

Dr. Manuel Macías.

MANUAL LABORATORIOS NACIONALES REMOTOS.

CARLOS PEREZ ARAUJO

INSTITUTO TECNOLOGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY

INTRODUCCION

El objetivo principal de este manual es satisfacer 3 necesidades:

1. Presentar los principios generales de la corriente directa y alterna.
2. Mostrar la forma en que estos principios se aplican en el diseño y funcionamiento de los tipos más comunes de circuitos, máquinas y dispositivos eléctricos.
3. Comprobar estos principios y estudiar el comportamiento de los diferentes elementos a base de experimentos en el laboratorio.

INDICE

Voltajes y Corrientes en CA (Corriente Alterna)	3
Elementos de Circuitos	5
Leyes fundamentales.....	6
Potencia real, aparente y reactiva.....	8
Ahorradores de energía.....	11
Líneas de transmisión	13

VOLTAJES Y CORRIENTES EN CORRIENTE ALTERNA

OBJETIVOS

1. Estudiar una onda senoidal de corriente alterna.
2. Entender los conceptos de frecuencia, ciclo y periodo.
3. Estudiar la potencia instantánea y media.
4. Aprender lo que son los valores efectivos de corriente y voltaje en CA.

EXPOSICION

La corriente alterna se usa en todo el mundo para impulsar motores y dar energía a aparatos eléctricos. Como su nombre lo indica, el voltaje alterno es aquel que invierte continuamente su polaridad. De igual manera, una corriente alterna es la que invierte continuamente su sentido yendo primeramente en un sentido y después en el opuesto. Cuando se habla de voltaje alterno, se podría decir que se trata de un voltaje CD que cambia en forma continua su valor y polaridad. Así también se puede decir que una corriente alterna es una corriente directa que cambiando siempre de valor e invirtiendo su sentido.

El número de veces que se produce un cambio completo de polaridad o sentido (un ciclo) en un segundo se conoce comúnmente como **frecuencia de línea**. Las frecuencias de línea de las compañías de luz en México están estandarizadas a 60 Hertz (60 ciclos por segundo).

Además de invertir periódicamente su polaridad, los voltajes alternos cambian también de valor de un instante a otro, en una forma que depende del tipo de energía proporcionada. Por lo tanto, se puede obtener una onda cuadrada, triangular y en efecto de cualquier forma que se desee para el voltaje.

Sin embargo, la teoría y la práctica han demostrado que solo hay una clase de formas de onda apropiada para hacer funcionar maquinaria eléctrica. Se trata de una onda senoidal. Se ha descubierto que con esta clase de onda los transformadores, motores y generadores, trabajan más eficiente y silenciosamente.

Otra propiedad interesante es que una onda senoidal de voltaje producirá una onda senoidal de corriente. Esta regla no se aplica para una onda triangular ni cuadrada.

Dado que en todo el mundo se usan ondas senoidales de voltaje y corriente, vale la pena estudiarlas a fondo.

El voltaje producido por un generador, principia con el valor de cero. Cuando el inducido gira, el voltaje aumenta a un valor máximo en un sentido; a continuación, disminuye hasta que llega nuevamente a cero. Al llegar a cero, el voltaje invierte su polaridad y aumenta hasta alcanzar un nuevo máximo con esta polaridad opuesta. Después de esto disminuye hasta llegar una vez más a cero. En este punto el inducido del generador ha efectuado una revolución completa (360° de rotación angular).

**Un ciclo se completa cada 360° grados (un periodo) de rotación angular.
En un sistema de 60Hz, evidentemente a polaridad cambia con gran rapidez.**

Potencia instantánea y promedio

1. La potencia instantánea es el producto del voltaje instantáneo y la corriente instantánea en un instante de tiempo.

2. La potencia media o promedio, es en realidad la mitad de la potencia pico instantánea.

Si tenemos que los valores instantáneos del voltaje pico y corriente pico son 100 volts y 50 amperes respectivamente en una resistencia de 2 ohms, su potencia instantánea será:

$$Potencia\ instantanea = E \times I = 5000\ w.$$

y la potencia que disipa la resistencia, es decir la potencia promedio será:

$$Potencia\ promedio = \frac{(E \times I)}{2} = 2500\ w.$$

Supongamos que deseamos aplicar la misma potencia (digamos 2500 watts) que proporciona un generador de CA a una resistencia de 2 ohms utilizando una batería en lugar de un generador CA. ¿Qué voltaje CD necesitaremos? Como conocemos la potencia requerida y sabemos el valor de la resistencia de carga, podremos resolverlo. Si se despeja E en la ecuación $P = \frac{E^2}{R}$, encontraremos que la respuesta es 70.7V CD. Ahora podemos establecer que el valor efectivo o rms de voltaje en CA 70.7 volts, a pesar de que su valor pico es 100 volts.

Esta relación de 1 a .707 es muy útil, ya que facilita la conversión de un voltaje pico de CA a su valor efectivo o rms.

En resumen, el valor RMS de una forma de onda es el voltaje o corriente en CD equivalente.

INSTRUMENTOS Y EQUIPO

PROCEDIMIENTOS

LEYES FUNDAMENTALES

OBJETIVOS

1. Aprender las leyes fundamentales sobre circuitos eléctricos y familiarizarse con ellas.

EXPOSICION

Ley de ohm

La resistencia eléctrica es la oposición que existe al flujo de la corriente en un circuito, y depende de muchos factores. El alambre de cobre, aunque se considera buen conductor de corriente eléctrica, presenta cierta resistencia. Un físico alemán, George Simon Ohm, descubrió que, para un conductor metálico dado, de una longitud y corte transversal específicos, la relación entre voltaje y corriente era constante. Esta relación se conoce como resistencia y se expresa en la unidad ohm, denominada así en su honor.

La ley de ohm se considera a menudo como el fundamento del análisis de circuitos y se puede expresar mediante la fórmula:

$$R = \frac{E}{I}$$

En donde,

E= La diferencia de potencial entre los dos extremos de un elemento de resistencia (que se mide en volts)

I= La corriente eléctrica que pasa por dicho elemento de resistencia (que se mide en amperes)

R= La resistencia del mismo elemento (que se mide en ohms).

Existen otras dos formas útiles que se pueden derivar de la ecuación (1) y son:

$$2) \quad I = \frac{E}{R}$$

$$3) \quad E = R \times I$$

Para producir una corriente, debe de existir voltaje en la resistencia. La dirección convencional de la corriente es de un cuerpo de carga positiva a uno de carga negativa (aunque en realidad va de negativo a positivo).

La ley de voltaje de Kirchhoff

Postulada por Gustav Kirchhof, indica que la suma de voltajes alrededor de una trayectoria o circuito cerrado debe ser cero. Matemáticamente, está dada por:

$$\sum_n V_n = 0$$

La ley de corrientes de Kirchhoff

Postulada por Gustav Kirchhof, establece que la suma de las corrientes que entran a un punto en particular deben ser 0. Matemáticamente, está dada por:

$$\sum_n i_n = 0$$

INSTRUMENTOS Y EQUIPO

PROCEDIMIENTOS

ELEMENTOS DE CIRCUITOS

OBJETIVOS

1. Estudiar el comportamiento del inductor en circuitos de CA.
2. Estudiar el comportamiento del capacitor en circuitos de CA.
3. Estudiar el comportamiento de resistencia en circuitos de CA.

EXPOSICION

La capacitancia se puede definir como una medida de carga eléctrica que puede almacenar un dispositivo en el dieléctrico (aislamiento) entre 2 conductores(placas) cuando se aplica un voltaje dado. La unidad básica de la capacitancia es el farad.

Si se aplica repentinamente un voltaje de c.d. a un capacitor, se producirá un gran **flujo de corriente**. Esta corriente fluirá a una velocidad decreciente hasta que el capacitor se cargue (cuando el voltaje en el capacitor sea igual al voltaje de la fuente). La corriente desciende a cero tan pronto como el voltaje del capacitor se estabiliza (se vuelve constante, esto es, cuando no se carga ni se descarga). La corriente puede ser bastante grande si el voltaje aplicado al capacitor cambia con rapidez. Si el voltaje de fuente aumenta con rapidez, una corriente intensa pasara al capacitor para cargarlo. En estas condiciones el capacitor actúa como carga. Por el otro lado si el voltaje de la fuente disminuye rápidamente se tendrá una corriente intensa que *sale* del capacitor, el cual se comporta entonces como una fuente momentánea de potencia, en otras palabras, como si fuera un generador.

El capacitor tiene la habilidad de almacenar energía eléctrica debido al campo electrostático que se establece en las dos placas. La cantidad de energía almacenada depende de la capacitancia (en farads) y del cuadrado del voltaje. Cuando se está cargando un capacitor, recibe y almacena energía; pero **no la disipa**. Cuando la unidad se descarga más tarde, la energía almacenada se libera hasta que el voltaje aplicado al capacitor descienda a cero.

El capacitor no disipa energía solo la almacena y la libera.

Esto es muy diferente al papel que desempeña una resistencia, que no puede almacenar energía, sino que solo la disipa en forma de calor.

La resistencia no puede almacenar energía, solo la disipa en forma de calor.

Estos hechos ayudan a entender el comportamiento del capacitor cuando se conecta a una fuente de energía en CA. El voltaje de CA aumenta, disminuye e invierte su polaridad en forma continua. Cuando el voltaje aumenta, el capacitor almacena energía y cuando disminuye la libera. Durante el periodo de “almacenamiento”, el capacitor actúa como carga en relación a la fuente de alimentación en CA; pero durante el periodo de “liberación” el capacitor devuelve la energía a la fuente. Entonces se tiene la situación de que el capacitor actúa periódicamente como fuente de alimentación devolviendo la energía de donde la tomo, es decir, a la fuente que originalmente proporciono la energía.

Con frecuencia, los inductores reciben el nombre de reactores o bobinas, por lo cual se utilizarán diferentes términos. Las bobinas eléctricas son, básicamente inductancias diseñadas para producir un campo magnético. Hasta cierto punto toda la industria gira alrededor de bobinas eléctricas. Estas bobinas se encuentran en motores, generadores, relevadores y muchos otros tipos de dispositivos eléctricos. Inductancia es aquella propiedad que se opone al cambio de la corriente. La inductancia se mide en *henrys* (H).

Cuando una corriente pasa por una bobina, se crea un campo magnético que contiene energía. Al aumentar la corriente, la energía contenida en el también aumenta. En cambio, cuando la corriente disminuye, la energía contenida se libera y disminuye a cero cuando la corriente se reduce a cero. Esta situación es análoga con lo que sucede en el capacitor, excepto que

En el capacitor el voltaje es el que determina la cantidad de energía almacenada, en tanto que el inductor, se trata de la corriente.

De mismo modo que el capacitor, una inductancia en un circuito con una fuente de CA., la energía fluirá alternadamente, cambiando su polaridad de forma continua, por lo tanto, la bobina recibe energía de la fuente y la devuelve a la misma.

INSTRUMENTOS Y EQUIPO

PROCEDIMIENTOS

POTENCIA REAL, APARENTE Y REACTIVA.

OBJETIVOS

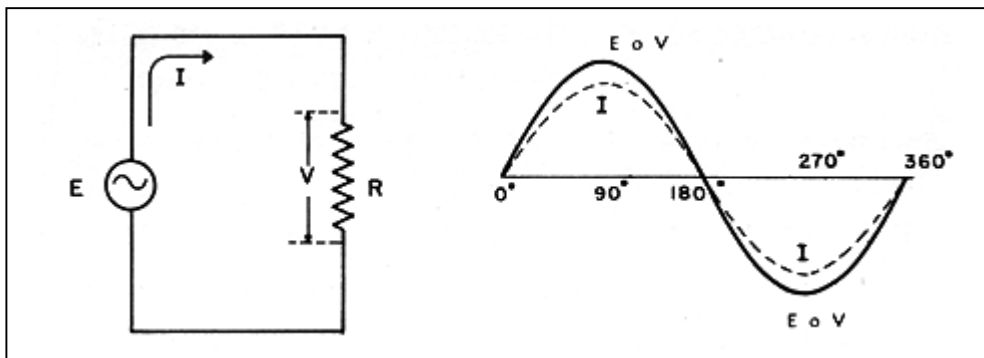
1. Entender el significado del ángulo de fase.
2. Estudiar la relación entre potencia real, aparente y reactiva.

EXPOSICION

En un circuito de CD (Corriente Directa) con una carga resistiva, cuando aumenta el voltaje a través de la resistencia, aumenta la corriente que pasa por ella. Esto se aplica también a un circuito de CA (Corriente Alterna) en donde la carga es una resistencia. Si se aplica con voltaje sinusoidal E en una resistencia R , las variaciones instantáneas de la corriente I que pasa por R seguirán exactamente los cambios que sufre el voltaje E .

Note que cuando E llega a su máximo, la corriente I también llega a su máximo. Cuando el voltaje y la corriente guardan “el mismo paso” entre sí se dice que están **en fase**. Sin embargo, esto solo ocurre cuando es una resistencia pura.

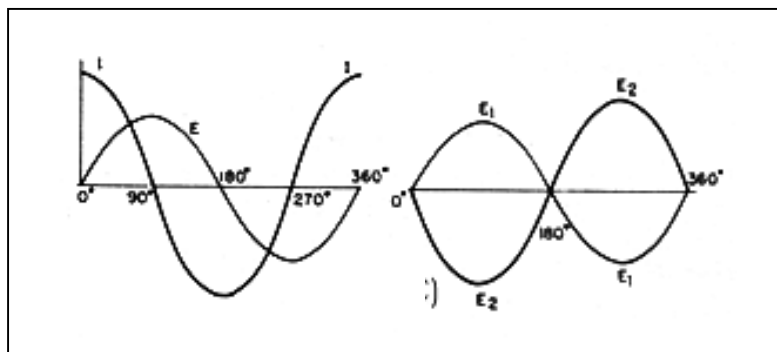
En la siguiente figura se muestra esta relación en forma gráfica.



Existen condiciones en las que la corriente **no está “en fase”** con el voltaje, por ejemplo, en donde la corriente alcanza su valor máximo 30 grados eléctricos **después** que el voltaje, se dice que la corriente se atrasa 30 grados eléctricos con respecto al voltaje.

Por otro lado, si, por ejemplo, la corriente a su valor máximo 30 grados eléctricos **antes** que el voltaje. En este caso se dice que la corriente se adelanta 30 grados al voltaje.

Para completar el cuadro, la corriente en la siguiente figura se atrasa 90 grados con respecto al voltaje (También sería correcto afirmar que el voltaje se adelanta 90 grados) y en figura adyacente la corriente se adelanta 90 grados (o el voltaje se atrasa 90 grados).



Lo interesante de esta condición es que la corriente es cero en el mismo instante en que el voltaje está en su máximo, y viceversa.

Sin embargo, esto parece improbable ya que el voltaje origina la corriente. Entonces, ¿cómo puede haber un máximo de corriente cuando el voltaje es cero? Pues bien, esto sucede cuando una carga puede almacenar energía (por ejemplo, una que contenga un inductor o un capacitor) se conecta en CA.

La carga absorbe energía durante parte del ciclo y dependiendo de la cantidad de resistencia que exista en el circuito, devuelve parte de la energía durante la otra parte del ciclo. La absorción y devolución de energía se manifiesta (de diferentes modos y entre ellos) en el hecho de que el voltaje y la corriente están fuera de fase. Si la carga es puramente inductiva o capacitiva, sin ninguna resistencia, toda la carga absorbida durante medio ciclo se recupera durante el medio ciclo restante. Con este tipo de carga la **potencia real es cero** y el voltaje y la corriente están desfasados 90 grados entre sí.

EJEMPLO

Supongamos que el valor de voltaje pico (máximo) es 100 volts y que el valor pico de la corriente es 50 amperes en un circuito **puramente capacitivo**. Un voltímetro de CA indicaría **70.7 volts** y el amperímetro de CA señalaría del mismo modo **35.3 amperes**. Sabemos que la **potencia real** correspondiente a un capacitor ideal **sería cero**, sin embargo, se produce una caída de voltaje en el capacitor y se tiene un flujo de corriente en el circuito. El producto de ambos es la **potencia aparente**. La corriente se adelanta 90 grados eléctricos al voltaje.

La razón de que la corriente se adelante al voltaje se comprende fácilmente. Cuando el voltaje aplicado llega al máximo o pico, el voltaje correspondiente a dicho instante no varía y, en consecuencia, la corriente es cero. Cuando el voltaje aplicado pasa por cero, su velocidad de variación es máxima y por lo tanto la corriente llega al máximo. Debido a esta condición singular, la **potencia aparente se denomina también potencia reactiva (var)**. La potencia reactiva relacionada con los capacitores lleva un signo negativo (-).

En un circuito puramente inductiva el vatímetro dará cero para la misma razón que se citó cuando la carga era el capacitor. En consecuencia, una inductancia ideal no necesitara ninguna potencia real. De ahí que la potencia real en un inductor es cero. No obstante, se tiene una caída de voltaje en la bobina y la corriente fluirá por el circuito. El producto de los dos determina de nueva cuenta la potencia aparente.

La corriente tiene un atraso de 90 grados eléctricos en relación al voltaje (esto es exactamente lo inverso que se obtuvo en el circuito del capacitor). En este caso la potencia aparente se llama potencia reactiva (var). Para distinguir entre el valor (-) *var* relacionado con el capacitor y con el que se tiene en el inductor el valor *var inductivo* lleva el signo (+).

INSTRUMENTOS Y EQUIPO

PROCEDIMIENTOS

LINEAS DE TRANSMISION

OBJETIVOS

1. Estudiar las características de la línea de transmisión en condiciones de ausencia de carga, carga completa y sobrecarga.
2. Entender el significado de “caída de voltaje” de la línea de transmisión.
3. Conocer los efectos de un corto circuito en la línea de transmisión.

EXPOCISION

El estudio de la potencia eléctrica tiene tres campos particulares de interés:

- a) *La generación de potencia*
- b) *La transmisión de potencia*
- c) *La utilización de potencia*

En esta práctica trataremos la transmisión de energía entre una fuente (generador de potencia) y una carga ubicada en un lugar lejano (utilización de potencia).

Si se abren todos los interruptores que están del lado de la carga en una línea de transmisión se descubrirá que el voltaje en cualquier punto a lo largo de la línea es igual al voltaje de la fuente. Sin embargo, cuando los interruptores en la carga están cerrados, la corriente pasa por la línea. Puesto que los cables de la línea de transmisión ofrecen resistencia, parte de la potencia se disipa en la línea. Debido a esta pérdida de potencia en la línea, el voltaje de la carga es menor que el de la fuente. Esta diferencia entre los dos voltajes se conoce con el nombre de “caída de voltaje de la línea”. Por ejemplo, si el voltaje de la fuente es de 4000 volts y el voltaje de la carga es de 3700 volts, la caída de voltaje de la línea es de 300 volts. La caída de voltaje en la línea de transmisión es, sencillamente, una caída IXR en donde:

R = La resistencia de la línea de transmisión (desde la fuente hasta la carga y el regreso).

I = La corriente de la carga.

Por lo tanto, la caída de voltaje de la línea depende de la corriente de la carga y, si esta última fluctuara a causa de cargas agregadas o suprimidas en la línea de transmisión), el voltaje de la línea -*en la carga*- también tendría fluctuaciones. Si el voltaje de la carga fluctuara en un grado excesivo, las lámparas eléctricas empezarían a parpadear. Los motores eléctricos conectados a una línea de transmisión con voltaje fluctuante, trabajan con menor eficiencia y tienen a sobrecalentarse.

Es importante que la caída de voltaje se reduzca al mínimo, procurando que la resistencia de los conductores de la línea de transmisión sea tan baja como sea posible.

Para una distancia dada entre la fuente y la carga, la resistencia de la línea de transmisión se puede reducir de dos maneras:

- a) Incrementando el tamaño (diámetro) de los alambres conductores.
- b) Utilizando conductores de baja resistencia, por ejemplo, hechos de cobre o de aluminio.

Aunque una resistencia baja en la línea de transmisión reduce las variaciones de voltaje en la carga, presenta ciertos peligros cuando en la línea se produce un corto de forma accidental. Durante un corto circuito, la corriente de la línea aumenta a valores muy elevados, siendo limitada solamente por la resistencia en la línea. El alambre se calienta rápidamente, se reblandece y, debido a su propio peso se pandea y aun puede partirse en dos.

En el caso de una línea de alto voltaje, un corto circuito puede producir accidentes fatales. En el caso de los sistemas de alambrado en las casas (que también constituyen una especie de línea de transmisión), los conductores al calentarse pueden ocasionar incendios.

En consecuencia, los cortos circuitos de este tipo se deben eliminar rápidamente por medio de interruptores de circuito apropiados o fusibles conectados en serie con la línea.

INSTRUMENTOS Y EQUIPO

Módulo de fuente de energía

Cables de conexión

Módulo de resistencia

Módulo de medición

PROCEDIMIENTOS

AHORRADORES DE ENERGIA

OBJETIVOS

1. Analizar un circuito eléctrico y determinar sus diferentes potencias (aparente, real y reactiva) en ciertos puntos.
2. Aprender cómo se puede mejorar el factor de potencia.
3. Hacer evidente el fraude de los ahorradores de energía.
4. Recomendaciones para el buen uso y ahorro de la energía.

EXPOSICION

Hasta ahora hemos aprendido lo siguiente:

- a) *La potencia aparente proporcionada a una carga es el producto del voltaje por la corriente.*
- b) *La potencia real es la potencia consumida por la carga.*
- c) *La potencia reactiva es la potencia que se almacena y devuelve a la fuente en un circuito con carga inductiva o capacitiva.*

Cuando existe potencia reactiva, la potencia aparente es mayor que la potencia real. La potencia reactiva puede ser capacitiva o inductiva. La potencia reactiva se puede calcular mediante la ecuación:

$$\sqrt{(potencia\ aparente^2) - (potencia\ real^2)}$$

Si se conoce el ángulo de fase entre el voltaje y la corriente, la potencia real se determina mediante la siguiente ecuación:

$$E \times I \times \cos \theta = potencia\ aparente \times \cos \theta$$

La relación entre la potencia real y la potencia aparente se denomina factor de potencia de un circuito en CA. El factor de potencia se determina mediante la ecuación:

$$FP = \frac{P}{EI} = \frac{Potencia\ real}{Potencia\ aparente}$$

El valor del factor de potencia depende del ángulo en que están desfasados entre si la corriente y el voltaje. **Cuando la corriente y el voltaje están en fase**, la potencia real es igual a $E \times I$, en otras palabras, **el factor de potencia es igual a la unidad.**

Cuando la corriente y el voltaje están desfasados 90grados uno con respecto al otro, como sucede en un circuito puramente inductivo o capacitivo, el factor de potencia es cero por ser la potencia real igual a cero.

En circuitos que contiene tanto resistencia como reactancia, el valor del factor de potencia es cualquier cifra entre 0 y 1. Si se conoce el ángulo en que están desfasados entre si el voltaje y la corriente, el factor de potencia se puede determinar por medio de la ecuación:

$$FP = \cos \theta$$

El motor de corriente alterna toman potencia reactiva de la línea de alimentación para crear el campo magnético que necesitan. Además, estos motores toman también potencia real, siendo la mayor parte de esta convertida en potencia mecánica, en tanto que el resto se disipa en forma de calor.

La potencia reactiva oscila, entre el motor y la fuente de CA. La potencia reactiva no efectúa ningún trabajo útil, excepto que crea el campo magnético del motor. Si se conecta un capacitor en paralelo con el motor, y si la potencia reactiva que toma el capacitor es exactamente igual (pero de signo opuesto) a la potencia reactiva que toma el motor, entonces una potencia reactiva neutralizara a la otra. El resultado es que la línea de transmisión de potencia ya no necesita llevar ninguna potencia reactiva. Con esto se reduce mucho la corriente transmitida en la línea, gracias a lo cual es más fácil regularla y no se necesita usar alambres de transmisión de un diámetro muy grande.

Antes de conectar el capacitor al motor, el factor de potencia es bastante bajo. Una vez que el capacitor se conecta al motor, aumenta el factor de potencia.

INSTRUMENTOS Y EQUIPO

PROCEDIMIENTOS.

Bibliografía

Wildi, T. (1975). In T. Wildi, *Experimentos con equipo eléctrico* (p. 565). Ciudad de México,: Editorial Limusa S.A.

Williams H. Hayt y Jack E. Kemmerly *Análisis de circuitos en ingeniería*. Séptima Edición. McGraw Hill, Inc. 2007. ISBN: 9701061071.