



El ' (° ž° ,E#" ı' ìžÉ,(&Ł ° '

Unidad

GENERACION DE CORRIENTE ALTERNA

Las corrientes alternas, por sus ilimitadas aplicaciones tienen fundamental importancia en los circuitos electrónicos; su estudio abarcará dos etapas, en la presente se analizarán los principios básicos de generación mediante máquinas rotativas, en otra oportunidad se estudiarán los circuitos osciladores capaces de producir corrientes alternas de alta frecuencia, como las utilizadas en la transmisión de ondas de radio y televisión.

Previo al estudio de un generador elemental de corriente alterna se tendrá presente:

1) Las pilas y baterías utilizadas como fuentes de alimentación en los circuitos estudiados hasta el presente, no están capacitadas para entregar potencias elevadas durante un tiempo prolongado.

2) Las máquinas rotativas que generan potencias muy elevadas, generalmente entregan corriente alterna por la relativa simplicidad de su construcción y economía en el transporte de la energía que producen a distancias considerables.

3) Las fuentes de corriente continua mantienen una polaridad constante, es decir, **continuamente** uno de sus bornes es positivo respecto al otro. Por el contrario, en los generadores de alterna, durante una fracción de tiempo un borne es positivo con respecto al otro, en la fracción de tiempo siguiente se invierte la polaridad, para retornar después a la primera condición y así sucesivamente.

GENERADOR ELEMENTAL DE CORRIENTE ALTERNA

Su funcionamiento se basa en la inducción electromagnética -todo conductor que corta o es cortado por líneas de fuerza de un campo magnético recibe una tensión inducida-. La magnitud de

la fuerza electromotriz inducida depende de:

- Flujo magnético del campo inductor.
- Longitud del conductor que corta el campo.
- Velocidad de desplazamiento del conductor.
- Sentido del desplazamiento del conductor dentro del campo.

Principio de funcionamiento del generador elemental

En la figura de la siguiente página, se representa un generador elemental que posee una sola espira montada sobre un eje, quien es accionado mediante un motor de explosión. Cada extremo de la espira está conectado a un anillo metálico, las escobillas son láminas metálicas que permanecen en contacto con los anillos por intermedio de carbones especiales.

Se supone que el motor de explosión impone a la espira una velocidad constante, su giro dentro del campo magnético determina corrientes inducidas que son registradas por un instrumento que lleva el cero en el centro de la escala.

Las porciones A y B de la espira, se llaman «lados activos» por ser ellos los que al cortar líneas de fuerza reciben tensión inducida.

Durante el giro de la espira, sus lados activos cortan a las líneas de fuerza en sentido contrario; en la figura de la siguiente página (suponiendo el giro en el sentido de las agujas del reloj), el lado A se acerca al lector, simultáneamente el lado B se aleja del mismo.

Las tensiones inducidas en los lados A y B tienen polaridad opuesta, por encontrarse en serie se suman, haciendo que para el instante considerado en la figura anteriormente dicha, el anillo cercano a la polea sea negativo ya que del mismo salen electrones que pasando por el instrumento se dirigen al anillo positivo.

A partir de determinado instante el lado A se desplazarán en sentido descendente y el lado B con sentido ascendente, siendo ésta una situación inversa a la recién consideradas las polaridades en los anillos se invertirán y por el instrumento circulará corriente en sentido contrario al indicado en la figura ya mencionada. El proceso descrito permite afirmar que la corriente obtenida es alterna, ya que periódicamente cambia su sentido de circulación.

Características de la corriente alterna

Sabiendo que la corriente alterna invierte periódicamente su sentido de circulación, interesa conocer cómo varía su valor a través del tiempo. Para evitar complicaciones, en la figura 25 no se indican las líneas de

INSTALACIONES ELÉCTRICAS

fuerza del campo inductor, simplemente se representan los extremos de la espira vistos de frente, señalando mediante un punto (.) la corriente que sale hacia la carga y con una cruz (x) el retorno de dicha corriente.

Para un giro completo (360°) dentro del campo inductor se indican simultáneamente los valores y polaridades de la tensión alterna, destacando además los grados de giro de la espira.

Posición 1 - Los lados A y B se desplazan paralelos a las líneas de fuerza, no las cortan, por ello la tensión inducida es nula.

Posición 2 - La espira está cumpliendo 45° de giro, ataca a las líneas del campo en forma oblicua, la tensión inducida no alcanza su máximo valor.

Posición 3 - Los lados de la espira, atacan perpendicularmente a las líneas de fuerza, por lo tanto, a los 90° de giro la tensión es máxima.

Posición 4 - Se cumplen 135° de giro, los lados de la espira tienden progresivamente a desplazarse paralelos a las líneas de fuerza, por ello la tensión inducida disminuye su valor.

Posición 5 - Se cumple medio giro (180°), la espira no corta líneas de fuerza, la tensión inducida es nula. Observar que los lados de la espira se encuentran en posición invertida respecto a la posición 1 (lado A a la

derecha y lado B a la izquierda) y que durante el primer medio giro la corriente “entra” (x) por el lado A y “sale” (.) por el lado B.

Posición 6 - Los lados de la espira inician el corte de las líneas de fuerza desplazándose en sentido opuesto al del primer medio giro, por ello se invierte la polaridad, resultando ser “saliente” la corriente en el lado A y “entrante” en el lado B.

Posición 7 - Los lados de la espira atacan perpendicularmente al campo, la corriente toma máximo valor.

Posición 8 - La espira corta oblicuamente a las líneas del campo, la tensión inducida disminuye.

Posición 9 - Los lados A y B se desplazan paralelos a las líneas del campo, la tensión inducida desaparece.

En resumen: la corriente alterna toma su máximo valor al cumplirse un cuarto de giro (90°) y tres cuartos de giro (270°). Los valores nulos corresponden a medio giro (180°) y un giro (360°).

En la parte inferior de la figura, se representaron los valores correspondientes a cada posición de la espira, vale observar que a partir de los 180° de giro, dichos valores se indican por debajo del eje del tiempo, para señalar que se ha invertido la polaridad de la tensión inducida.

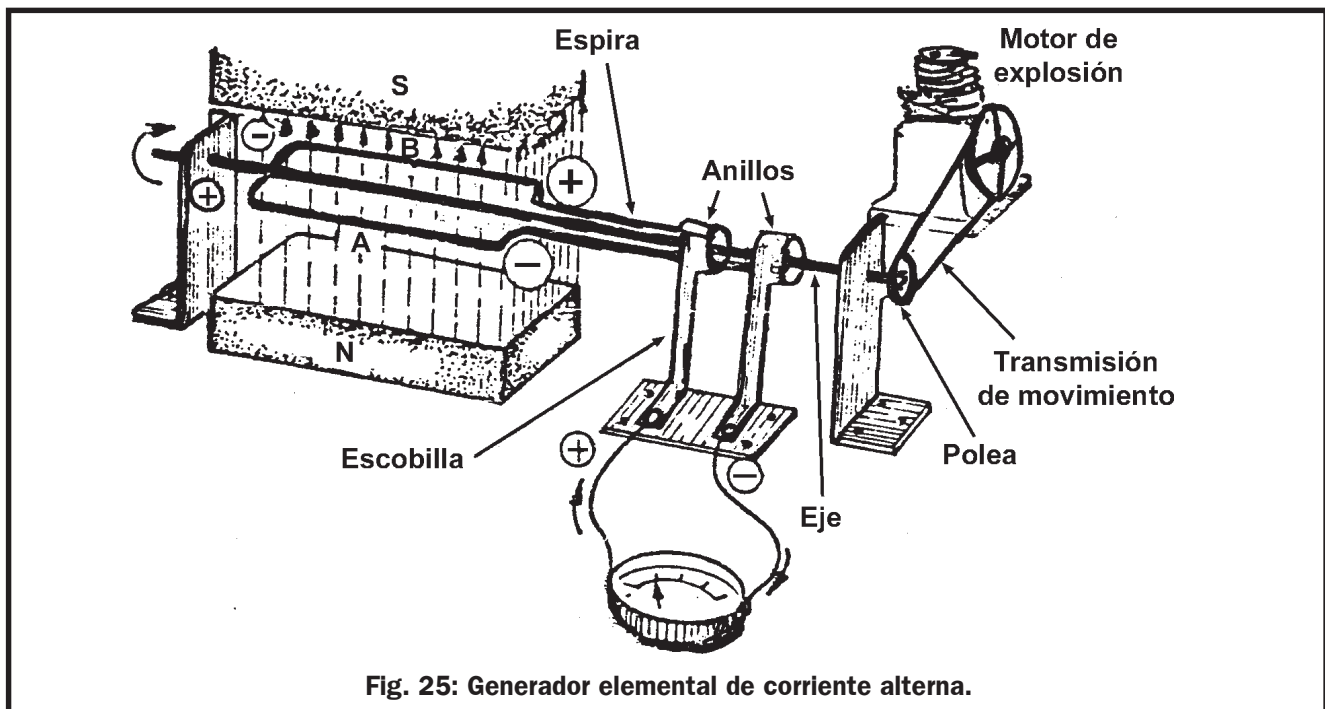
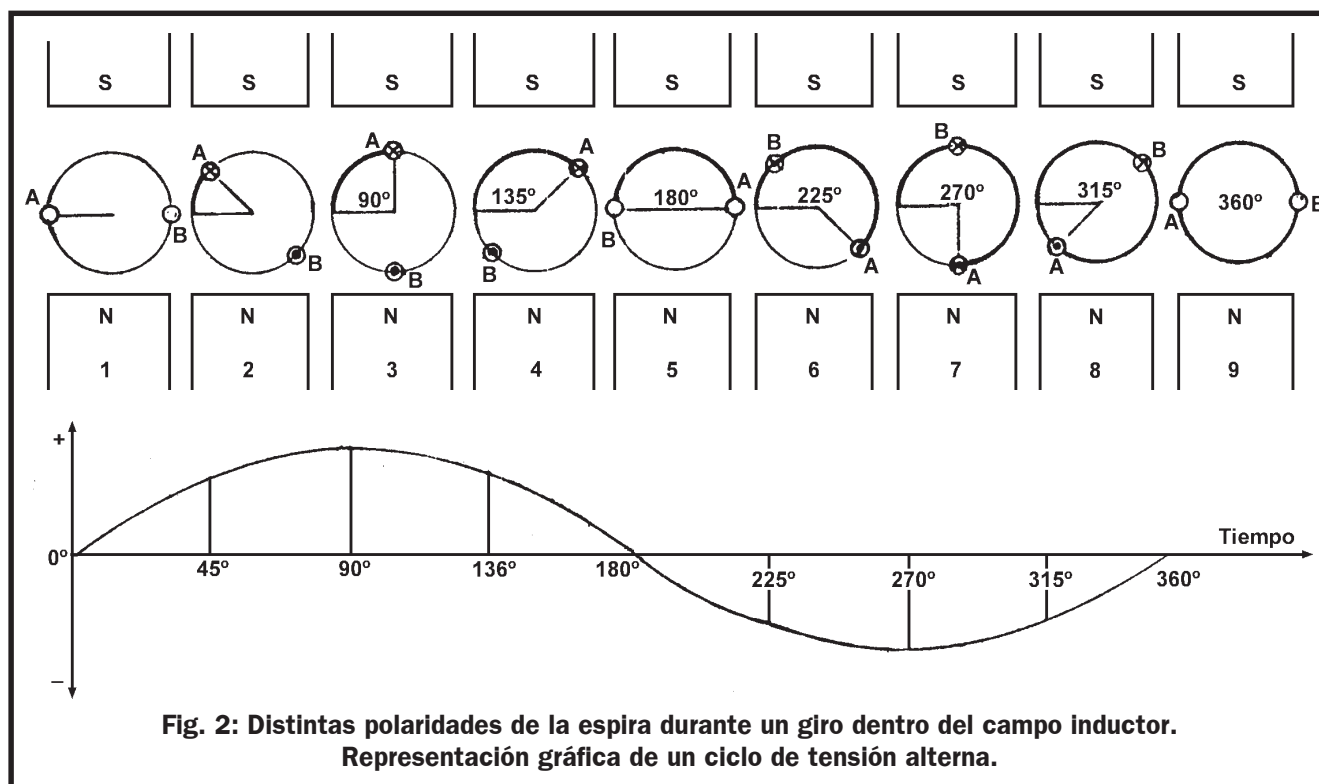


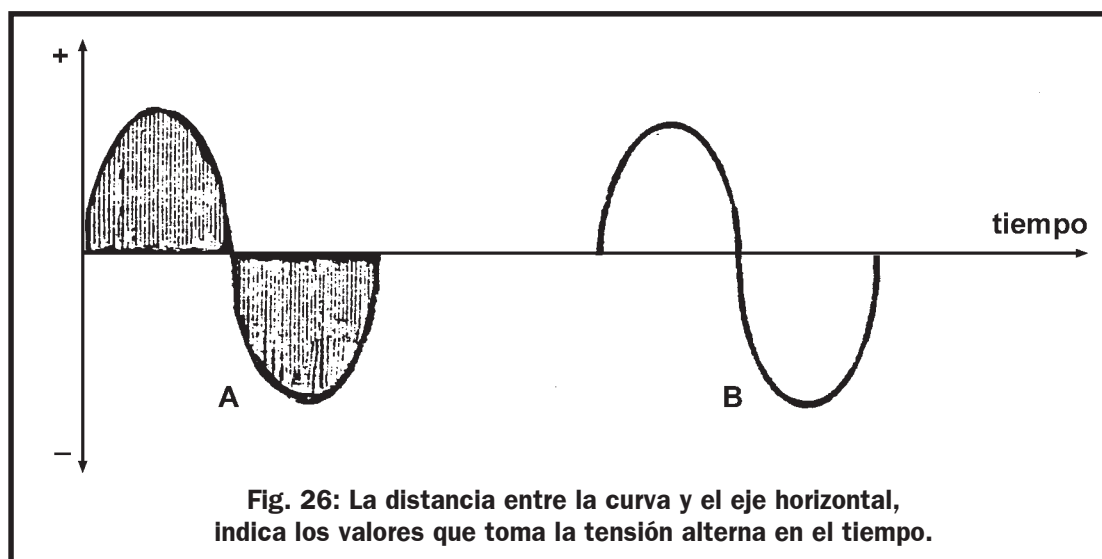
Fig. 25: Generador elemental de corriente alterna.



LA ONDA SENOIDAL

En la parte inferior de la figura anterior, se representó gráficamente una onda de tensión alterna donde se destacan algunos de sus valores. En caso de representarse una gran cantidad de valores el gráfico se asemejaría al caso A de la figura 3, los segmentos

que señalan el valor de la tensión en cada instante quedarían tan próximos que se formaría una onda "compacta". Por ese motivo se representa la onda senoidal como en el caso B de la figura inferior, donde cada punto de la misma representa el valor de tensión o corriente en el tiempo.



Terminología utilizada en las corrientes alternas

En el análisis de tensiones o corrientes alternas se usan términos que ayudan a la interpretación de los fenómenos que se desarrollan en los circuitos, veamos los más comunes.

Grados eléctricos- Establecen una relación entre el movimiento mecánico de la espira y la tensión generada, tal como se indicó en la figura 25, a los 90° y 270° de giro la tensión producida es máxima, resultando nula a los 180° y 360° . En resumen, para cada uno de los 360° de giro de la espira, corresponde un determinado valor de tensión.

Ciclo- Cuando la espira del generador cumple un giro, se dice que ha completado un ciclo. Se tendrá en cuenta que un ciclo se compone de dos partes, una llamada semiciclo positivo y la otra semiciclo negativo, representándose el primero sobre el eje tiempo y el segundo por debajo del mismo (figura 27).

Para definir un semiciclo como positivo o negativo es necesario un punto de referencia; si éste es el lado B de la espira de la figura 25, durante los primeros 180° de giro, el lado A resultará ser positivo (respecto a B) y en los 180° restantes para completar el giro, el lado A es negativo respecto a B.

Frecuencia- Se denomina frecuencia de la corriente alterna a la cantidad de ciclos que se generan en el tiempo de un segundo. La figura 28 representa una frecuencia de dos ciclos y otra de cinco ciclos, obsérvese que el eje tiempo abarca un segundo en ambos casos.

La frecuencia se representa con la letra **f**, siendo costumbre agregar la expresión c/s a continuación del valor numérico, por ejemplo, $f = 2 \text{ c/s}$. Técnicamente la unidad no se denomina 1 c/s, sino 1 Hertz (1 Hz) ambas formas se encuentran en la literatura técnica.

Espectro de frecuencias- Sin hacer referencia al tipo de generador utilizado, las frecuencias pueden comprender desde unos pocos ciclos por segundo hasta muchos millones de c/s.

Las audiofrecuencias, comprendidas entre 20 y 20.000 c/s, así llamadas porque cubren la gama de audición del ser humano. Por ejemplo, si una CA de 1.000 c/s circula por la bobina móvil de un parlante,

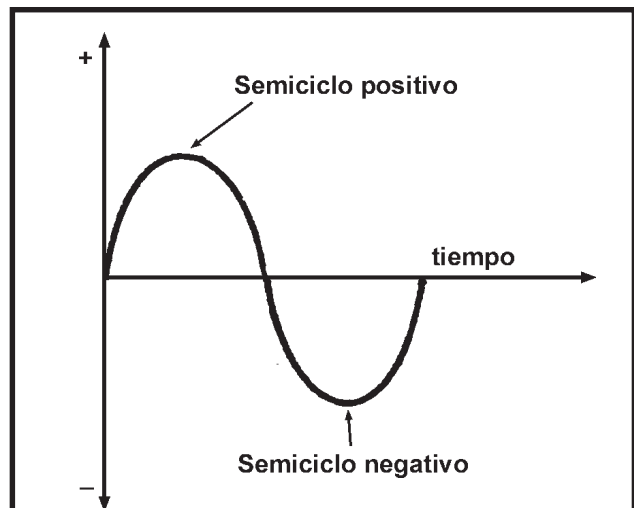


Fig. 4: Un ciclo de corriente alterna, está formado por dos semiciclos: uno positivo y otro negativo, los que representan sobre y por debajo del eje tiempo respectivamente.

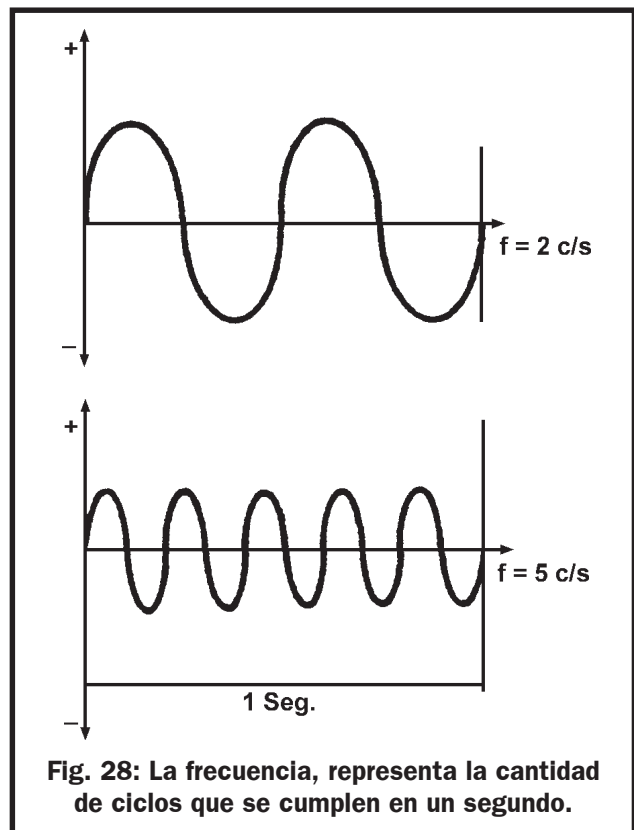


Fig. 28: La frecuencia, representa la cantidad de ciclos que se cumplen en un segundo.

el cono del mismo vibrará produciendo un tono audible de 1.000 c/s.

Las radiofrecuencias, incluyendo las usadas en radiodifusión, estaciones de aficionados, equipos de barcos y aviones, televisión, radar, etc., son del orden de millares y millones de ciclos por segundo.

Para simplificar su manejo numérico se utilizan múltiplos; ellos son:

- El Kilociclo (K c/s), que equivale a 1.000 c/s.
- El Megaciclo (M c/s), que equivale a 1.000.000 c/s.

Período: Representa el tiempo necesario para que se cumpla un ciclo, se conoce aplicando la fórmula $t = 1/f$. En el caso de la frecuencia de línea la duración de un ciclo será:

$$t = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0.02 \text{ segundo}$$

Valor instantáneo- Es sabido que en cada posición que va tomando la espira durante su giro, se reproduce un determinado valor de tensión o corriente. Dichos valores, que corresponden a cualquier instante considerado del ciclo, se denominan valores instantáneos,

Valor máximo- Durante un ciclo se producen dos valores máximos, uno positivo y el otro negativo, corresponden respectivamente a los 90° y 270° de giro de la espira dentro del campo.

Valor eficaz- Es aquel valor de corriente alterna capaz de producir el mismo efecto térmico que un valor conocido de corriente continua. Cuando se dice que la tensión de líneas es de 220 Volt. se quiere significar que dicha tensión (que cambia de polaridad y valor permanentemente) puede producir el mismo efecto térmico, por ej. calentar un soldador, que 220 volt de continua.

Relación entre el valor máximo y el eficaz- Para facilitar el ejemplo tomaremos como referencia la tensión de línea. Si durante ciertos momentos del ciclo la tensión es muy baja, es evidente que los valores máximos deben sobrepasar los 200 volt, para “promediar” el efecto térmico ya mencionado. Para calcular el valor máximo de una tensión (o corriente) alterna se aplica la siguiente fórmula:

$$V_{\text{máx.}} = V_{\text{eficaz}} \times 1,41$$

para la tensión de línea, el voltaje máximo será:

$$V_{\text{máx}} = 220 \times 1,41 = 310 \text{ v. aproximadamente.}$$

Vale tener presente que los voltímetros comunes miden la tensión eficaz, por esa razón la fórmula anterior tiene gran importancia práctica cuando se desea conocer el valor máximo (también llamado de cresta o pico)

LA BOBINA EN CORRIENTE ALTERNA

Es sabido que la Inductancia de una bobina impone una demora a la corriente para que ésta tome el valor indicado por la Ley de Ohm.

Simplificando este comportamiento eléctrico podemos decir que:

- 1) Al aumentar la tensión aplicada a una bobina, la corriente es obligada a demorar su crecimiento.
- 2) Al disminuir la tensión aplicada a una bobina, la corriente es obligada a demorar su decrecimiento.

En resumen: las bobinas se oponen tanto a un aumento de corriente como a una disminución de la misma.

En realidad, todos los elementos de un circuito (incluyendo el alambre de conexión) tienen cierta inductancia, pero en la práctica se conocen como inductores a aquellos elementos específicamente destinados a tal fin.

REACTANCIA INDUCTIVA (XL)

Se analizará el comportamiento de circuitos inductivos para interpretar que representa la reactancia inductiva y cuáles son sus características fundamentales.

La figura 6 muestra una misma bobina conectada a dos generadores de CA que entregan distinta frecuencia. Como toda bobina se opone a los cambios de corriente, la oposición será mayor en el circuito que trabaja con 50 c/s que en el que actúan 25 c/s.

Conclusión: a medida que aumenta la frecuencia, la oposición que ofrece una bobina se hace mayor.

La segunda figura, representa un generador de 50 c/s de tensión alterna al que se conectaron sucesiva

mente una bobina de baja inductancia y otra de alta inductancia. Si bien la corriente tiende a variar igual cantidad de veces en ambos casos (la frecuencia es la misma), la oposición crece en el circuito de mayor inductancia.

Conclusión: para una determinada frecuencia, una bobina ofrece mayor oposición cuando mayor es su inductancia.

Concretando: la Reactancia Inductiva (X_L) es la oposición que una bobina ofrece a la corriente alterna. Dicha oposición se considera en Ohm y aumenta cuando crece la frecuencia o la inductancia se hace mayor.

La reactancia inductiva queda expresada mediante una fórmula que condensa los conceptos recién considerados, ella es, $X_L = 2\pi$ ($\pi = 3,1416 \times F \times L = \text{ohm}$).

Se trata de una simple multiplicación interviene como factor constante 2π que equivale a 6,28, puede notarse que si los valores de F y L son grandes el resultado será mayor, lo que coincide con lo visto, ya que a ma-

yor frecuencia y/o mayor inductancia la reactancia inductiva se hace mayor.

TRANSFORMADORES

Los transformadores son máquinas eléctricas que permiten la transferencia de potencia por intermedio de campos magnéticos. Estos dispositivos no cambian la potencia que les entrega la fuente, simplemente la transforman con las magnitudes de tensión y corriente necesarias para una aplicación determinada.

Principios de funcionamiento del transformador

Un transformador está formado básicamente por dos arrollamientos acoplados magnéticamente tal como lo indica el esquema de la figura 8. En este caso el acoplamiento es facilitado por la alta permeabilidad magnética de un núcleo de hierro, vale aclarar que el

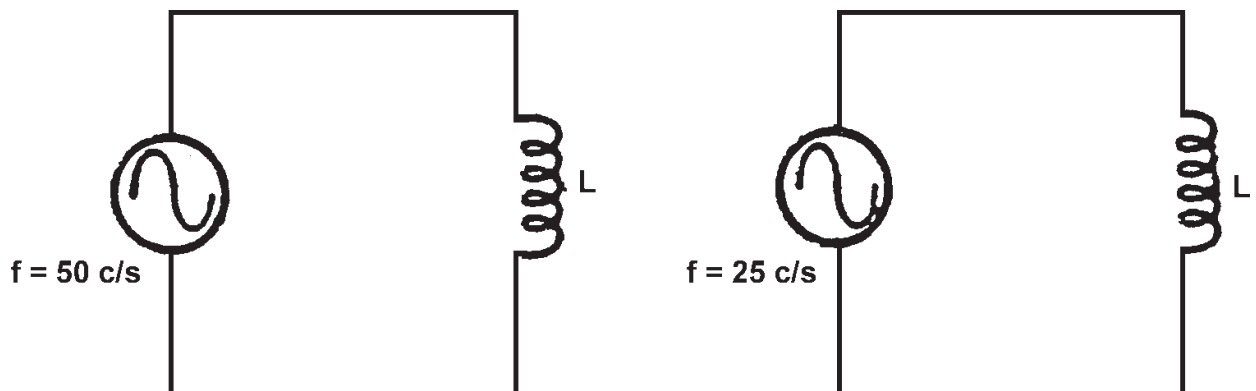


Fig. 6: A medida que aumenta la frecuencia, crece la oposición a la bobina.

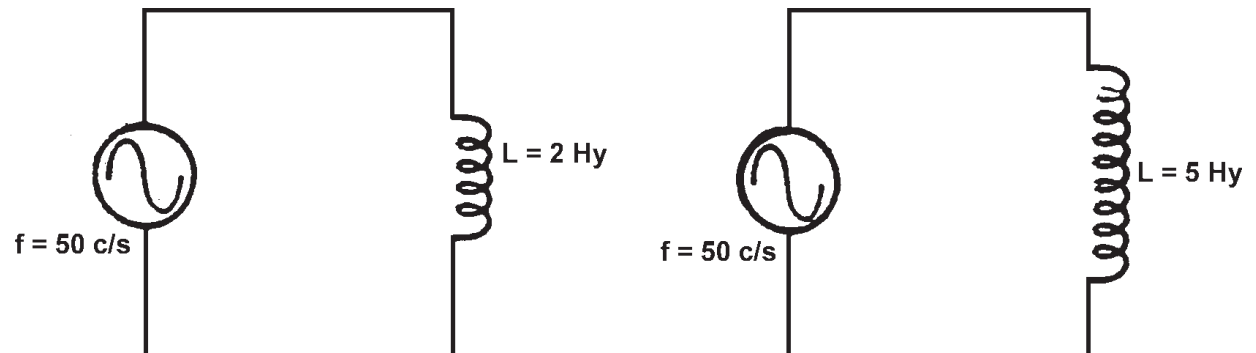


Fig. 30: A medida que aumenta la inductancia, crece la oposición a la bobina.

bobinado que recibe energía desde la fuente se llama primario y el bobinado que entrega energía al elemento de consumo se denomina secundario.

Si el primario se conecta a una fuente de corriente alterna, aparece un campo magnético que varía su valor y polaridad en el tiempo. Dicho campo magnético cierra su circuito por el núcleo del transformador, en consecuencia, el bobinado secundario abarca un flujo variable que induce en dicho arrollamiento una tensión alterna.

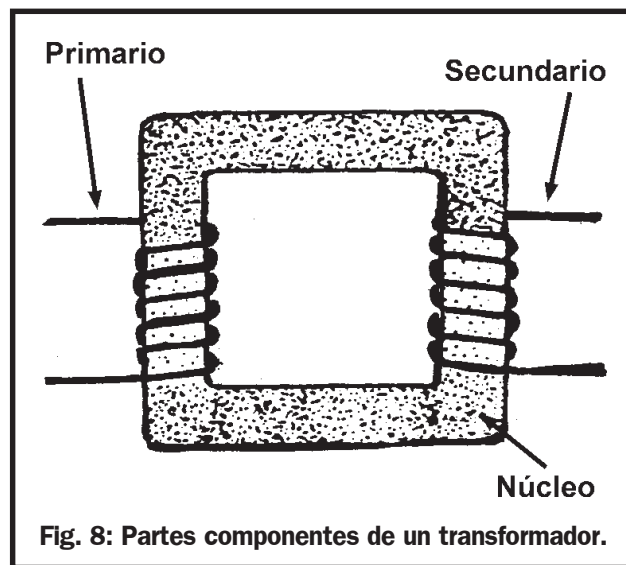
Si el arrollamiento secundario se conecta a un elemento de consumo (carga), circulará una corriente que dependerá de la tensión inducida en el secundario y del valor de la resistencia que actúa como carga.

Transformador elevador de tensión

En estos transformadores el número de espiras del bobinado secundario es mayor que la cantidad de espiras del arrollamiento primario.

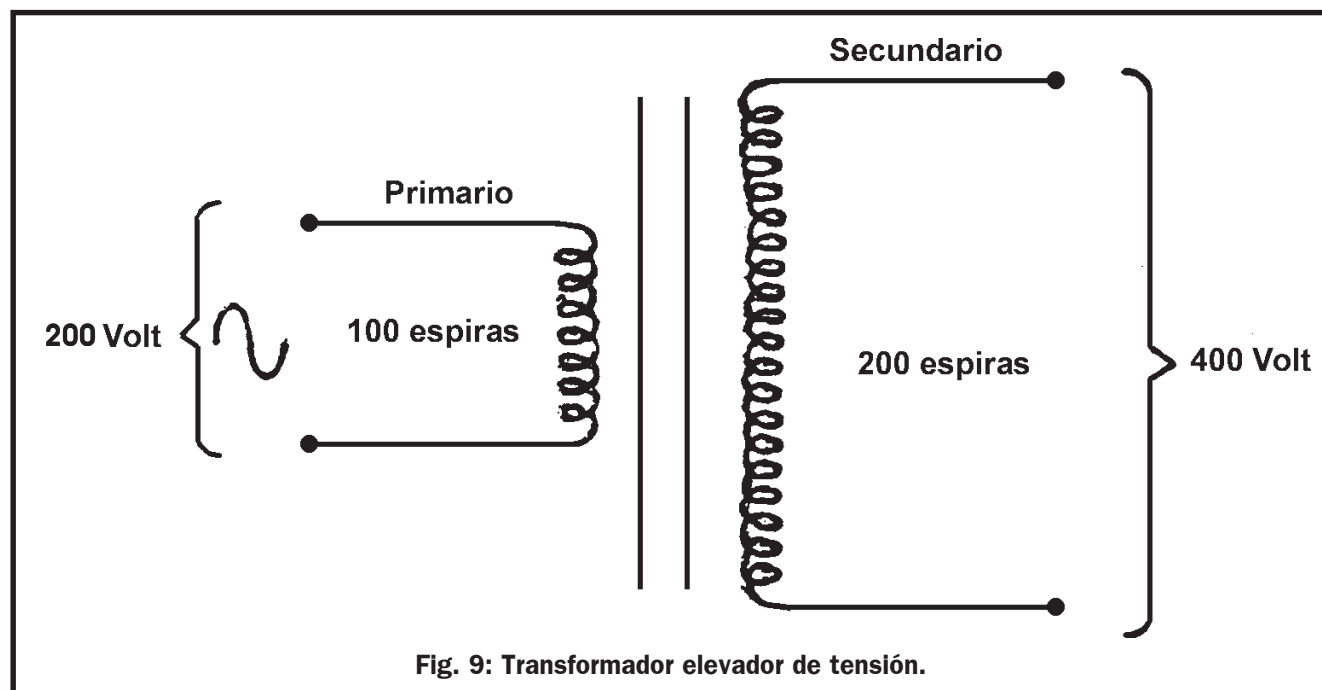
En la figura inferior, se muestra el esquema de un transformador que posee 100 espiras en el primario y 200 espiras en el secundario.

Si el bobinado primario recibe una tensión de 200



volt, es evidente que la misma se distribuye a razón de dos volt por espira.

Si todo el campo magnético del primario influye sobre el secundario, teniendo éste 200 espiras a razón de dos volt por espira, la tensión secundaria mayor que la primaria se trata de un elevador de tensión.



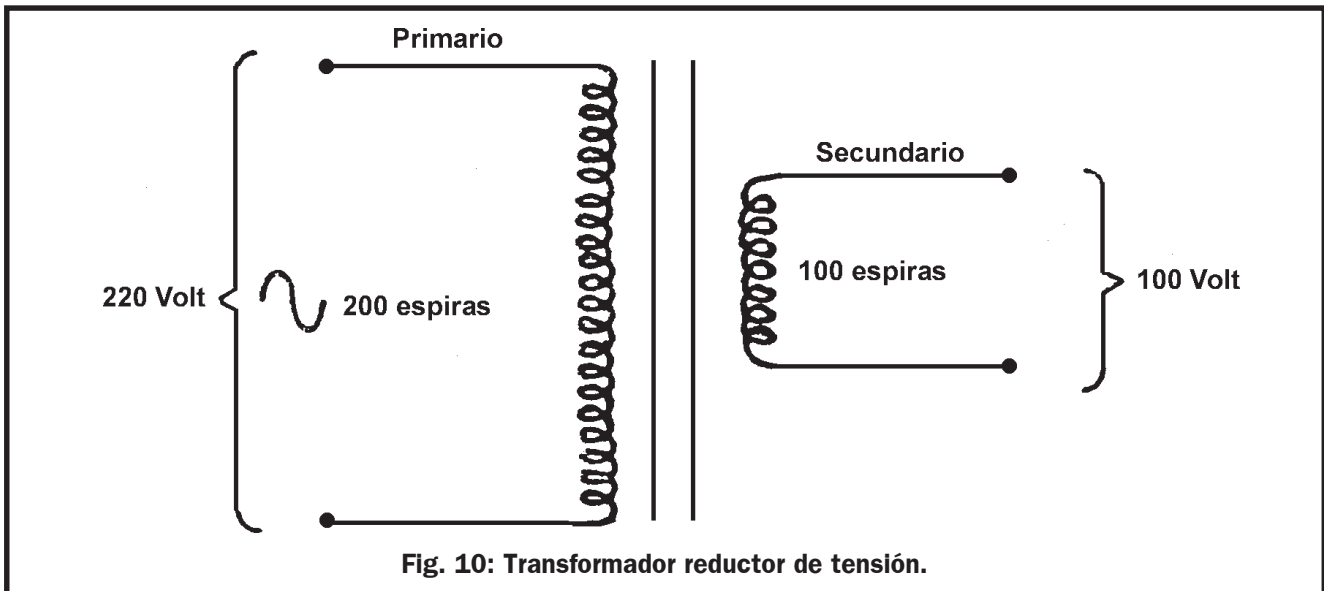
Transformador reductor de tensión

En estos transformadores el número de espiras del bobinado secundario es menor que la cantidad de espiras del arrollamiento primario. En la figura 10 se representa un transformador que posee 200 espiras en el arrollamiento primario y 100 espiras en el se-

cundario; si el bobinado primario tiene aplicada una tensión de 200 volt, la distribución de tensión resulta ser de un volt por espira.

Si todo el campo del bobinado primario influye sobre el arrollamiento secundario, la tensión en este último resulta ser $1 \times 100 = 100$ volt.

Si la tensión secundaria es menor que la primaria, se trata de un transformador reductor de tensión.

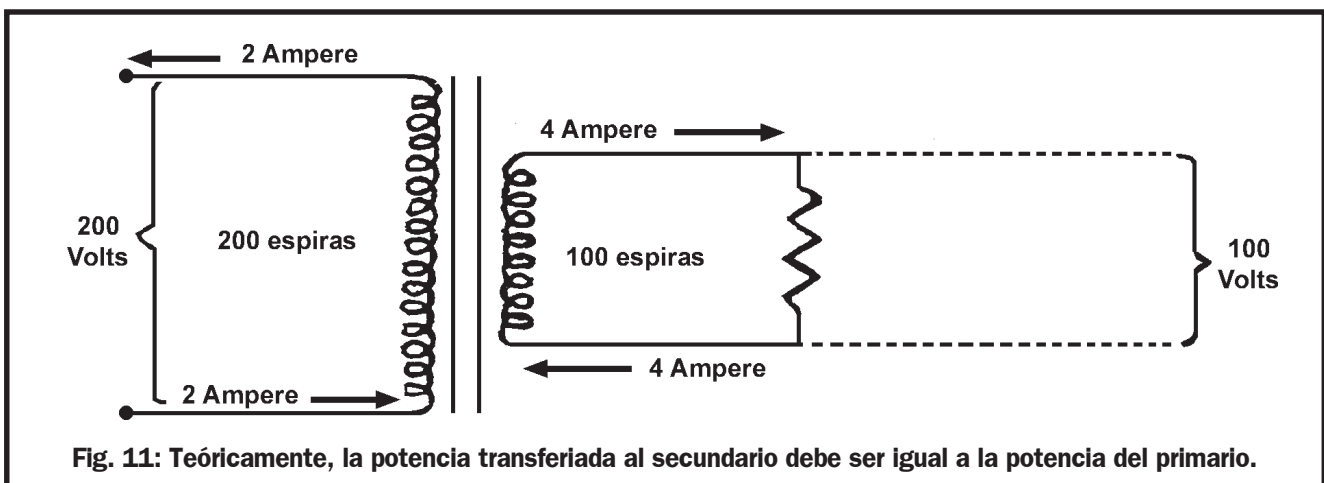


LA POTENCIA DE LOS TRANSFORMADORES

Se considera el caso ilustrado en la figura 11. Un transformador reductor de tensión tiene doble cantidad de espiras en el primario respecto al secundario,

por ese motivo, si al arrollamiento primario se aplican 200 volt, en el bobinado secundario se inducen 100 volt.

Al conectar una resistencia de 25 ohm al secundario, la corriente circulante es dicho circuito dependerá de la Ley de Ohm, es decir:



$$\text{Intensidad secundaria} = \frac{\text{Tensión Secundaria}}{\text{Resistencia}} = \frac{100}{25} = 4 \text{ ampere}$$

Si la tensión del circuito secundario es 100 volt y la corriente circulante vale 4 ampere, es evidente que en dicho circuito se disipa una potencia de:

$$\begin{aligned} \text{Potencia secundaria} &= \text{tensión} \times \text{intensidad} \\ \text{Potencia secundaria} &= 100 \times 4 = 400 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Los 400 Watt que se disipan en el secundario son provistos por el generador que alimenta al primario, ya que la energía que se desarrolla sobre la resistencia de carga no puede salir de la nada.

Teóricamente se puede afirmar que en los transformadores la potencia del primario y del secundario son iguales, por ese motivo, si en el primario existen 200 volt, la corriente primaria será 2 ampere, ya que la potencia es 200 volt x 2 ampere = 400 Watt.

Lo anterior permite afirmar en un transformador reductor de tensión, en el circuito secundario, en la misma proporción que disminuye la tensión aumenta la corriente.

Observe que con respecto al primario la tensión secundaria se redujo a la mitad, simultáneamente la corriente secundaria aumentó el doble.

En los transformadores elevadores de tensión ocurre exactamente lo mismo, es decir, para que la potencia en el circuito primario y secundario se mantengan iguales, a todo aumento de tensión en el secundario corresponde una disminución proporcional de la corriente.

Rendimiento de los transformadores

La igualdad de la potencia entre el circuito primario y secundario de los transformadores es una condición teórica ya que existen pérdidas que pasamos a considerar:

a) Pérdidas por efecto resistivo del alambre. La resistencia óhmica de los arrollamientos producen una cierta disipación de calor, dicha energía no puede utilizarse en la carga, razón por la cual representa una pérdida.

b) Pérdidas por histéresis. El núcleo del transformador se magnetiza alternativamente, se comprueba que ofrece una cierta oposición a cambiar su sentido de

magnetización, es decir, antes de producirse un cambio de polarización se debe vencer el magnetismo remanente del material, lo que supone un gasto de energía que no puede emplearse sobre la carga.

c) Pérdidas por corrientes de Foucault. Son producidas por la inducción de corrientes en el núcleo de hierro del transformador, ya que dichas corrientes no pueden utilizarse en el circuito secundario porque el núcleo está aislado de los arrollamientos, constituyen una pérdida.

Las pérdidas consideradas hacen que en un transformador la potencia disponible en el circuito secundario resulte ser siempre inferior a la potencia presente en el primario, por ello, se entiende por rendimiento del transformador a la relación entre dichas potencias. Por ejemplo, se dice que un transformador tiene un rendimiento del 98% cuando se aprovechan 98 watt en el secundario por cada 100 watt presentes en el circuito primario.

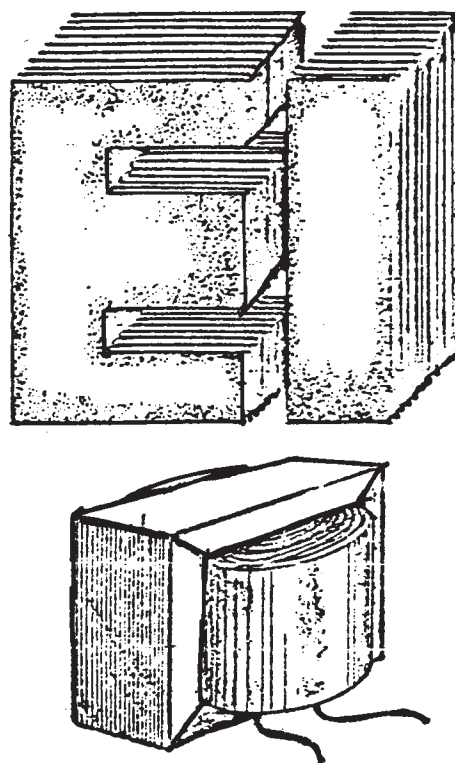


Fig. 12: Las pérdidas por corrientes de Foucault se reducen empleando núcleos en forma de laminaciones aisladas entre sí.

Polaridad de la tensión del secundario de un transformador

Dado que la corriente secundaria es inducida, de acuerdo a la Ley de Lenz, producirá, un campo magnético en oposición a la causa que la genera. Para que dicho campo se encuentre en oposición con el campo primario, la corriente en el secundario debe circular necesariamente en un sentido que le permita cumplir esa condición y ello depende del sentido de arrollamiento del bobinado. Si bien el análisis teórico de lo expresado resultaría ser complejo, a los fines prácticos consideramos dos posibilidades:

1) Polaridades fuera de fase. El sentido de los arrollamientos se observa en la siguiente figura, la tensión inducida en el secundario es de polaridad opuesta a la tensión del primario. En algunos circuitos el símbolo correspondiente se representa como lo indi-

ca la figura ya mencionada, o bien sin los puntos que indican terminales de igual polaridad. Se tendrá en cuenta que en los transformadores de esta clase se dice que **defasan 180°** porque la tensión secundaria tiene polaridad opuesta a la primera.

2) Polaridades en fase. Es el caso que muestra la figura inferior, obsérvese que se ha invertido el sentido de arrollamiento del secundario. La tensión inducida en el secundario tiene igual polaridad que la tensión en el primario. El símbolo de estos transformadores suele indicarse con puntos a un mismo nivel o bien con el secundario conservando la misma dirección que el arrollamiento primario.

CAPACITORES

Son elementos que cumplen ilimitado número de funciones en los circuitos electrónicos, por ejemplo, colaboran en el logro de una corriente continua en las fuentes de alimentación, transfieren señales eléctricas

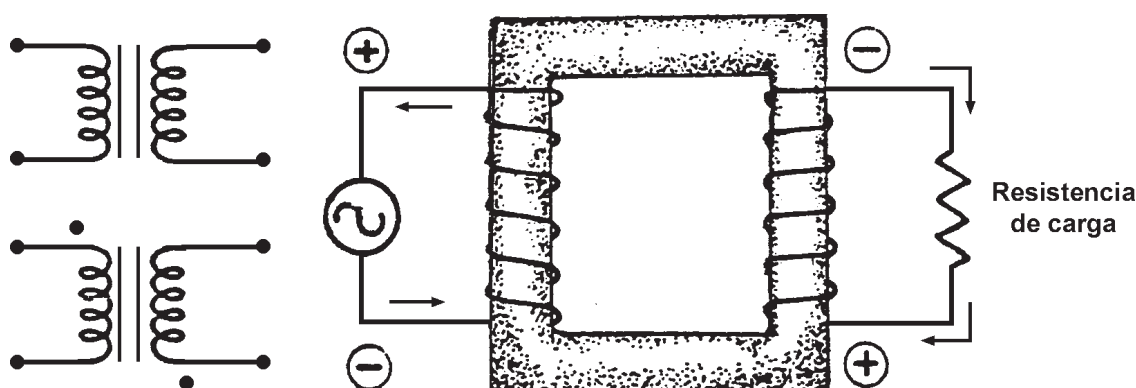


Fig. 13: Polaridad fuera de fase.

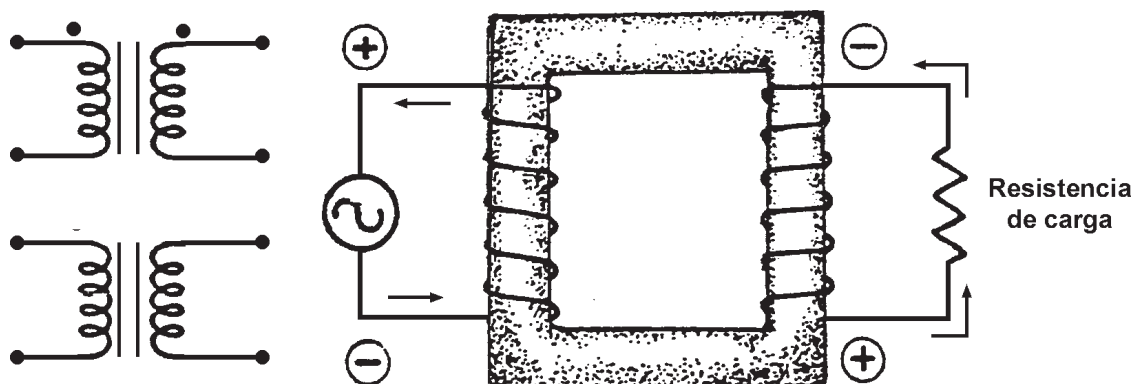


Fig. 14: Polaridad en fase.

cas de una a otra etapa de un equipo, forman parte de los circuitos de sintonía en los receptores, etc.

Consecutivamente un capacitor elemental está formado, tal como lo indica la figura superior, por dos placas metálicas enfrentadas, aisladas entre sí por un medio llamado dieléctrico. La propiedad fundamental de los capacitores consiste en poder almacenar cargas eléctrica en sus armaduras.

El capacitor en corriente continua

Se analizará a continuación el comportamiento de un capacitor que por intermedio de una resistencia en serie es conectado a una fuente de tensión continua.

Chapas metálicas (Armaduras)

En la figura inferior, se observa que el capacitor no recibe alimentación alguna ya que la llave bipolar se encuentra abierta. Es muy importante tener presente que las armaduras del capacitor se encuentran en estado eléctrico neutro ya que todos los átomos que la forman tienen igual cantidad de cargas positivas que negativas.

En la figura de la siguiente página, se muestra una secuencia de la carga del capacitor, se la analiza en tres etapas :

1) Apenas cerrada la llave, considerando un brevísimo intervalo de tiempo, la situación es la siguiente: el capacitor se encuentra en estado neutro porque no ha transcurrido tiempo suficiente como para que la fuente le entregue corriente ya que en serie se encuentra la resistencia. En consecuencia, la intensidad de corriente es máxima y queda determinada por la tensión de la fuente y el valor de la resistencia.

2) Ha transcurrido más tiempo, la armadura superior está recibiendo electrones (a través de R) desde el borne negativo de la batería, por ello dicha armadura comienza a hacerse negativa. Simultáneamente el borne positivo de la fuente, toma electrones a los átomos de la armadura inferior, por lo tanto dicha armadura se hace positiva.

Si bien no ha transcurrido tiempo suficiente como para que la diferencia de potencial entre armaduras iguale a la tensión de la fuente, es evidente que dicha diferencia de potencial se encuentra en oposición a la batería, por lo tanto la corriente de carga disminuye su valor.

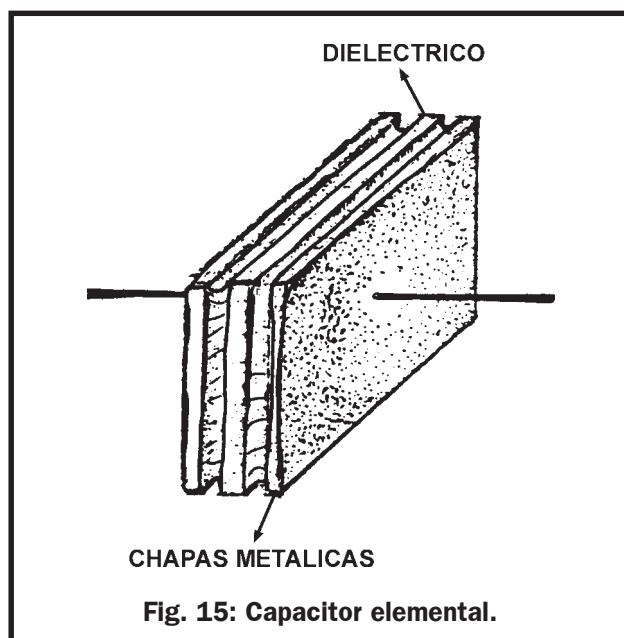


Fig. 15: Capacitor elemental.

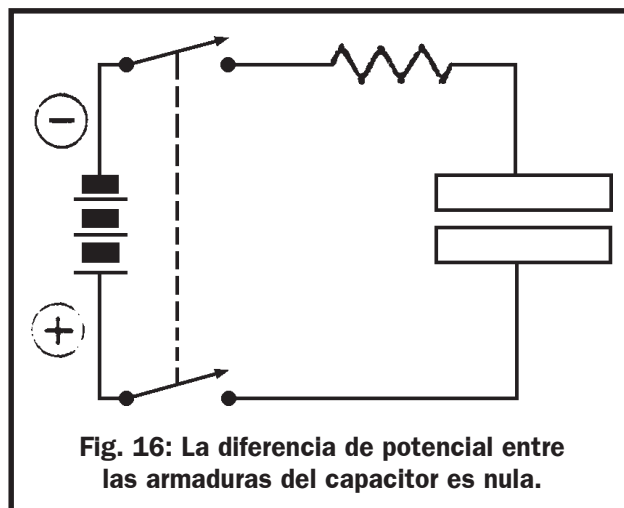


Fig. 16: La diferencia de potencial entre las armaduras del capacitor es nula.

Se tendrá presente que la misma cantidad de electrones que ingresa a la armadura superior es la que escapa desde la armadura inferior hacia la fuente, aunque a través del capacitor no ha circulado corriente, ya que entre placas existe un material aislante.

3) La diferencia de potencial existe entre las armaduras del capacitor aumentó hasta igualar a la tensión de la fuente, ante esta situación deja de circular corriente y se considera que el capacitor está cargado.

Descarga del capacitor

Si se desconecta la fuente de alimentación y se unen los terminales del circuito en la forma indicada en la figura 18, el capacitor se descarga.

En efecto, en el momento inicial existe un exceso de electrones en la armadura superior y un faltante en la inferior, por ese motivo se establece una corriente de descarga en el sentido indicado.

A medida que se van neutralizando las cargas eléctricas, la diferencia de potencial entre las armaduras disminuye y la corriente de descarga se hace menor, hasta que finalmente las armaduras se hacen eléctricamente neutras y el capacitor se considera descargado.

Unidad de capacitancia

La capacidad eléctrica es la aptitud de un capacitor para almacenar carga, esa propiedad depende de detalles constructivos de los capacitores, por ejemplo, cuanto mayor es la superficie de enfrentamiento de las armaduras y más próximas se encuentran, la capacidad aumenta.

También influye el medio aislante o dieléctrico, por ejemplo, si a un capacitor con dieléctrico de aire se agrega mica como aislante, la capacidad aumenta aproximadamente 7 veces (se dice que la constante dieléctrica de la mica vale 7).

Existiendo la posibilidad de distintos valores de capacidad, es imprescindible una unidad para considerar dicho fenómeno eléctrico, ella es el Faradio.

Un faradio representa la condición de un capacitor, al que se aplica una tensión de 1 volt. y almacena una carga de un coulomb.

En la práctica el faradio resulta ser una unidad excesivamente grande. Por ello se usan submúltiplos:

- microfaradio (μF) = 1 millonésimo de Faradio
- picofaradio (pF) o (pF) = 1 millonésimo de microfaradio
- nanofaradio (nF) = milésimo de microfaradio

Aislación

El dieléctrico que separa las placas o armaduras del capacitor, cualquiera sea su tipo, no es perfecto. Por ese motivo, el voltaje que puede soportar dicho aislante sin perforarse fija el límite máximo de tensión que puede aplicarse al capacitor sin deteriorarse. Próxi-

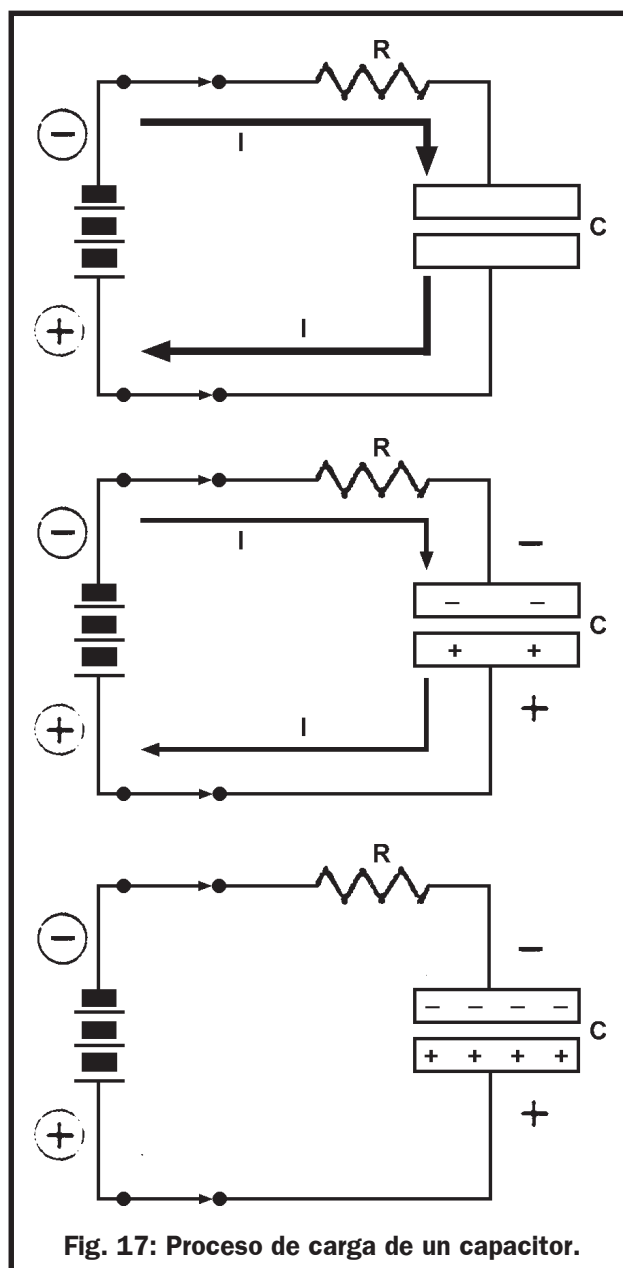


Fig. 17: Proceso de carga de un capacitor.

mamente ampliaremos detalles prácticos al respecto.

Constante de tiempo

Es importante conocer como varía la tensión en el capacitor y la corriente en un circuito resistivo capacitivo (RC) serie, durante el proceso de carga y descarga.

INSTALACIONES ELÉCTRICAS

En la figura inferior, se representa un circuito RC serie cuyos valores son respectivamente 1 Megohm y 3 mF, siendo la tensión de la fuente 100 volts. Es sabido que al cerrar la llave interruptora la corriente circulante se ve limitada únicamente por la resistencia; a partir de esa condición el capacitor comienza a cargarse y la tensión que aparece en sus armaduras limita progresivamente la circulación de la corriente.

Cuando la tensión del capacitor iguala a la tensión de la fuente, la corriente deja de circular considerándose que ha concluido la carga.

Es evidente que el tiempo necesario para que se cumpla la carga del capacitor depende de dos factores:

La resistencia- a mayor resistencia menor será la corriente de carga lo que impone una demora en el

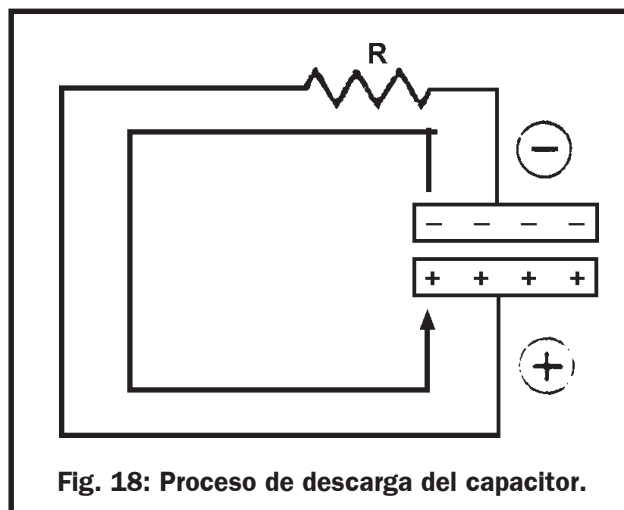


Fig. 18: Proceso de descarga del capacitor.

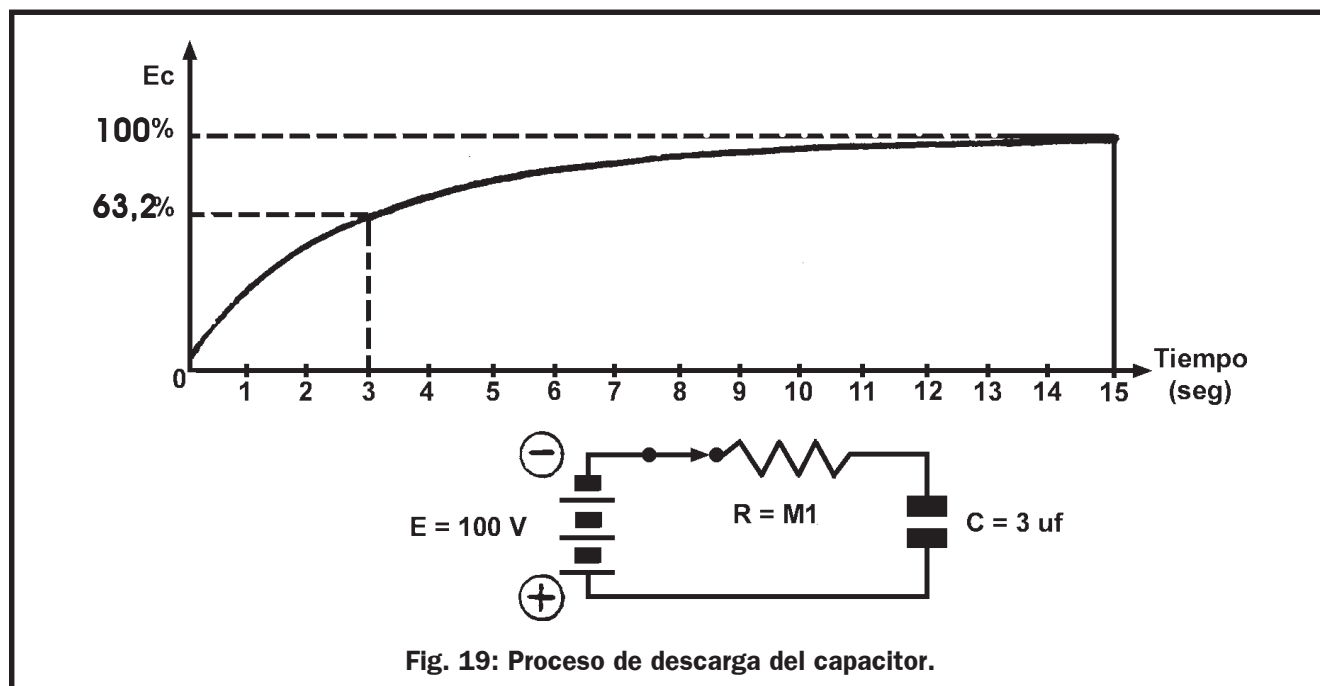


Fig. 19: Proceso de descarga del capacitor.

proceso.

La capacidad- a mayor capacidad se necesita más carga para igualar la tensión de la fuente, el tiempo necesario para lograr esa condición debe ser mayor.

En resumen: el tiempo de carga del capacitor depende en forma directamente proporcional de la resistencia en serie y del valor de capacidad.

La experiencia demuestra que al multiplicar la resistencia por la capacidad se obtiene el tiempo (en segundos) necesario para que el capacitor alcance en

tre sus placas una diferencia de potencial equivalente al 63,2% de la tensión de la fuente.

Para los valores del circuito de la figura 4, la constante de tiempo (Kt) será:

$$Kt = R \times C$$

$$Kt = 1 \times 3 = 3 \text{ segundos}$$

Para simplificar el cálculo se considera la resistencia en Megohm y la capacidad en Microfaradios.

En el gráfico correspondiente se observa en que forma crece la tensión en las armaduras del capacitor;

puede notarse que al cabo de 3 segundos de iniciada la carga posee aproximadamente el 63% de la tensión total, que en este caso es 63 volt. porque se eligió una fuente de 100 volt.

La carga total del capacitor exige un tiempo cinco veces mayor que la constante de tiempo. Para nuestro ejemplo será: $5 \times 3 = 15$ segundos. En el gráfico se observa que al cabo de 15 segundos la tensión del capacitor alcanza la tensión de la fuente.

La descarga del capacitor obedece al mismo régimen explicado para la carga, es decir, para los valores considerados de R y C al cabo de tres segundos el capacitor habrá perdido el 63% de su tensión y se encontrará descargado transcurridos 15 segundos de la iniciación del proceso.

Asociación de capacitores

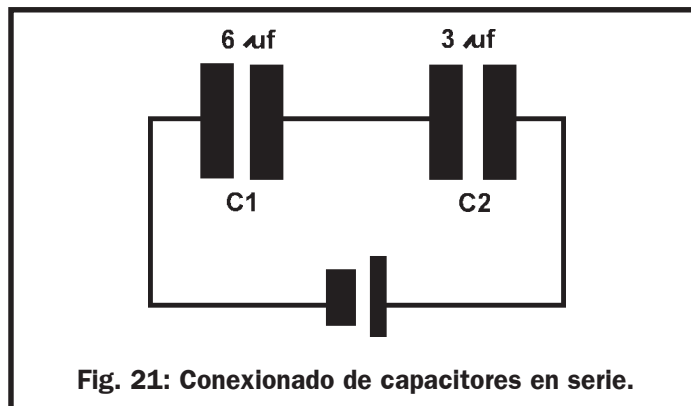
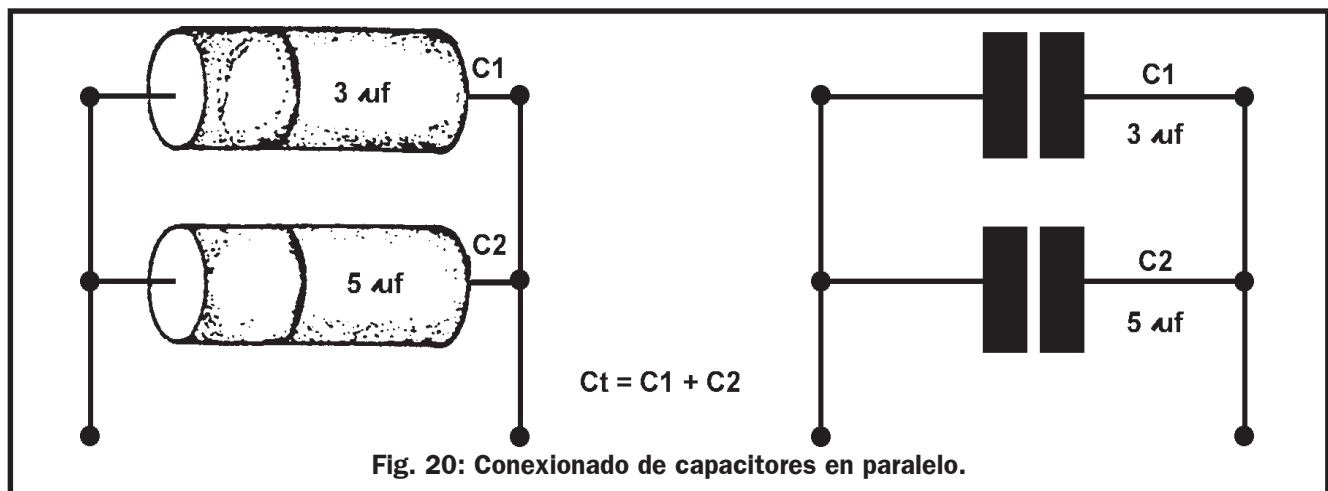
Se los puede disponer en paralelo y en serie. En la figura, se muestra el conexionado de dos capacitores en paralelo de 3 y 5 mF respectivamente; la capaci-

dad resultante equivale a la suma de los parciales, en este caso resulta ser:

$$\begin{aligned} C_{\text{total}} &= C_1 + C_2 \\ C_t &= 3 + 5 = 8 \text{ mF} \end{aligned}$$

La siguiente figura, se representa dos capacitores conectados en serie, en esta caso la capacidad total resultará ser menor que la menor de las capacidades del circuito. Para el cálculo de la capacidad total se procede a multiplicar los valores dividiendo luego dicho resultado por la suma de las capacidades. Para nuestro ejemplo:

$$C_{\text{total}} = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2} = \frac{6 \times 3}{6 + 3} = \frac{18}{9} = 2 \text{ mF}$$

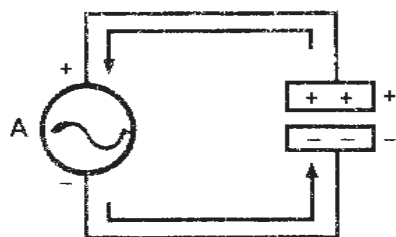


EL CAPACITOR EN CORRIENTE ALTERNA

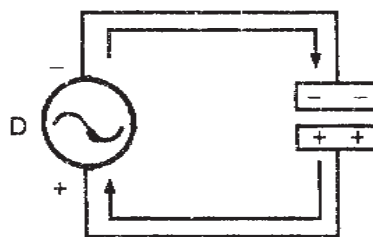
En los circuitos electrónicos una de las funciones más comunes de los capacitores es la de transferir señales entre distintas etapas. Entendiendo como señal a toda variación eléctrica que contiene información (palabra, música, etc.) estudiaremos el comportamiento de los capacitores cuando están sometidos a tensiones alternas, ya que éstas componen buena parte de las señales utilizadas en nuestra especialidad.

En la figura 1 se muestra una secuencia del comportamiento de un capacitor ante un ciclo de señal aplicada, para su interpretación bastará tener presente que en corriente alterna un capacitor se carga cuando la tensión del generador es mayor que la ddp existente entre las armaduras. El capacitor se descargará cuando la tensión del generador es inferior a la que presentan las armaduras.

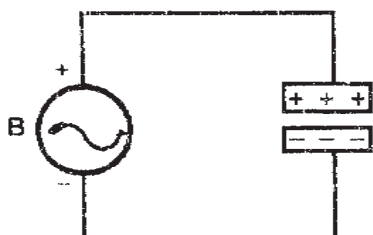
Se observará además que el símbolo de alterna representado en el generador, lleva marcado en trazo grueso la magnitud de tensión que dicho generador entrega en los instantes considerados; las armaduras contienen en forma simplificada las cargas correspondientes.



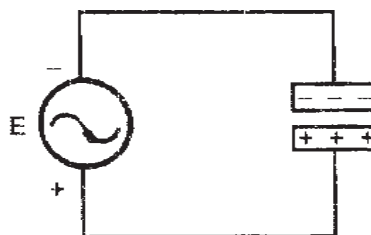
El capacitor se carga mientras la tensión del generador aumenta.



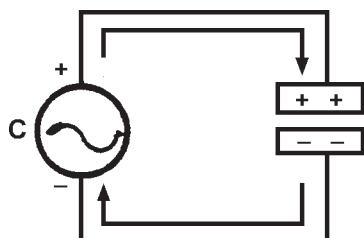
La tensión del generador se invierte y aumenta, el capacitor se carga con polaridad opuesta.



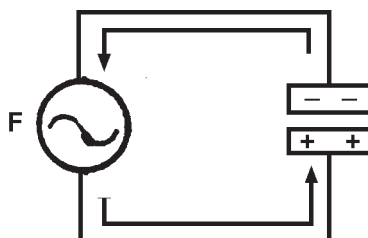
La tensión del generador y la tensión del capacitor son iguales, no circula corriente.



Las tensiones del generador y del capacitor se igualan, no circula corriente.



La tensión del generador disminuye, el capacitor se descarga.



La Tensión del generador disminuye, el capacitor se descarga.

Fig. 1: Comportamiento del capacitor durante un ciclo de tensión aplicada.

Situación A

La tensión del generador crece con la polaridad indicada.

Circula corriente, desde el borne negativo ingresando cargas (-) a la armadura inferior.

Simultáneamente la armadura superior cede electrones al generador por lo que presenta polaridad positiva.

Situación B

La tensión del generador llega al valor máximo, la carga de las armaduras también es máxima. En ese brevísimo instante se considera que no circula corriente y el capacitor se encuentra cargado.

Situación C

La polaridad del generador no cambia, pero su tensión decrece.

Por ese motivo el capacitor, que estaba cargado, comienza a entregar corriente al generador, es decir, se descarga.

Observar que la corriente de descarga tiene sentido opuesto a la de carga.

Situación D

Transcurrido el primer semiciclo, la tensión del generador se invierte y comienza a crecer. Esto significa que el capacitor ya se ha descargado (cuando la tensión del generador pasó por el valor cero) y se cumple una nueva carga con polaridad opuesta al semiciclo anterior.

Situación E

La diferencia de potencial que presentan las armaduras del capacitor iguala a la tensión del generador. En ese instante no circula corriente y se considera al capacitor cargado.

Situación F

La tensión del generador disminuye sin cambiar de polaridad. El capacitor, cargado al máximo, se descarga sobre el generador.

Conclusiones:

1) Por el dieléctrico no ha circulado corriente, a pesar de ello existe un desplazamiento electrónico desde los bornes del generador hasta las armaduras, durante el proceso de carga y descarga. Por ese motivo se acostumbra decir que los capacitores permiten el paso de la corriente alterna.

2) Durante un ciclo de tensión aplicada el capacitor se ha cargado dos veces y se descargó otras dos.

REACTANCIA CAPACITIVA (XC)

Analizaremos la reactancia capacitiva en dos etapas, en la primera de ellas se estudiará el comportamiento de un capacitor ante dos frecuencias de distinto valor.

En la figura 2 se suponen dos generadores que entregan 50 y 5000 ciclos respectivamente. Si dichos generadores acumulan en cada carga la misma cantidad de electrones en una armadura (o los quitan de la otra), es evidente que en cada carga (o descarga) del capacitor se moviliza la misma cantidad de corriente.

Es fácil deducir que en el circuito sometido a 5000 c/s circula mayor corriente ya que se producen más cargas y descargas del capacitor en el tiempo de un segundo.

Conclusión: a mayor frecuencia circula más corriente, por lo tanto la oposición será menor.

En la figura 3 un mismo generador alimenta a dos capacitores de distinto valor. Es evidente que ambos capacitores se cargan y descargan igual cantidad de veces por segundo, ya que la frecuencia de trabajo es la misma. Pero el capacitor mayor «moviliza» más corriente en cada carga y descarga, de manera que en ese circuito la Intensidad de corriente es más elevada.

Conclusión: a mayor capacidad circula más corriente por lo tanto la oposición será menor.

Definición: La reactancia capacitiva (XC) es la oposición que ofrece un capacitor a la circulación de corriente alterna.

FÓRMULA DE REACTANCIA CAPACITIVA

Tratándose de una oposición la reactancia capacitiva se considera en Ohm, se la calcula mediante una fórmula que responde a los conceptos recién explicados, es decir, si la capacidad y/o la frecuencia aumentan, el capacitor ofrece menor oposición a la circulación de corriente. Se trata de una simple división, ella es;

$$\text{Reactancia} = \frac{1}{2\pi \times \text{frecuencia} \times \text{capacidad}} = \text{ohm}$$

$$X_c = \frac{1}{6,28 \times F \times C} = \text{ohm}$$

Puede observarse que el número 1 está dividido por el producto 6,28 (constante) x F x C. Si la frecuencia y la capacidad son grandes, el número 1 queda dividido por un factor elevado, el resultado será una reactancia reducida.

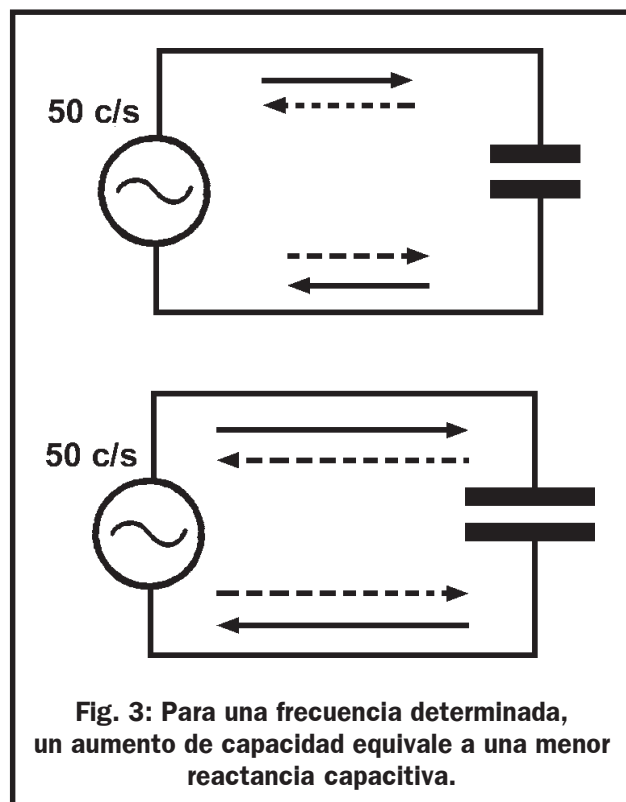
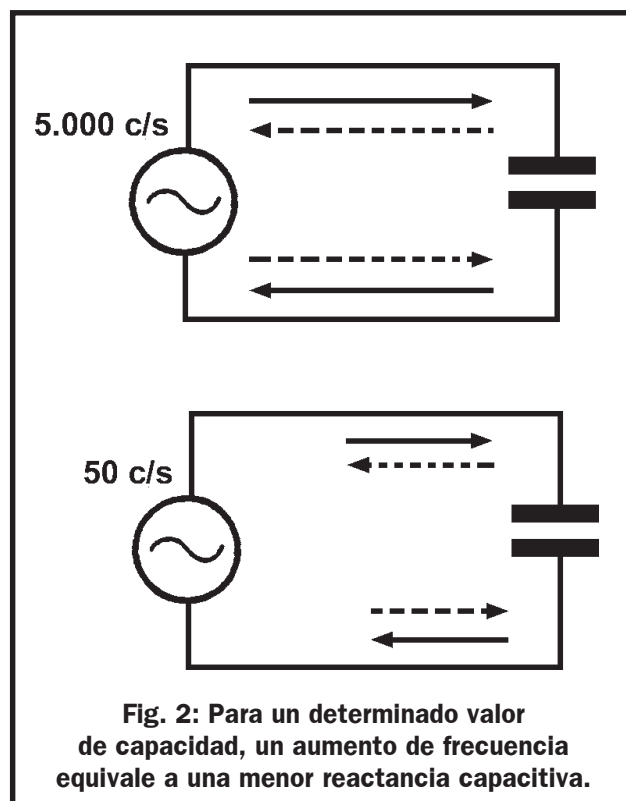
Los capacitores en la práctica

Los capacitores llevan su valor indicado en μF o pF ya sea con números o mediante el código de colores. Algunas unidades traen datos complementarios. Uno de ellos suele ser la tensión de prueba indicada con las letras TV (Test Voltage), el valor numérico correspondiente indica que el fabricante los ha sometido a ese voltaje durante un minuto sin que se perfora el dieléctrico.

Otro dato complementario es la tensión de trabajo, señalada con las letra TW (Work Voltaje) indica el límite de tensión que en trabajo normal soporta el capacitor sin peligro de avería.

Estos datos, generalmente vienen acompañados por la sigla CC o DC para señalar que responden a valores de **tensión continua**, por lo tanto, en caso de conectarse los capacitores a tensiones alternas se tendrán en cuenta el valor de pico (máximo), para lo cual basta con multiplicar el valor eficaz por 1,41.

Constructivamente los capacitores poseen distintos materiales que guardan relación con el valor de capacidad



tancia; para valores comprendido entre unos pocos picofaradios hasta unos 5000 pf se usan generalmente los capacitores de “mica” o de “cerámica”, así llamados por el dieléctrico que utilizan. También existen las unidades tubulares de “poliester”, formadas por dos láminas conductoras aisladas con poliester; estos capacitores son de buena calidad aunque admiten una tensión de trabajo menor (para iguales dimensiones) que los de mica o cerámica.

Los valores comprendidos entre .005 . μ F y .5 . μ F son generalmente tubulares usan dieléctrico de papel impregnado con aceite, poliester, papel mylar, etc.

Entre aproximadamente 1 . μ F y varios miles de mF se utilizan los capacitores llamados electrolíticos, que tienen una gran capacidad en relación a sus dimensiones, su dieléctrico está formado por una fina capa de óxido de aluminio que puede dañarse si se invierte la polaridad correspondiente.

IMPEDANCIA (Z)

La impedancia es la oposición que ofrece a la corriente alterna un circuito formado por resistencia y reactancia inductiva, capacitiva o ambas. Su estudio reviste gran importancia ya que todos los circuitos que trabajan con señales presentan una cierta impedancia.

Para la correcta interpretación del tema, se tendrá en cuenta lo siguiente:

- En un circuito capacitivo, la tensión en las armaduras del capacitor aparece con **retardo** respecto a la corriente que lo carga. Se dice que en dichos circuitos la tensión **atrás** 90° respecto a la intensidad. Este atraso o **defasaje** indica además que el capacitor no consume potencia, ya que la energía solicitada al generador para la carga la devuelve al mismo durante la descarga.

- En un circuito

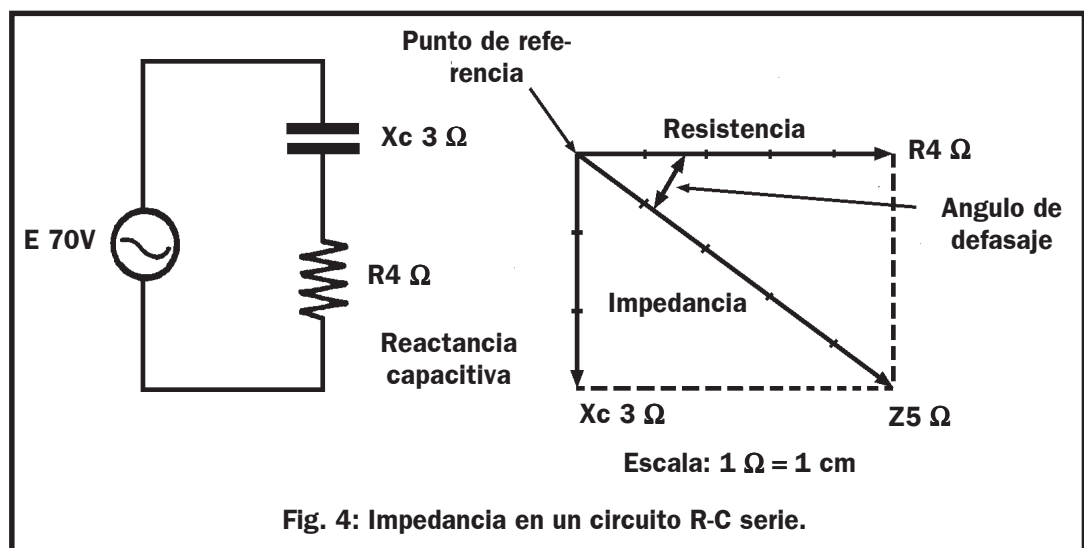
inductivo, la intensidad sufre un **retardo** respecto a la tensión aplicada. Se dice que en dichos circuitos la corriente **atrás** 90° respecto a la tensión. Este atraso o **defasaje** señala que la bobina **no consume potencia**, ya que la energía tomada al generador para la creación del campo magnético, es devuelta a dicho generador en forma de corriente cuando el campo decrece.

- En un circuito resistivo la corriente sufre un efecto de limitación, pero no atrasa ni adelanta respecto a la tensión. Se dice que en estos circuitos la intensidad y la tensión se encuentran en **fase**. Cabe agregar que los circuitos resistivos consumen potencia, por lo tanto un resistor no devuelve energía alguna al generador, ya que la disipa en forma de calor.

CIRCUITO R-C SERIE

En el análisis de los circuitos que presentan impedancia es muy utilizado un procedimiento llamado **representación vectorial**, que si bien no explica las propiedades eléctricas, conduce a resultados correctos.

A continuación se analiza el circuito de la figura 4. Un generador de CA funciona a una frecuencia para la cual el capacitor ofrece 3 ohm de reactancia capacitiva; para los valores indicados en la figura el cálculo de la corriente circulante es aparentemente simple.



Bastaría con dividir la tensión por la oposición que ofrece el circuito; dado que dichas oposiciones se encuentran conectadas en serie se las suma, resultando por Ley de Ohm

$$\text{Intensidad} = \frac{70}{4 + 3} = \frac{70}{7} = 10 \text{ ampere}$$

Sin embargo la práctica demuestra que la corriente circulante es apreciablemente mayor que la calculada, el error cometido consistió en sumar la reactancia y la resistencia, olvidando que:

1) La resistencia **no defasa** intensidad y tensión; además consume potencia.

2) El capacitor **adelanta** la intensidad respecto a la tensión 90° y no consume potencia.

En resumen, no es correcto sumar las oposiciones de elementos que presentan propiedades eléctricas completamente diferentes.

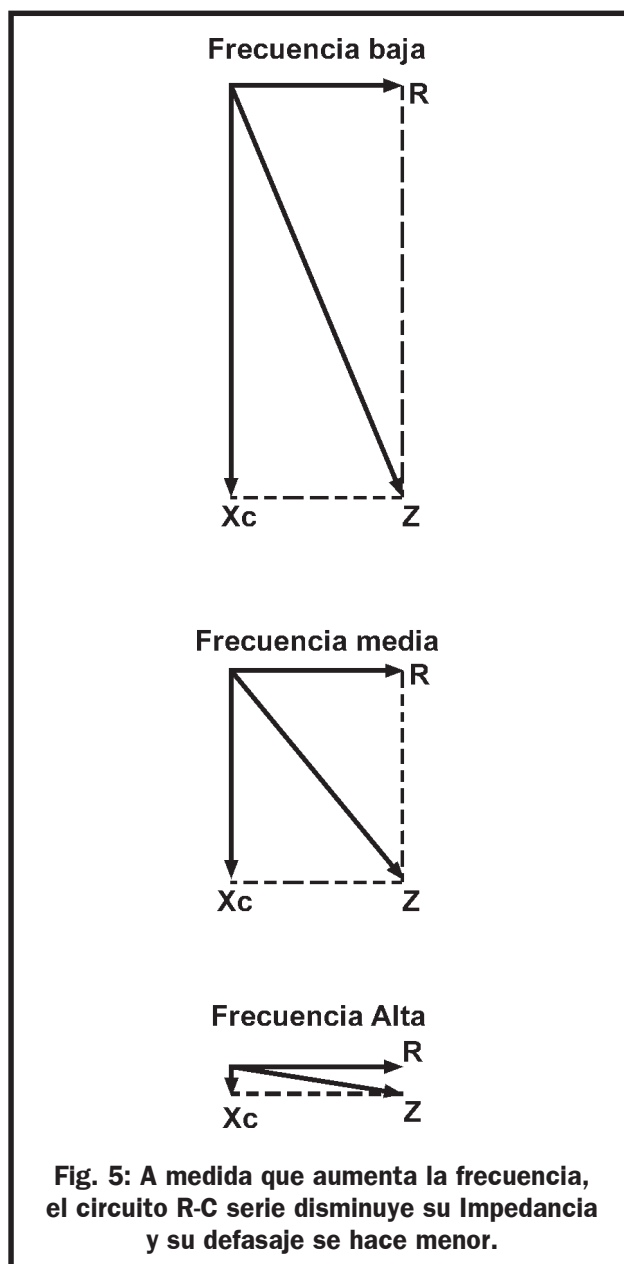
La oposición que ofrece el circuito a la corriente alterna puede determinarse mediante una **representación vectorial** tal como la que acompaña al circuito de la figura 4. Tomando un punto como origen se dibujan dos segmentos que representan los valores de la resistencia y la reactancia capacitiva de acuerdo a una escala previamente elegida, en nuestro caso cada centímetro representa un Ohm.

Dichos segmentos o **vectores** se indican como flechas para señalar el sentido del fenómeno que representan, por ejemplo, el vector R está ubicado horizontalmente en este caso, tomándose como referencia, ya que en una resistencia la intensidad y tensión se encuentran en fase.

Con el fin de lograr resultados matemáticos correctos (que escapan a la finalidad del curso), se supone que los vectores “giran” en sentido contrario a las agujas del reloj, por ese motivo el vector que representa a XC se lo representa 90° atrasado respecto a R, ya que el capacitor **atrasa** 90° la tensión respecto a la intensidad.

A continuación, tal como se observa en la figura 4, se transporta cada vector sobre la flecha del restante (ver líneas cortadas), la diagonal trazada desde el punto de referencia representa la **Impedancia** del circuito y su valor queda determinado con la misma escala que se utilizó para representar los vectores R y XC.

Obsérvese que la impedancia (Z) del circuito es me-



nor que la oposición calculada anteriormente; la Ley de Ohm permite calcular la corriente circulante:

$$I = \frac{E}{Z} = \frac{70}{5} = 14 \text{ Ampere}$$

que resulta ser mucho mayor que el primer resultado obtenido.

En el diagrama vectorial de la figura 4 el ángulo formado por R y Z indica en grados el adelanto de la corriente respecto a la tensión.

VALORACIÓN DE LA IMPEDANCIA RESPECTO A LA FRECUENCIA

Si un circuito R-C serie es alimentado con frecuencias que aumentan su ciclaje, la reactancia del capacitor disminuye permitiendo que la impedancia se haga menor, de forma tal que ante una frecuencia muy alta el circuito se comporta “casi” como resistivo. En la figura 5 se representa lo recién considerado, debiéndose notar que en alta frecuencia, el ángulo formado por R y Z es mínimo.

CIRCUITO L-R-C SERIE

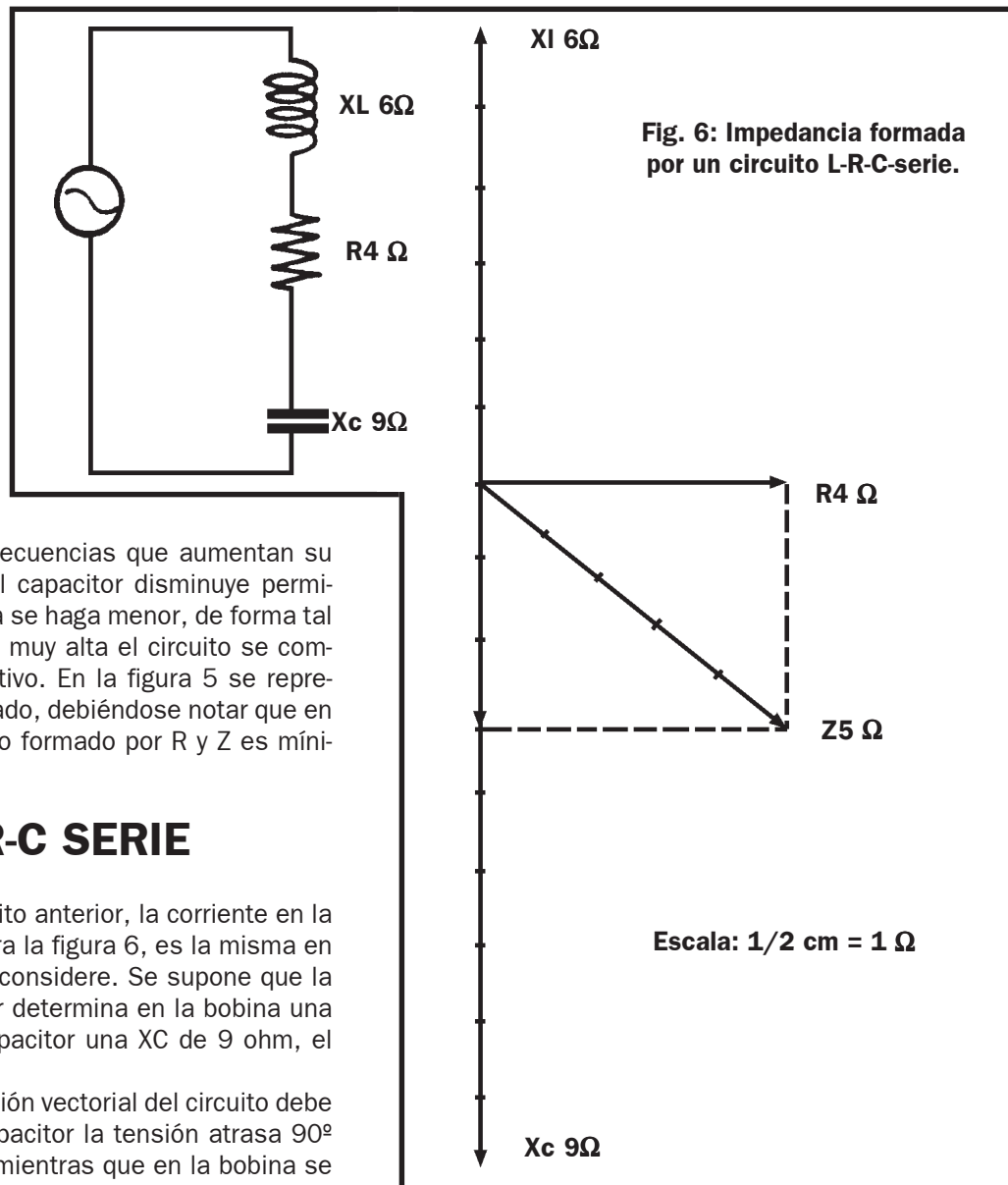
Al igual que en el circuito anterior, la corriente en la serie X_L -R- X_C que muestra la figura 6, es la misma en cualquier sector que se considere. Se supone que la frecuencia del generador determina en la bobina una X_L de 6 ohm y en el capacitor una X_C de 9 ohm, el valor de R es 4 ohm.

Al hacer la representación vectorial del circuito debe recordarse que en el capacitor la tensión atrasa 90° respecto a la corriente, mientras que en la bobina se produce el efecto contrario, es decir, la tensión *adelanta* 90° con respecto a la corriente.

Por ese motivo, respetando en este caso la escala $1/2 \text{ cm} = 1 \text{ ohm}$, las reactancias quedan en oposición, se dice que defasan 180° entre sí. Ya que las reactancias, por estar en oposición tienden a neutralizar sus efectos, predominará la que resulte de restar la mayor de la de menor valor.

En el circuito de la figura 6, la reactancia capacitiva vale 9 ohm y la reactancia inductiva 6 ohm, evidentemente predomina X_C por la diferencia, es decir $9 - 6 = 3 \Omega$.

Con este método, reducimos el planteo a un sistema ya empleado, dado que el circuito se comportará



como si lo formaran una X_C de 3 ohm y una resistencia de 4 ohm.

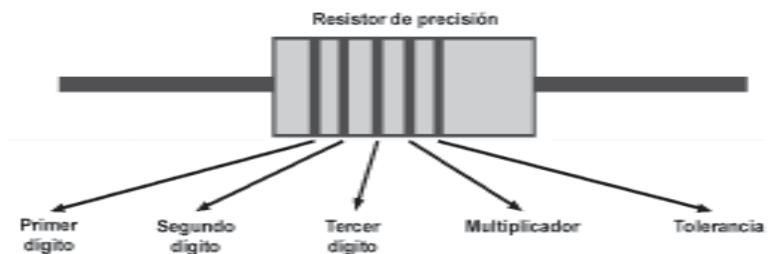
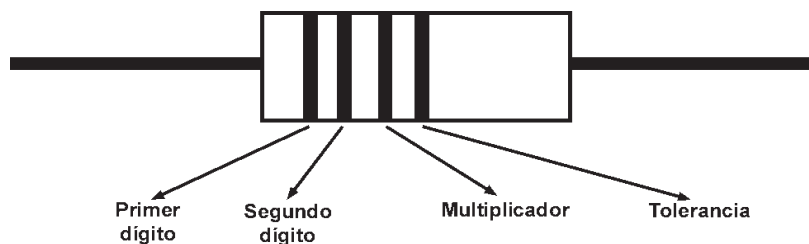
Para esos valores, el análisis de la figura 5 determina una Impedancia de 5 ohm.

En resumen: la solución vectorial de un circuito X_L R X_C se obtiene restando la reactancia menor de la reactancia mayor. La reactancia resultante y la resistencia determinarán la impedancia correspondiente.

CODIGO DE COLORES PARA RESISTENCIAS Y CAPACITORES

COLOR DE LA BANDA	1ª CIFRA	2ª CIFRA	FACTOR MULTIPLICAR	TOLERANCIA	AISLACION
negro	–	0	1	–	–
marrón	1	1	10	1 %	100 V
rojo	2	2	100	2 %	200 V
naranja	3	3	1000	3 %	300 V
amarillo	4	4	10.000	4 %	400 V
verde	5	5	100.000	0,5 %	500 V
azul	6	6	1.000.000	0,25 %	600 V
violeta	7	7	10.000.000	0,1 %	700 V
gris	8	8	100.000.000		800 V
blanco	9	9	1.000.000.000		900 V
dorado	–	–	0,1	5 %	1000 V
plateado			0,01	10 %	2000 V
sin color				20 %	

Las tolerancias indicadas en recuadro gris, corresponden solamente a resistencias de precisión.



EJERCICIOS DE AUTOEVALUACION INSTALACIONES ELECTRICAS

ESTIMADO ALUMNO:

Este cuestionario tiene por objeto que Ud. mismo compruebe la evolución de su aprendizaje. Lea atentamente cada pregunta y en hoja aparte escriba la respuesta que estime correcta. Una vez que ha respondido todo el cuestionario compare sus respuestas con las que están en la hoja siguiente.

Si notara importantes diferencias le sugerimos vuelva a estudiar la lección.

Conserve en su carpeta todas las hojas, para que pueda consultarlas en el futuro.

- 1) ¿A qué se denomina frecuencia de una corriente alterna?
- 2) ¿Qué es la reactancia inductiva?
- 3) Un transformador reductor de tensión tiene 200 espiras en el bobinado primario y 100 espiras en el secundario. Sabiendo que el primario se alimenta con 200 V. ¿Cuál es la tensión en la bobina del secundario?
- 4) ¿Qué significa que un transformador tiene un rendimiento de un 98%?
- 5) ¿Cuál es la propiedad fundamental de los capacitores?
- 6) ¿Qué es la reactancia capacitiva?
- 7) ¿Cómo puede limpiarse la punta de un soldador?
- 8) ¿Cómo queda conectado el interruptor unipolar con respecto a la lámpara que comanda?
- 9) ¿Cómo está constituido un interruptor de dos secciones?
- 10) ¿Para qué se emplea el circuito de combinación?

EJERCICIOS DE AUTOEVALUACION INSTALACIONES ELECTRICAS

RESPUESTAS

- 1)** Se denomina frecuencia de la corriente alterna a la cantidad de ciclos que se producen en el tiempo de un segundo. (Pág. 5)
- 2)** Es la oposición que ofrece una bobina al pasaje de una corriente alterna. (Pág. 7)
- 3)** 100 V. (Pág. 9)
- 4)** Significa que se aprovechan 98 W en el secundario por cada 100W presentes en el primario. (Pág. 10)
- 5)** La propiedad fundamental de los capacitores consiste en poder almacenar cargas eléctricas en sus armaduras o placas. (Pág. 12)
- 6)** Es la oposición que ofrece un capacitor a la circulación de corriente alterna.
- 7)** Con una pasta casera formada por resina y arena. Se coloca en un recipiente metálico resina y arena, se calienta y se mezcla hasta lograr una pasta homogénea.
- 8)** Queda conectado en serie.
- 9)** Está constituido por dos interruptores unipolares.
- 10)** Para comando de luces en escaleras o corredores.