmula se hace para demostrar su validez, mediante la descripción de un fenómeno y de un raciocinio lógico. En la deducción de algunas de las fórmulas que presentamos, utilizamos el cálculo diferencial e integral, que el lector no necesita conocer. En estos casos, aunque la deducción no se comprenda bien, bastará que el lector separe la fórmula pues le será de utilidad en cálculos futuros.

Sugerimos que los lectores que tengan dificultades con matemáticas y que deseen profundizar sus estudios de electrónica, estudien algo más de esa ciencia importante. ✪

$$di/dt = E/L = (E_0 \sin \omega t)/L$$

Para obtener la corriente, basta integrar la ecuación:

$$i = E_0/\omega L \cdot \cos \omega t = E_0/2\pi f \cdot L \cos 2\pi \phi \cdot t$$

Como:

$$(-\cos \omega t) = \sin (\omega t/2)$$

vemos que:

* La corriente tiene la misma frecuencia que la tensión.

* La corriente tiene su fase atrasada 90 grados ($\pi/2$) en relación a la tensión.

Un gráfico muestra lo que ocurre con la tensión respecto de la corriente (figura 38).

Recuerde:

• Los capacitores y los inductores se comportan de manera diferente en los circuitos de corriente alterna.

• Los capacitores ofrecen una oposición a la circulación de corrientes alternas, llamada reactancia capacitiva.

• Los inductores ofrecen una