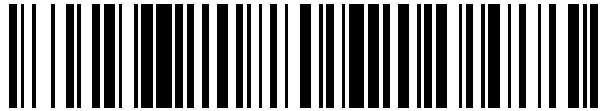


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 806 252**

51 Int. Cl.:

H02P 9/02 (2006.01)

H02P 9/48 (2006.01)

H02P 25/22 (2006.01)

H02P 27/16 (2006.01)

H02K 21/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.03.2011 PCT/NO2011/000099**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.09.2011 WO11119042**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.03.2011 E 11716325 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.04.2020 EP 2550730**

54 Título: **Generador eléctrico variable**

30 Prioridad:

23.03.2010 NO 20100443

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

17.02.2021

73 Titular/es:

RAW HOLDINGS AS (100.0%)

Nedre Butikkvei 2

3300 Hokksund, NO

72 Inventor/es:

THORESEN, KENT

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 806 252 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

Generador eléctrico variable

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a generadores eléctricos variables para convertir energía mecánica de rotación y/o desplazamiento en energía eléctrica, por ejemplo, a un generador que sea operable para variar dinámicamente su salida eléctrica, así como para hacer frente a velocidades cambiantes en vaivén y/o rotacionales de entrada mecánica. Además, la presente invención también se refiere a métodos para operar estos generadores eléctricos variables. Además, la presente invención se refiere a métodos para construir estos generadores eléctricos variables. Además, la presente invención se refiere a productos de software ejecutables en hardware informático para implementar métodos de la presente invención.

Antecedentes de la invención

Debido al agotamiento de las reservas de combustibles fósiles, así como a las preocupaciones por el cambio climático resultante de las actividades antropogénicas, en los últimos años se ha centrado la atención en los sistemas de energía renovable. Los enfoques convencionales de la generación de electricidad a menudo implican una forma de depósito, por ejemplo, una instalación hidroeléctrica incluye una presa de agua que proporciona una corriente constante de agua que se puede regular a través de una válvula de agua para impulsar una turbina, y un núcleo de reactor nuclear caliente es capaz de almacenar considerable energía térmica para proporcionar una corriente constante de vapor a alta presión que se puede regular a través de una válvula de vapor para impulsar una turbina. En contraste, muchos sistemas de energía renovable impulsados por el viento, los flujos mareales y el movimiento de las olas oceánicas experimentan una amplia gama de amplitudes de movimiento, velocidades de movimiento, frecuencias de movimiento y/o direcciones de movimiento. Además, las condiciones climáticas extremas a menudo resultan en una gran amplitud dinámica de movimiento en varios momentos a lo largo del año. En consecuencia, la captación de energía de estos sistemas de energía renovable a menudo es técnicamente difícil de implementar. Un enfoque convencional para hacer frente a estos problemas de captación de energía es emplear un aparato hidráulico, por ejemplo, un aparato de bomba hidráulica de pistón-cilindro como se describe en la patente de los Estados Unidos US 6 476 511 B1 (Yemm et al.), o aparato de bomba hidráulica como se describe en la solicitud de patente internacional PCT WO 2007/016120A2. Sin embargo, los sistemas hidráulicos son propensos al desgaste y son relativamente ineficientes energéticamente debido a la resistencia viscosa que se produce en los fluidos hidráulicos empleados en ellos.

Como alternativa a emplear captación de energía hidráulica, es factible emplear un generador de velocidad variable. Se conocen varios tipos de generadores de velocidad variable, pero a menudo son dispositivos muy bastos que realmente no son ideales para aplicaciones como la energía eólica o la producción de energía mareal. Las grandes turbinas eólicas para la generación de electricidad giran con una tasa de rotación (rpm) bastante baja y los generadores de corriente diseñados para usarse con estas turbinas utilizan ya sea:

35 (i) un sistema de engranajes por estadios entre un rotor de turbina eólica y un generador, en donde la velocidad de rotación se controla ajustando el paso de pala de turbina eólica; o

(ii) un generador de gran diámetro directamente acoplado a un rotor de turbina eólica, en donde el generador se diseña para funcionar a bajas velocidades de rotación.

La potencia de salida del generador se rectifica convencionalmente y luego se forma en fase a través de la electrónica de potencia que funciona a altas frecuencias de conmutación, por ejemplo a frecuencias de varios kHz. Estos enfoques (i) y (ii) son relativamente caros de implementar, especialmente con respecto a los aparatos electrónicos necesarios para rectificar y formar en fase la energía eléctrica generada proporcionada por el generador.

En documento US2619087 A presenta un generador de rpm fijas tradicional que produce una curva sinusoidal directamente proporcional a la velocidad de rotación. Todas las bobinas producen 3 fases que están bloqueadas y funcionan al unísono en relación con el campo magnético variable fijo.

45 De manera similar, un generador que se muestra en el documento DE102007054719 A1 también produce solo curvas sinusales.

Compendio de la invención

50 La presente invención busca proporcionar un generador eléctrico variable que se adapte mejor para hacer frente a velocidades de entrada mecánicas variables y varias direcciones de rotación de entrada y/o direcciones de movimiento lineal. La presente invención busca proporcionar una forma avanzada de generador eléctrico variable que sea más adecuado para la producción en masa, al tiempo que proporciona un gran rendimiento de generación de energía y un funcionamiento robusto.

Según un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un generador eléctrico variable como se reivindica en la reivindicación 1 adjunta: se proporciona un generador eléctrico variable para convertir el movimiento mecánico

5 en energía eléctrica, en donde el generador incluye al menos un elemento de estator y un elemento de rotor que incluye bobinas e imanes, caracterizado por que el generador incluye una configuración de módulos que incluyen las bobinas para generar ondículas (30) en respuesta a las bobinas que interactúan magnéticamente con los imanes, y una disposición de control para combinar las ondículas para generar una salida de potencia sintetizada compuesta del generador.

La invención es ventajosa porque la salida puede ajustarse dinámicamente rápidamente controlando una manera en que las ondículas se combinan para sintetizar la salida.

10 Opcionalmente, en el generador, los módulos se colocan espacialmente con sus bobinas correspondientes para proporcionar metamorfosis de señal de potencia en un estadio temprano dentro del generador. Esta colocación potencialmente evita la necesidad de unidades de conmutación electrónicas de alta frecuencia costosas y complejas que luego se emplean convencionalmente para acondicionar las salidas de los generadores convencionales a una forma adecuada para alimentar una red de distribución de electricidad. Opcionalmente, el generador eléctrico variable se implementa de manera beneficiosa de modo que los módulos sean operables para generar ondículas cuya duración (d) es más corta que una duración del ciclo (D) de una forma de onda alterna de la salida del generador.

15 Convenientemente, cuando se construye el generador, el estator incluye bobinas y se dispone para permanecer sustancialmente estacionario en funcionamiento, y el rotor incluye imanes y se dispone para rotar y/o reciprocarse en funcionamiento en relación con el estator para inducir señales ondícula en las bobinas. Opcionalmente, el generador eléctrico variable se implementa de modo que los módulos se acoplen eléctricamente entre sí en una matriz de conmutación de dos dimensiones que incluye al menos una ruta en serie para añadir potenciales y al menos una ruta paralela para la propagación de corriente para generar la salida. Opcionalmente, el generador eléctrico variable se implementa de modo que los módulos sean operables para cambiar entre un estado no conductor, un estado en cortocircuito, un estado de ondícula negativo y un estado de ondícula positiva cuando está en funcionamiento en respuesta a señales de control proporcionadas desde la disposición de control. Opcionalmente, la disposición de control se distribuye entre una unidad de control externa a los módulos y microcontroladores presentes en los módulos.

20 Opcionalmente, cuando se implementa el generador eléctrico variable, los módulos se acoplan en comunicación con la disposición de control a través de una autopista de datos ópticos. Más opcionalmente, al implementar el generador eléctrico variable, la autopista de datos ópticos es operable para dirigir datos selectivamente entre la disposición de control y los módulos por medio de multiplexación por división de longitud de onda (WDM). Más opcionalmente, el generador eléctrico variable se implementa de modo que los módulos sean operables para comunicar señales de diagnóstico concernientes a su estado de funcionamiento a la disposición de control, y para recibir señales de control desde la disposición de control con respecto a la información de temporización y/o información de polaridad con respecto a sus respectivas ondículas.

35 Opcionalmente, el generador eléctrico variable se implementa de modo que los módulos se dispongan para desenchufarse y enchufarse en sus respectivas posiciones en el estator y/o el rotor, por ejemplo para fines de mantenimiento y/o reparación.

Opcionalmente, el generador eléctrico variable se implementa de modo que los módulos incluyen dispositivos de conmutación de estado sólido para conmutar al menos semiciclos de señales eléctricas inducidas dentro de las bobinas en funcionamiento para generar ondículas.

40 Opcionalmente, el generador eléctrico variable se implementa de modo que la disposición de control incluya una entrada para usar como referencia al sincronizar y/o ajustar una amplitud y/o una fase de la salida durante el funcionamiento.

45 Según un segundo aspecto de la invención, se proporciona un módulo para su uso en un generador eléctrico variable conforme con el primer aspecto de la invención, en donde el módulo incluye un microcontrolador para proporcionar control local del módulo, una bobina acoplada a una disposición de conmutación para generar ondículas bajo control del microcontrolador, y una interfaz de comunicación óptica para recibir datos de control para controlar el módulo y/o para comunicar información de diagnóstico desde el módulo.

Según un tercer aspecto de la invención, se proporciona un método para usar un generador eléctrico variable para convertir movimiento mecánico en energía eléctrica, en donde el generador incluye al menos un elemento de estator y un elemento de rotor que incluye bobinas e imanes, caracterizado por que el método incluye:

50 (a) generar ondículas en una configuración de módulos que incluyen las bobinas para generar ondículas en respuesta a las bobinas que interactúan magnéticamente con los imanes; y

(b) usar una disposición de control para combinar las ondículas para generar una salida de potencia sintetizada compuesta desde el generador.

55 Según un cuarto aspecto de la invención, se proporciona un sistema de energía renovable para convertir el movimiento lineal y/o giratorio de un aparato mecánico en energía eléctrica, en donde el aparato es operable para provocar un movimiento relativo entre un rotor y un estator de un generador variable conforme con el primer aspecto de la invención para generar una salida de potencia del sistema. Opcionalmente, el funcionamiento del sistema se determina mediante datos de diagnóstico generados por el generador de variables. Opcionalmente, el sistema de energía renovable se

implementa de modo que el aparato mecánico incluye al menos uno de: una turbina de agua mareal, una turbina eólica, una veleta oscilante, un flotador oceánico, una turbina hidroeléctrica, una turbina de vapor.

De acuerdo con un quinto aspecto de la invención, se proporciona un método para mantener un generador variable, siendo el generador conforme con el primer aspecto de la invención, el método incluye las etapas de:

- 5 (a) determinar el estado de funcionamiento de los módulos del generador;
 (b) desenchufar y reemplazar uno o más módulos defectuosos como se identifica en la etapa (a).

Según un sexto aspecto de la invención, se proporciona un método para proporcionar estabilización respondedora de carga a una red de distribución eléctrica al usar un generador eléctrico variable conforme con el primer aspecto de la invención, estando el generador acoplado a la red, caracterizado por que el método incluye:

- 10 (a) detectar uno o más parámetros indicativos de un grado de carga eléctrica que está experimentando la red;
 (b) ajustar la selección de ondícula en el generador para absorber o inyectar energía eléctrica en la red a fin de ayudar a estabilizar la red contra desviaciones en el voltaje y/o la frecuencia de dicha red resultantes de dicho grado de carga eléctrica.

Se apreciará que las características de la invención son susceptibles de combinarse en varias combinaciones.

15 **Descripción de los diagramas**

Ahora se describirán realizaciones de la presente invención, solo a modo de ejemplo, con referencia a los siguientes diagramas en donde:

- 20 FIG. 1 es una ilustración de una realización de un generador eléctrico variable conforme con la presente invención, y una representación de síntesis de una forma de onda de salida al combinar ondículas en varias combinaciones;
- FIG. 2A es una ilustración de una realización de un generador eléctrico variable conforme con la presente invención, en donde el generador se implementa en una forma de diámetro ancho;
- FIG. 2B es una ilustración de una realización de un generador eléctrico variable conforme con la presente invención, en donde el generador se implementa en una forma larga de diámetro estrecho;
- 25 FIG. 2C es una ilustración de una realización de un generador eléctrico variable conforme con la presente invención, en donde el generador se implementa para incluir un estator estacionario central con módulos asociados, y un rotor giratorio que rodea circunferencialmente el estator;
- 30 FIG. 3 es una ilustración adicional de la síntesis de forma de onda de salida mediante el uso de ondículas que están en fase y en fase de cuadratura para lograr una mejor calidad de síntesis, reduciendo así la necesidad de filtrado de salida para eliminar el contenido armónico presente en la salida del generador;
- FIG. 4 es una ilustración de un estator central de una realización de un generador eléctrico variable conforme con la presente invención;
- FIG. 5 es una ilustración de una disposición en espiral de módulos a lo largo de un estator de una realización de un generador variable conforme con la presente invención;
- 35 FIG. 6A es una ilustración de un elemento de rotor de tipo anillo de un rotor de una realización de un generador conforme con la presente invención;
- FIG. 6B es una ilustración de un conjunto de elementos de rotor de tipo anillo dispuestos de manera desfasada, formando los elementos de rotor parte de un rotor de una realización de un generador conforme con la presente invención;
- 40 FIG. 7 es una ilustración esquemática de un módulo de un estator adecuado para construir un generador conforme con la presente invención;
- FIG. 8A es una ilustración esquemática de una realización de un circuito de energía eléctrica para uso en módulos de la invención;
- 45 FIG. 8B es una ilustración esquemática de una disposición de conexión eléctrica matricial de módulos de la invención;
- FIG. 9 es un diagrama esquemático de un sistema de turbina eólica mar adentro, a saber, un "parque" eólico, que incluye una pluralidad de turbinas eólicas equipadas con generadores variables conformes con la presente invención; y

FIG. 10 es un diagrama esquemático de una realización de un generador conforme con la presente invención para convertir movimiento lineal, por ejemplo movimiento lineal en vaivén, en energía eléctrica de manera variable.

5 En los diagramas adjuntos, se utiliza un número subrayado para representar un elemento sobre el que se coloca el número subrayado o un elemento al que el número subrayado es adyacente. Un número no subrayado se refiere a un elemento identificado por una línea que une el número no subrayado con el elemento. Cuando un número no está subrayado y está acompañado por una flecha asociada, el número no subrayado se utiliza para identificar un elemento general al que apunta la flecha.

Descripción de realizaciones de la invención

10 La presente invención se basa en un concepto que se ilustra en la FIG. 1, a saber, que una salida de potencia alterna 10 proporcionada desde un generador eléctrico 20 es susceptible de ser sintetizada al conmutar selectivamente una gran cantidad de ondículas más pequeñas 30 que tienen una magnitud p y una duración de que son considerablemente más pequeñas y más cortas respectivamente que una magnitud M y una duración D de la salida de potencia alterna 10 proporcionada desde el generador 20. Si es necesario, se puede emplear un filtro 40, por ejemplo, implementado por una combinación de inductores y condensadores, para filtrar componentes de señal armónica de alto orden presentes en la salida 10 del generador 20. Un beneficio de este enfoque es que las ondículas 30 son capaces de ser conmutadas rápidamente en respuesta a velocidades de rotación o direcciones de rotación de entrada que cambian dinámicamente de un rotor 50 del generador 20. Además, se pueden emplear módulos electrónicos de estado sólido producidos en masa 80 dedicados a conmutar sus respectivas ondículas 30. Por otra parte, los módulos 80 se implementan de manera beneficiosa para ser controlables individualmente, por ejemplo a través de un bus de datos óptico general desde una unidad de control 70 operable para funcionamiento directo del generador 10. Tal forma de funcionamiento es beneficiosa porque el fallo de algunos de los módulos 80 no inhabilita el funcionamiento del generador 10 en general, sino que simplemente da como resultado una salida potencialmente sintetizada más bastante 10. Además, los módulos 80 se pueden montar en una disposición apilada a lo largo del rotor 50 y/o el estator 60 para garantizar que se produzca un gradiente potencial más uniforme y manejable en funcionamiento, reduciendo así cualquier riesgo de avería eléctrica o sobrecarga. Las ondículas mencionadas 30 se generan al emplear polos magnéticos relativamente pequeños e imanes asociados 90 dispuestos alrededor del rotor 50 y su estator asociado 60 para generar las ondículas 30 en varias posiciones angulares diferentes del rotor 50 relativas al estator 60. El fluido refrigerante eléctricamente aislante, por ejemplo, aceite de silicona sintética o aire forzado, circula a través de los módulos 80 para eliminar el calor generado allí cuando está en funcionamiento. Opcionalmente, el rotor 50 y el estator 60 tienen instalados en los mismos un sensor angular, por ejemplo un codificador óptico, para proporcionar la unidad de control 70 con una indicación del ángulo de rotación del rotor 50 relativo al estator 60. En funcionamiento, el generador de la FIG. 1 recibe opcionalmente una señal de sincronización externa S , y es operable para acoplar ondículas generadas por los módulos 80 en los momentos apropiados para generar la salida 10 sincronizada con la señal S . Sin embargo, se apreciará que las ondículas se pueden conmutar de tal manera que el generador de la FIG. 1 también es capaz de generar una salida de corriente continua (CC) 10 así como una salida de corriente alterna (CA) 10.

El generador 20 es capaz de ser empleado de manera directa, por ejemplo, cuando está directamente acoplado a una turbina, o incluso es integral con ella. Como alternativa, el generador 20 puede acoplarse mediante una caja de cambios, por ejemplo, una caja de cambios de relación fija, a una turbina. Por lo tanto, el generador 20, también denominado generador de voltaje variable "WG", es capaz de operar como un aparato de accionamiento directo. El generador 20 puede estar específicamente diseñado para aplicaciones de accionamiento directo donde la velocidad de entrada y el par al generador 20 varían considerablemente, por ejemplo en respuesta a las condiciones cambiantes de marea o viento. Ejemplos de aplicaciones para el generador 20 pueden ser turbinas eólicas en tierra o mar adentro o turbinas mareales submarinas. Por otra parte, el generador 20 también es susceptible de ser empleado en máquinas de combustión en vaivén de cilindro libre desprovistas de una estructura de cigüeñal. El generador 20 de la FIG. 1 se describirá ahora con mayor detalle.

Debido a su forma modular de construcción y operación, el generador 20 es intrínsecamente capaz de proporcionar varios beneficios adicionales. Por ejemplo, el generador 20 es capaz de adaptar su funcionamiento entre:

50 (a) un modo de funcionamiento independiente; y

(b) un modo de funcionamiento coordinado que permite al generador 20 funcionar en conjunción con otras unidades,

permitiendo así la construcción de sistemas altamente robustos que sean tolerantes a fallos de múltiples componentes dentro del generador 20. Tal grado de robustez hace que el generador 20 sea ideal para aplicaciones de energía renovable, por ejemplo, en aplicaciones de turbinas eólicas mar adentro donde la alta fiabilidad es importante debido a que el acceso para fines de mantenimiento está restringido, por ejemplo, durante las condiciones invernales tormentosas. En funcionamiento, el generador 20 es capaz de generar salida a cualquier frecuencia deseada, forma de onda general, magnitud y fase de voltaje en relación con una señal de referencia; el generador 20 incluso puede generar corriente continua (CC), evitando así la necesidad de componentes de rectificación externos al generador 20.

Aunque las ondículas 30 se ilustran en la FIG. 1 como en fase y mutuamente de tamaño similar, se apreciará que el generador 20 puede construirse de modo que las ondículas 30 tengan polaridades mutuamente diferentes, fases relativas mutuamente diferentes y magnitudes mutuamente diferentes. Beneficiosamente, los imanes 90 y sus módulos asociados 80 se disponen en forma de espiral como se ilustra en la FIG. 1 para obtener varias fases relativas para las ondículas 30 para permitir que la unidad de control 70 controle finamente la salida 10, por ejemplo para sincronizar la salida 10 a una red de distribución de energía eléctrica. Las ondículas 30, por ejemplo, pueden implementarse como una serie binaria de magnitud de manera similar a una secuencia binaria 1, 2, 4, 8... para permitir ajustar finamente la magnitud y la forma de la salida 10.

El generador 20 puede construirse para utilizar una configuración de diámetro ancho, por ejemplo en una disposición de tipo panqueque como se ilustra en la FIG. 2A. Para ser considerado como un generador de "diámetro ancho", el diámetro del rotor 50, del mismo modo el estator 60, debe ser de un orden de al menos 1,5 veces mayor que su longitud activa axial. Como alternativa, el generador 20 puede implementarse en una configuración de diámetro largo pero pequeño como se ilustra en la FIG. 2B. Para ser considerado como un generador de "rotor largo", el rotor 50 es beneficiosamente en un orden de al menos 1,5 veces más largo que su diámetro, con el estator 60 implementado a lo largo de una longitud del rotor 60. En la FIG. 2C, el generador 20 se implementa de tal manera que el rotor 50 encierra el estator 60, en donde el estator 60 es estacionario en funcionamiento y central al generador 20. Los módulos 80 se implementan cada uno de manera beneficiosa como una subunidad integrada con una o más bobinas captadoras asociadas. Por otra parte, los módulos 80 se disponen de manera beneficiosa en varias filas o espirales con respecto a un eje giratorio del generador 20. La cantidad de imanes 90 y bobinas de los módulos 80 determina una capacidad de salida de potencia generadora del generador 20. Además, la resolución de salida de forma de onda del generador 20 se adapta de manera beneficiosa en cada caso a un intervalo previsto de velocidades de funcionamiento esperadas para el generador 20.

Los diseños convencionales de generadores variables son operables para rectificar las señales de potencia generadas por las bobinas captadoras de generador para generar una salida rectificadas que luego se forma en fase utilizando componentes electrónicos de potencia para producir una señal de potencia de salida final que tiene una frecuencia deseada, fase y magnitud de voltaje. Tales componentes electrónicos de potencia son caros, inflexibles y provocan mucha pérdida de energía localizada, a saber, "puntos calientes", lo que puede resultar en un único punto de fallo crítico. Los componentes electrónicos de potencia generalmente se implementan como dispositivos de conmutación de alta frecuencia, por ejemplo, transistores de efecto de campo de potencia (FETS), tiristores, transistores Darlington y similares, capaces de cortar la señal rectificadas, por ejemplo, a modo modulado por ancho de pulso (PWM), para sintetizar una señal de potencia de salida que se ajusta en amplitud, frecuencia y fase.

Por el contrario, los generadores implementados conformes con la presente invención funcionan de manera muy diferente en comparación con los diseños de generadores convencionales mencionados anteriormente. Por lo tanto, los generadores variables convencionales realizan dos operaciones separadas de rectificación de señales de bobina alterna al estado de corriente continua (CC), y luego la generación de forma de onda posterior utilizando dispositivos electrónicos para generar una señal de salida sintetizada como se emplea convencionalmente. Los generadores 20 ("WS") conformes con la presente invención incluyen una pluralidad de módulos 80 para generar ondículas 30 que luego se combinan selectivamente mediante conmutación binaria para sintetizar una forma de onda de potencia de salida. Este enfoque conforme con la presente invención proporciona los siguientes beneficios:

(a) puede ocurrir conmutación de ondícula 30 a una frecuencia mucho más baja, lo que reduce las pérdidas de conmutación y, por lo tanto, mejora la eficiencia, y también permite utilizar dispositivos de conmutación de silicio de menor rendimiento;

(b) la pérdida de suministro de una ondícula 30 no provoca un fallo catastrófico del generador 20; en caso de que uno o más de los módulos 80 se vuelvan defectuosas de modo que sus ondículas 30 no estén disponibles para la síntesis de forma de onda de salida, la unidad de control 70 es operable para seleccionar entre otras ondículas disponibles 30 para proporcionar la siguiente mejor síntesis posible de la salida 10.

Un sistema de control adaptativo de la unidad de control 70 dirige el flujo de energía dentro del generador 20 para que las salidas de las bobinas individuales 80 se reorganicen en cooperación con todas las otras bobinas 80 en tiempo real para producir la salida deseada 10, independientemente de la frecuencia de entrada determinada por la velocidad de rotación del rotor 50. Puesto que componentes electrónicos de control de cada módulo 80 solo se ocupan de su propia bobina captadora asociada 80, por ejemplo cada bobina captadora 80 tiene una potencia máxima en un intervalo de 5 kW a 10 kW, cantidades considerables de potencia dentro del generador 20 pueden controlarse y modularse con componentes de conmutación electrónica listos para usar producidos en masa. Por lo tanto, generadores 20 conformes con la invención preestablecida, eliminan la rectificación convencional y los estadios de formación de fase de los sistemas de generador convencionales, proporcionando así ahorros de costes, un funcionamiento más eficiente y un funcionamiento más confiable.

En la FIG. 3, se muestra una combinación de ondículas 30 para sintetizar formas de onda de salida sinusoidal para la salida 10, es decir, empleando ondículas 30 que están mutuamente en fase de cuadratura. Así se genera una señal semisinusoidal aproximada 110 como se ilustra en la región superior de la FIG. 3 al combinar una ondícula en fase 30A con dos ondículas de cuadratura 30B y tres ondículas en fase, en donde las ondículas son de polaridad similar.

Es factible sintetizar una señal semisinusoidal de mayor duración relativa al combinar más ondículas 30D, 30E, 30F, 30G como se ilustra en una región inferior de la FIG. 3. Al combinar estas ondículas individuales, se puede proporcionar casi cualquier intervalo de frecuencias, voltajes y corrientes en la salida 10, es decir, independientemente de la frecuencia de entrada determinada por la tasa de rotación del rotor 50, sin la necesidad de rectificar o formar en fase señales generadas por las bobinas.

En la figura 4, se muestra una implementación práctica para el estator 60, en donde el rotor 50 (no mostrado en la FIG. 4) se dispone de manera periférica como se ilustra en la FIG. 2C; el estator 60 es, por lo tanto, beneficiosamente estacionario en funcionamiento, lo que hace posible el acoplamiento de cables al estator 60 sin necesidad de usar anillos colectores. Se apreciará que el generador 20 experimenta tensiones mecánicas considerables cuando se diseña para generar en un orden de Megavatios (MW) de energía eléctrica de tal manera que los imanes 90 y los módulos 80 deben ser mecánicamente robustos y con un soporte mecánico adecuado, por ejemplo, para resistir las fuerzas centrífugas. Por ejemplo, los imanes 90 se fabrican de manera beneficiosa de materiales de neodimio y soportados en un polímero compatible o una montura de caucho del rotor 50 para dispersar las fuerzas para evitar roturas o fracturas de los imanes permanentes 90 en funcionamiento; por ejemplo, opcionalmente se emplea asiento de poliuretano de los imanes 90. Los módulos 80 son robustamente soportados mecánicamente y provistos de enfriamiento. Además, los módulos 80 se apilan juntos de manera beneficiosa para asegurar que se produzca un gradiente potencial gradual durante el funcionamiento; dicha distribución potencial es especialmente importante cuando el generador 20 va a proporcionar la salida 10 a una magnitud del orden de kilovoltios (kV) para evitar cualquier tendencia a arco. Los módulos 80 se montan beneficiosamente en un tubo central aislante 150 a través del que circula aire forzado o líquido refrigerante en funcionamiento; por ejemplo, el aceite de silicona eléctricamente aislante y de manera sustancial ópticamente transparente se emplea beneficiosamente como refrigerante líquido. Los módulos 80 se montan beneficiosamente en paletas axiales 160 que sobresalen desde el tubo central 150, en donde las paletas 160 están en comunicación térmica con el tubo central 150. Piezas de polo magnético 170, por ejemplo fabricadas de acero al silicio laminado, de los módulos 80 se montan beneficiosamente con respecto a las paletas que son robustas, capaces de resistir esfuerzos y, sin embargo, ofrecen un grado de flexibilidad para hacer frente a los choques mecánicos que de otro modo podrían dañar el generador 20. Los módulos 80 son beneficiosamente similares entre sí para permitir fabricar el estator 60 a partir de elementos producidos en masa para reducir su coste. Además, cuando el generador 20 requiere servicio, cualquier módulo defectuoso 80 puede diagnosticarse fácilmente y posteriormente desenchufarse de las paletas 160 y/o el tubo central 150 y ser sustituido por nuevos módulos funcionales correspondientes 80. Beneficiosamente, los módulos 80 están provistos de una autopista de comunicación óptica compartida, por ejemplo implementada de manera similar a Ethernet, para permitir que se envíen señales de control desde la unidad de control 70 a los módulos 80 para controlar la conmutación de los módulos 80, y para transmitir señales de retroalimentación desde los módulos 80 de vuelta a la unidad de control 70 indicativas del funcionamiento de los módulos 80. Si es necesario, se puede emplear multiplexación por división de longitud de onda óptica (WDM) para diferentes categorías de señales de control y retroalimentación intercambiadas entre los módulos 80 y la unidad de control 70. Además, la radiación óptica transportada a través de la autopista óptica se puede utilizar para proporcionar energía para controlar los componentes electrónicos incluidos en cada uno de los módulos 80, por ejemplo, utilizando fotocélulas generadoras de energía incluidas en los módulos, que proporcionan aislamiento eléctrico. El uso de radiación óptica es de especial beneficio porque:

- (a) es relativamente inmune a la interferencia eléctrica;
- (b) proporciona velocidades de transmisión de datos de comunicación relativamente altas hacia y desde los módulos; y
- (c) proporciona un enfoque intrínseco al aislamiento eléctrico entre módulos 80 que no sería posible en una configuración alternativa en donde se emplearan señales de control eléctricas.

Opcionalmente, los módulos 80 se disponen de forma ligeramente en espiral sobre el estator 60 como se ilustra en la FIG. 5 para permitir lograr la mejora de la síntesis de forma de onda en funcionamiento con una mayor resolución de fase al proporcionar una gama de ondículas 30 con características de fase mutuamente ligeramente diferentes.

Cuando se emplea una configuración para el generador 20 como se ilustra en la FIG. 1, el rotor 50 se fabrica de manera beneficiosa a partir de una serie de elementos de anillo como se indica por 300 en la FIG. 6A. Cada elemento de anillo 200 incluye imanes permanentes 210, por ejemplo imanes permanentes cerámicos de neodimio, dispuestos alrededor de un soporte en forma de anillo 220 que puede montarse rígidamente en un eje de soporte en funcionamiento. Los imanes 210 se implementan de manera radial como paleta con espacios de aire entre ellos como se ilustra. Por otra parte, salientes tipo paleta del soporte 220 ayudan a soportar los imanes 210 mecánicamente, que están sujetos a grandes esfuerzos cuando el generador 20 está en funcionamiento, proporcionando grandes cantidades de potencia de salida, por ejemplo del orden de varios cientos de kW o incluso varios MW.

Varios de los elementos de anillo 220 se pueden montar axialmente juntos con un desplazamiento angular entre ellos como se ilustra en la FIG. 6B para proporcionar a la unidad de control 70 una mayor variedad de ondículas 30 que se pueden combinar para generar la salida 10. Por lo tanto, el rotor 50 es susceptible de ser construido a partir de múltiples elementos de anillo 220 que se ensamblan robustamente juntos. En caso de que uno o más de los elementos 220 se dañe, por ejemplo, sus imanes 90 se fracturan, pueden ser simplemente reemplazados en su totalidad durante el

mantenimiento de rutina del generador 20. Los elementos de anillo 220 se construyen de manera beneficiosa a partir de uno o más de: metal, fibra de carbono, materiales compuestos, materiales plásticos, polímeros, materiales cerámicos. El rotor 50 y el estator 60 se montan juntos dentro de una carcasa con una disposición adecuada de cojinetes para que el rotor 50 sea operable para rotar con relación al estator 60 para generar energía eléctrica en la salida 10. Se pueden emplear cojinetes mecánicos y/o magnéticos y/o cojinetes de fluido, dependiendo de la aplicación del generador 20 y su capacidad de generación de energía diseñada.

Los módulos 80 se describirán ahora con mayor detalle con referencia a la FIG. 7. Cada módulo 80 es un generador de ondulada autocontenida 30 que se puede montar en una configuración apilada contra otros módulos similares 80, o montarse sobre soportes de una estructura de soporte del estator 60 como se ha mencionado. El módulo 80 está provisto de una disposición de enfriamiento 300, por ejemplo basada en aceite de enfriamiento de silicón aislante circulante y/o enfriamiento por aire forzado. Por otra parte, el módulo 80 también incluye una disposición de montaje liberable 310 para permitir que el módulo 80 tenga un soporte mecánico adecuado cuando se expone a diversos esfuerzos mecánicos cuando está en funcionamiento; la disposición de montaje 310 incluye beneficiosamente tornillos, pasadores de registro, casquillos de caucho, etc. El módulo 80 incluye una bobina 320 para interactuar con el flujo magnético generado por imanes 90 del rotor 50. Una salida de la bobina 320 se acopla a una disposición rectificadora 330 y luego a través de una red de conmutación 340 a la salida de ondulada 30; la red de conmutación 340 se diseña para operar a frecuencias de conmutación relativamente bajas correspondientes a la duración d de las onduladas 30. Dicho funcionamiento es muy diferente a los circuitos electrónicos de acondicionamiento de potencia modulados por ancho de pulso (PWM) de alta frecuencia que son costosos e ineficaces en cuanto a energía debido a las pérdidas de conmutación de alta frecuencia que ocurren a altas frecuencias del orden de kHz. Por otra parte, el módulo 80 también incluye una interfaz óptica bidireccional 360 para recibir instrucciones de control de la unidad de control 70 y para la salida de datos de diagnóstico y/o datos confirmatorios a la unidad de control 70. La interfaz 360 es capaz de proporcionar velocidades de transmisión de datos rápidas, así como proporcionar aislamiento eléctrico entre módulos 80 de la manera más robusta y rentable. Un microcontrolador 350 controla el funcionamiento del módulo 80 a nivel local; en la práctica, el control del generador 20 se ejecuta beneficiosamente de manera distribuida entre la unidad de control 70 y los microcontroladores 350 de los módulos 80. Por otra parte, la interfaz 360 se implementa convenientemente utilizando fotodetectores de alta velocidad y dispositivos láser de estado sólido modulados por datos. Como se mencionó anteriormente, la interfaz 360 se diseña para recibir y transmitir en diversas longitudes de onda diferentes de radiación de portadora óptica, por ejemplo, en una forma de multiplexación por división de longitud de onda (WDM), para permitir que se use una sola autopista de datos ópticos generales dentro del generador 20 para controlar el funcionamiento de todos los módulos 80 del generador 20. Opcionalmente, se puede emplear una pluralidad de autopistas de datos ópticos en el generador 20, por ejemplo para propósitos de respaldo de emergencia en caso de que una autopista principal de datos ópticos del generador 20 se oscurezca por cualquier motivo. Cada bobina 320 y sus componentes electrónicos asociados se construyen como una unidad independiente producida en masa que se puede reemplazar fácilmente, por ejemplo, incluso mientras está en funcionamiento. La capacidad de construir el generador 20 como una disposición de diámetro grande, o como una disposición de diámetro pequeño y largo, también se presta a la integración en una amplia gama de diseños de turbinas convencionales y exóticas sin requerir que se rediseñen sus componentes básicos. Como se mencionó anteriormente, todas las configuraciones del generador 20 pueden tener configuraciones magnéticas monopolo o dipolo con imanes giratorios internos o externos, por ejemplo, como se muestra en la FIG. 2A, la FIG. 2B y la FIG. 2C.

En referencia a continuación a la FIG. 8A, se muestra una representación de componentes de conmutación electrónica empleados para implementar el módulo 80. El módulo 80 se puede implementar usando una variedad de componentes de conmutación electrónica, por ejemplo, transistores de efecto de campo (FET), transistores bipolares (BJT), triacs, rectificadores controlados de silicio (SCR), transistores Darlingtón, transistores de carburo de silicio, transistores de germanio de silicio, etc. Lo más preferible, debido a bajo coste y robustez, el módulo 80 se implementa utilizando rectificadores controlados de silicio SCR1 a SCR8 como se ilustra. Los rectificadores controlados de silicio SCR se pueden comprar para tener un rendimiento de voltaje de bloqueo de hasta 2 kV, un rendimiento de conducción de corriente de varios miles de amperios y se empaquetan en cápsulas de cerámica planas que se incorporan mecánicamente fácilmente en el módulo 80. Los rectificadores controlados de silicio SCR incluyen terminales de puerta que se activan desde el microcontrolador 350 del módulo 80; la activación de los rectificadores controlados de silicio SCR se logra de manera beneficiosa mediante la activación óptica y/o mediante transformadores de pulso de ferrita de aislamiento. En funcionamiento, un rectificador controlado de silicio SCR solo conduce cuando se activa en su terminal de puerta. Además, la conducción a través de un rectificador controlado de silicio SCR cesa cuando un potencial a través del mismo es menor que un umbral de magnitud o el rectificador controlado de silicio SCR se polariza invertido a través de sus dos terminales principales. El módulo 80 en la FIG. 8A tiene cuatro modos de conducción, a saber:

(a) un primer modo, en donde el módulo 80 proporciona efectivamente una ruta de cortocircuito entre sus terminales T1, T2;

(b) un segundo modo, en donde hay un circuito abierto entre los terminales T1, T2;

(c) un tercer modo, en donde una semiciclo de ondulada negativa 30 se dirige desde la bobina 320 a los terminales T1, T2; y

(d) un cuarto modo, en donde un semiciclo de ondulada positiva 30 se dirige desde la bobina 320 a los terminales T1, T2.

Beneficiosamente, el módulo 80 incluye un primer fusible de seguridad FS1 para aislar todo el módulo 80 en una situación de fallo grave, y un segundo fusible de seguridad FS2 para proteger la bobina 320 en una situación de fallo grave. Los rectificadores controlados de silicio SCR1 a SCR8 se disponen en una configuración de tipo puente como se ilustra en la FIG. 8A. En el primer modo, los rectificadores controlados de silicio SCR3, SCR4, SCR7 y SCR8 se activan en un estado conductor, mientras que los rectificadores controlados de silicio SCR1, SCR2, SCR5 y SCR6 están en un estado no conductor. En el segundo modo, ninguno de los rectificadores controlados de silicio SCR1 a SCR8 está en un estado conductor, es decir, todos están en un estado de circuito abierto. En el tercer modo, los rectificadores controlados de silicio SCR2 y SCR7 están en un estado conductor, y los rectificadores controlados de silicio SCR1, SCR3 a SCR6 y SCR8 están en un estado no conductor. En el cuarto modo, los rectificadores controlados de silicio SCR1 y SCR8 están en un estado conductor, y los rectificadores controlados de silicio SCR2 a SCR7 están en un estado no conductor.

Como se ilustra en la FIG. 8B, los módulos 80 se acoplan eléctricamente juntos benéficamente en una matriz bidimensional que incluye $m \times n$ módulos 80. Algunos de los módulos 80 opcionalmente se omiten de la matriz. Mediante tal disposición, la carga de corriente se puede compartir entre módulos 80 acoplados en paralelo, y se pueden proporcionar grandes potenciales en la salida 10 al estar los módulos 80 acoplados en serie. Por ejemplo, si es necesario, la salida 10 puede tener muchos kV de magnitud, lo que potencialmente evita la necesidad de conectar el generador 20 mediante transformadores a una red de distribución eléctrica, lo que ahorra costes de instalación y reduce las pérdidas de energía. Opcionalmente, la matriz incluye varios cientos de módulos 80 para sintetizar la salida 10 como señal sinusoidal con un contenido armónico relativamente pequeño, por ejemplo, menos del 1 % de contenido armónico. Como se mencionó anteriormente, los módulos 80 de la matriz opcionalmente proporcionan amplitudes mutuamente diferentes de ondulada 30 para permitir sintetizar formas de onda sintetizadas con mayor precisión para la salida 10. Sin embargo, se apreciará que la matriz también se puede controlar para proporcionar una salida de corriente continua CC que se puede alimentar directamente a cables oceánicos sumergidos a larga distancia para reducir las pérdidas de transmisión de energía a larga distancia.

El generador variables 20 ("WG") proporciona muchos beneficios intrínsecos en comparación con los enfoques convencionales para la construcción de generadores. Conceptualmente, el generador variable 20, por ejemplo, adaptado para su uso en una turbina eólica marina para la generación de energía eléctrica, puede considerarse una colocación espacial de pequeñas centrales eléctricas que se pueden reorganizar dinámicamente para combinar sus salidas de energía en varias combinaciones para absorber energía de una red de energía eléctrica o energía de suministro a la red de energía eléctrica; dicha absorción o suministro se puede lograr ajustando la fase de la salida 10 relativa a la fase de una red eléctrica a la que se acopla el generador 20, es decir, al seleccionar casos de tiempo cuando las onduladas 30 se añaden selectivamente para generar la salida 10. Como alternativa, o adicionalmente, la absorción de energía o el suministro de energía también se pueden controlar modulando una magnitud de la salida 10, es decir, por cuántas onduladas 30 que la unidad de control 70 elige combinar para sintetizar su forma de onda de salida en la salida 10. Surgen situaciones en las que es deseable la absorción de energía cuando una red eléctrica se sobrecarga momentáneamente y se necesita extraer energía de la red para almacenarla en inercia rotacional del rotor de la turbina eólica. Una situación en la que se requiere suministro de energía a la red eléctrica es cuando numerosos consumidores extraen energía de la red de energía eléctrica. El generador 20, cuando se utiliza en una turbina eólica mar adentro, es capaz de proporcionar así salida de energía eléctrica, así como una estabilización muy rápida de respuesta a demanda de red de red eléctrica con un tiempo de respuesta potencialmente dentro de un ciclo de electricidad de red. Dicha estabilización de respuesta a la demanda es mucho más rápida que cualquier sistema de almacenamiento de bombas que se use convencionalmente para la estabilización de red eléctrica; un ejemplo de una instalación de estabilización de respuesta a la demanda de almacenamiento de bombas es Dinorwig en Gales, Reino Unido. El generador 20 por lo tanto es muy adecuado para su uso con redes inteligentes (en Estados Unidos, "supergrid").

En principio, los microcontroladores y/o la unidad de control 70 pueden usar diversos parámetros medidos 350 para controlar el generador 20, o incluso una configuración de varios generadores 20 que funcionan juntos de manera coordinada. Un ejemplo de un parámetro medido es la temperatura dentro de un módulo dado 80, o el número de horas que un generador dado 20 ha estado funcionando dentro de un parque eólico (por ejemplo, para distribuir uniformemente el desgaste y rotura entre generadores 20 para mejorar la fiabilidad operativa general entre las operaciones de servicio).

Por ejemplo, haciendo referencia a la FIG. 9, un sistema 500 comprende varias turbinas eólicas mar adentro 510 equipadas con generadores variables 20 conformes con la presente invención. El sistema 500 se opera de manera beneficiosa de acuerdo con un método en donde un centro de control 520 del sistema 500 decide, por decisión independiente, poner en marcha primero las turbinas eólicas 510 en una región occidental 530 del sistema 500, a saber, un "parque" eólico, si el viento sopla desde el oeste; en otras palabras, el sistema 500 activa primero esas turbinas eólicas 510 que son capaces de generar energía más eficientemente. Beneficiosamente, las unidades de control 70 de los generadores 20 empleados dentro del sistema 500 son operables para mantener un registro temporal de potencia de salida acumulativa desde los generadores 20, por ejemplo, para la dispersión del desgaste y rotura dentro del sistema 500 y/o para determinar programas de mantenimiento para el sistema 500.

En otro método de funcionamiento, el centro de control 520 busca poner en funcionamiento primero una turbina eólica 510 que hasta ahora ha producido la menor producción, por ejemplo, con el fin de dispersar el desgaste y rotura y/o evitar que los mecanismos poco utilizados se gripen en ambientes corrosivos mar adentro. El centro de control 520 es opcionalmente una disposición automática que controla el sistema 500 sin necesidad de intervención humana.

5 Opcionalmente, el centro de control 520 es adaptable y refina sus rutinas operativas para las turbinas eólicas 510 sobre la base de la retroalimentación de la monitorización de las salidas 10 y de recibir información de actividades de mantenimiento.

Beneficiosamente, la lógica de control empleada para el sistema 500 se basa en un control neuronal autoorganizado; este tipo de control neuronal significa que el sistema 500 en sí mismo decidirá en cualquier momento dado un escenario operativo óptimo de un solo generador 20 o una combinación de generadores 20 sobre la base de valores predeterminados establecidos por un operador del sistema 500. Cualquier valor deseado por el operador puede integrarse en un algoritmo de control empleado para una sola unidad o el sistema completo 500. Un ejemplo podría ser operar el sistema 500 de tal manera que maximice la salida pero minimice el mantenimiento, y además minimice la temperatura en los componentes individuales de las subunidades electrónicas, y así sucesivamente. Otras medidas podrían ser, por ejemplo, optimizar la salida de potencia de un generador 20 del sistema 500, o todo el sistema 500, pero permitir que la potencia optimizada sea anulada por las demandas respondedoras de carga exhibidas por una red de energía eléctrica acoplada al sistema 500. Beneficiosamente, el sistema 500 adopta compensación automática del sistema en caso de que uno o más de los generadores 20 o sus turbinas eólicas asociadas 510 fallen, experimenten variaciones estacionales, etc.

20 Los métodos para tomar decisiones se basan de manera beneficiosa en criterios decididos y ponderados por un operador del sistema. 500; estos métodos permiten al sistema 500 priorizar independientemente en tiempo real sobre la base de efectos operativos deseados del sistema. El sistema 500 podría, por ejemplo, recibir instrucciones de mantener el control absoluto de voltaje y frecuencia en su punto de entrega en cualquier momento dado, o incluso compensar/contrarrestar el ruido en la red eléctrica si se desea. Los generadores 20 son beneficiosamente susceptibles de ser adaptados a escenarios de unidades inteligentes y de redes inteligentes.

Si una turbina eólica individual 510 experimenta una ráfaga de viento que potencialmente podría crear un breve aumento de potencia no deseado en una red de distribución eléctrica acoplada a la turbina 510, el generador 20 de la turbina eólica 510 es beneficiosamente operable para contrarrestar una sobrecarga de energía eléctrica resultante del impulso al permitir a un rotor de la turbina eólica 510 acelerar para que la energía de la ráfaga se convierta en energía cinética rotacional del rotor. Esta característica de funcionamiento es capaz de permitir lograr una red de suministro eléctrico más estable. En un escenario coordinado, en el caso de que una carga base en la red baje repentinamente en 100 MW, por ejemplo, todo el mundo desconecta sus automóviles eléctricos para ir al trabajo, un parque de turbinas eólicas que emplea generadores 20 y que produce 100 MW en ese momento podría conmutar instantáneamente y en realidad producir momentáneamente 100 MW de potencia adicional al desacelerar los rotores de las turbinas eólicas 510. Tal enfoque reduce la necesidad de implementar un deslastre de carga a corto plazo dentro de la red de distribución eléctrica. El sistema 500 se ajusta continuamente de manera beneficiosa y el fallo en cualquier componente o unidad individuales tendrá un efecto insignificante en el rendimiento general del sistema 500. Si un componente falla en el sistema 500, el único efecto negativo sería una pérdida de potencia igual al componente fallido. Esta es una característica muy útil, especialmente si la unidad de producción se coloca en un área remota, mar adentro o bajo el agua y el próximo intervalo de mantenimiento planeado es un largo tiempo de inactividad. No solo el generador 20 puede adaptarse en tiempo real al ruido o a cargas desequilibradas, sino que también puede actuar como un desconector de carga instantáneo igual en cualquier momento a la potencia instantánea producida por el sistema 500 ya sea en una unidad de producción individual o distribuida en varias unidades de producción independientes.

45 El generador 20 es opcionalmente susceptible de ser modificado para funcionar como parte componente de un generador lineal para convertir el movimiento lineal en vaivén resultante de procesos de combustión en energía eléctrica, por ejemplo, como parte componente de un aparato como se describe en la patente europea concedida EP0772735B1. En los sistemas de energía renovable, el movimiento lineal en vaivén también surge como consecuencia de flotadores que se balancean arriba y abajo sobre las olas oceánicas, y en los dispositivos de energía eólica de paletas oscilantes; dicho movimiento también se convierte beneficiosamente en energía eléctrica usando el generador 20. En la FIG. 10, el estator 60 se muestra dispuesto en una matriz plana lineal, opcionalmente una matriz oblicua o irregular, para interactuar con un "rotor" lineal en vaivén 50 equipado con una pluralidad de imanes 90.

Aunque la inclusión de los imanes 90 en el rotor 50 y bobinas 320 en el estator 60 se describen en lo anterior, se apreciará que cada uno del estator 60 y el rotor 50 opcionalmente incluye tanto imanes 90 como bobinas 320 en un tipo híbrido de disposición. Opcionalmente, se pueden usar anillos colectores y/o acoplamientos inductivos magnéticos para transferir la energía generada.

Aunque el uso del generador 20 en sistemas de energía renovable se describe principalmente en lo anterior, se apreciará que el generador 20 se puede adaptar para su uso en instalaciones más convencionales, por ejemplo:

(a) en instalaciones hidroeléctricas;

(b) conjuntamente con turbinas de vapor de carbón, centrales energéticas nucleares, de gas, solares y geotérmicas.

Son posibles modificaciones a las realizaciones de la invención descritas en lo anterior sin apartarse del alcance de la invención como se define en las reivindicaciones adjuntas. Los números incluidos entre paréntesis en las reivindicaciones adjuntas están destinados a ayudar a la comprensión de las reivindicaciones y no deben interpretarse de ninguna manera para limitar el tema reivindicado por estas reivindicaciones.

5

REIVINDICACIONES

1. Un generador eléctrico variable (20) para convertir movimiento mecánico en energía eléctrica, en donde el generador (20) incluye al menos un elemento de estator (60) y un elemento de rotor (50) que incluyen bobinas (320) e imanes (90), caracterizado por que
- 5 el generador (20) incluye una configuración de módulos (80) que incluyen las bobinas (320) para generar ondículas (30) en respuesta a las bobinas (320) que interactúan magnéticamente con los imanes (90), en donde los módulos (80) son operables para generar ondículas (30) cuya duración (d) es menor que la duración del ciclo (D) de una forma de onda alterna suministrada en funcionamiento a la salida (10), y una disposición de control (70) para combinar selectivamente las ondículas (30) para generar una salida de potencia sintetizada compuesta (10) desde el generador (20).
- 10 (20).
2. Un generador eléctrico variable (20) según la reivindicación 1, en donde los módulos (80) se colocan espacialmente con sus bobinas correspondientes (320).
3. Un generador eléctrico variable (20) según la reivindicación 1, en donde el estator (60) incluye bobinas (320) y se dispone para permanecer sustancialmente estacionario en funcionamiento, y el rotor (50) incluye imanes (90) y se dispone para girar y/o moverse en vaivén en funcionamiento con relación al estator (60).
- 15 (60).
4. Un generador eléctrico variable (20) según la reivindicación 1, en donde los módulos (80) se acoplan eléctricamente entre sí en una matriz de conmutación de dos dimensiones que incluye al menos una ruta en serie para añadir potenciales de las ondículas (30), y al menos una ruta paralela para la dispersión de corriente entre ondículas (30), para generar la salida (10).
- 20 (10).
5. Un generador eléctrico variable (20) según la reivindicación 1, en donde los módulos (80) son operables para cambiar entre un estado no conductor, un estado en cortocircuito, un estado de ondícula negativa y un estado de ondícula positiva cuando está en funcionamiento en respuesta al señales de control proporcionadas desde la disposición de control (70, 80).
- 25 (80).
6. Un generador eléctrico variable (20) según la reivindicación 1, en donde los módulos (80) se acoplan en comunicación con la disposición de control (70, 80) a través de una autopista de datos ópticos (360) que es operable para dirigir selectivamente datos entre la disposición de control (70) y los módulos (80) por medio de multiplexación por división de longitud de onda, y en donde los módulos (80) son operables para comunicar señales de diagnóstico con respecto a su estado de funcionamiento a la disposición de control (70), y para recibir señales de control desde la disposición de control (70) concerniente a información de temporización y/o información de polaridad con respecto a sus respectivas ondículas (30).
- 30 (30).
7. Un generador eléctrico variable (20) según la reivindicación 1, en donde dichos módulos (80) se disponen para desenchufarse y enchufarse en sus respectivas posiciones en el estator (60) y/o el rotor (50).
8. Un generador eléctrico variable (20) según la reivindicación 1, en donde los módulos (20) incluyen dispositivos de conmutación de estado sólido (330, 340) para conmutar al menos semiciclos de señales eléctricas inducidas dentro de las bobinas (320) en funcionamiento.
- 35 (320).
9. Un generador eléctrico variable (20) según la reivindicación 1, en donde la disposición de control (70) incluye una entrada para usar como referencia al sincronizar y/o ajustar una amplitud y/o una fase de la salida (10) durante el funcionamiento.
10. Un módulo (80) para usar en un generador variable (20) como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el módulo (80) incluye un microcontrolador (350) para proporcionar control local del módulo (80), una bobina (320) acoplada a una disposición de conmutación (330, 340) para generar ondículas (30) bajo el control del microcontrolador (350), y una interfaz de comunicación óptica (260) para recibir datos de control para controlar el módulo (80) y/o para comunicar información de diagnóstico desde el módulo (80).
- 40 (80).
11. Un método para usar un generador eléctrico variable (20) para convertir el movimiento mecánico en energía eléctrica, en donde el generador (20) incluye al menos un elemento de estator (60) y un elemento de rotor (50) que incluyen bobinas (320) e imanes (90), caracterizado por que el método incluye:
- 45 (90); y
- (a) generar ondículas (30) cuya duración (d) es menor que la duración del ciclo (D) de una forma de onda alterna suministrada en funcionamiento a la salida (10), en una configuración de módulos (80) que incluye las bobinas (320) para generar ondículas (30) en respuesta a las bobinas (320) que interactúan magnéticamente con los imanes (90); y
- 50 (20).
- (b) usar una disposición de control (70) para combinar selectivamente las ondículas (30) para generar una salida de potencia sintetizada compuesta (10) desde el generador (20).
12. Un sistema de energía renovable (500) para convertir el movimiento lineal y/o giratorio del aparato mecánico (510) en energía eléctrica, en donde el aparato (500) es operable para provocar un movimiento relativo entre un rotor (50) y un estator (60) de un generador variable (20) según la reivindicación 1 para generar una salida de potencia (10) desde

el sistema (500).

13. Un sistema de energía renovable (500) según la reivindicación 12, en donde dicho aparato mecánico incluye al menos uno de: una turbina de agua mareal, una turbina eólica, una veleta oscilante, un flotador oceánico, una turbina hidroeléctrica, una turbina de vapor.

5 14. Un método para mantener un generador variable (20) como se reivindica en la reivindicación 1, que incluye las etapas de:

(a) determinar el estado de funcionamiento de los módulos (80) del generador (20);

(b) desenchufar y reemplazar uno o más módulos defectuosos (80) como se identifica en la etapa (a).

10 15. Un método para proporcionar estabilización respondedora de carga a una red de distribución eléctrica al usar un generador eléctrico variable (20) como se reivindica en la reivindicación 1, estando el generador (20) acoplado a la red, caracterizado por que el método incluye:

(a) detectar uno o más parámetros indicativos de un grado de carga eléctrica que está experimentando la red;

15 (b) ajustar la selección de la ondícula (30) en el generador (20) para absorber o inyectar energía eléctrica en la red a fin de ayudar a estabilizar la red contra desviaciones en el voltaje y/o la frecuencia de dicha red como resultado de dicho grado de carga eléctrica.

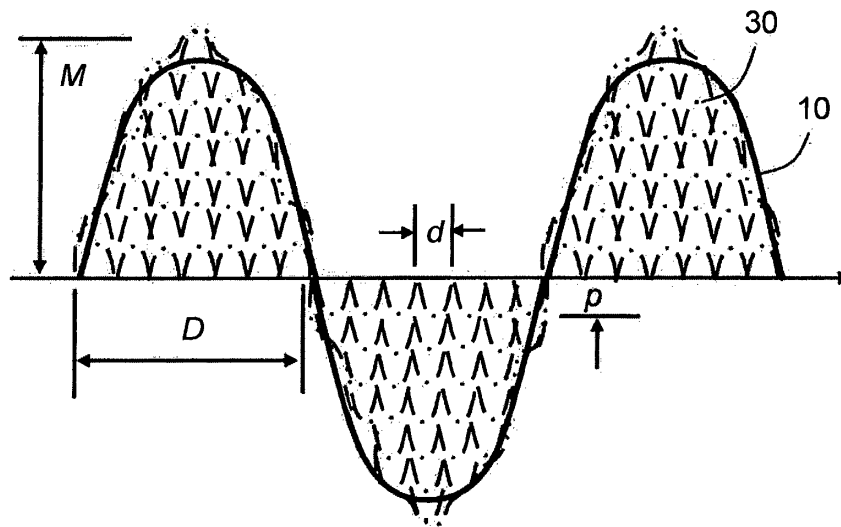
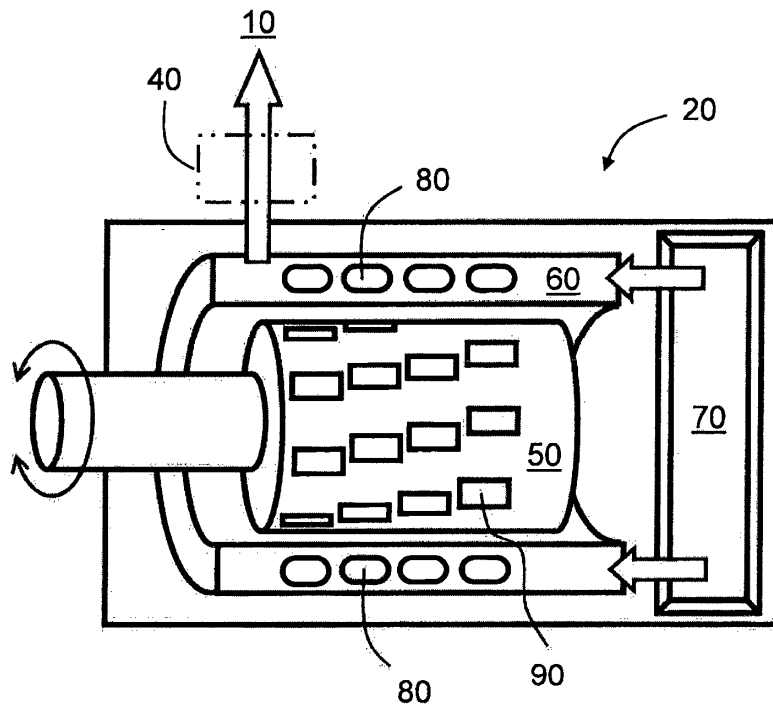


FIG. 1

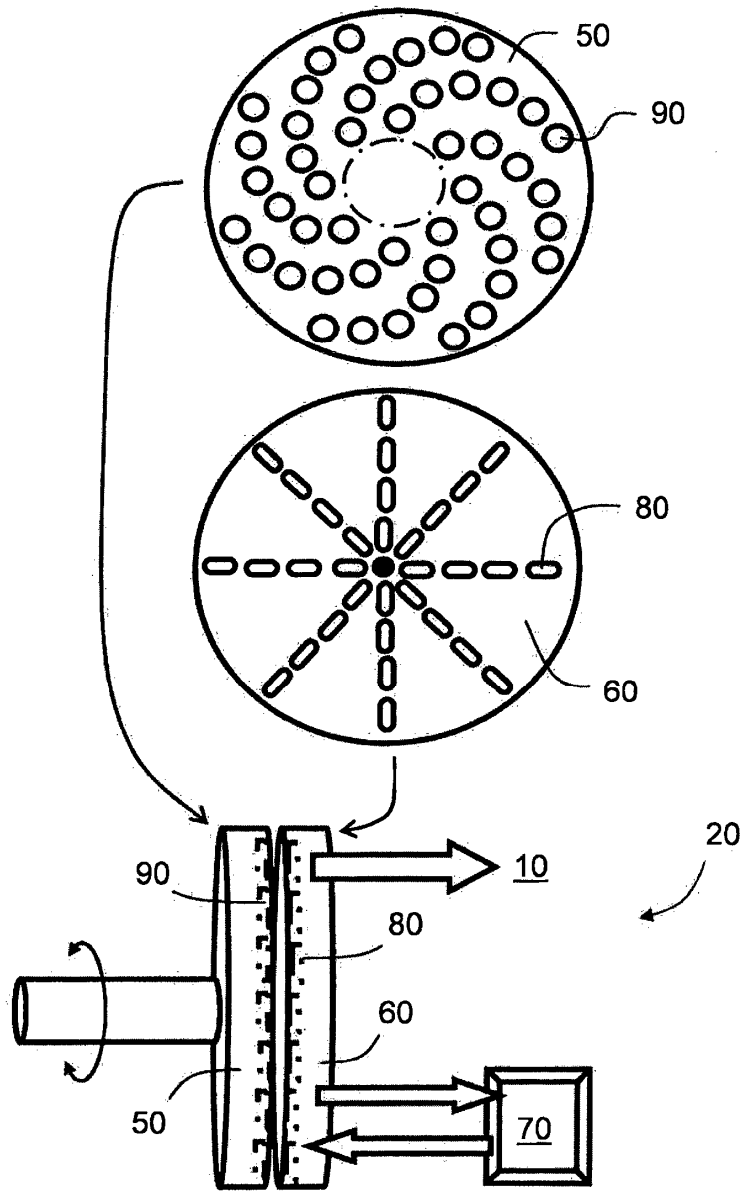


FIG. 2A

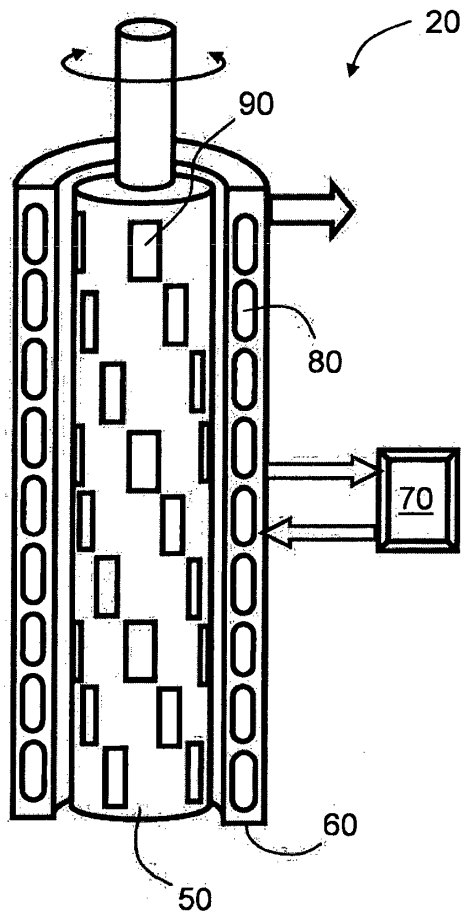


FIG. 2B

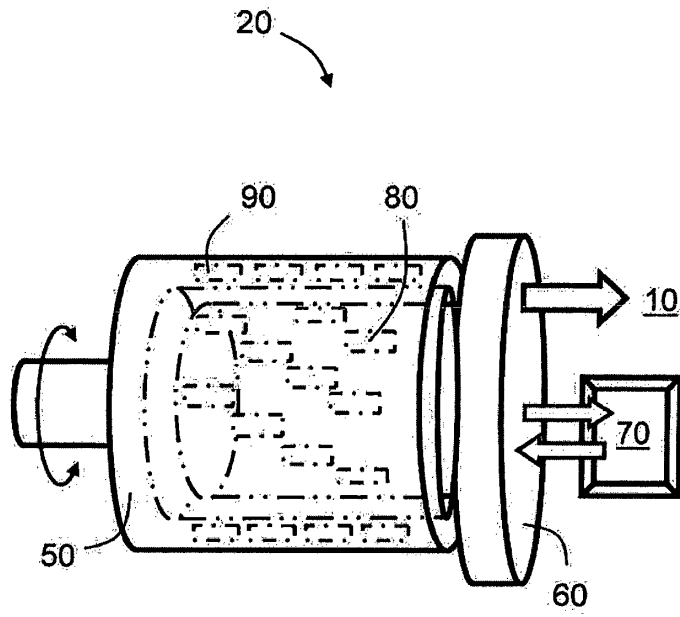


FIG. 2C

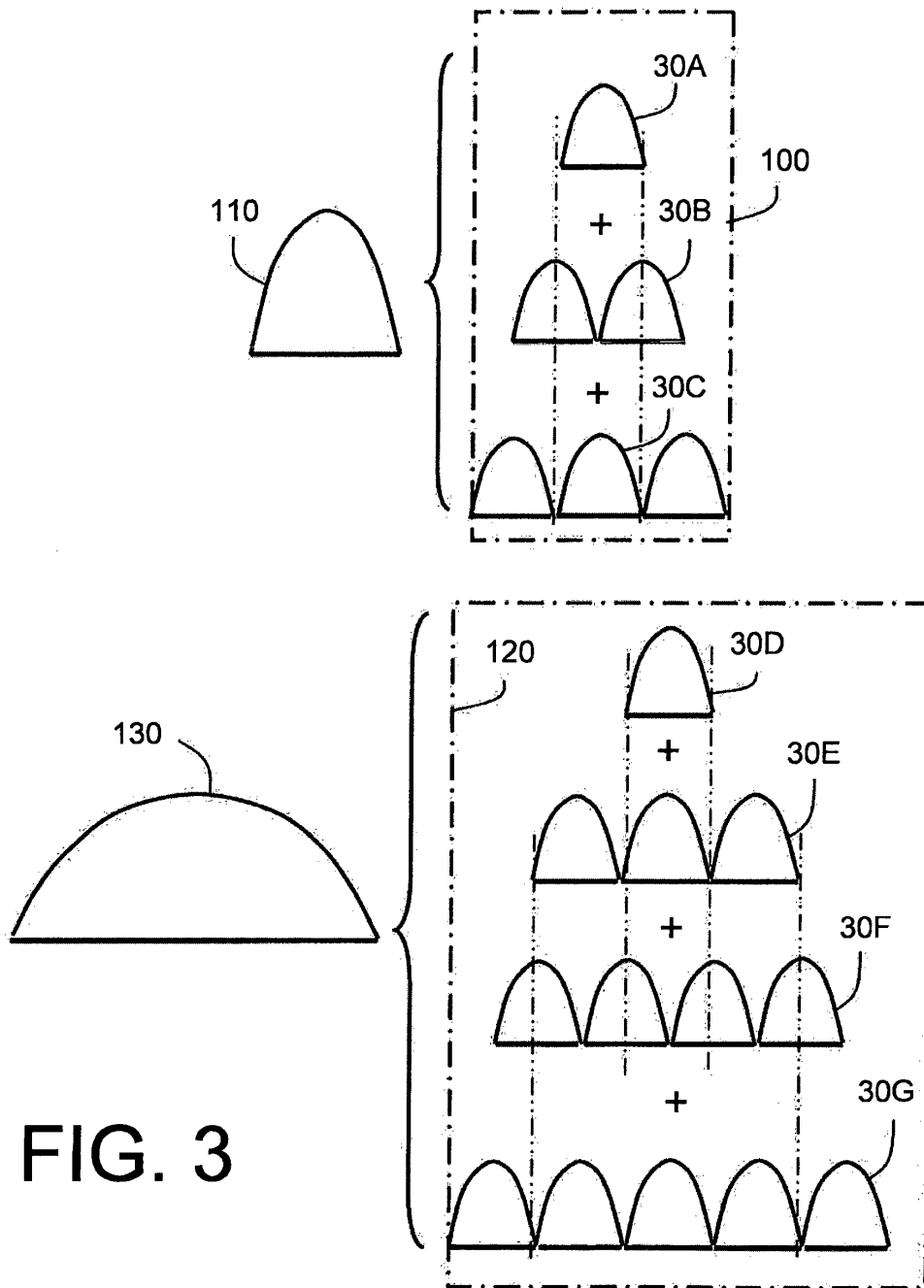


FIG. 3

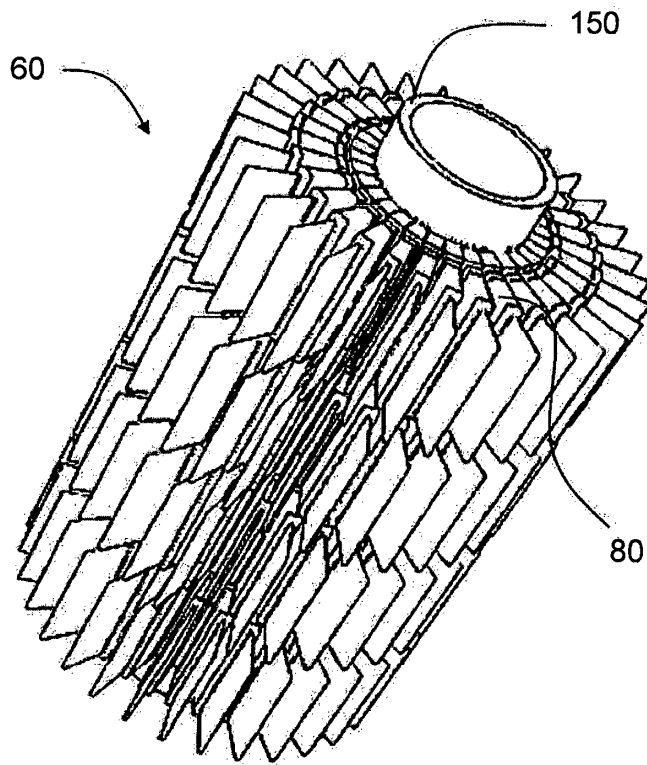


FIG. 4

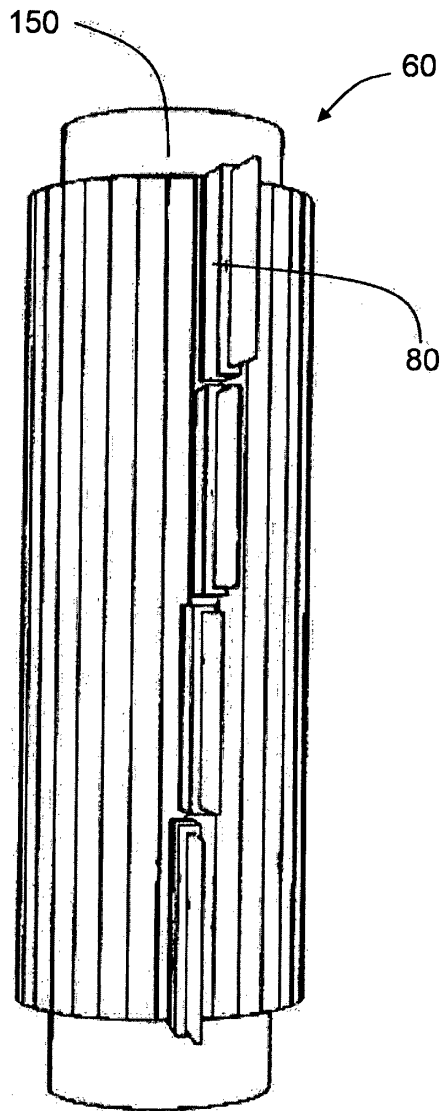


FIG. 5

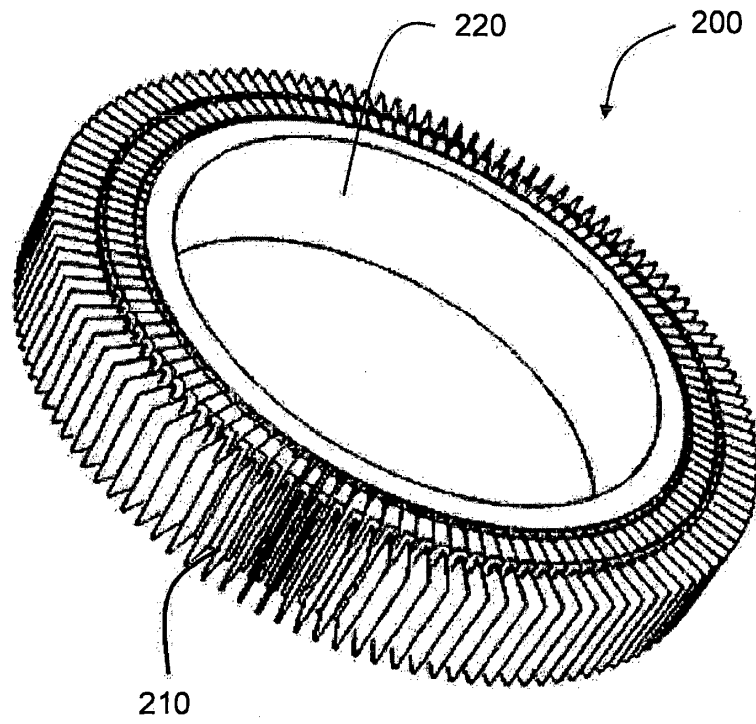


FIG. 6A

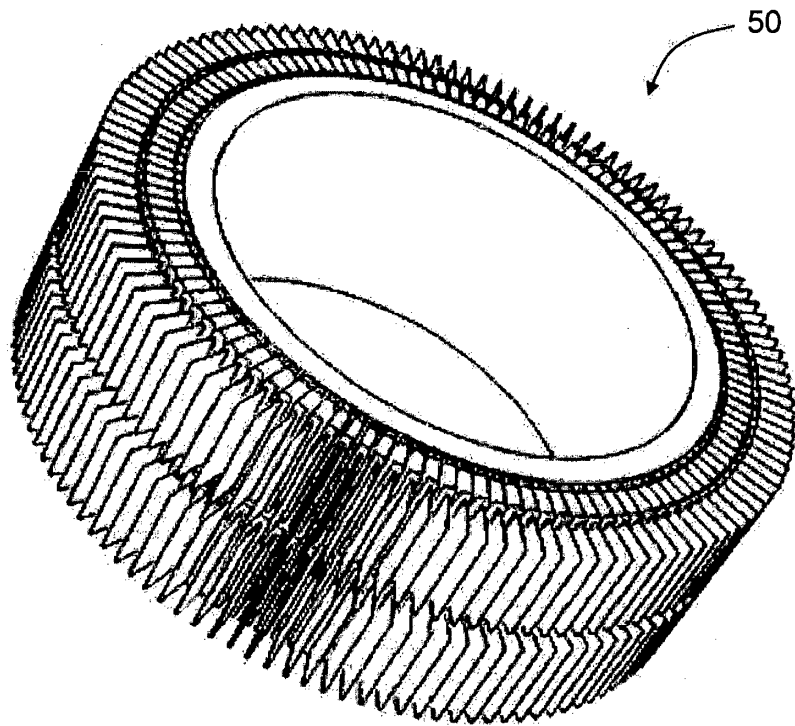


FIG. 6B

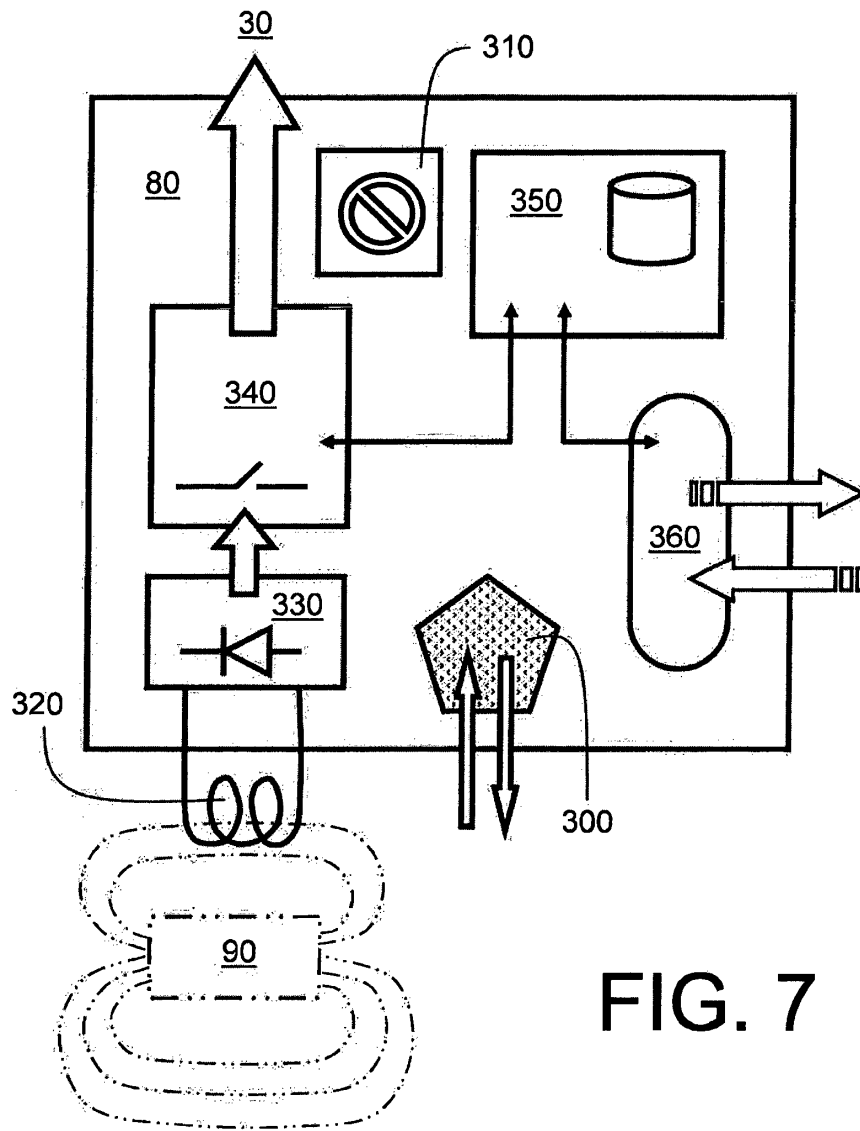


FIG. 7

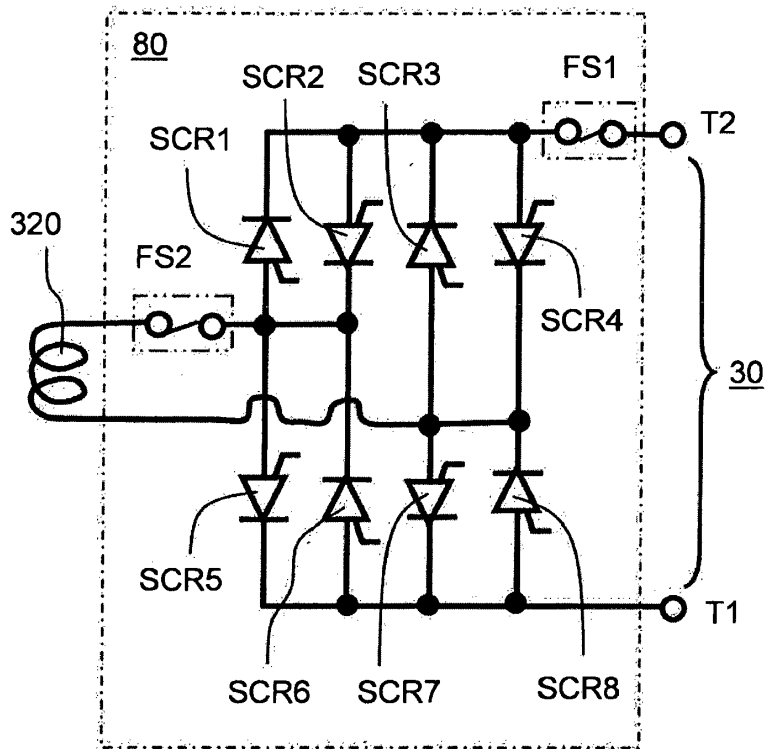


FIG. 8A

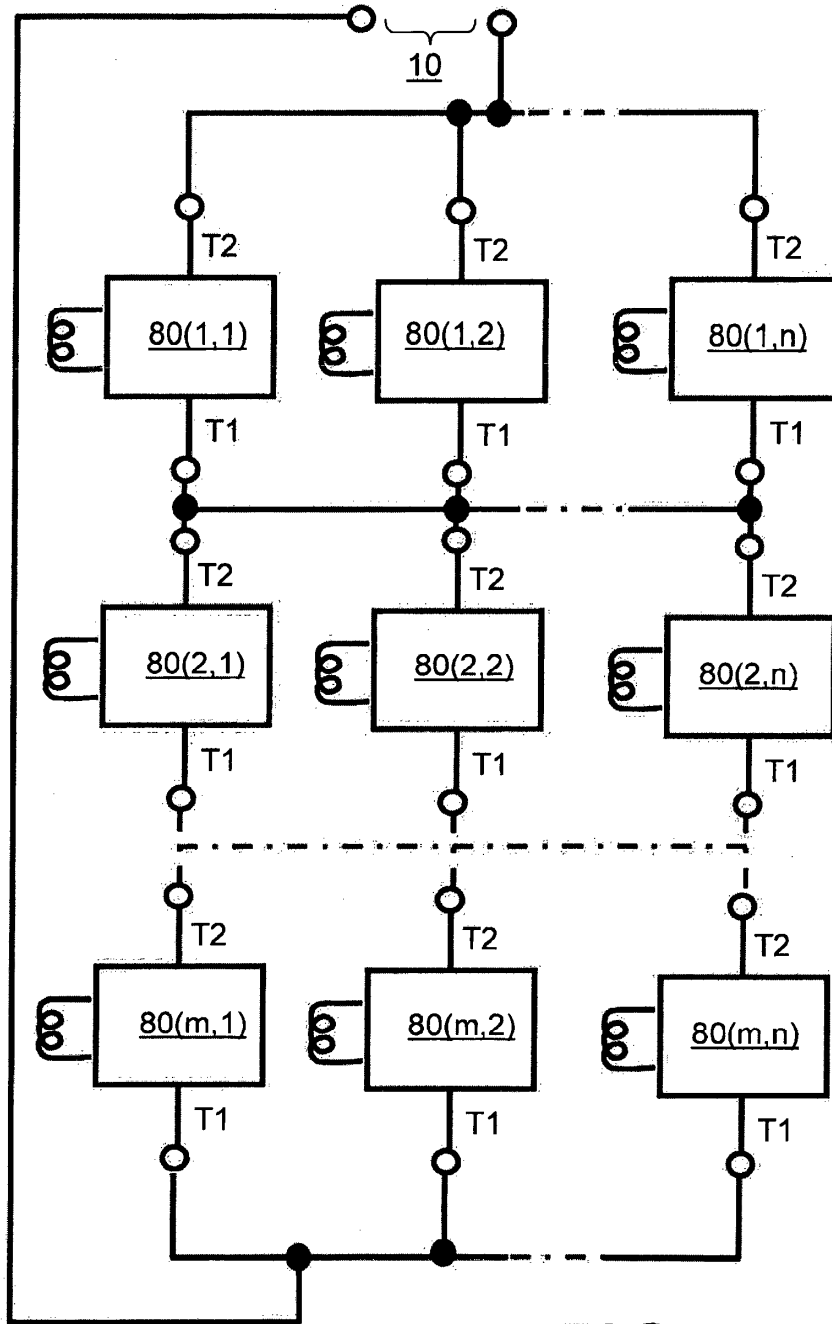


FIG. 8B

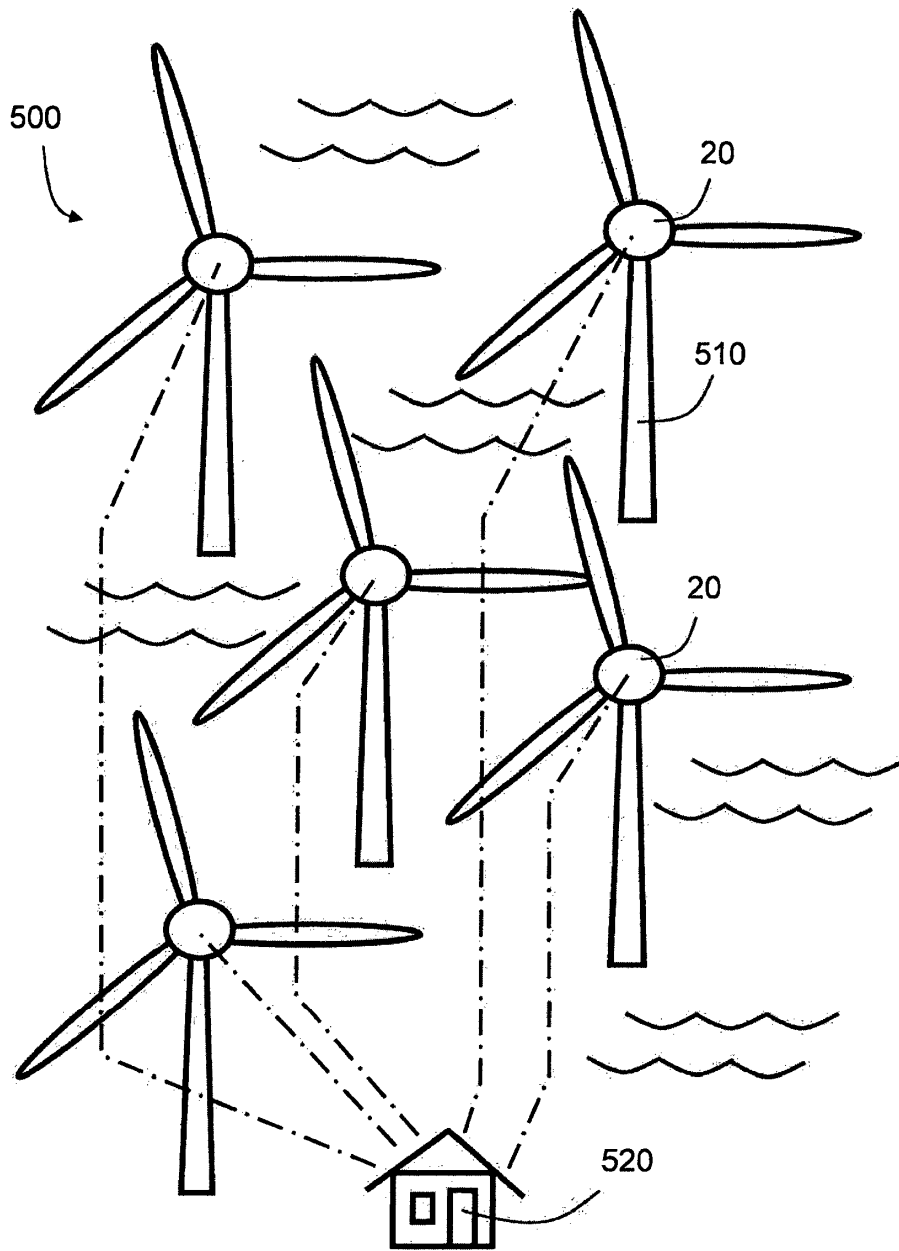


FIG. 9

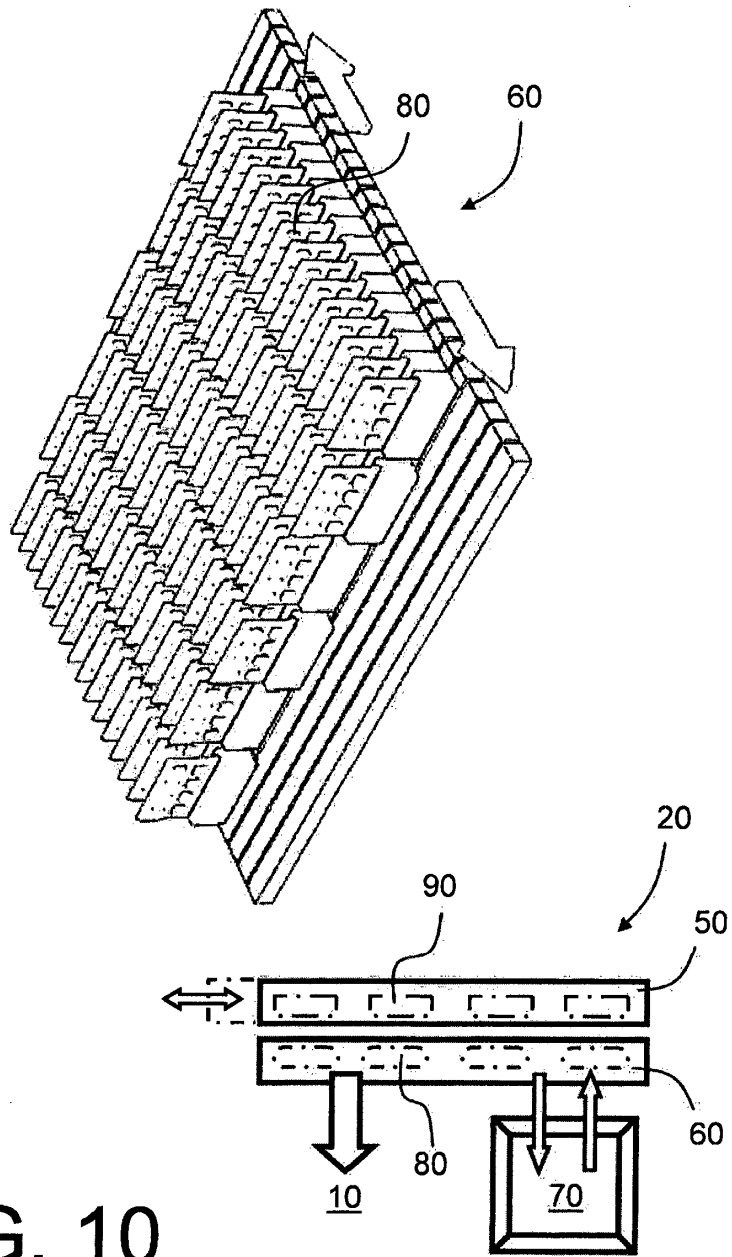


FIG. 10