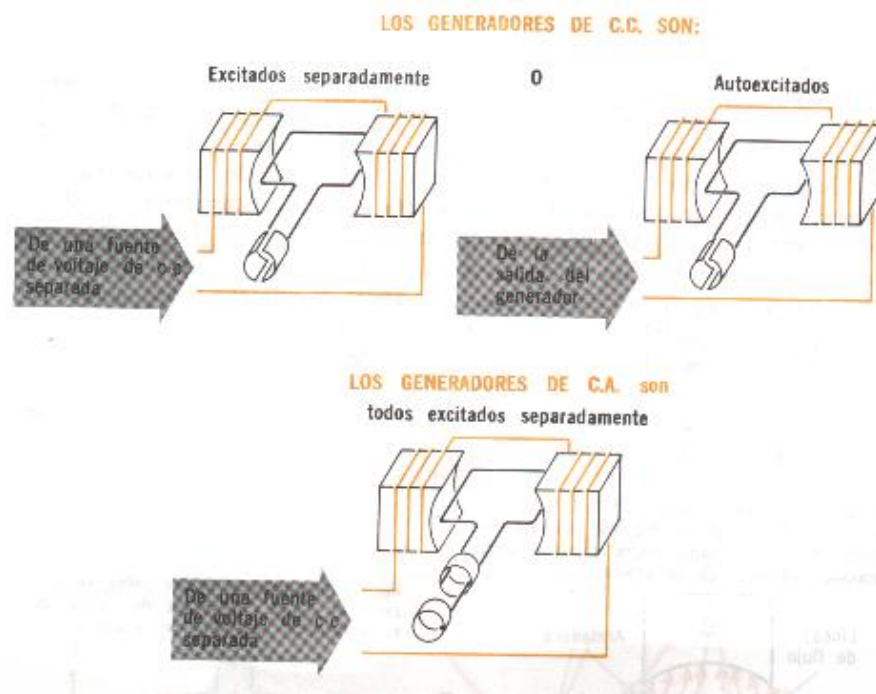


producción del campo magnético



El campo magnético necesario para que funcione un generador de c-a es producido por un devanado de campo, igual que en el caso de los generadores de c-c. Téngase presente que el devanado de campo es un electroimán y, por lo tanto, necesita corriente para producir su campo magnético. En un generador de c-c, la corriente para el devanado de campo puede obtenerse conectando el devanado a una fuente externa de voltaje y, en este caso, el generador es un generador excitado separadamente. O bien, la corriente de excitación del devanado de campo puede producirse conectando el devanado a la salida del generador. Como se recordará, esto constituye un generador autoexcitado.

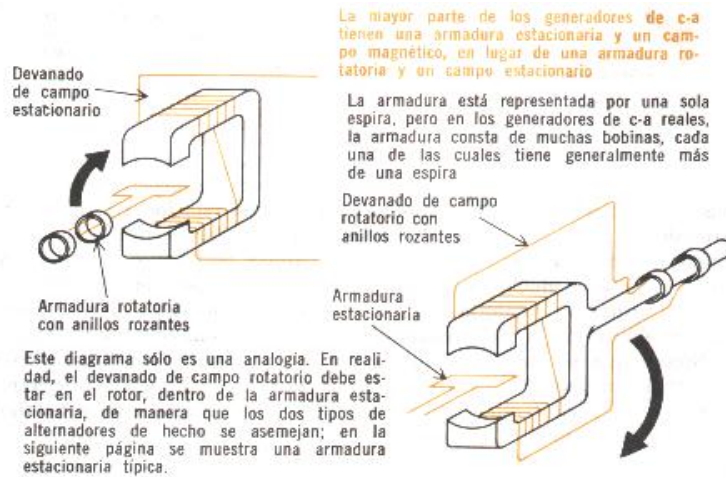
Sin embargo, en ambos casos, e independientemente de que el generador de c-c esté excitado separadamente o autoexcitado, el voltaje aplicado al devanado de campo es de c-c. Esto es necesario ya que se requiere una corriente de excitación de c-c para que el generador funcione debidamente. Como resultado, no se puede usar autoexcitación para los generadores de c-a, ya que su salida es de c-a. Entonces deben usarse fuentes de voltaje de c-c separadas para alimentar la corriente a los devanados de campo. En muchos generadores de c-a, la fuente de voltaje de c-c para el devanado de campo es un pequeño generador de c-c que está dentro de la misma cubierta del

generador de c-a.

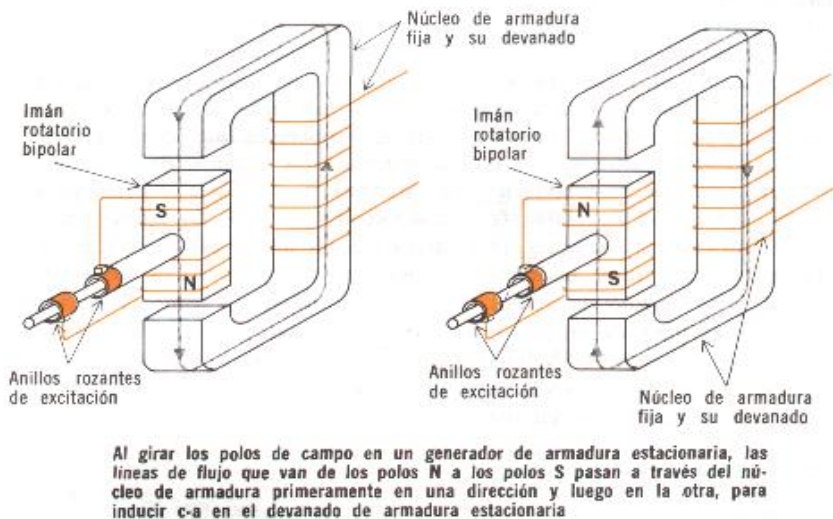
Generadores de c-a con armadura estacionaria

Cuando un generador de c-a produce una cantidad de potencia relativamente pequeña, los anillos rozantes operan satisfactoriamente. Por otra parte, cuando se manejan potencias elevadas, resulta cada vez más difícil el aislar suficientemente sus anillos rozantes y por lo tanto, éstos se convierten en un motivo frecuente de problemas. Debido a esto, la mayor parte de los generadores de c-a tienen una armadura estacionaria y un campo rotatorio. En estos generadores, las bobinas de armadura están montadas permanentemente con arreglo a la circunferencia interna de la cubierta del generador, en tanto que las bobinas de campo y sus piezas polares están montadas sobre un eje y giran dentro de la armadura estacionaria. Esta disposición de armadura estacionaria y campo rotatorio parece extraña a primera vista; pero si se tienen presentes los fundamentos de

la inducción mutua, se comprenderá que en las bobinas de armadura se induce un voltaje independientemente de que corten las líneas de flujo de un campo magnético estacionario o bien que las corten las líneas de flujo de un campo magnético móvil. Lo que se requiere es que haya un movimiento relativo entre el campo magnético y las bobinas de armadura.



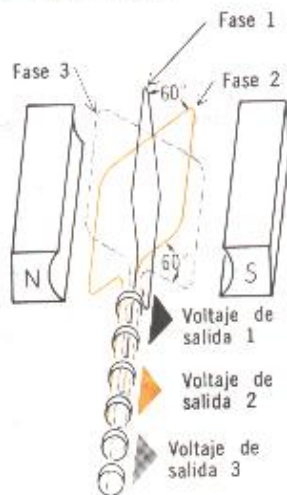
En el campo de una armadura estacionaria, la salida del generador puede conectarse directamente a un circuito externo sin necesidad de anillos rozantes ni escobillas, lo cual elimina los problemas de aislamiento que existirían si fuese necesario producir corrientes y voltajes elevados a la carga, por medio de anillos rozantes. Naturalmente, como el devanado de campo gira, deben usarse anillos rozantes para conectar el devanado a su fuente externa de excitación de c-c. Sin embargo, los voltajes y corrientes que se manejan son pequeños, comparados con los de armadura y no hay dificultad en suministrar el aislamiento suficiente.



Otra ventaja en usar una armadura estacionaria es que hace posible velocidades de rotación mucho más altas y por lo tanto, voltajes más altos de los que se pueden obtener con armaduras rotatorias; esto se debe nuevamente a la dificultad que hay en aislarla. A velocidades de rotación muy elevadas, la elevada fuerza centrífuga que resulta hace difícil aislar adecuadamente el devanado de armadura. Este problema no existe cuando el devanado de campo gira a altas velocidades.

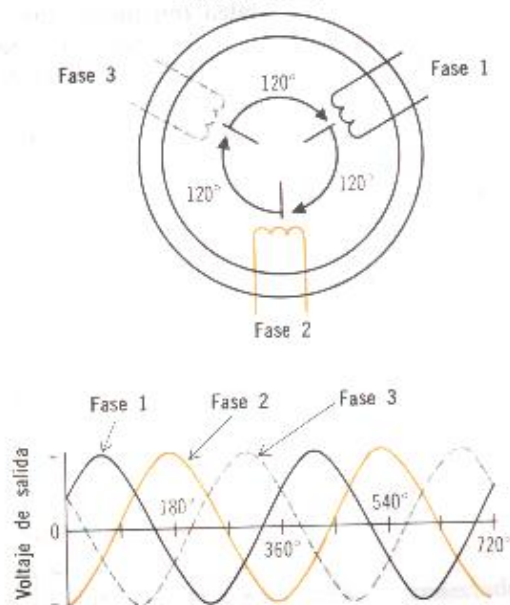
En resumen, en tanto que prácticamente todos los generadores de c-c constan de una armadura rotatoria y un campo estacionario, la mayor parte de los generadores de c-a tienen una armadura estacionaria y un campo rotatorio. En el caso de una armadura estacionaria, se pueden producir voltajes mucho mayores que los que son posibles con generadores de armadura rotatoria. La parte de un generador que gira se llama rotor en tanto que la parte estacionaria recibe el nombre de estator.

Generador trifásico de espira rotatoria



Un generador trifásico produce tres voltajes iguales desfasados 120°

Generador trifásico de armadura estacionaria



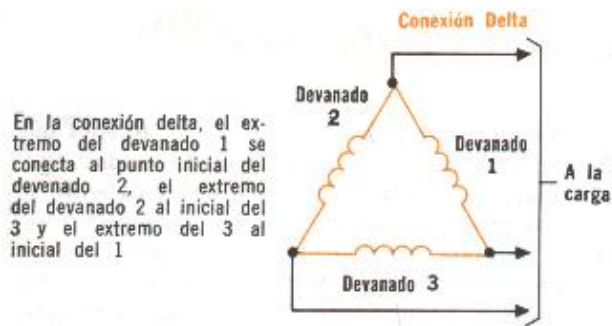
También se muestra un diagrama simplificado de un generador trifásico de armadura estacionaria. En este diagrama, las bobinas de cada devanado se combinan y están representadas por una sola. Además, no aparece el campo rotatorio. La ilustración muestra que el generador trifásico tiene tres devanados de armadura separados, desfasados 120 grados.

conexiones delta e Y

Hay seis puntas que salen de los devanados de armadura de un generador trifásico y el voltaje de salida está conectado a la carga externa por medio de estas seis puntas. En la práctica, esto no sucede así. En lugar de ello, se conectan los devanados entre sí y sólo salen tres puntas que se conectan a la carga.

Existen dos maneras en que pueden conectarse los devanados de armadura. El que se emplee uno u otro es cosa que determina las características de la salida del generador. En una de las conexiones, los tres devanados están conectados en serie y forman un circuito cerrado. La carga está conectada a los tres puntos donde se unen dos devanados. A esto se le llama conexión delta, ya que su representación esquemática es parecida a la letra griega delta (Δ). En la otra conexión, una de las puntas de cada uno de los devanados se junta con una de los otros dos, lo que deja tres puntas libres que salen para la conexión a la carga. A éste se le llama conexión Y, ya que esquemáticamente representa la letra Y.

Nótese que, en ambos casos, los devanados están espaciados 120 grados, de manera que cada devanado producirá un voltaje desfasado 120 grados con respecto a los voltajes de los demás devanados.



Los tres devanados forman así un circuito cerrado. Las puntas se extraen de las tres juntas de los devanados para conectarse a la carga. Dos cualesquiera de los tres conductores toman el voltaje de fase en una bobina

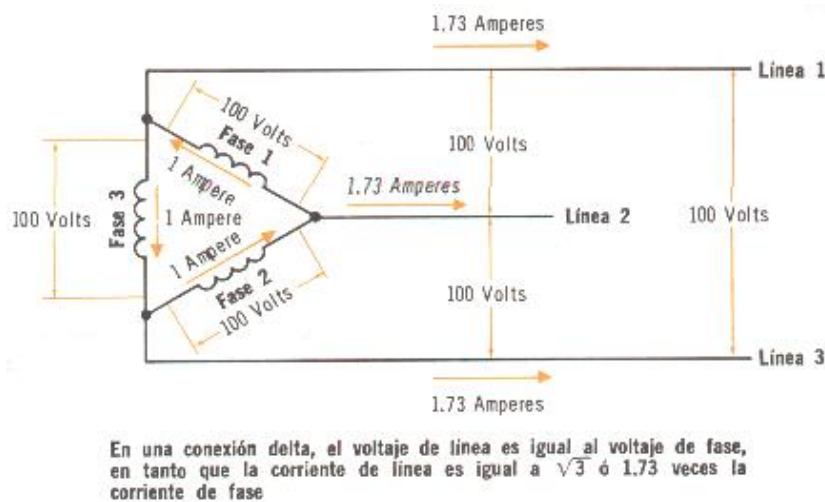
* Nota: También se llama conexión estrella.



Dos cualesquiera de los tres conductores toman la suma vectorial de los voltajes de fase de dos bobinas en serie

características eléctricas de las conexiones delta e Y

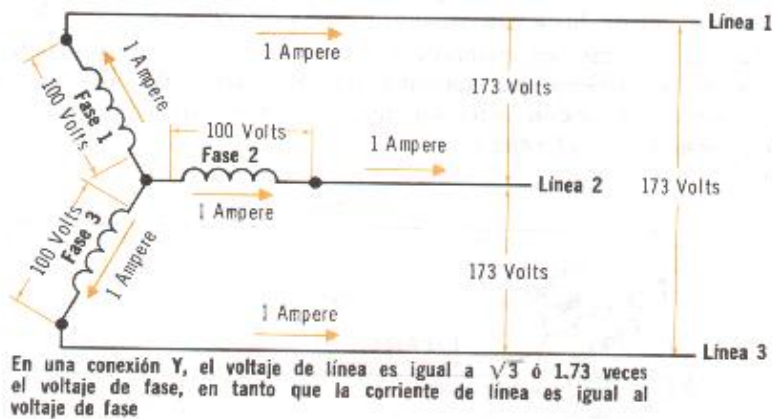
Como todos los devanados de una conexión delta están conectados en serie y forman un circuito cerrado, podría parecer que hay una elevada corriente continuamente en los devanados, aun en ausencia de carga conectada. En realidad, debido a la diferencia de fase que hay entre los tres voltajes generados, pasa una corriente despreciable o nula en los devanados en condiciones de vacío (sin carga).



Las tres puntas que salen de la conexión delta se usan para conectar la salida del generador a la carga. El voltaje existente entre dos cualesquiera de las puntas, llamada voltaje de la línea, es igual al voltaje generado en un devanado, que recibe el nombre de voltaje de fase. Así pues, como se puede apreciar en la figura, tanto los tres voltajes de fase como los tres voltajes de línea son iguales, y todos tienen el mismo valor. Sin embargo, la corriente en cualquier línea es $\sqrt{3}$ o sea, aproximadamente 1.73 veces la corriente en cualquier fase del devanado. Por lo tanto, nótese que una conexión delta suministra un aumento de corriente pero no hay aumento en el voltaje.

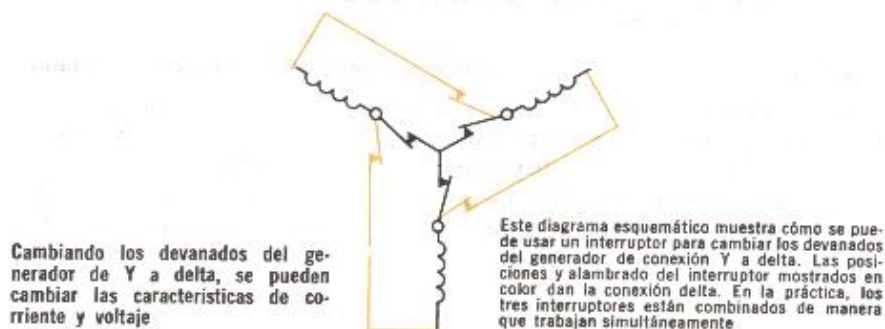
La potencia total real que produce un generador trifásico conectado en delta es igual a $\sqrt{3}$, o 1.73 veces la potencia real en cualquiera de las líneas. Sin embargo, téngase presente de lo estudiado en los volúmenes 3 y 4, que la potencia real depende del factor de potencia ($\cos \theta$) del circuito. Por lo tanto, la potencia real total es igual a 1.73 veces el voltaje de la línea multiplicado por la corriente de línea, multiplicada a su vez, por el factor de potencia. O sea:

$$P_{\text{real}} = 1.73 E_{\text{línea}} I_{\text{línea}} \cos \theta$$



La potencia total real que produce un generador conectado en Y es igual a la de un generador conectado en delta. Por lo tanto, la potencia real total es igual a:

$$P_{\text{REAL}} = 1.73 E_{\text{LÍNEA}} I_{\text{LÍNEA}} \cos \theta$$

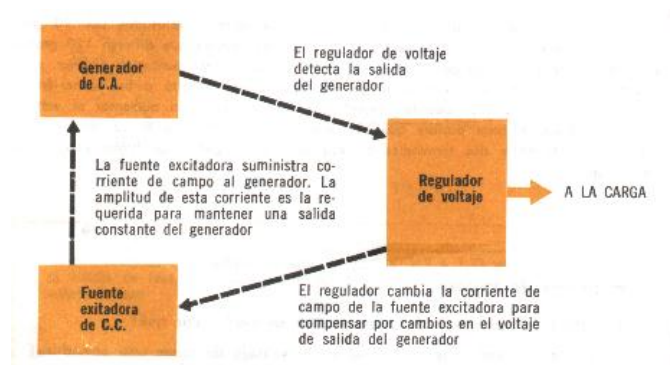


Las características de voltaje y corriente de una conexión Y son opuestas a las que presenta una conexión delta. El voltaje que hay entre dos líneas cualesquiera de una conexión Y es 1.73 veces el voltaje de una fase, en tanto que las corrientes en la línea son iguales a las corrientes en el devanado de cualquier fase. Esto presenta un contraste con la conexión delta en la cual, según se recordará, el voltaje en la línea es igual al voltaje de fase y la corriente en la línea es igual a 1.73 veces la corriente en la fase. Así pues, en tanto que una conexión delta hace posible aumentar la corriente sin aumentar el voltaje, la conexión Y aumenta el voltaje pero no la corriente.

regulación del generador

Cuando cambia la carga en un generador de c-a, el voltaje de salida también tiende a cambiar, como ocurre en un generador de c-c. La principal razón de ello es el cambio de la caída de voltaje en el devanado de armadura, ocasionado por el cambio en la corriente de carga. Sin embargo, en tanto que en un generador de c-c la caída de voltaje en el devanado de armadura es simplemente una caída IR, en un generador de c-a existe una caída IR y una caída IX, producida por la corriente alterna que fluye a través de la inductancia del devanado. La caída IR depende sólo de la cantidad del cambio de carga; pero la caída IXL depende también del factor de potencia del circuito. Así pues, el voltaje de salida de generadores de c-a varía con los cambios

en la corriente de carga lo mismo que con todo cambio en el factor de potencia. Como resultado, un generador de c-a que tiene una regulación satisfactoria para un valor de factor de potencia puede tener una mala regulación con otro valor del factor de potencia.



Debido a su regulación

inherentemente mala los

generadores de c-a generalmente

están provistos de algún medio

auxiliar de regulación. Los

reguladores auxiliares usados,

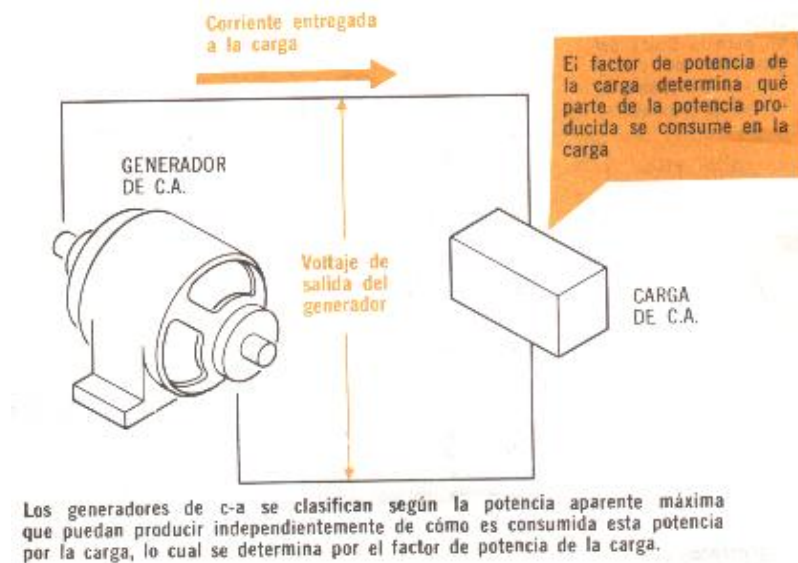
independientemente de que sean operados manualmente o de que funcionen de manera automática cumplen su función básicamente de la misma manera; "sienten" el voltaje de salida del generador y, cuando éste cambia, ocasionan un cambio correspondiente en la corriente de campo de la fuente excitadora que suministra la corriente de campo al generador. Así pues, si el voltaje de salida del generador se reduce, el regulador produce un aumento en la corriente de campo de la fuente excitadora. Por tanto, el voltaje de salida de la fuente excitadora, aumenta, haciendo que también aumente la corriente en el devanado de campo del generador. Como resultado, el campo magnético del generador aumenta en intensidad y eleva el voltaje del generador a su amplitud original. Una secuencia de eventos similar pero opuesta ocurre cuando el regulador siente una disminución en el voltaje de salida del generador.

clasificación de los generadores de C-A

Todo generador de c-c tiene una clasificación de potencia, expresada normalmente en kilowatts, que indica la máxima potencia que puede ser constantemente alimentada por el generador. Por otra parte, los generadores de c-a no pueden generalmente clasificarse de la misma manera, ya que la potencia consumida en un circuito de c-a depende del factor de potencia del circuito, lo cual significa que un generador de c-a puede alimentar una cantidad moderada de potencia real para una carga y, sin embargo, si el factor de potencia de la carga fuese bajo, la potencia total o aparente que el generador produce realmente puede ser muy grande. En estas condiciones, el generador se puede quemar.

Por esta razón, los generadores de c-a no deben clasificarse según la máxima potencia de consumo permisible de la carga, sino de acuerdo con la potencia aparente máxima que pueden pasar. Esto se hace expresando la capacidad en voltamperes a kilovoltamperes. Así pues, para determinado voltaje de salida se sabe la máxima corriente que el generador puede producir, independientemente del factor de potencia de la carga. Por ejemplo, si un generador clasificado como de 100 kilovoltamperes tiene una salida de 50 kilovolts,

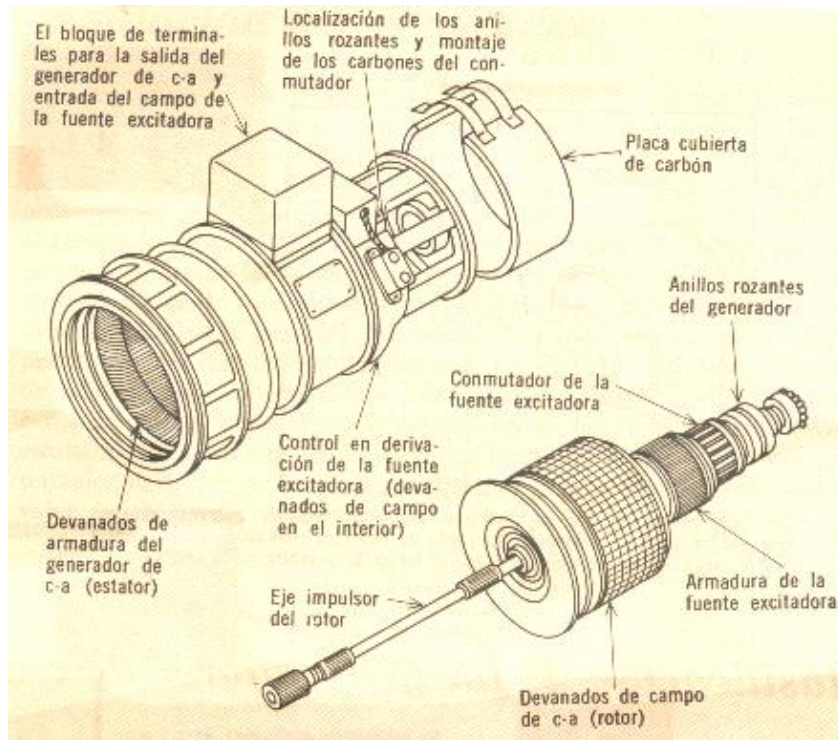
o sea que la máxima corriente que puede producir sin peligro es de 100 kilovoltamperes dividido entre 50 kilovolts, es decir, 2 amperes.



Ocasionalmente, los generadores de c-a se diseñan para usarse con cargas que tengan un factor de potencia constante. En este caso, la clasificación de estos generadores puede indicarse en watts o kilowatts, para ese factor de potencia particular.

estructura de los generadores de c-a

Desde el punto de vista de apariencia física, los generadores de c-a varían considerablemente, desde los muy grandes, impulsados por turbinas que pesan miles de kilogramos, hasta pequeños generadores de aplicación especial que sólo pesan unos cuantos kilogramos y aun menos. Sin embargo, según ha quedado apuntado, prácticamente todos los generadores de c-a tienen armaduras estacionarias y campos rotatorios. Los devanados de armadura se colocan siguiendo la circunferencia interna de la cubierta del generador y generalmente se incrustan en un núcleo de hierro laminado. El núcleo y los devanados constituyen el estator.



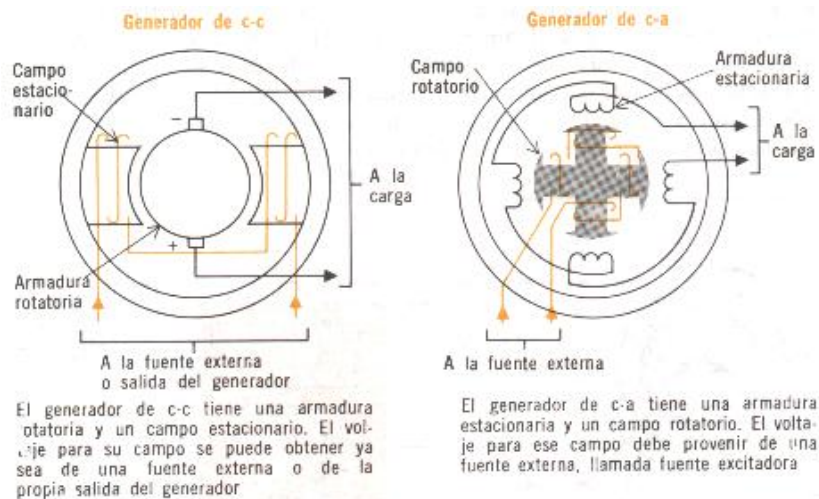
Los devanados de campo y los polos de campo, que constituyen el rotor, están montados sobre un eje y giran con el estator. También sobre el eje del rotor se encuentran montados los anillos rozantes para los devanados de campo. Cuando el generador contiene su propia fuente excitadora de c-c, la armadura de la fuente excitadora y el conmutador también están montados en el eje del motor. Los portaescobillas para los anillos rozantes del generador y el conmutador de la fuente excitadora están montados en la cubierta del generador, lo mismo que las terminales para efectuar las conexiones eléctricas al generador. La figura representa un generador de c-a típica con fuente excitadora dentro de él.

comparación de generadores de c-c y de c-a

Ahora que se han estudiado tanto los generadores de c-c como los de

c-a, se pueden observar las semejanzas básicas que hay entre ellos, así como sus diferencias fundamentales. En un generador de c-a, el voltaje inducido se transmite directamente a la carga, a través de anillos rozantes en tanto que en un generador de c-c el conmutador convierte la c-a inducida en c-c antes de que ésta sea aplicada a la carga.

Una diferencia física importante entre los generadores de c-c y los de c-a estriba en que el campo de la mayor parte de los generadores de c-c es estacionario y la armadura gira, en tanto que lo opuesto ocurre generalmente en los generadores de c-a. Esto tiene el efecto de hacer que los generadores de c-a puedan tener salidas mucho mayores de las que son posibles con generadores de c-c. Otra diferencia entre ambos tipos de generadores es la fuente de voltaje de excitación para el devanado de campo. Los generadores de c-c pueden constar ya sea de una fuente de excitación externa y separada o bien obtener el voltaje necesario directamente de su propia salida. Por su parte, los generadores de c-a deben estar provistos de una fuente separada.

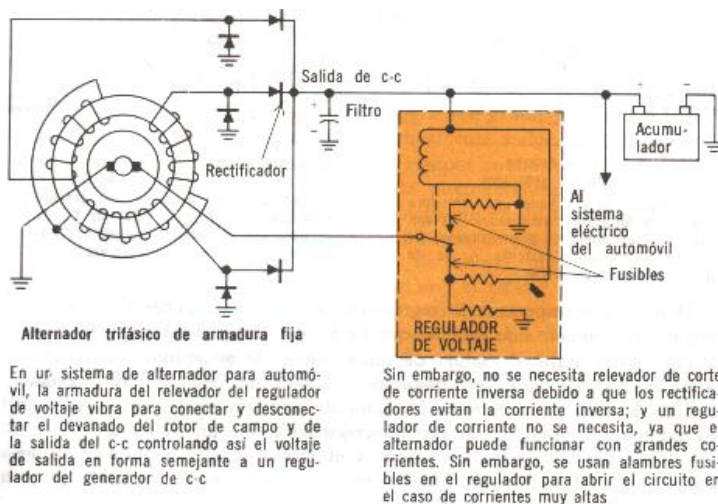


Por lo que respecto a la regulación de voltaje los generadores de c-c son inherentemente más estables que los de c-a. Una de las razones es que, aunque los voltajes de salida de ambos tipos de generador son sensibles a los cambios de carga, el voltaje de salida de un generador de c-a también es sensible a cambios en el factor de potencia de la carga. Además, es posible un buen grado de autorregulación en un generador de c-c usando un devanado de armadura combinado, lo cual no es factible en generadores de c-a, ya que éstos deben ser excitados separadamente.

EL ALTERNADOR DE AUTOMÓVIL

La comparación de las ventajas de los generadores de c-c y de los alternadores, los cuales se acaban de estudiar, se basa, en las categorías aceptadas de los generadores básicos. Sin embargo, es posible combinar las ventajas de generadores c-c y c-a mediante diseños de circuitos adicionales. Para el alternador de automóvil, esto se logra en una forma única para producir una fuente de carga de c-c de corriente elevada con un generador del tipo de c-a. A éste se le llama alternador aunque produce un voltaje de c-c ya que en realidad, se trata de un generador de c-a, de armadura fija con rectificadores, para convertir la c-a en c-c

Los rectificadores son dispositivos que, en su mayor parte, conducen sólo en una dirección. Así pues, el rectificador pasará solamente una polaridad del voltaje de c-a para producir una c-c pulsante. El alternador común de automóvil produce c-a trifásica, de manera que después de que el voltaje se convierte en c-c, se tiene menos ondulación. Luego se conecta un capacitor a la salida, para filtrar la ondulación y obtener un voltaje de c-c relativamente con poca variación.



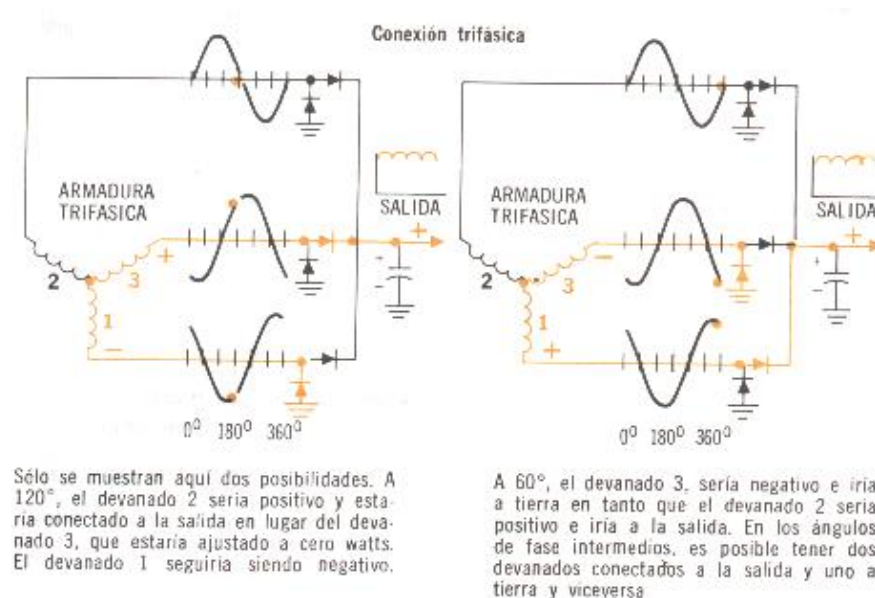
Debido a que los rectificadores se oponen al flujo de corriente en la dirección opuesta, no se necesita relevador de corte de corriente inversa en el regulador de voltaje. Además, como el alternador es un generador

de alta corriente, tampoco se necesita un regulador de corriente. Por lo tanto, el regulador para el alternador es mucho más simple que para el generador de c-c; sólo cuenta con un circuito de relevador para regular el voltaje de salida del alternador, controlando la corriente del campo. Nótese que, a pesar de ser un alternador, es autoexcitado. Esto se puede hacer debido a que la salida rectificada es c-c.

funcionamiento del alternador

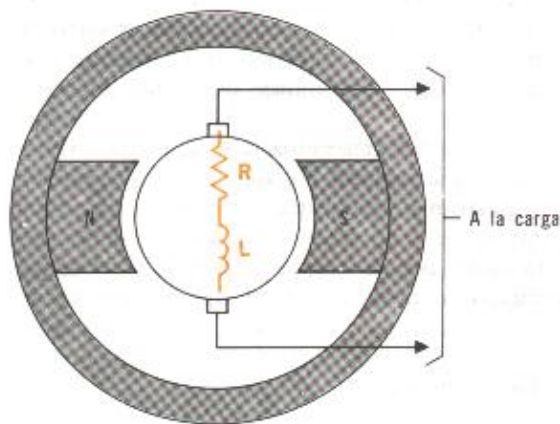
El alternador de automóvil trifásico está provisto de devanados de armadura fija conectados en Y, los cuales, según se ha explicado, producen un voltaje de fase entre dos puntas de salida. La salida del alternador es un voltaje positivo en relación con tierra. Pero ninguna punta de los devanados Y está conectada directamente a tierra debido a que los devanados producen c-a; las tres puntas son alternativamente negativas y positivas, al recorrer los ciclos de c-a. Por lo tanto, cada punta debe conectarse a tierra cuando es negativa y, a la salida, cuando es positiva. Esto se logra con rectificadores.

Los rectificadores sirven como interruptores que cierran una polaridad y abren la otra. Nótese que cada onda tiene dos rectificadores conectados en oposición. Un rectificador conectará la punta a la línea de salida cuando sea positiva, pero la desconectará cuando sea negativa. El otro rectificador conecta la terminal a tierra cuando es negativa y la desconecta cuando es positiva. El diagrama ilustra cómo se conectan los mismos dos devanados para ángulos de fase diferentes del voltaje de salida. En consecuencia, la salida siempre es positiva.



Si se recuerda lo estudiado acerca del generador de c-c, es fácil comprender que el conmutador era necesario para efectuar la misma operación siempre que las puntas cambiaran de polaridad, ya que la armadura siempre produce c-a. Por lo tanto, en el alternador los rectificadores sirven como conmutadores electrónicos, por lo que es discutible si el alternador es en realidad un alternador o nada más otro tipo de generador de c-c.

RESISTENCIA INTERNA DEL GENERADOR



El devanado de armadura de cada generador tiene resistencia e inductancia. La resistencia causada por la inductancia constituye la resistencia interna del generador

Siempre que hay corriente de carga, se encuentra con la oposición de la resistencia interna. Esta oposición produce una caída de voltaje que se resta del voltaje de salida del generador

En todo generador, la corriente de carga fluye a través del devanado de armadura. Como cualquier bobina o devanado, la armadura tiene resistencia e inductancia. La combinación de esta resistencia y la reactancia inductiva que ocasiona la inductancia, constituye la llamada resistencia interna del generador. Cuando fluye corriente de carga, produce una caída de voltaje en la resistencia interna. Esta caída de voltaje se resta del voltaje de salida del generador y, en consecuencia, representa voltaje generado, el cual se pierde y no puede ser aprovechado por la carga.

Adviértase que, cuanto mayor sea la resistencia interna, mayor será la parte de voltaje generado que se presente como caída interna del generador y, en consecuencia, que se pierde. En un generador de c-c con determinada resistencia interna, la caída de voltaje interno es directamente proporcional a la corriente de carga, siendo igual a:

$$E = I_{\text{carga}} R_{\text{interna}}$$

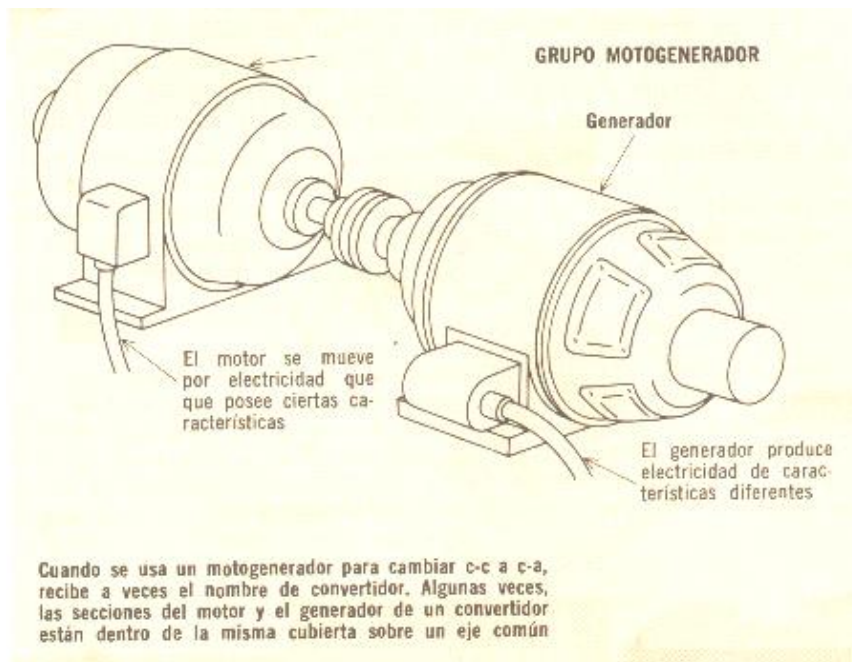
Así pues, cuanto mayor sea la corriente de carga, mayor será el valor de la caída de voltaje en la resistencia interna. En un generador de c-a, la caída interna de voltaje depende también de la frecuencia del voltaje de salida del generador, ya que la reactancia inductiva del devanado de armadura varía siempre que lo hace la frecuencia. Como la velocidad de un generador es uno de los factores que determina la frecuencia, la resistencia interna de un generador de c-a cambiará según la velocidad del generador.

EL MOTOGENERADOR

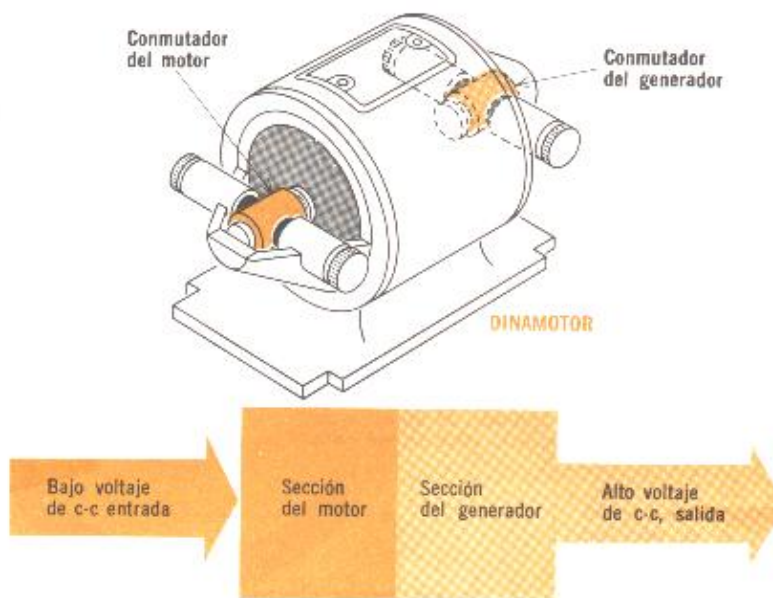
Un motogenerador consta de un motor eléctrico y un generador conectados mecánicamente de manera que el motor hace girar al generador. El motor suministra así la energía mecánica que el generador transforma en energía eléctrica. Tanto el motor como el generador de un motor generador suelen estar montados sobre la misma base y pueden moverse e instalarse como una sola unidad.

Los motogeneradores generalmente se usan para cambiar electricidad de un voltaje o frecuencia a otro o para convertir c-a en c-c ó c-c en c-a. La electricidad que tiene las características que han de transformarse alimenta al motor y el generador está diseñado para producir electricidad con las nuevas características deseadas. Por ejemplo, el motor puede ser impulsado por una fuente de potencia de 60-cps, en tanto que el generador produce una salida cuya frecuencia es de 400-cps. O bien un motor de c-c puede impulsar a un generador de c-a para lograr la conversión de c-c en c-a.

Cuando el dispositivo cambia una clase de c-a, a otra clase de c-a o a c-c, se llama grupo motogenerador. Pero, cuando se usa para convertir c-c en c-a, a veces también se le llama convertidor. Muy frecuentemente, el convertidor tiene el motor y el generador dentro de la misma cubierta.



EL DINAMOTOR



Un dinamotor convierte un voltaje de c-c bajo en un voltaje de c-c alto. Tanto la parte del motor como del generador están montadas sobre un eje común dentro de una cubierta común

En ciertos aspectos, el dinamotor es, en realidad un motogenerador. Consta de un motor eléctrico que mueve a un generador. Sin embargo, un grupo motogenerador suele constar de unidades separadas; en un dinamotor, están siempre contenidas en la misma cubierta común, en forma similar al convertidor y sus devanados de armadura se encuentran ambos sobre el mismo eje.

Los dinamotres sirven para convertir bajos voltajes de c-c generalmente suministrados por baterías- en altos voltajes de c-c. El bajo voltaje impulsa al motor que a su vez, hace mover al generador, el cual luego produce un voltaje más alto. Los dinamotres frecuentemente son parte del equipo de comunicaciones para obtener mayores voltajes de c-c que los que pueden obtenerse por medio de baterías. Son muy comunes en aeronáutica, donde muchas clases de equipo electrónico necesitan unos cuantos cientos de volts de c-c para

funcionar y la línea principal del avión sólo suministra 28 volts de c-c. Algunos equipos de radioaficionados, que operan mediante baterías de 6 ó 12 volts en automóviles, también ocupan dinamotors para transformar el voltaje al nivel necesario de c-c.