



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 353 633**

51 Int. Cl.:
H02P 9/00 (2006.01)
H02P 29/02 (2006.01)
H02P 25/22 (2006.01)
H02P 29/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08762380 .7**
96 Fecha de presentación : **13.06.2008**
97 Número de publicación de la solicitud: **2168235**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **31.03.2010**

54 Título: **Máquina eléctrica síncrona.**

30 Prioridad: **12.07.2007 GB 0713527**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
03.03.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
03.03.2011

73 Titular/es: **ROLLS-ROYCE plc.**
65 Buckingham Gate
London, SW1E 6AT, GB

72 Inventor/es: **Trainer, David, Reginald;**
Cullen, John, James, Anthony;
Mitcham, Alan, John;
Cross, Andrew, Mark;
Forsyth, Andrew, John y
Abdel-Hafez, Ahmed

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 353 633 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

La invención presente trata de una máquina eléctrica síncrona, en particular de una máquina eléctrica síncrona para un motor de turbina de gas, por ejemplo, un generador o arrancador eléctrico.

5 En las aplicaciones aeroespaciales normales la energía eléctrica se genera utilizando máquinas eléctricas síncronas tradicionales in situ. Estas máquinas eléctricas síncronas están acopladas a un rotor del motor de turbina de gas utilizando un sistema de transmisión mecánica complejo, por ejemplo un eje conductor radial del rotor del motor de turbina de gas y una caja de engranajes. Estas máquinas eléctricas síncronas están montadas en el motor de turbina de gas en una posición en la que
10 resultan fácilmente accesibles para el mantenimiento y / o la sustitución si existe un fallo con la máquina eléctrica asíncrona.

Se propone en beber la máquina eléctrica síncrona en el motor de tribuna de gas, por ejemplo el rotor de la máquina eléctrica síncrona está acoplado al rotor del motor de turbina de gas. La ventaja de la máquina eléctrica síncrona embebida es que
15 permite eliminar el sistema de transmisión mecánica complejo, o simplificarlo enormemente, proporcionando beneficios apreciables tanto operativos como de eficiencia. Sin embargo, estas máquinas eléctrica síncronas embebidas son difíciles de retirar y sustituir si existe un fallo o avería. El documento EP0659234B1 describe el uso de máquinas eléctrica síncronas acopladas y máquinas eléctricas síncronas embebidas en motores de turbina de gas. El documento US2007/0030600 describe un
20 sistema de protección contra fallos para máquinas síncronas de imán permanente.

Es deseable utilizar la máquina eléctrica asíncrona para arrancar el motor de turbina a gas, así como para generar electricidad, ya que esto elimina la necesidad de un arrancador de aire y proporciona beneficios en el diseño del motor adicionales. Se
25 provee una interfase electrónica de potencia con la máquina eléctrica síncrona para permitir que la máquina eléctrica síncrona funcione como un motor en lugar de cómo un generador.

Los sistemas de generador eléctrico que utilizan convertidores de potencia electrónicos permiten tecnologías de máquinas de alta densidad de potencia, por
30 ejemplo diseños de minan permanente para ser empleados en máquinas eléctrica asíncronas, que proporcionan ventajas adicionales en tamaño y peso en comparación con las máquinas eléctrica síncronas tradicionales.

Existe una necesidad de máquinas eléctricas síncronas embebidas de alta fiabilidad y tolerantes a fallos para los motores de turbina de gas de las aeronaves.

De acuerdo con lo anterior la invención presente pretende proporcionar una máquina eléctrica síncrona novedosa, que reduce, y preferiblemente soluciona, el problema mencionado más arriba.

De acuerdo con lo anterior la invención presente proporciona un máquina eléctrica síncrona que comprende una pluralidad de fases, medios de detección dispuestos para detectar un fallo en al menos una de las fases de la máquina eléctrica síncrona, medios de aislamiento dispuestos para aislar la al menos una fase de la máquina eléctrica síncrona con el fallo, medios de desplazamiento de fase dispuestos para producir un desplazamiento de la fase controlado entre el voltaje (emf) y la corriente entre las fases restantes de la máquina eléctrica síncrona para ajustar el ángulo de la fase y la magnitud de la segunda potencia armónica producida por las fases restantes de la máquina eléctrica síncrona de manera que el vector suma de los vectores de la potencia armónica secundaria de las fases restantes de la máquina eléctrica síncrona sea cero.

Preferiblemente los medios del desplazamiento de fase comprenden una pluralidad de convertidores, teniendo cada fase su convertidor respectivo.

Preferiblemente la máquina eléctrica síncrona es un motor / generador.

Preferiblemente la máquina eléctrica síncrona es un arrancador / generador.

Preferiblemente la máquina eléctrica síncrona comprende una máquina eléctrica de imán permanente.

Preferiblemente la máquina eléctrica síncrona comprende un rotor que tiene una pluralidad de imanes permanentes separados circunferencialmente y un estator que tiene una pluralidad de arrollamientos eléctricos.

Alternativamente, la máquina eléctrica síncrona comprende una máquina eléctrica de reactancia conmutada.

Preferiblemente la máquina eléctrica síncrona comprende cinco fases. Las cinco fases pueden estar dispuestas con una separación eléctrica de 36, 72 o 108 grados.

Típicamente las cinco fases están dispuestas con una separación eléctrica de 108 grados y los medios de conmutación de fase están dispuestos para producir un desplazamiento de fase de más / menos 14 grados eléctricos entre el voltaje (emf) y la corriente dentro de cada una de las fases restantes de la máquina eléctrica síncrona.

La invención presente proporciona también un método para operar una máquina eléctrica asíncrona que comprende una pluralidad de fases, comprendiendo el método detectar una falta en al menos una de las fases de la máquina eléctrica

síncrona, aislar la al menos una fase de la máquina eléctrica síncrona con el defecto, produciendo un desplazamiento de fase controlado entre el voltaje (emf) y la corriente dentro de las fases restantes de la máquina eléctrica síncrona para ajustar el ángulo de la fase y la magnitud del segundo armónico de la potencia producida por las fases restantes de la máquina eléctrica síncrona de manera que el vector suma de los vectores del segundo armónico de la potencia de las fases restantes de la máquina eléctrica síncrona sea cero.

Preferiblemente cada fase tiene su convertidor respectivo, comprendiendo el método utilizar los convertidores para producir el desplazamiento de fase controlado.

10 Preferiblemente la máquina eléctrica síncrona es un motor / generador.

Preferiblemente la máquina eléctrica síncrona es un arrancador / generador.

Preferiblemente la máquina eléctrica síncrona comprende una máquina eléctrica de imán permanente.

15 Alternativamente la máquina eléctrica síncrona comprende una máquina eléctrica de reactancia conmutada.

Preferiblemente la máquina eléctrica asíncrona comprende un rotor que tiene una pluralidad de imanes permanentes separados en sentido circular y un estator que tiene una pluralidad de arrollamientos eléctricos.

Preferiblemente la máquina eléctrica síncrona comprende cinco fases.

20 Preferiblemente las cinco fases están dispuestas con una separación eléctrica de 36, 72 o 108 grados.

Típicamente las cinco fases están dispuestas con una separación eléctrica de 108 grados y producen un desplazamiento de fase de más / menos 14 grados eléctricos entre el voltaje (emf) y la corriente dentro de cada una de las fases restantes de la máquina eléctrica síncrona.

25 La invención presente será descrita de una manera más completa por medio de un ejemplo y mediante referencia a los dibujos que se acompañan en los que:

30 La Figura 1 muestra un motor de turbina de gas con turboventilador que tiene una máquina eléctrica síncrona de acuerdo con la invención presente.

La Figura 2 muestra una vista en corte parcial de la máquina eléctrica síncrona mostrada en la Figura 1.

La Figura 3 muestra una vista en diagrama de una máquina eléctrica síncrona y del convertidor electrónico de potencia de acuerdo con la invención presente.

La Figura 4 es un gráfico que muestra la relación vectorial entre los emf del lado de corriente alterna y las corrientes para una máquina eléctrica síncrona de cinco fases en operación normal.

5 La Figura 5 es un gráfico que muestra los vectores de los segundos armónicos de potencia para una máquina eléctrica síncrona de cinco fases en operación normal.

10 La Figura 6 es un gráfico que muestra la relación vectorial entre los emf del lado de corriente alterna y las corrientes para una máquina eléctrica síncrona de cinco fases de acuerdo con la invención presente cuando una de las fases se aísla debido a un fallo.

La Figura 7 es un gráfico que muestra los vectores del segundo armónico de la corriente en el lado de corriente continua del convertidor electrónico de potencia para una máquina eléctrica síncrona de cinco fases de acuerdo con la invención presente cuando una de las fases se aísla debido a un fallo.

15 La Figura 8 es un gráfico que muestra la corriente y la potencia total del condensador del lado de corriente continua antes y después de un fallo en una de las fases y después del desplazamiento de fase de acuerdo con la invención presente.

20 Un motor de turbina a gas con turboventilador 10, como el mostrado en la Figura 1, comprende una admisión 12, una sección de ventilador 14, una sección de compresión 16, una sección de combustión 18, una sección de turbina 20 y un escape 22. La sección de turbina 20 comprende una turbina de alta presión, una turbina de presión intermedia y una turbina de baja presión. La sección del compresor comprende
25 un compresor de presión intermedia y un compresor de alta presión y la sección de ventilador comprende un ventilador. La turbina de alta presión está dispuesta para accionar el compresor de alta presión a través de un primer eje, y la turbina de presión intermedia está dispuesta para accionar el compresor de presión intermedia a través
30 de un segundo eje, y la turbina de baja presión está dispuesta para accionar el ventilador a través de un tercer eje. En el motor de turbina a gas con turboventilador 10 hay embebida una máquina eléctrica síncrona 40.

La máquina eléctrica síncrona 40, como se muestra con más claridad en la Figura 2, comprende un rotor 42 que tiene una pluralidad de imanes permanentes separados en sentido circular 43 en la periferia del rotor 42 y un estator 44 que tiene
35 una pluralidad de arrollamientos eléctricos 46 dispuestos sobre entalladuras que se

extienden hacia el interior en sentido radial 48 del estator 44. Las bobinas 46 están dispuestas como una pluralidad de fases generadoras de energía. El rotor 42 de la máquina eléctrica síncrona 40 es accionado por el tercer eje del motor de la turbina a gas con turboventilador 10 en esta disposición, pero puede estar accionada igualmente por el segundo eje o por el primer eje del motor de la turbina a gas con turboventilador 10.

La máquina eléctrica síncrona 40, en particular un generador eléctrico de imán permanente comprende una pluralidad de fases idénticas 50A, 50B, 50C, 50D y 50E, que están aisladas magnética y eléctricamente una de la otra de manera que una avería en cualquiera de las fases no afecta a ninguna de las otras fases. La impedancia eléctrica de estas fases 50A, 50B, 50C, 50D y 50E del generador eléctrico imán permanente 40 está dispuesta deliberadamente para ser alta y limitar la corriente de defecto que se produce durante una condición de cortocircuito permitiendo que el sistema continúe operando de manera segura dentro de los límites térmicos del diseño.

La magnitud del voltaje alternativo producido en los terminales del generador eléctrico de imán permanente 40 cambia con la velocidad de rotación del rotor de la máquina eléctrica de imán permanente 40, y por tanto la velocidad de rotación del rotor del motor de turbina a gas con turboventilador 10, y la fuente de impedancia provocan efectos de regulación añadidos a medida que la carga eléctrica cambia. La naturaleza multifase de tal generador eléctrico de imán permanente 40 implica que las fases de salida tengan que ser combinadas para permitir que la energía de salida sea distribuida prácticamente a los centros de carga eléctrica.

Cada fase 50A, 50B, 50C, 50D y 50E de la máquina eléctrica síncrona 40 está provista con su respectivo convertidor de corriente alterna a corriente continua electrónico de potencia 52A, 52B, 52C, 52D y 52E. La combinación de las fases del generador de potencia y las cuestiones de regulación del voltaje se acomodan utilizando estos convertidores de corriente alterna a corriente continua electrónicos de potencia 52A, 52B, 52C, 52D y 52E, que permiten que el sistema se combine en un canal de corriente continua común 53 tal como se muestra en la Figura 3.

Se sabe que un generador eléctrico de fase única proporciona una energía eléctrica que presenta pulsaciones en una frecuencia armónica secundaria en comparación con la frecuencia eléctrica del voltaje y de la corriente producida por cada fase de la máquina eléctrica síncrona.

Si el voltaje = $V \sin \omega t$ y la corriente = $I \sin \omega t$, asumiendo un factor de potencia unidad, la potencia es el producto del voltaje por la corriente y viene dado por la expresión $VI (1 - \cos^2 \omega t)/2$, lo que proporciona un término constante y un término de segundo armónico. Por lo tanto se requiere un gran condensador al objeto de filtrar el término del segundo armónico para proporcionar un voltaje de salida cercano a la corriente continua. Si el voltaje de corriente continua es constante como sería el caso cuando se conecta un filtro condensador grande a la salida del convertidor, el componente del segundo armónico de la corriente continua es obligado a circular para satisfacer el balance de energía. En el diseño de tales sistemas, el ángulo eléctrico entre las fases adyacentes se controla cuidadosamente para asegurar que la salida de potencia combinada es constante y se consigue eligiendo adecuadamente los ángulos de manera que la contribución del segundo armónico de todas las fases se cancelan entre sí efectivamente hasta el cero.

Las máquinas eléctricas síncronas para uso terrestre utilizan condensadores electrolíticos en el canal de interfase de corriente continua, que son particularmente densos en capacidad con el resultado de un condensador que supone una penalización moderada en peso y tamaño. Sin embargo, los condensadores electrolíticos no se encuentran generalmente a niveles de calidad aeroespacial, debido a las limitaciones en cuanto a temperatura de operación, estabilidad de la capacitancia, vida útil y limitaciones de orientación. Por lo tanto, se requieren tecnologías de condensador menos densas como por ejemplo condensadores de película, lo que conduce a una penalización en tamaño y peso muy grande en un sistema en particular. Una máquina eléctrica síncrona con una potencia de salida combinada constante significa que el valor del condensador de corriente continua puede ser reducido significativamente manteniendo al mismo tiempo un nivel alto de calidad de la potencia, componentes de oscilación mínima, para las cargas eléctricas conectadas. Reducir los componentes del filtro reduce también la energía almacenada en la red eléctrica, proporcionando de esta manera la ventaja añadida de una baja corriente de defecto añadida durante los defectos en la red eléctrica.

La máquina eléctrica síncrona 40 está optimizada para sus condiciones de operación normales, esto es sin defectos. Por ejemplo la máquina eléctrica síncrona 40 tiene cinco fases 50A, 50B, 50C, 50D y 50E y las fases están dispuestas a 36, 72 o 108 grados eléctricos de separación. Esto es constante en el diseño de las máquinas eléctricas síncronas 40.

Los convertidores restantes 52A, 52B, 52C y 52D están dispuestos para producir un desplazamiento de fase controlado entre el voltaje (emf) y la corriente entre las fases restantes 50A, 50B, 50C y 50D de la máquina eléctrica síncrona 40 para ajustar el ángulo de la fase y la magnitud de las corrientes armónicas secundarias por las fases restantes 50A, 50B, 50C y 50D de la máquina eléctrica síncrona 40 de manera que el vector suma de los vectores de la corriente armónica secundaria de las fases restantes 50A, 50B, 50C y 50D de la máquina eléctrica síncrona 40 se aproxime a cero.

La Figura 6 muestra la relación vectorial para los voltajes emf de corriente alterna y las corrientes para una máquina eléctrica síncrona de cinco fases 40 de acuerdo con la invención presente cuando la fase número cinco queda aislada debido a un fallo. Los convertidores 52A, 52B, 52C y 52D están dispuestos para mover el ángulo de la fase de las corrientes del lado de corriente alterna una magnitud de más / menos 14 grados eléctricos con respecto al voltaje emf generado al objeto de reestablecer la cancelación del segundo armónico en la interfase de corriente continua cuando la fase número cinco 50E queda aislada como resultado de un fallo. Para la primera fase, la corriente y el voltaje están en fase. Para la segunda fase, la corriente está retrasada con respecto al voltaje, para la tercera fase está retrasada con respecto al voltaje y para la cuarta fase la corriente está adelantada con respecto al voltaje. La Figura 7 muestra los vectores de la corriente del segundo armónico del lado de corriente continua para una máquina eléctrica síncrona 40 de cinco fases de acuerdo con la presente invención cuando la quinta fase 50E está aislada debido a un defecto, mostrando las diferentes magnitudes de los componentes de la corriente armónica secundaria para las diferentes fases, la primera fase y la tercera fase 178A, la segunda fase 228A y la cuarta fase 204A. Así, en la invención presente cada uno de los convertidores 52A, 52B, 52C y 52D se desfazan la corriente en relación con el voltaje para la fase respectiva 50A, 50B, 50C y 50D.

El efecto de utilizar los convertidores 52A, 52B, 52C, 52D y 52E para aislar una, o más, de las fases y para mover el ángulo de la fase de las corrientes del lado de corriente alterna con respecto al voltaje emf generado para hacer que las corrientes del armónico secundario se cancelen a cero está ilustrado en la Figura 8. La Figura 8es una simulación en el ordenador que muestra la corriente en el condensador del lado de corriente continua y la potencia total antes y después del fallo en la quinta fase 50E de una máquina eléctrica síncrona 40 y después del desplazamiento de fase de acuerdo con la invención presente. Se puede apreciar que existe una reducción

considerable en la oscilación del flujo de corriente, que tiene un efecto significativo en los requisitos para un filtro de condensador. La Figura ilustra únicamente la diferencia en la oscilación de la corriente para una máquina eléctrica síncrona 40 con y sin la invención presente. En la práctica existe un periodo de tiempo finito, pero pequeño, entre la detección de un fallo en una fase y el aislamiento por parte de los convertidores 52A a 52E del defecto en la fase que falla y el desplazamiento de las fases en las fases restantes. Esto crea una perturbación de muy corta duración en la transmisión de la potencia eléctrica, pero esto es preferible a la perturbación permanente que se crea sin la invención presente.

5
10 Es conocido que alterar el ángulo de la fase de las corrientes que circulan en las fases de una máquina eléctrica síncrona 40 puede tener un efecto pequeño en la distribución del flujo magnético y en el rendimiento de la máquina eléctrica síncrona 40. En las pruebas que hemos realizado, no se ha detectado ningún efecto grave de disminución del rendimiento o de la operación de la máquina eléctrica síncrona 40.

15 Aunque la invención presente ha sido descrita mediante referencia a un fallo en una fase única y al aislamiento de esa fase única, la invención presente se puede aplicar igualmente si existen defectos en más de una fase y se aísla más de una fase.

Aunque la invención presente se ha descrito mediante referencia a una máquina eléctrica síncrona de imán permanente la invención presente se puede aplicar también a una máquina eléctrica síncrona de reactancia conmutada o a otras máquinas eléctricas.

20 Aunque la invención presente ha sido descrita mediante referencia a un motor de turbina a gas con turboventilador, la invención presente se puede aplicar igualmente a otros motores de turbina a gas aéreos, como por ejemplo de turbina a chorro, turbohélice o motores de turbina a gas de turboeje y también a motores de turbina a gas industriales o marinos.

Aunque la invención presente ha sido descrita mediante referencia a motores de turbina a gas de tres ejes se puede aplicar también a un motor de turbina a gas de dos ejes o a un motor de turbina a gas de eje único.

30 Aunque la invención presente se ha descrito mediante referencia a una máquina eléctrica asíncrona que está embebida en un motor de turbina a gas es igualmente posible aplicar la invención presente a máquinas eléctricas síncronas en otras posiciones del motor de la turbina a gas.

35 La invención presente se puede aplicar también a máquinas eléctrica síncronas para otras aplicaciones.

REIVINDICACIONES

1.- Una máquina eléctrica síncrona (40) que comprende una pluralidad de fases (50A, 50B, 50C, 50D, 50E), medios de detección (52A, 52B, 52C, 52D, 52E) dispuestos para detectar una falta en al menos una de las fases (50E) de la máquina eléctrica síncrona (40), medios de aislamiento (52E) dispuestos para aislar al menos una fase (50E) de la máquina eléctrica síncrona (40) que está en falta, caracterizada por: comprender además medios de desplazamiento de fase (52A, 52B, 52C, 52D) dispuestos para producir un desplazamiento de fase controlado entre el voltaje (emf) y la corriente entre las fases restantes (50A, 50B, 50C, 50D) de la máquina eléctrica síncrona (40) para ajustar el ángulo de la fase y la magnitud de las potencias del segundo armónico producidas por las fases restantes (50A, 50B, 50C, 50D) de la máquina eléctrica síncrona de manera que el vector suma de los vectores de la potencia de los segundos armónicos de las restantes fases de la máquina eléctrica síncrona (40) sea cero.

2.- Una máquina eléctrica síncrona como la reivindicada en la reivindicación 1 en la que los medios de desplazamiento de fase (52A, 52B, 52C, 52D, 52E) comprende una pluralidad de convertidores, teniendo cada fase (50A, 50B, 50C, 50D, 50E) su convertidor respectivo (52A, 52B, 52C, 52D, 52E).

3.- Una máquina eléctrica síncrona como la reivindicada en la reivindicación 1 o en la reivindicación 2 en la que la máquina eléctrica síncrona (40) es un motor / generador.

4.- Una máquina eléctrica síncrona como la reivindicada en la reivindicación 3 en la que la máquina eléctrica síncrona (40) es un arrancador / generador.

5.- Una máquina eléctrica síncrona como la reivindicada en la reivindicación 1, reivindicación 2, reivindicación 3 o reivindicación 4 en la que la máquina eléctrica síncrona (40) comprende una máquina eléctrica de imán permanente.

6.- Una máquina eléctrica síncrona como la reivindicada en la reivindicación 1, reivindicación 2, reivindicación 3 o reivindicación 4 en la que la máquina eléctrica síncrona (40) comprende una máquina eléctrica de reactancia conmutada.

7.- Una máquina eléctrica síncrona como la reivindicada en la reivindicación 5 en la que la máquina eléctrica síncrona (40) comprende un rotor (42) que tiene una pluralidad de imanes permanentes separados en sentido circular (43) y un estator (44) que tiene una pluralidad de bobinas eléctricas (46).

8.- Una máquina eléctrica síncrona como la reivindicada en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 que comprende cinco fases (50A, 50B, 50C, 50D, 50E).

9.- Una máquina eléctrica síncrona como la reivindicada en la reivindicación 8 en la que las cinco fases (50A, 50B, 50C, 50D, 50E) están dispuestas con una separación de 36, 72 o 108 grados eléctricos.

10.- Una máquina eléctrica síncrona como la reivindicada en la reivindicación 9 en la que las cinco fases (50A, 50B, 50C, 50D, 50E) están dispuestas con una separación de 108 grados eléctricos y los medios para el desplazamiento de fase (52A, 52B, 52C, 52D, 52D) están dispuestos para producir un desplazamiento de la fase de más / menos 14 grados eléctricos entre el voltaje (emf) y la corriente dentro de cada una de las fases restantes (50A, 50B, 50C, 50D, 50E) de la máquina eléctrica síncrona (40).

11.- Un motor de turbina a gas (10) que incluye una máquina eléctrica síncrona (40) como la reivindicada en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.

12.- Un método para operar una máquina eléctrica síncrona (40) que comprende una pluralidad de fases (50A, 50B, 50C, 50D, 50E), comprendiendo el método detectar una falta en al menos una de las fases (50E) de la máquina eléctrica síncrona (40), aislar de al menos una fase (59E) de la máquina eléctrica síncrona (40) con la falta, caracterizado porque: además comprende producir un desplazamiento de fase controlado entre el voltaje (emf) y la corriente en cada una de las fases restantes de la máquina eléctrica síncrona (40) para ajustar el ángulo entre las fases y la magnitud de la potencia de los segundos armónicos producidas por las fases restantes (50AA, 50B, 50C, 50D) de la máquina eléctrica síncrona (40) de manera que el vector suma de los vectores de potencia de los segundos armónicos de las fases restantes (50A, 50B, 50C, 50D) de la máquina eléctrica síncrona (40) sea cero.

13.- un método como el reivindicado en la reivindicación 12 en el que cada fase (50A, 50B, 50C, 50D, 50E) tiene su convertidor respectivo (52A, 52B, 52C, 52D, 52E), comprendiendo el método utilizar los convertidores (52A, 52B, 52C, 52D, 52E) para
5 producir el desplazamiento de fase controlado.

14.- Un método como el reivindicado en la reivindicación 12 o en la reivindicación 13 en el que la máquina eléctrica síncrona (40) es un motor / generador.

10 15.- Un método como el reivindicado en la reivindicación 14 en el que la máquina eléctrica síncrona (40) es un arrancador / generador.

16.- Un método como el reivindicado en la reivindicación 12, reivindicación 13, reivindicación 14 o reivindicación 15 en el que la máquina eléctrica síncrona (40)
15 comprende una máquina eléctrica de imán permanente.

17.- Un método como el reivindicado en la reivindicación 12, reivindicación 13, reivindicación 14 o reivindicación 15 en el que la máquina eléctrica síncrona (40) comprende una máquina eléctrica de reactancia conmutada.
20

18.- Un método como el reivindicado en la reivindicación 16 en el que la máquina eléctrica síncrona (40) comprende un rotor (42) que tiene una pluralidad de imanes permanentes separados en sentido circular (43) y un estator (44) que tiene una pluralidad de arrollamientos eléctricos (46).
25

19.- Un método como el reivindicado en cualquiera de las reivindicaciones 12 a 18 que comprende cinco fases (50A, 50B, 50C, 50D, 50E).

20.- Un método como el reivindicado en la reivindicación 19 en el que las cinco
30 fases (50A, 50B, 50C, 50D, 50E) están con una separación de 36, 72 o 108 grados eléctricos.

21.- Un método como el reivindicado en la reivindicación 20 en el que las cinco
35 fases (50A, 50B, 50C, 50D, 50E) están dispuestas con una separación de 108 grados eléctricos y producen un desplazamiento de fase de más / menos 14 grados eléctricos

entre el voltaje (emf) y la corriente para cada una de las fases restantes (50A, 50B, 50C, 50D, 50E) de la máquina eléctrica síncrona (40).

Fig.1

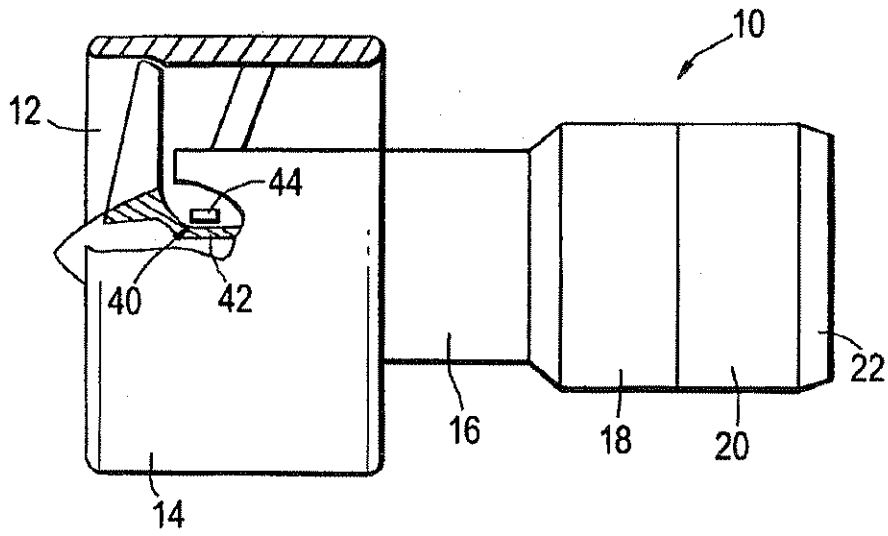


Fig.2

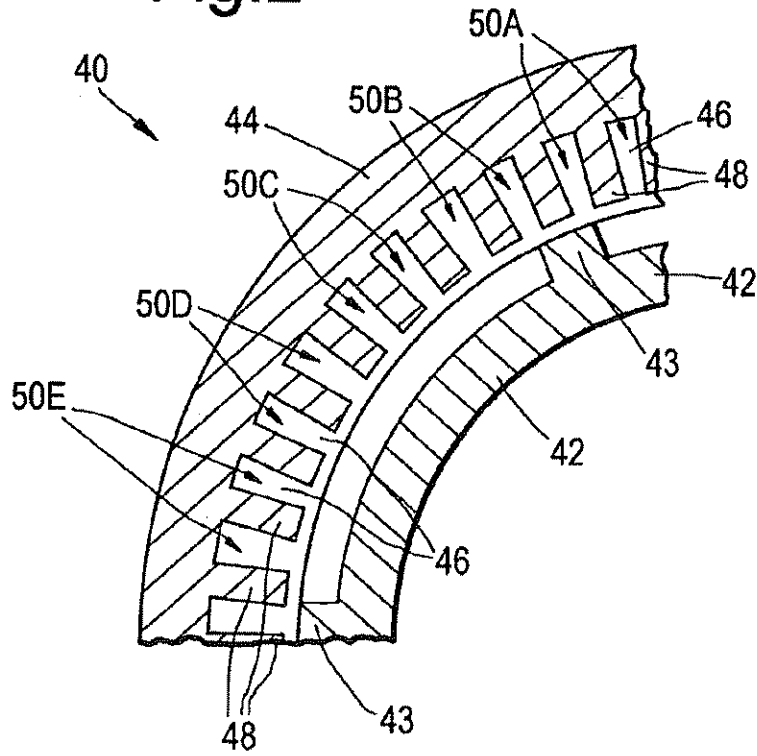


Fig.3

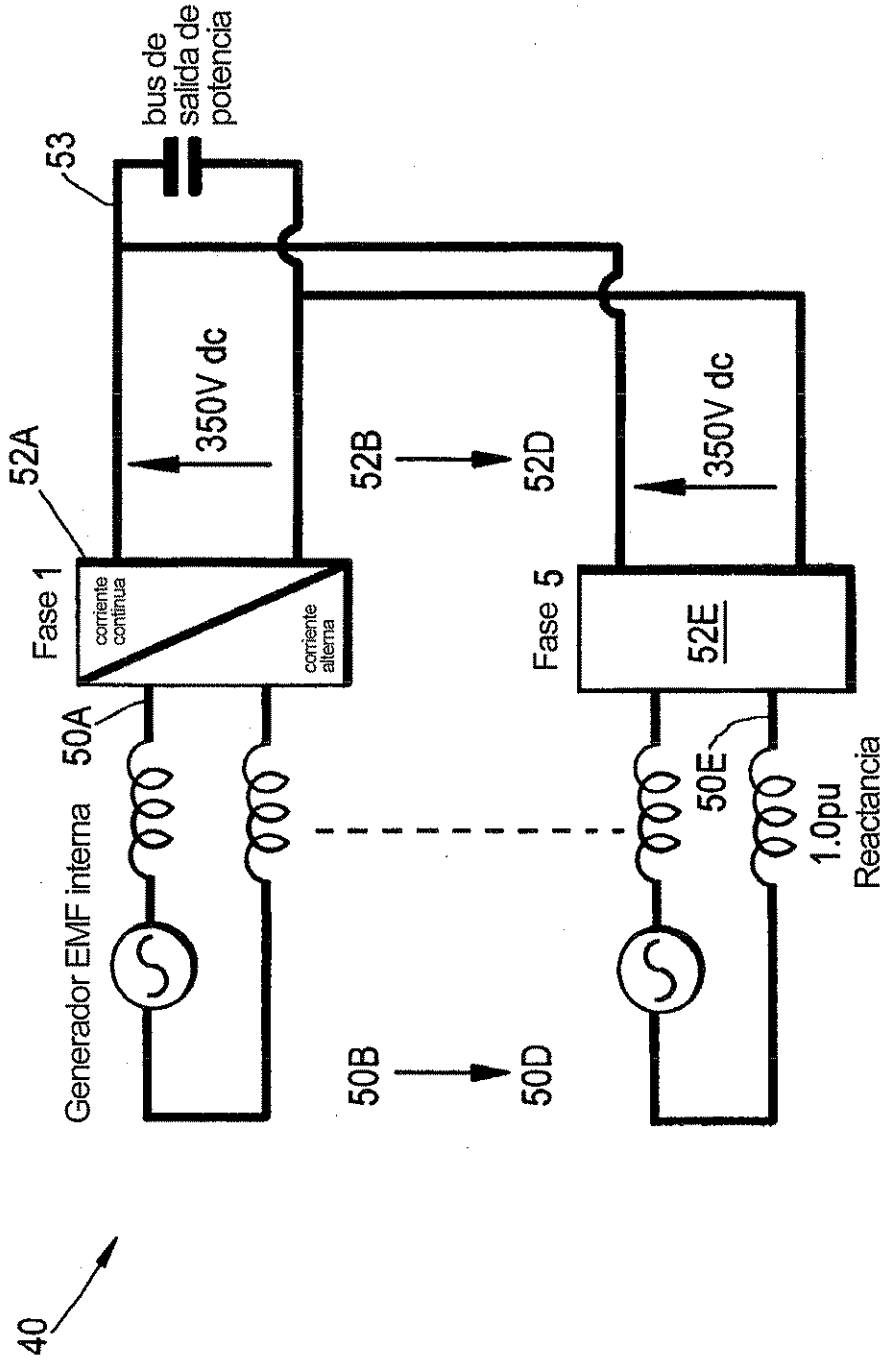


Fig.4

Componentes fundamentales (separados 108°)

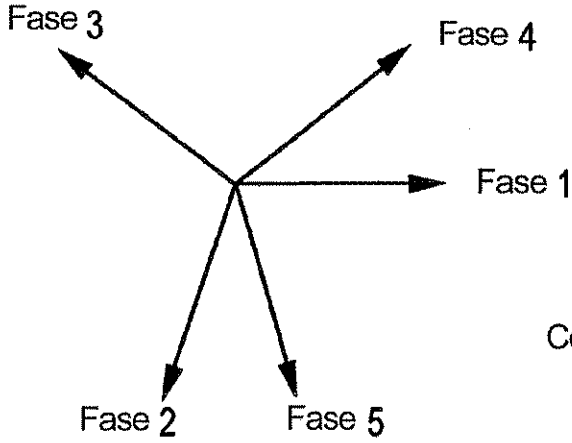


Fig.5

Componentes del segundo armónico (separados 216°)

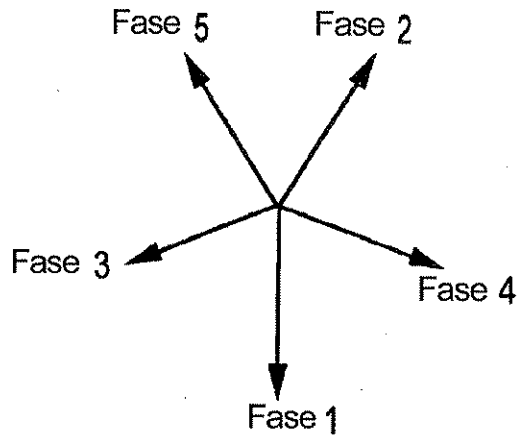


Fig.6

Adelanto y retraso de 14 grados en el lado de corriente alterna (lado máquina)

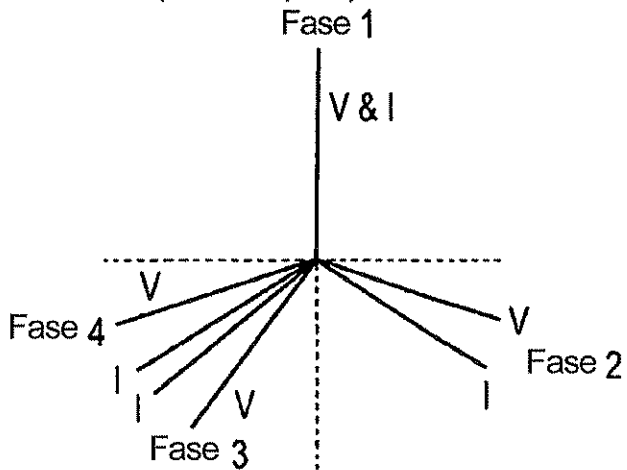


Fig.7

Segundo armónico, corrientes del lado de corriente continua

