	MASTER DE FORMACIÓN B1.1 y B1.3 MÓDULO 3 FUNDAMENTOS DE ELECTRICIDAD	Edición: 3 Revisión: 9 Fecha: 31/07/2017
---	---	--

ÍNDICE M3

Capítulo 17. Generadores de Corriente Alterna

17.0. GENERALIDADES.....	3.17.2
17.1. TEORIA DEL GENERADOR. ROTACION DE UNA ESPIRA EN UN CAMPO MAGNETICO Y FORMA DE ONDA GENERADA.	3.17.2
17.2. FUNCIONAMIENTO Y FABRICACION DE GENERADORES DE CORRIENTE ALTERNA DE INDUCIDO Y CAMPO GIRATORIOS.....	3.17.4
17.3 . ALTERNADORES MONOFASICOS, BIFASICOS Y TRIFASICOS.	3.17.6
17.4. VENTAJAS Y UTILIZACION DE LAS CONEXIONES TRIFASICAS EN ESTRELLA Y TRIANGULO. CALCULOS DE VOLTAJE E INTENSIDAD DE LINEA Y DE FASE.....	3.17.6
17.5. CALCULO DE LA POTENCIA EN UN SISTEMA TRIFASICO.....	3.17.10
17.6. GENERADORES DE IMAN PERMANENTE.....	3.17.12
17.7. GENERADORES DE FRECUENCIA CONSTANTE.....	3.17.13
17.8. GENERADOR DE ARRASTRE INTEGRADO.....	3.17.15
17.9. UNIDAD DE CONTROL DEL GENERADOR.....	3.17.16
17.10. SISTEMAS DE GENERACION VELOCIDAD VARIABLE – FRECUENCIA CONSTANTE.....	3.17.16

CAPÍTULO 17

GENERADORES DE CORRIENTE ALTERNA

17.0. GENERALIDADES.

Un generador eléctrico se puede definir como una máquina que convierte la energía mecánica en energía eléctrica. En un avión, la energía mecánica es suministrada por los motores del avión. En aviones pequeños, lo habitual es que se disponga de generadores de CC de 14 o 28 V CC, según se estudió en el apartado 3.12. Los aviones grandes equipan generadores que suministran 208V o 117 VCA a 400 Hz de frecuencia que, comparados con los 28 V de CC, se intuye que un sistema de voltaje más alto desarrollará bastante más potencia a menor peso.

Habitualmente, un generador de CC se conoce como generador, mientras que a un generador de CA se le llama alternador, aunque es muy habitual llamarle también generador o generador de alterna.

17.1. TEORIA DEL GENERADOR. ROTACION DE UNA ESPIRA EN UN CAMPO MAGNETICO Y FORMA DE ONDA GENERADA.

Según se explicó en el apartado 12.13, cuando existe el movimiento relativo de un conductor en el seno de un campo magnético se induce una fem en el conductor. Si los extremos de ese conductor se conectan a una carga, circulará una corriente eléctrica, según se aprecia en la figura 3.17.1 siguiente.

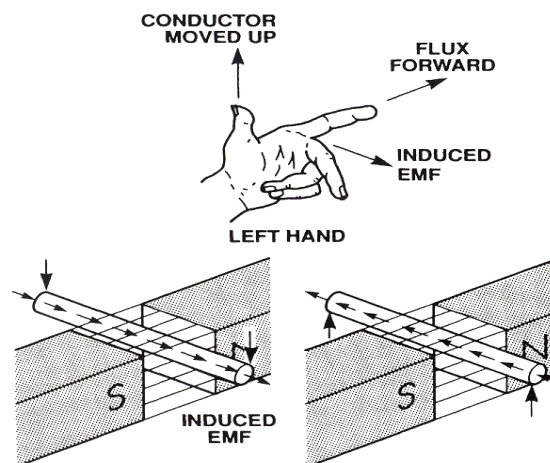


Fig. 3.17.1. FEM inducida en conductor. Regla de mano izquierda

La determinación del sentido del flujo de corriente se consigue, del mismo modo que se hacía en los generadores de corriente continua, aplicando la regla de la mano izquierda (mano derecha en Europa) que dice: “ Extendiendo los dedos pulgar, índice y medio de la mano de modo formen ángulo recto, si el dedo pulgar indica la dirección del movimiento del conductor y el dedo índice apunta en la dirección del campo magnético, el dedo medio indicará el sentido de la corriente eléctrica. (Recuérdese que en USA la corriente circula de negativo a positivo

mientras que en Europa la corriente circula de positivo a negativo, de aquí que se deba emplear la mano contraria para obtener el mismo resultado). Se considera que las líneas de fuerza del campo magnético van de norte a sur en el exterior.

El generador más simple consiste en una espira situada entre los polos de un imán permanente de modo que la espira pueda girar, según se muestra en la figura 3.17.2 siguiente.

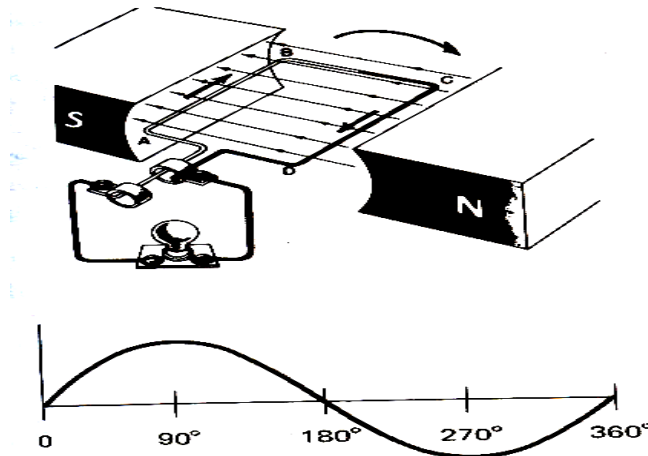


Figura 3.17.2. Generador simple de corriente alterna

La corriente se toma de la espira mediante unas escobillas que hacen contacto continuo con los anillos colectores. En la figura anterior, se ha llamado lado AB y lado CD a las caras de la espira. Cuando la espira gira en el sentido de la flecha, el lado AB se mueve hacia arriba en el seno del campo magnético y, aplicando la ley de la mano izquierda, la corriente fluye de A a B, mientras que CD se mueve hacia abajo y la corriente fluye de C a D. Se han sumado los voltajes inducidos en los dos lados de la espira y la corriente fluye en el sentido ABCD hacia el circuito externo. En el primer instante el vector velocidad de la espira es perpendicular a las líneas de fuerza del campo magnético y la inducción es máxima.

Según continúa el giro va disminuyendo el ángulo del vector velocidad con el vector del campo y la inducción va disminuyendo hasta que ambos vectores son paralelos en cuyo momento la inducción es nula. Continuando el giro de la espira, ahora los lados AB y CD vuelven a empezar a cortar líneas de fuerza, pero ahora el lado AB se mueve hacia abajo en el campo magnético, mientras que el lado CD se mueve hacia arriba, o sea en sentido contrario a como lo hacía anteriormente, por lo que la fem inducida y, por tanto la intensidad de corriente, han invertido su sentido a como lo tenían en el momento precedente, es decir la corriente fluye en el sentido BCBA hasta que la espira vuelve a estar en posición vertical y el voltaje inducido vuelve a ser cero.

Como quiera que la posición relativa lados de la espira – campo magnético es igual a la rotación de un vector en el seno del campo magnético, se puede decir que la forma de onda generada tiene la forma de una onda senoidal u onda seno, como la mostrada en la misma figura 3.17.2 anterior.

17.2. FUNCIONAMIENTO Y FABRICACION DE GENERADORES DE CORRIENTE ALTERNA DE INDUCIDO Y CAMPO GIRATORIOS.

En el apartado 12.14, del capítulo 12, se vieron las partes fundamentales de un generador, esto es un **campo magnético (magnetic field)** que puede ser un imán permanente que cierra su circuito magnético a través del **yugo (yoke)** o un electroimán con sus **bobinas de campo**, unas espiras giratorias que forman el **inducido o rotor (armature)**, los **anillos deslizantes (slip ring)** que reciben la corriente y la pasan a la carga a través de las **escobillas (brush)**. Los polos del imán se llaman **polos de campo** y si es un electroimán se llaman **bobinas de campo**. En estos generadores el inducido es giratorio y el campo es fijo.

Los alternadores, sin embargo, se fabrican habitualmente con un campo giratorio y con el inducido fijo, como se ve en la figura siguiente que muestra un generador de CA elemental en el que un imán se ha situado de modo que pueda girar entre las piezas polares de un yugo de hierro dulce en las que se ha enrollado una bobina de hilo aislado. Cuando se hace girar al imán, su campo magnético giratorio, cuyas líneas de fuerza cierran su circuito magnético a través del yugo, primero en una dirección y seguidamente en la contraria, hace que se induzca en la bobina un voltaje dependiente del movimiento giratorio del imán y, por tanto, con la forma de una onda seno.

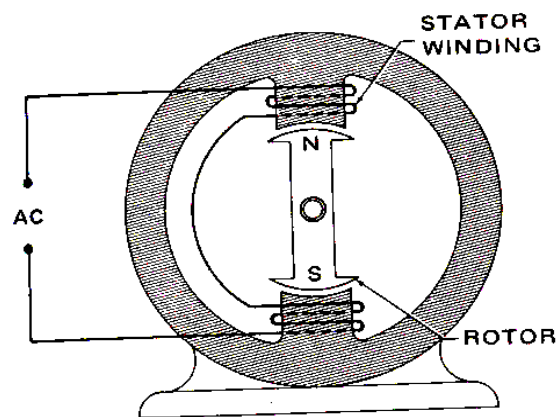


Fig. 3. 17.3. Alternador elemental

Aquí se aprecia, entonces, la diferencia fundamental entre generadores y alternadores. Un generador tiene el inducido giratorio, por lo que la corriente de salida fluye a través del conjunto colector y escobillas con la consiguiente limitación en los valores de intensidad máxima. Un alternador tiene el inducido fijo, por lo que la conexión entre las barras del avión y el alternador es directa, eliminándose así los problemas provocados por el pobre contacto entre colector de delgas y escobillas de eficiencia pobre, sobre todo a altas potencias. De aquí que en aviones que tengan que soportar cargas eléctricas altas se prefieran los alternadores a los generadores.

Todos los alternadores de avión se construyen con un **campo giratorio (rotating field)** llamado **rotor** y con un **inducido estacionario o fijo (stationary armature)** llamado **estator (stator)**. Cuando el rotor gira, su flujo magnético induce un voltaje en el devanado del estator, como ya se ha visto anteriormente. El voltaje inducido invertirá su polaridad en cada media vuelta del rotor puesto que hay una inversión de los polos del rotor con respecto al estator. Por

cada vuelta completa del rotor se producirá un ciclo completo de corriente alterna, o sea una onda seno completa.

El número completo de ciclos por segundo se conoce como **frecuencia**. Como un alternador de dos polos genera un ciclo en cada vuelta, se deduce que un alternador produce un ciclo de corriente alterna por cada par de polos del rotor. Entonces, si se desea calcular la frecuencia generada por un alternador emplear la fórmula:

$$\text{Frecuencia (Hz)} = \frac{\text{Velocidad (rpm)} \times \text{n}^{\circ} \text{ pares polos}}{60}$$

Si se dispone de un alternador que gira a 1800 revoluciones por minuto y tiene 4 polos, se conocería su frecuencia multiplicando 1800 por 2 (ya que cuatro polos son dos pares de polos) y se tendría 3 600 ciclos por minuto y dividiendo por 60 se tendría 60 ciclos por segundo o hertzios.

Normalmente, los alternadores no usan un imán permanente como rotor, sino un electroimán que recibe una corriente continua para excitar la armadura, como se aprecia en la figura siguiente, donde se ha representado un alternador con dos pares de polos para un solo arrollamiento y el campo excitado por un generador de cc regulado por un reostato.

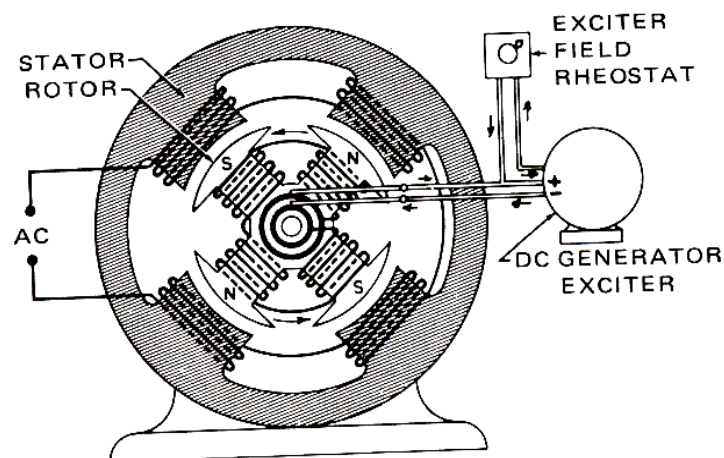


Fig. 3.17.4. Alternador excitado por generador de CC

El voltaje de salida de un alternador se regula controlando el voltaje de CC de excitación aplicado a la bobina del campo del rotor. En efecto, si el voltaje de salida aumenta, se disminuye el voltaje aplicado al campo, disminuye la intensidad del campo magnético y disminuye el voltaje inducido en el estator. Se ha disminuido el voltaje que tendía a aumentar. Y viceversa, si el voltaje de salida tiende a disminuir, se aumenta el valor del voltaje aplicado a la bobina del campo del rotor, aumenta la intensidad del campo y aumenta la inducción en las bobinas del estator. Se ha conseguido aumentar el voltaje que disminuía.

17.3 ALTERNADORES MONOFASICOS, BIFASICOS Y TRIFASICOS.

Un alternador se define por sus características de voltaje, amperaje, número de fases, potencia de salida (en vatios o voltioamperios) y el factor de potencia.

Atendiendo al número de fases, los alternadores se clasifican según el número de voltajes independientes que pueden generar, o sea según el número de devanados independientes que tenga el estator, en:

Monofásicos: el estator tiene un solo par de devanados.

Bifásicos: el estator tiene dos pares de devanados. No es usual.

Trifásicos: el estator tiene tres pares de devanados independientes espaciados de modo que sus voltajes están separados 120° .

La figura 3.17.5 siguiente muestra un alternador trifásico, en la que para simplificar el rotor es un imán con un solo par de polos y el estator dispone de una sola bobina por fase.

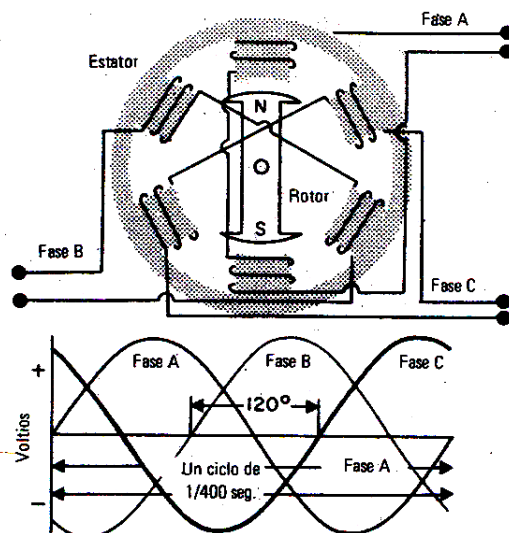
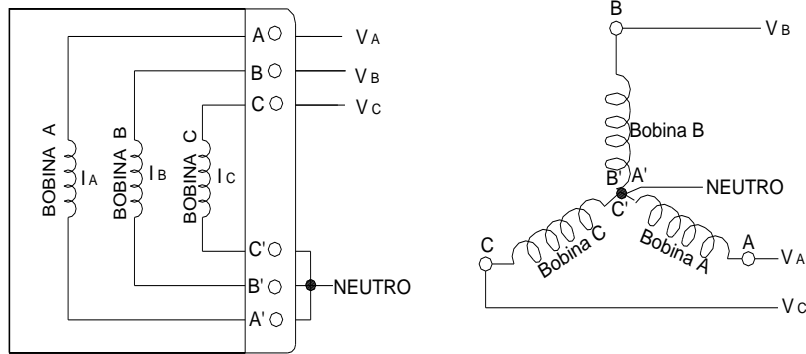


Fig. 3.17.5. Alternador trifásico. Forma de onda generada

17.4. VENTAJAS Y UTILIZACION DE LAS CONEXIONES TRIFASICAS EN ESTRELLA Y TRIANGULO. CALCULOS DE VOLTAJE E INTENSIDAD DE LINEA Y DE FASE.

En el apartado 13.6 se anticipó la idea de la corriente alterna trifásica. Una vez visto un alternador trifásico, se puede ampliar la idea de las corrientes alternas trifásicas.

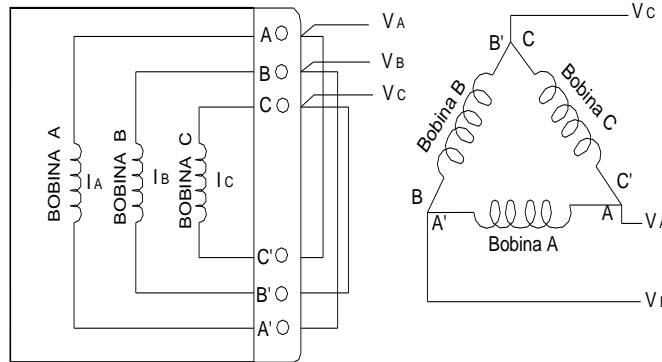
Un generador trifásico (es más común llamarle generador que alternador) dispondrá de una conector o regleta de bornas donde se habrán conectado los terminales de los bobinados de cada una de las fases. El interconexión de estos terminales dará lugar a un generador conectado en estrella o T, como se muestra en la figura 3.17.6 o conectado en triángulo o pí, como se puede ver en la figura 3.17.7.



a) **Generador**

b) **Representación esquemática**

Figura 17.6. Generador trifásico. Conexión en estrella



a) **Generador**

b) **Representación esquemática**

Fig. 3.17.7. Generador trifásico. Conexión en triángulo

En la conexión en estrella, se han conectado entre sí un terminal de cada bobina o fase y el voltaje se toma del otro terminal de cada una de las fases. En la conexión en triángulo, se ha conectado el terminal de la 1ª fase con un terminal de la 2ª, el otro terminal de esa 2ª con el terminal de la tercera y el segundo terminal de la 3ª con el que queda de la 1ª, tomándose los voltajes de la unión de los terminales. Con esta disposición, ya se puede conocer el valor de los voltajes obtenidos.

Llámesese

E_A al voltaje inducido en la bobina A o voltaje de fase A

E_B al voltaje inducido en la bobina B o voltaje de fase B

E_C al voltaje inducido en la bobina C o voltaje de fase C

y

V_{AB} al voltaje de línea entre fases A y B

V_{BC} al voltaje de línea entre fases B y C

V_{AC} al voltaje de línea entre fases A y C

V_{AN} al voltaje de línea entre fase A y Neutro

V_{BN} al voltaje de línea entre fase B y Neutro

V_{CN} al voltaje de línea entre fase C y Neutro

- a) Conexión en triángulo: $V_{AB} = E_A$ (Idem fases B y C)
- b) Conexión en estrella: $V_{AB} = E_A \sqrt{3}$ (Idem fases B y C)
 $V_{AN} = E_A$ (Idem fases B y C)

Luego en una conexión en estrella se dispone de dos voltajes, el medido entre fase y neutro y el medido entre fase y fase cuya diferencia es la raíz de tres. O sea, un avión con un generador trifásico en el que se induce un voltaje de 115 VAC, 400 Hz, de tensión nominal, tiene posibilidad de distribuir

$$V = 115 \text{ VAC} \quad \text{entre fase y neutro}$$

$$V = 115 \sqrt{3} = 200 \text{ VAC} \quad \text{entre fase y fase}$$

Quede claro que son tres voltajes, cada uno correspondiente a la inducción de cada bobina, independientes aunque interrelacionados, como se va a definir en los párrafos siguientes.

La figura 3.17.8 muestra las formas de onda de los tres voltajes generados y cómo, tras interconexionar las bobinas en estrella o triángulo, los voltajes obtenidos cumplen las leyes de Kirchoff.

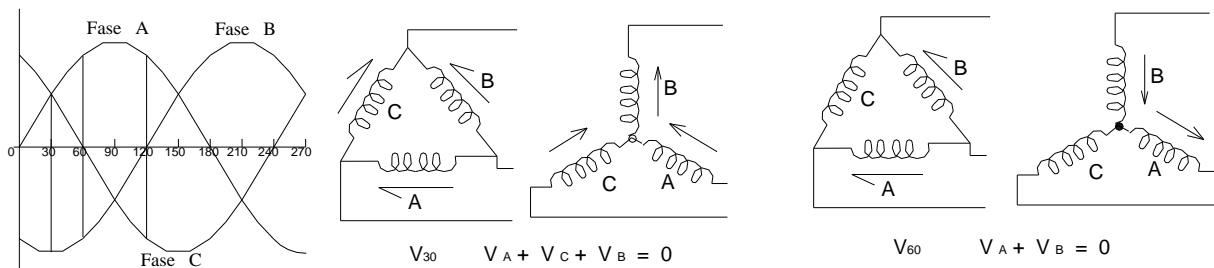
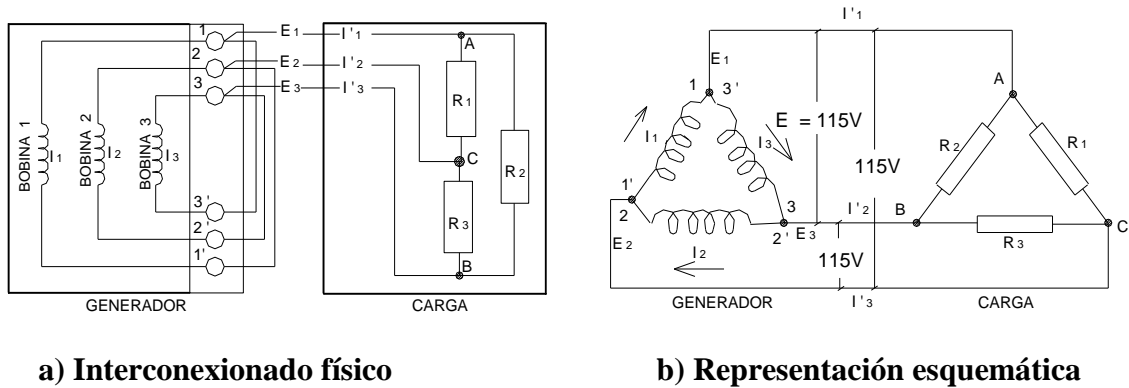


Fig. 3.17.8. Distribución de voltajes en sistema trifásico.

Nótese que en el punto 30, o a 30° de un hipotético comienzo, las fases A y C tienen el mismo valor positivo, mientras que la fase B es negativa y, cumpliendo la 1ª ley de Kirchoff, de valor doble que cualquiera de las otras. En el punto 60, o a 60° del comienzo, las fases A y B son iguales y opuestas, mientras que la fase C es cero. En el punto 90, no representado en la figura, es la fase A positiva y de valor doble del de cualquiera de las otras dos, negativas, B y C.

Las distribuciones de consumos, o de intensidades de corriente, cuando un generador se conecta a una carga se representan en la figura 3.17.9 para una conexión en triángulo en la 3.17.10 para conexión en estrella.



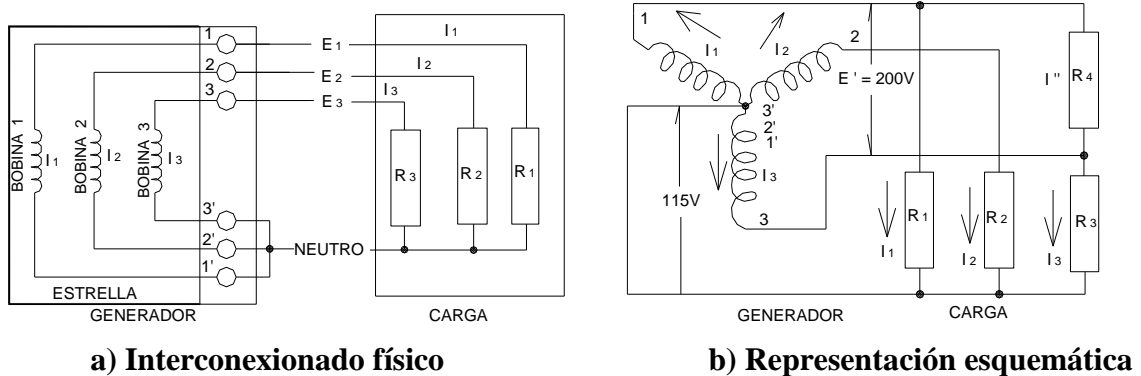
a) Interconexión físico

b) Representación esquemática

Fig. 3.17.9. Generador y carga conectados en triángulo

Se ha visto que un generador trifásico conectado en triángulo tiene un voltaje de línea igual al voltaje de fase, pero se puede demostrar matemáticamente que, con conexión en triángulo, la intensidad de línea es igual a la intensidad de fase por la raíz de tres. O sea:

$$I'_{1} = I_{1} \sqrt{3}$$



a) Interconexión físico

b) Representación esquemática

Fig. 3.17.10. Generador y carga conectados en estrella.

Cuando un generador conectado en estrella se conecta a una carga, se puede hacer la distribución entre fase y neutro (caso habitual), pero se puede obtener un segundo voltaje cuando se conecta la carga entre dos fases del generador, como ocurre con R_4 , que se ha conectado entre los terminales 1 y 3, o entre las fases 1 y 3 del generador, recibiendo esa carga 200 VAC en lugar de los 115 VAC que reciben las otras. Sin embargo, la intensidad de línea es igual a la intensidad de la fase. Luego se puede resumir:

- a) Conexión en triángulo:**
Voltaje de línea igual a voltaje de fase.
Intensidad de línea igual a intensidad de fase por raíz de tres.
- b) Conexión en estrella:**
Voltaje de línea igual a voltaje de fase por raíz de tres.
Intensidad de fase igual a intensidad de línea.

17.5. CALCULO DE LA POTENCIA EN UN SISTEMA TRIFASICO.

En el capítulo 14, apartado 14.11, se estudió la potencia de un sistema de corriente alterna llegándose al conocimiento de las potencias activa, reactiva y aparente, así como el factor de potencia (**fp**) o POWER FACTOR (**pf**), cuya relación se expone en la figura 3.17.11.

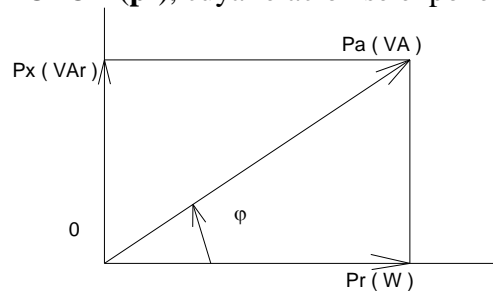


Fig. 3.17.11. Relación entre potencias

Siendo

Pr = Potencia activa. Se mide en vatios (W)

Px = Potencia reactiva. Se mide en voltioamperios reactivos (VAr)

Pa = Potencia aparente. Se mide en voltioamperios (VA)

Factor de potencia = $\cos \varphi$

* El módulo del vector potencia real o activa de un circuito de CA se obtiene por cualquiera de las conocidas fórmulas:

$$\mathbf{Pr} = \mathbf{Ia}^2 \mathbf{R} = \mathbf{Vab} \mathbf{Ia} = \frac{\mathbf{Vab}^2}{\mathbf{R}}$$

siendo **Ia** la intensidad activa, **R** la resistencia del circuito y **Vab** la tensión aplicada.

* El módulo del vector potencia reactiva de un circuito de CA se obtiene por cualquiera de las conocidas fórmulas:

$$\mathbf{Px} = \mathbf{Ix}^2 \mathbf{X} = \mathbf{Vab} \mathbf{Ix} = \frac{\mathbf{Vab}^2}{\mathbf{X}}$$

siendo **Ix** la intensidad reactiva, **X** la reactancia del circuito y **Vab** la tensión aplicada.

* El módulo del vector potencia total o aparente de un circuito de CA se obtiene por cualquiera de las conocidas fórmulas:

$$\mathbf{Pa} = \mathbf{I}^2 \mathbf{Z} = \mathbf{Vab} \mathbf{I} = \frac{\mathbf{Vab}^2}{\mathbf{Z}}$$

siendo **I** la intensidad total, **Z** la impedancia del circuito y **Vab** la tensión aplicada.

* La potencia total del circuito se obtiene aplicando las fórmulas conocidas en el triángulo de potencias:

$$\overline{\mathbf{Pa}} = \sqrt{\mathbf{Pr}^2 + \mathbf{Px}^2} \quad \left| \arctg \frac{\mathbf{Px}}{\mathbf{Pr}} = \mathbf{Pa} \right| \varphi$$

Siendo, lógicamente, el módulo del vector potencia total:

$$P_a = \sqrt{P_r^2 + P_x^2}$$

* El factor de potencia (power factor = pf) del circuito es la relación entre la potencia real y la potencia aparente.

$$\text{Factor de potencia (fp)} = \frac{P_r}{P_a} = \cos \varphi$$

O lo que es igual, el factor de potencia de un circuito de corriente alterna es igual al coseno del ángulo de desfase entre voltaje e intensidad.

El factor de potencia define la eficiencia de un circuito de corriente alterna, que será tanto más eficiente cuanto más se aproxime a la unidad el factor de potencia.

En un sistema trifásico, la potencia activa o real sería:

$$P_r = E I_1 \cos \varphi_1 + E I_2 \cos \varphi_2 + E I_3 \cos \varphi_3$$

Y la potencia reactiva:

$$P_x = E I_1 \sin \varphi_1 + E I_2 \sin \varphi_2 + E I_3 \sin \varphi_3$$

Siendo

E = voltaje de fase

I₁ I₂ I₃ = intensidades de cada línea

φ₁ φ₂ φ₃ = ángulos de desfase de cada línea

Siendo la potencia aparente: $P_a = \sqrt{P_r^2 + P_x^2}$

Si el sistema fuese totalmente equilibrado, o sea se consumiese exactamente igual en cada una de las fases:

$$I_1 = I_2 = I_3 = I$$

Luego $P_r = 3 E I \cos \varphi = \sqrt{3} \sqrt{3} E I \cos \varphi$

Pero $E' = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}} E$ (tensión entre fases o de línea) (estrella)
 $I' = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}} I$ (Intensidad entre fases o de línea) (triángulo)

Luego: $P_a = E' I' \sqrt{3}$ para conexión en estrella

ó $P_a = E I' \sqrt{3}$ para conexión en triángulo

Conocida la potencia aparente y el ángulo de desfase, las potencias activa y reactiva se pueden obtener abatiendo la hipotenusa del triángulo de potencias sobre cada eje para obtener:

$$P_x = P_a \sin \varphi \quad \text{y} \quad P_r = P_a \cos \varphi$$

Nótese que en un sistema trifásico la potencia total consumida del generador se obtiene con el producto del voltaje de línea por la intensidad de línea y por la raíz de tres.

17.6. GENERADORES DE IMAN PERMANENTE.

Como consecuencia de los problemas generados por las escobillas que implican mantenimiento, se han desarrollado los alternadores sin escobillas. Sus principales ventajas son:

1. Menor costo de mantenimiento al no tener escobillas ni anillos deslizantes.
2. Alta estabilidad en la salida, al eliminar las variaciones de resistividad y conductividad entre escobillas y anillos.
3. Mejor respuesta a altas altitudes, al eliminar arcos que se presentan en las escobillas.

La base del generador sin escobillas es que, en lugar de escobillas, se apoya en los fenómenos de inducción electromagnética para transferir la energía eléctrica desde los componentes estacionarios o fijos a los componentes rotativos.

Uno de los alternadores sin escobillas más conocido es el **generador de imán permanente (permanent magnet generator = PMG)**, que toma su nombre del imán permanente, situado en el interior del generador, responsable del inicio de la producción de la energía eléctrica.

La figura 3.17.12 muestra el diagrama esquemático de un generador de imán permanente, que se compone de tres generadores perfectamente diferenciados: el generador de imán permanente, el generador excitador y el generador principal, accionados por el mismo eje giratorio.

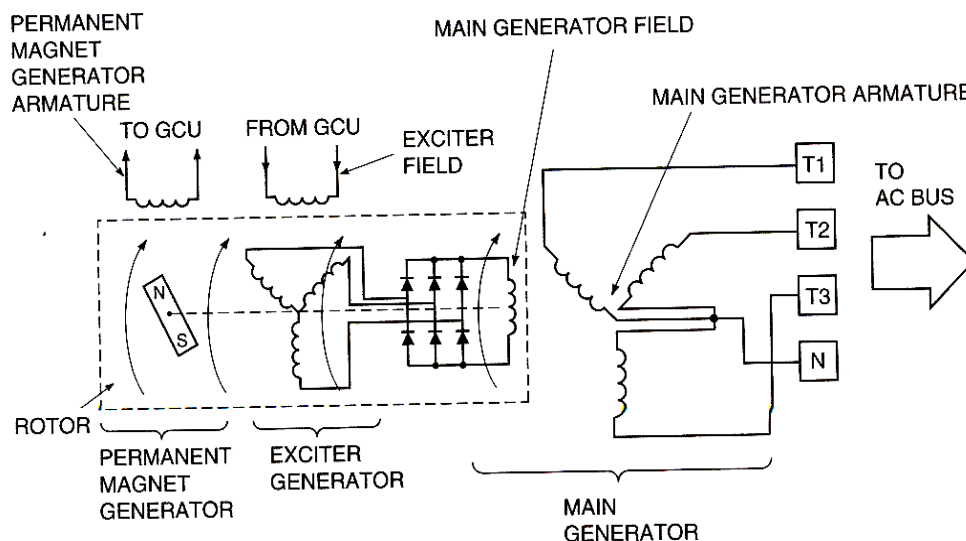


Fig. 3.17.12. Generador de imán permanente (PMG)

El generador de imán permanente consiste en un rotor formado por un imán permanente (de aquí su nombre) (o con hasta seis imanes, según el fabricante) y un estator con su inducido o armadura. Cuando se hace girar el eje del generador, el campo magnético giratorio del imán permanente induce una f.e.m. en su estator, que está conectado con la Unidad de Control del Generador (GCU). La GCU recibe esta f.e.m., consistente en una corriente alterna, la rectifica convirtiéndola en corriente continua y la envía a la bobina de campo del generador excitador.

El generador excitador está formado por estator con una bobina de campo y un rotor formado por un inducido conectado en estrella y un rectificador puente conectado a la bobina de campo del generador principal. La bobina del campo del excitador, alimentada en corriente continua por la GCU, crea un campo magnético fijo que, cuando el rotor gira en su seno, induce una corriente alterna en el inducido del excitador. Este inducido excitador está conectado a un circuito rectificador giratorio, que transforma la corriente alterna en corriente continua y la envía a la bobina de campo del generador principal. Nótese que el campo producido por el generador excitador ha de ser constante por lo que la tensión de excitación tiene que ser de corriente continua.

El generador principal está constituido por un campo giratorio y un inducido estacionario, o estator, con sus bobinas conectadas en estrella. El campo magnético giratorio creado por esta bobina de campo induce un voltaje de corriente alterna, mientras está girando, en el inducido del generador principal, obteniéndose las tensiones de 120 VAC entre fase y neutro o voltaje de fase y 208 VAC entre fases o voltaje de línea. Del mismo modo que en el generador excitador el campo magnético creado por el rotor del generador principal tiene que ser constante, de aquí que el voltaje de excitación, de corriente alterna, producido en el rotor del excitador tenga que ser rectificado para obtener el voltaje de corriente continua necesario para excitar al generador principal.

La función del GCU (Unidad de Control del Generador) es la de monitorizar y controlar la salida del generador regulando la corriente de campo del excitador. Así, si se requiere un aumento de la carga, la GCU aumentará la corriente de campo del excitador aumentando el campo del generador y la tensión de salida. La GCU también contiene la circuitería de protección del generador como condiciones de sobretensión o sobrecarga, medidas de tensión, frecuencia, secuencia de fase y control contra - corrientes diferenciales, produciendo la desconexión del generador de la barra en caso de fallo.

17.7. GENERADORES DE FRECUENCIA CONSTANTE.

Se sabe que la frecuencia de la corriente alterna generada por un alternador es directamente proporcional a la velocidad con que gire el rotor del alternador. Si el giro del eje del rotor de un alternador se conecta a la transmisión de la caja de accesorios del motor del avión en el afán de obtener todo un sistema de CA apoyados solo en el motor del avión, el problema que se presenta es que ese alternador genera una corriente alterna de frecuencia variable, (por ser variable la velocidad de giro del motor) que puede ser utilizada en sistemas solo resistivos, como los sistemas eléctricos antihielo, pero no en aquellos en que se exige una frecuencia constante. Por tanto, es preciso disponer de algún tipo de equipo de conversión. El que se emplea más corrientemente utiliza un dispositivo de transmisión situado entre el motor y el generador, que incorpora un mecanismo de transmisión de relación variable, como las cajas de cambio automáticas en los automóviles. Este mecanismo se llama **unidad de arrastre a velocidad constante (constant – speed drive) (CSD)**.

El arrastre a velocidad constante, CSD, emplea una transmisión hidráulica de relación variable que, básicamente, consta de una Unidad Hidráulica de Desplazamiento Variable, una Unidad Hidráulica de Desplazamiento Fijo y un Engranaje Diferencial. La potencia que acciona al generador se controla y se transmite por medio de los efectos combinados de estas tres unidades. El aceite o fluido hidráulico para el funcionamiento del sistema se suministra desde un depósito, por medio de bombas de presión, situadas en la unidad, y de un regulador. La acción de la CSD es tal que hace girar al eje del alternador a una velocidad constante para que el alternador pueda entregar una corriente alterna de 400 Hz de frecuencia.

La figura 3.17.13 muestra un conjunto alternador – CSD fabricado por Sundstrand Aviation Electric Power Division.

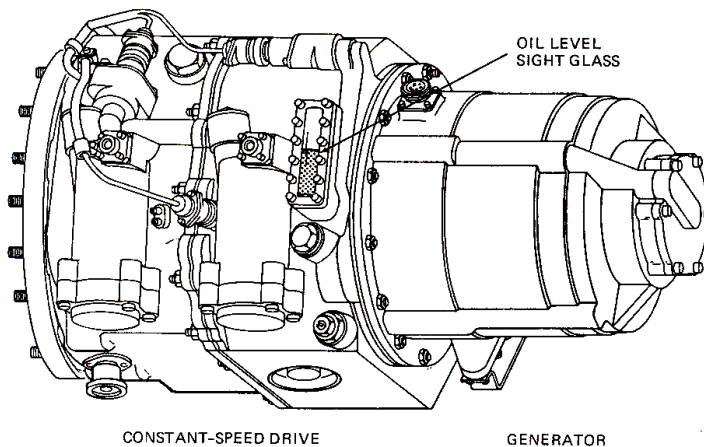


Fig. 3.17.13. Generador arrastrado por CSD

El generador se refrigera con aceite procedente de la CSD. En la mayor parte de los casos, estos sistemas van equipados con un sistema adaptador para montaje – desmontaje rápido consistente en un embridado con pernos que permite la sustitución en línea con bastante rapidez.

La temperatura normal del aceite de refrigeración del alternador es de unos 200 °F. Con el fin de mantener correcta la capacidad de refrigeración del sistema, es necesario monitorizar periódicamente el nivel de aceite, lo que se puede efectuar a través de una ventana de inspección practicada en la CSD, que permite verificar el nivel de aceite de modo rápido. En caso de pérdida de aceite o por sobrecalentamiento, se encenderá una luz de aviso en la cabina. En este caso la CSD debe ser desconectada inmediatamente. Por esta razón la mayoría de las CSD están equipadas con un mecanismo de desconexión del acoplamiento entre ejes de la CSD y el alternador, que puede ser actuado manualmente desde la cabina o automáticamente mediante la Unidad de Control del Generador. Esta actuación consiste en un embrague de los denominados “dientes de perro” activado por un solenoide accionado por señal eléctrica.

17.8. GENERADOR DE ARRASTRE INTEGRADO.

Uno de los generadores de frecuencia constante muy ampliamente usado por BOEING y por AIRBUS, entre otras, es el IDG. Se trata de un generador de alta velocidad, 24 000 rpm, formado por una CSD (Constant Speed Drive o Arrastre a Velocidad Constante) y un generador de Imán Permanente (PMG) montados en un conjunto común, como se muestra en la figura 3.17.14.

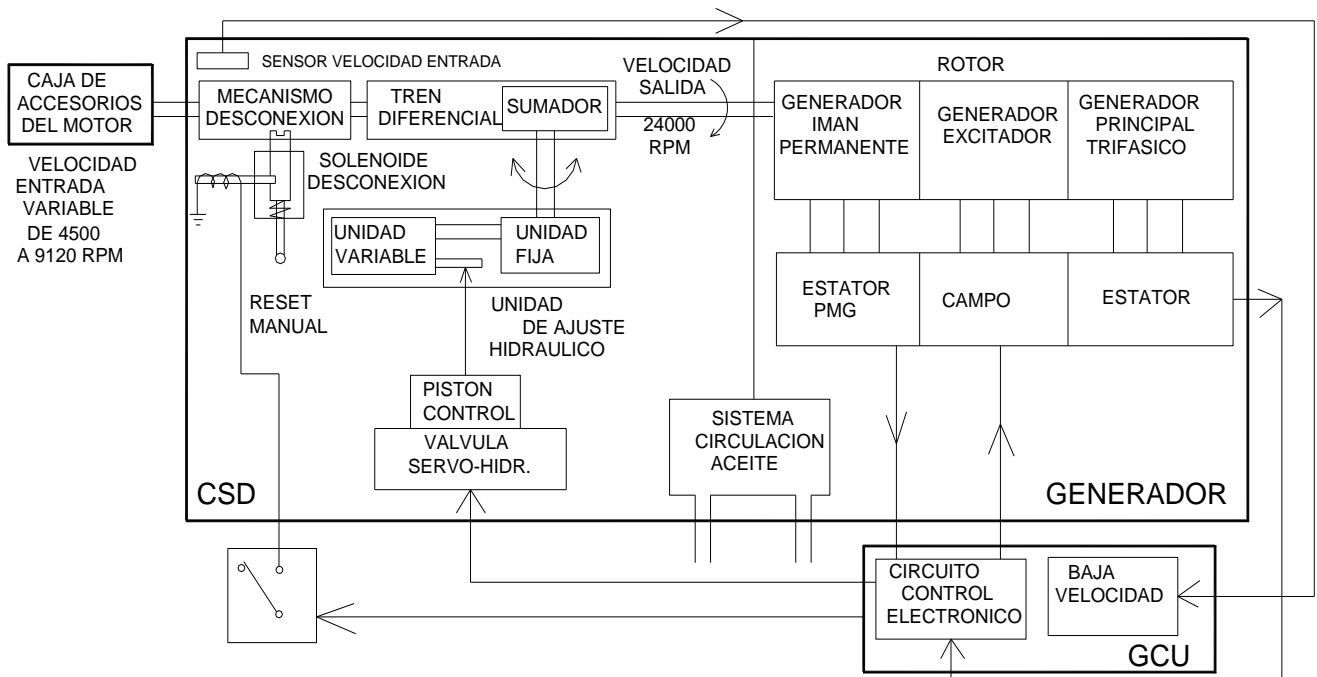



Fig. 3.17.14. Generador de Arrastre Integrado (IDG)

El motor del avión arrastra a su IDG asociada a través de la Caja de Accesorios, con la velocidad correspondiente al régimen del motor.

La CSD convierte la velocidad de entrada variable en una velocidad de salida constante mediante un tren de engranajes diferencial y una unidad de ajuste hidráulico. Este control de velocidad se efectúa en un Sistema compuesto por una servoválvula situada en la IDG y un Circuito de Control Electrónico situado en la GCU (Unidad de Control del Generador). El Circuito de Control Electrónico recibe información desde un sensor de la velocidad de entrada, la compara con una señal de referencia y polariza la servoválvula para mover el pistón de control que actúa sobre el plato oscilante de la Unidad Variable permitiendo mantener la velocidad en 24000 rpm, que hace al generador obtener la frecuencia de 400 Hz.

La GCU también determina si la velocidad de entrada es suficiente para operar el IDG. En caso afirmativo ordena la conexión de la CSD a la Caja de Accesorios del motor. La CSD dispone de una función RESET manual, que solo puede ser utilizada en tierra accionando el maneral de reset situado en el exterior de la propia IDG.

	MASTER DE FORMACIÓN B1.1 y B1.3 MÓDULO 3 FUNDAMENTOS DE ELECTRICIDAD	Edición: 3 Revisión: 9 Fecha: 31/07/2017
---	---	--

17.9. UNIDAD DE CONTROL DEL GENERADOR.

Los sistemas de control de energía eléctrica del avión monitorizan y controlan la regulación de tensión, la limitación de corriente, protección contra voltaje o frecuencia fuera de tolerancia y alertan a la tripulación, entre otros. La mayor parte de estas funciones se efectúa en la Unidad de Control del Generador.

Una GCU regula la tensión de salida del alternador tomando una muestra del voltaje generado y comparándolo con una señal de referencia en el regulador de voltaje, que envía una señal de error al campo del excitador del generador principal, según se vio en apartados anteriores. De este modo, la GCU controla el voltaje de salida del alternador

La circuitería de protección monitoriza diversos parámetros como situación de sobrevoltaje o sobrecorriente, variaciones en la frecuencia, secuencia de fases o defectos a masa. Si ocurre un fallo, la circuitería de protección actúa el correspondiente relé para aislar el componente defectuoso. Incluso, si el fallo se produce en uno de los alternadores, el sistema desconecta ese alternador y reconecta la carga a otros sistemas de producción de energía eléctrica.

17.10. SISTEMAS DE GENERACION VELOCIDAD VARIABLE – FRECUENCIA CONSTANTE.

En un esfuerzo para simplificar y mejorar la producción de corriente alterna en el avión y de suprimir la necesidad de excitadores hidromecánicos de velocidad constante, se han desarrollado sistemas para la generación de corriente alterna trifásica a 400 Hz mediante circuitería electrónica. Esto ha sido posible merced al gran desarrollo experimentado por la tecnología de estado sólido en los últimos años.

Los sistemas **velocidad – variable frecuencia – constante (VSCF = variable – speed constant – frequency)** emplean, básicamente un alternador de frecuencia variable cuya velocidad de giro es proporcional a la del motor del avión, por lo que la frecuencia generada depende de las rpm del motor. La salida del alternador, con frecuencia variable, se aplica a un circuito electrónico generador de corriente alterna a 400 Hz constante. Los actuales VSCF pueden generar hasta 110 KVA gracias al desarrollo de transistores de potencia que permiten el paso de hasta 600 A de corriente.

Los sistemas VSCF mejoran la fiabilidad de la instalación en comparación con los que emplean las unidades mecánicas-hidráulicas para regular la velocidad del alternador. Un sistema VSCF fabricado por Sundstrand Corporation solo contiene dos unidades rotatorias, la bomba de aceite y el rotor del alternador, las dos únicas que presentan desgaste con el tiempo y requieren inspección periódica.

La figura siguiente muestra el diagrama en bloques de los principales elementos de un VSCF montado en un Boeing 737.

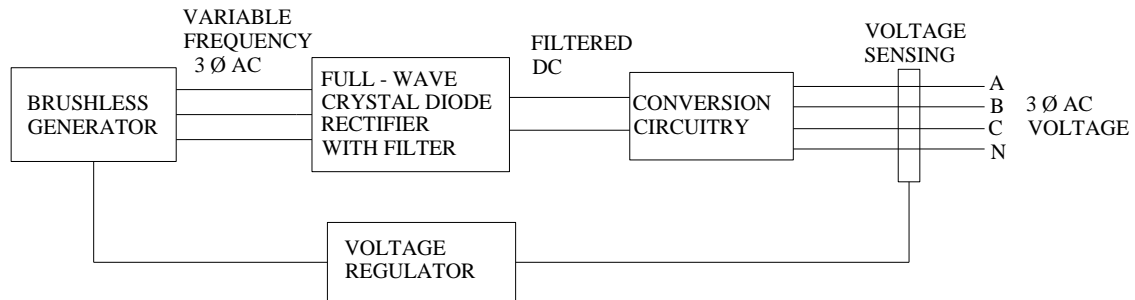


Fig. 3.17.15. Sistema VSCF fabricado por Sundstrand Corp.

El alternador sin escobillas es igual al descrito con anterioridad, solo que al estar accionado por el motor del avión, su frecuencia de salida será proporcional a las rpm del motor. La salida trifásica de frecuencia variable del alternador se aplica al rectificador donde la corriente alterna se convierte en corriente continua y se filtra. Esta corriente continua alimenta la circuitería electrónica que genera una corriente alterna trifásica a 400 Hz. Esta salida, mediante los captadores adecuados se aplica al regulador de tensión que controla el campo del alternador para mantener el voltaje de salida dentro de los límites adecuados y conforme a las demandas de la carga aplicada al sistema.

Una VSCF típica tiene las siguientes características:

- Tensión de salida: alterna trifásica 115/200 voltios.
- Frecuencia de salida: 400 Hz.
- Potencia de salida: 60 KVA en régimen continuo
80 KVA en sobrecarga durante 5 seg.
- Velocidad de entrada: de 4630 a 8600 rpm.
- Factor de potencia: de 0,75 en retraso a 0,95 en adelanto.
- Peso total: 145 lb (65,8 kg) (generador, convertidor y GCU)

Actualmente existen pocas unidades VSCF instaladas, sin embargo, si se mejoran los costos de fabricación, estos sistemas están llamados a ser los futuros generadores de energía eléctrica para aviones de gran tamaño.