

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 773 132**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA MODIFICADA
TRAS OPOSICIÓN

T5

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.01.2014 E 14152557 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea modificada tras oposición: **26.07.2023 EP 2762721**

54 Título: **Procedimiento y aparato para reducir el ruido de un aerogenerador**

30 Prioridad:

01.02.2013 US 201313756877

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

09.02.2024

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)
1 River Road
Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**HONHOFF, SASKIA;
HERRIG, ANDREAS;
TAGHADDOSI, FARZAD y
DELPOR, SARA**

74 Agente/Representante:

CONTRERAS PÉREZ, Yahel

ES 2 773 132 T5

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y aparato para reducir el ruido de un aerogenerador

5 La descripción que se da aquí se refiere, en general, a un aerogenerador, procedimientos y sistemas para controlar un aerogenerador y, más particularmente, a procedimientos y sistemas para reducir el ruido generado por un aerogenerador tal como modulación de amplitud de ruido y/o modulación de amplitud de ruido anormal.

10 Por lo menos algunos aerogeneradores conocidos incluyen una torre y una góndola montada en la torre. Véase, por ejemplo, US 2006/002792 y US 2010/117368. En la góndola va montado de manera giratoria un rotor y está acoplado a un generador a través de un eje. Desde el rotor se extienden una pluralidad de palas. Las palas están orientadas de manera que el viento que pasa por las palas hace girar el rotor y hace girar el eje, accionando así el generador para generar electricidad. También se genera ruido acústico. Es deseable reducir el ruido generado por los aerogeneradores. Las realizaciones que se describen aquí van dirigidas al ruido del aerogenerador, en particular, el ruido de modulación de amplitud y el ruido de modulación de amplitud anormal. Más específicamente, se presenta la presente invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

15 Varios aspectos, ventajas y características de la presente invención son claros a partir de las reivindicaciones dependientes, la descripción y los dibujos adjuntos, en los cuales:

20 La figura 1 es una vista en perspectiva de un aerogenerador de ejemplo, de acuerdo con una realización.

25 La figura 2 es una vista en sección ampliada de una parte del aerogenerador mostrada en la figura 1, de acuerdo con una realización.

La figura 3 es una representación esquemática desde arriba de un aerogenerador orientado normalmente hacia una dirección del viento, y es útil para comprender las realizaciones descritas aquí.

30 La figura 4 ilustra un ángulo de guiñada positivo, de acuerdo con una realización.

La figura 5 ilustra un ángulo de guiñada negativo, de acuerdo con una realización.

35 La figura 6 ilustra un aerogenerador que funciona en un ángulo de guiñada, en particular, en un estado que incluye cizalladura del viento, de acuerdo con una realización.

La figura 7 ilustra el ángulo acimutal de una pala, y es útil para comprender las realizaciones descritas aquí.

40 La figura 8 ilustra esquemáticamente una pala de rotor que gira en un plano de rotor, y es útil para comprender las realizaciones descritas aquí.

La figura 9 ilustra el efecto del ángulo de guiñada y la cizalladura en el ángulo de ataque, de acuerdo con una realización.

45 La figura 10 ilustra el efecto de la cizalladura del viento en el ángulo de ataque, y es útil para comprender las realizaciones descritas aquí.

La figura 11 ilustra el efecto del ángulo de guiñada sobre el ángulo de ataque, de acuerdo con una realización.

50 La figura 12 ilustra el efecto del ángulo de guiñada y la cizalladura en el ángulo de ataque, de acuerdo con una realización.

Las figuras 13 a 18 ilustran el impacto del ángulo de guiñada y la cizalladura del viento sobre la pérdida en la pala, de acuerdo con una realización.

55 La figura 19 ilustra el efecto del ángulo de guiñada sobre el ángulo de ataque, de acuerdo con una realización.

La figura 20 ilustra distribuciones de probabilidad de un valor operativo, de acuerdo con una realización.

60 La figura 21 ilustra una FFT de un nivel de potencia acústica de un aerogenerador, y es útil para comprender las realizaciones descritas aquí.

La figura 22 representa esquemáticamente un procedimiento de funcionamiento de un aerogenerador, de acuerdo con una realización.

La figura 23 representa esquemáticamente un procedimiento de funcionamiento de un aerogenerador, de acuerdo con una realización.

5 La figura 24 representa esquemáticamente un procedimiento de funcionamiento de un aerogenerador, de acuerdo con una realización.

La figura 25 representa esquemáticamente un procedimiento de funcionamiento de un aerogenerador, de acuerdo con una realización.

10 Se hará referencia en detalle ahora a las diversas realizaciones, uno o más ejemplos de las cuales se ilustran en cada figura. Cada ejemplo se da a modo de explicación y no pretende ser una limitación. Por ejemplo, las características ilustradas o descritas como parte de una realización pueden utilizarse en otras realizaciones, o junto con las mismas, para dar todavía otras realizaciones. Se pretende que la presente descripción incluya tales modificaciones y variaciones.

15 Las realizaciones descritas aquí incluyen un sistema de aerogenerador y un procedimiento de funcionamiento de un aerogenerador que reduce el ruido. Más específicamente, se reduce la modulación de amplitud anormal, a menudo descrita como ruido sordo, o que tiene una característica impulsiva. Además, es posible que se reduzca la carga de fatiga.

20 Tal como se utiliza aquí, el término "pala" pretende ser representativo de cualquier dispositivo que proporcione una fuerza reactiva cuando está en movimiento respecto a un fluido circundante. Tal como se utiliza aquí, el término "aerogenerador" pretende ser representativo de cualquier dispositivo que genere energía rotacional a partir de energía eólica y, más específicamente, que convierta energía cinética del viento en energía mecánica. Tal como se utiliza aquí, el término "aerogenerador" pretende ser representativo de cualquier aerogenerador que genere energía eléctrica a partir de energía rotacional generada a partir de energía eólica y, más específicamente, que convierta energía mecánica convertida a partir de energía cinética del viento en energía eléctrica.

25 Aquí, el término "dirección del viento" puede referirse a una dirección del viento en una ubicación particular, tal como se mide mediante un mástil meteorológico; o una dirección del viento promedio, y/o una componente de una dirección del viento. Por ejemplo, "dirección del viento" puede referirse a la componente de la dirección del viento orientada tangencialmente al suelo, perpendicularmente a la torre, y/o perpendicular a un eje de guiñada. Además, o alternativamente, la "dirección del viento" o "viento" puede referirse a una componente direccional del viento en un plano de guiñada de una góndola, siendo el plano de guiñada perpendicular al eje de guiñada.

30 Aquí, "ángulo de guiñada" y "desviación de guiñada" pretenden indicar una orientación del eje del rotor y/o la góndola del aerogenerador respecto a la dirección del viento, es decir, la componente de la dirección del viento en el plano de guiñada. Por ejemplo, un ángulo de guiñada de 0° pretende representar una alineación del eje del rotor y la dirección del viento en el plano de guiñada, es decir, la dirección del viento proyectada sobre el plano de guiñada. En otras palabras, el ángulo de guiñada cero corresponde a la alineación del eje del rotor y la dirección del viento en el plano de guiñada. Por ejemplo, si un aerogenerador funciona en un estado tal que la dirección del viento tiene una componente vertical (es decir, una componente que es perpendicular al plano de guiñada), entonces un ángulo de guiñada de 0° pretende ser representativo de una alineación del eje del rotor y la componente no vertical de la dirección del viento que se encuentra en el plano de guiñada.

35 Aquí, un eje de rotor horizontal pretende ser representativo de un eje de rotor que es sustancialmente horizontal (de 10, 5, 2 o incluso 1 grado de la horizontal), por ejemplo, de manera que el giro de los rotores define un plano orientado sustancialmente verticalmente. Aquí, eje del rotor horizontal, eje del rotor, y eje de rotación se utilizan indistintamente.

40 Aquí, un ángulo acimutal de 0° de una pala pretende ser representativo de una pala que se extiende hacia arriba desde el buje del rotor. Aquí, el rotor gira de manera que aumenta el ángulo acimutal tal como, por ejemplo, el giro de la pala provocado por el viento. Se reconoce que pueden definirse coordenadas alternativas sin apartarse del alcance de las realizaciones descritas. Ángulos azimutales cercanos a 0° pueden incluir aquí el rango entre 270° y 90°, entre 300° y 60° y/o entre 330° y 30°.

45 La figura 1 es una vista en perspectiva de un aerogenerador de ejemplo 10. En la realización de ejemplo, el aerogenerador 10 es un aerogenerador de eje horizontal. Alternativamente, el aerogenerador 10 puede ser un aerogenerador de eje vertical. En la realización de ejemplo, el aerogenerador 10 incluye una torre 12 que se extiende desde un sistema de soporte 14, una góndola 16 montada en la torre 12 y un rotor 18 que está acoplado a la góndola 16. El rotor 18 incluye un buje giratorio 20 y por lo menos una pala del rotor 22 acoplada al buje 20 y que se extiende hacia afuera del mismo. En la realización de ejemplo, el rotor 18 tiene tres palas del rotor 22. En una

realización alternativa, el rotor 18 incluye más o menos de tres palas del rotor 22. En la realización de ejemplo, la torre 12 está fabricada en acero tubular para definir una cavidad (no mostrada en la figura 1) entre el sistema de soporte 14 y la góndola 16. En una realización alternativa, la torre 12 es cualquier tipo adecuado de torre que tenga cualquier altura adecuada.

5 Las palas del rotor 22 están separadas alrededor del buje 20 para facilitar el giro del rotor 18 para permitir que la energía cinética se transfiera del viento a energía mecánica utilizable y, posteriormente, energía eléctrica. Las palas del rotor 22 se acoplan al buje 20 acoplando una parte de la raíz de la pala 24 al buje 20 en una pluralidad de regiones de transferencia de carga 26. Las regiones de transferencia de carga 26 presentan una región de transferencia de carga del buje y una región de transferencia de carga de pala (ambas no mostradas en la figura 1) Las cargas inducidas a las palas del rotor 22 se transfieren al buje 20 a través de las regiones de transferencia de carga 26.

15 En una realización, las palas del rotor 22 tienen una longitud que varía de entre aproximadamente 15 metros (m) y aproximadamente 91 m. Alternativamente, las palas del rotor 22 pueden tener cualquier longitud adecuada que permita que el aerogenerador 10 funcione tal como se describe aquí. Otros ejemplos no limitativos de longitudes de pala incluyen, por ejemplo, 10 m o menos, 20 m, 37 m, o una longitud mayor de 91 m. Cuando el viento incide sobre las palas del rotor 22 desde una dirección 28, el rotor 18 gira alrededor de un eje de rotación 30. A medida que las palas del rotor 22 giran y se someten a fuerzas centrífugas, las palas del rotor 22 también se someten a diversas fuerzas y momentos. Como tales, las palas del rotor 22 pueden desviarse y/o girar desde una posición neutra, o no desviada, hasta una posición desviada.

25 Además, un ángulo de inclinación o inclinación de las palas del rotor 22, es decir, un ángulo que determina una perspectiva de las palas del rotor 22 respecto a la dirección del viento 28, puede variarse mediante un sistema de ajuste de inclinación 32 para controlar la carga y la potencia generada por el aerogenerador 10 regulando una posición angular de por lo menos una pala del rotor 22 respecto a los vectores de viento. Se muestran unos ejes de inclinación 34 para palas del rotor 22. Durante el funcionamiento del aerogenerador 10, el sistema de ajuste de inclinación 32 puede variar una inclinación de las palas del rotor 22 para que las palas del rotor 22 se muevan a una posición de reposo, de modo que la perspectiva de por lo menos una pala del rotor 22 respecto a vectores de viento proporcione un área de superficie mínima de la pala del rotor 22 que quede orientada hacia los vectores de viento, lo que facilita la reducción de la velocidad de rotación del rotor 18 y/o facilita una parada del rotor 18.

35 En la realización de ejemplo, mediante un sistema de control 36 se controla individualmente la inclinación de cada pala del rotor 22. Alternativamente, el sistema de control 36 puede controlar simultáneamente la inclinación para todas las palas de rotor 22. Además, en la realización de ejemplo, a medida que varía la dirección 28, puede controlarse una dirección de guiñada de la góndola 16 alrededor de un eje de guiñada 38 para colocar las palas del rotor 22 respecto a la dirección 28.

40 En la realización de ejemplo, el sistema de control 36 se muestra centralizado en el interior de la góndola 16, sin embargo, el sistema de control 36 puede ser un sistema distribuido a lo largo del aerogenerador 10, en el sistema de soporte 14, dentro de un parque eólico, y/o en un centro de control remoto. El sistema de control 36 incluye un procesador 40 configurado para llevar a cabo los procedimientos y/o etapas descritos aquí. Además, muchos de los otros componentes descritos aquí incluyen un procesador. Tal como se utiliza aquí, el término "procesador" no se limita a circuitos integrados denominados en la técnica como ordenador, sino que se refiere, en general, a un controlador, un microcontrolador, una micro-ordenador, un controlador lógico programable (PLC), un circuito integrado específico de la aplicación, y otros circuitos programables, y estos términos se utilizan indistintamente aquí. Debe entenderse que un procesador y/o un sistema de control también pueden incluir memoria, canales de entrada, y/o canales de salida.

50 En las realizaciones descritas aquí, la memoria puede incluir, sin limitación, un medio legible por ordenador, tal como una memoria de acceso aleatorio (RAM), y un medio no volátil legible por ordenador, tal como memoria flash. Alternativamente, también puede utilizarse un disquete, una memoria de sólo lectura de disco compacto (CD-ROM), un disco magneto-óptico (MOD), y/o un disco versátil digital (DVD). Además, en las realizaciones descritas aquí, canales de entrada incluyen, sin limitación, sensores y/o periféricos de ordenador asociados a una interfaz de operador, tal como un ratón y un teclado. Además, en la realización de ejemplo, canales de salida pueden incluir, sin limitación, un dispositivo de control, un monitor de interfaz de operador y/o una pantalla.

60 Los procesadores descritos aquí procesan información transmitida desde una pluralidad de dispositivos eléctricos y electrónicos que pueden incluir, sin limitación, sensores, actuadores, compresores, sistemas de control y/o dispositivos de monitorización. Dichos procesadores pueden estar situados físicamente, por ejemplo, en un sistema de control, un sensor, un dispositivo de monitorización, un ordenador de escritorio, un ordenador portátil, un armario de controlador lógico programable (PLC), y/o un armario de sistema de control distribuido (DCS). Una RAM y unos dispositivos de almacenamiento almacenan y transfieren información e instrucciones para ser ejecutadas por el (los)

procesador(es). También puede utilizarse RAM y dispositivos de almacenamiento para almacenar y proporcionar variables temporales, información estática (es decir, que no varía) e instrucciones u otra información intermedia a los procesadores durante la ejecución de las instrucciones por parte del (de los) procesador(es). Las instrucciones que se ejecutan pueden incluir, sin limitación, comandos de control del sistema de control del aerogenerador. La ejecución de secuencias de instrucciones no se limita a ninguna combinación específica de circuitos de hardware e instrucciones de software.

La figura 2 es una vista en sección ampliada de una parte de un aerogenerador 10. En la realización de ejemplo, el aerogenerador 10 incluye una góndola 16 y un buje 20 que está acoplado de manera giratoria a la góndola 16. Más específicamente, el buje 20 está acoplado de manera giratoria a un generador eléctrico 42 dispuesto en el interior de la góndola 16 a través de un eje del rotor 44 (a veces denominado eje principal o eje de baja velocidad), un multiplicador 46, un eje de alta velocidad 48 y un acoplamiento 50. En la realización de ejemplo, el eje del rotor 44 está dispuesto coaxial respecto al eje longitudinal 116. El giro del eje del rotor 44 acciona de manera giratoria el multiplicador 46 que posteriormente acciona el eje de alta velocidad 48. El eje de alta velocidad 48 acciona el generador 42 con el acoplamiento 50 y el giro del eje de alta velocidad 48 facilita la producción de energía eléctrica por el generador 42. El multiplicador 46 y el generador 42 están soportados por un soporte 52 y un soporte 54. En la realización de ejemplo, el multiplicador 46 utiliza una geometría de doble trayectoria para accionar el eje de alta velocidad 48. Alternativamente, el eje del rotor 44 está acoplado directamente al generador 42 con el acoplamiento 50.

La góndola 16 también incluye un mecanismo de accionamiento de guiñada 56 que puede utilizarse para girar la góndola 16 y el buje 20 alrededor del eje de guiñada 38 (mostrado en la figura 1) para controlar la perspectiva de las palas del rotor 22 respecto a la dirección del viento 28. La góndola 16 también incluye por lo menos un mástil meteorológico 58 que incluye una veleta y un anemómetro (ninguno de los cuales se muestra en la figura 2). El mástil 58 proporciona información para controlar el sistema 36 que puede incluir la dirección del viento y/o la velocidad del viento. En la realización de ejemplo, la góndola 16 también incluye un cojinete de soporte principal delantero 60 y un cojinete de soporte principal trasero 62.

El cojinete de soporte delantero 60 y el cojinete de soporte trasero 62 facilitan el soporte radial y la alineación del eje del rotor 44. El cojinete de soporte delantero 60 está acoplado al eje del rotor 44 cerca del buje 20. El cojinete de soporte trasero 62 está posicionado en el eje del rotor 44 cerca del multiplicador 46 y/o el generador 42. Alternativamente, la góndola 16 incluye cualquier número de cojinetes de soporte que permiten que el aerogenerador 10 funcione tal como se describe aquí. Eje del rotor 44, el generador 42, el multiplicador 46, el eje de alta velocidad 48, el acoplamiento 50, y cualquier dispositivo de sujeción, soporte y/o fijación asociado incluyendo el soporte 52 y/o el soporte 54, y el cojinete de soporte delantero 60 y el cojinete de soporte trasero 62, pero sin limitarse a éstos, a veces se denominan tren de transmisión 64.

En la realización de ejemplo, el buje 20 incluye un conjunto de inclinación 66. El conjunto de inclinación 66 incluye uno o más sistemas de accionamiento de inclinación 68 y por lo menos un sensor 70. Cada sistema de accionamiento de inclinación 68 está acoplado a una pala de rotor respectiva 22 (mostrada en la figura 1) para modular la inclinación de la pala del rotor 22 asociada a lo largo del eje de inclinación 34. En la figura 2 sólo se muestra uno de los tres sistemas de accionamiento de inclinación 68.

En la realización de ejemplo, el conjunto de inclinación 66 incluye por lo menos un cojinete de inclinación 72 acoplado al buje 20 y a la pala de rotor respectiva 22 (mostrada en la figura 1) para girar la pala de rotor respectiva 22 alrededor del eje de inclinación 34. El sistema de accionamiento de inclinación 68 incluye un motor de accionamiento de inclinación 74, un multiplicador de accionamiento de inclinación 76, y un piñón de accionamiento de inclinación 78. El motor de accionamiento de inclinación 74 está acoplado al multiplicador del accionador de inclinación 76 de manera que el motor de accionamiento de inclinación 74 aplica una fuerza mecánica al multiplicador de accionamiento de inclinación 76. El multiplicador de accionamiento de inclinación 76 está acoplado al piñón de accionamiento de inclinación 78 de manera que el multiplicador de accionamiento de inclinación 76 hace girar el piñón de accionamiento de inclinación 78. El cojinete de inclinación 72 está acoplado al piñón de accionamiento de inclinación 78 de manera que el giro del piñón de accionamiento de inclinación 78 provoca el giro del cojinete de inclinación 72. Más específicamente, en la realización de ejemplo, el piñón de accionamiento de inclinación 78 está acoplado al cojinete de inclinación 72 de manera que el giro del multiplicador de accionamiento de inclinación 76 hace girar el cojinete de inclinación 72 y la pala del rotor 22 alrededor del eje de inclinación 34 para variar la inclinación de la pala 22.

El sistema de accionamiento de inclinación 68 está acoplado al sistema de control 36 para regular la inclinación de la pala del rotor 22 al recibir una o más señales del sistema de control 36. En la realización de ejemplo, el motor de accionamiento de inclinación 74 es cualquier motor adecuado accionado por energía eléctrica y/o un sistema hidráulico que permita que el conjunto de inclinación 66 funcione tal como se describe aquí. Alternativamente, el conjunto de inclinación 66 puede incluir cualquier estructura, configuración, disposición y/o componentes adecuados,

tales como cilindros hidráulicos, muelles y/o servomecanismos pero sin limitarse a éstos. Además, el conjunto de inclinación 66 puede ser accionado por cualquier medio adecuado tal como fluido hidráulico y/o potencia mecánica, tal como fuerzas elásticas y/o fuerzas electromagnéticas inducidas, pero sin limitarse a éstas. En ciertas realizaciones, el motor de accionamiento de inclinación 74 es accionado por energía extraída de una inercia rotacional del buje 20 y/o una fuente de energía almacenada (no mostrada) que suministra energía a componentes del aerogenerador 10.

El conjunto de inclinación 66 también incluye uno o más sistemas de control de exceso de velocidad 80 para controlar el sistema de accionamiento de inclinación 68 durante un exceso de velocidad del rotor. En la realización de ejemplo, el conjunto de inclinación 66 incluye por lo menos un sistema de control de exceso de velocidad 80 conectado de manera comunicativa al respectivo sistema de accionamiento de inclinación 68 para controlar el sistema de accionamiento de inclinación 68 independientemente del sistema de control 36. En una realización, el conjunto de inclinación 66 incluye una pluralidad de sistemas de control de exceso de velocidad 80 que están conectados de manera comunicativa al respectivo sistema de accionamiento de inclinación 68 para accionar el respectivo sistema de accionamiento de inclinación 68 independientemente del sistema de control 36. El sistema de control de exceso de velocidad 80 también está conectado de manera comunicativa al sensor 70. En la realización de ejemplo, el sistema de control de exceso de velocidad 80 está conectado al sistema de accionamiento de inclinación 68 y al sensor 70 con una pluralidad de cables 82. Alternativamente, el sistema de control de exceso de velocidad 80 está conectado de manera comunicativa al sistema de accionamiento de inclinación 68 y al sensor 70 utilizando cualquier dispositivo de comunicaciones por cable o inalámbrico adecuado. Durante el funcionamiento normal del aerogenerador 10, el sistema de control 36 controla el sistema de accionamiento de inclinación 68 para regular la inclinación de la pala del rotor 22. En una realización, cuando el rotor 18 funciona a una velocidad del rotor excesiva, el sistema de control de exceso de velocidad 80 anula el sistema de control 36, de modo que el sistema de control 36 ya no controla el sistema de transmisión de inclinación 68 y el sistema de control de exceso de velocidad 80 controla el sistema de transmisión de inclinación 68 para mover la pala del rotor 22 a una posición de reposo para reducir el giro del rotor 18.

Al sensor 70, al sistema de control de exceso de velocidad 80, y al sistema de accionamiento de inclinación 68 va conectado un generador de energía 84 para proporcionar una fuente de alimentación al conjunto de inclinación 66. En la realización de ejemplo, el generador de energía 84 proporciona una fuente continua de energía al conjunto de inclinación 66 durante el funcionamiento del aerogenerador 10. En una realización alternativa, el generador de energía 84 proporciona energía para montar el conjunto 66 durante un evento de pérdida de energía eléctrica del aerogenerador 10. El evento de pérdida de energía eléctrica puede incluir pérdida de la red eléctrica, un mal funcionamiento del sistema eléctrico de la turbina, y/o un fallo del sistema de control del aerogenerador 36. Durante el evento de pérdida de energía eléctrica, el generador de energía 84 funciona para proporcionar energía eléctrica al conjunto de inclinación 66 de manera que el conjunto de inclinación 66 pueda funcionar durante el evento de pérdida de energía eléctrica.

En la realización a modo de ejemplo, el sistema de accionamiento de inclinación 68, el sensor 70, el sistema de control de exceso de velocidad 80, los cables 82 y el generador de potencia 84 están colocados cada uno en una cavidad 86 definida por una superficie interior 88 del buje 20. En una realización particular, el sistema de accionamiento de inclinación 68, el sensor 70, el sistema de control de exceso de velocidad 80, los cables 82, y/o el generador de energía 84 están conectados, directa o indirectamente, a la superficie interior 88. En una realización alternativa, el sistema de accionamiento de inclinación 68, el sensor 70, el sistema de control de exceso de velocidad 80, los cables 82, y el generador de energía 84 están dispuestos respecto a una superficie exterior 90 del buje 20 y pueden estar acoplados, directa o indirectamente, a la superficie exterior 90.

En la realización de ejemplo, el controlador es un controlador en tiempo real que incluye cualquier sistema adecuado basado en procesador o microprocesador, tal como un sistema informático, incluyendo microcontroladores, circuitos de conjuntos de instrucciones reducidos (RISC), circuitos integrados específicos de aplicación (ASICs), circuitos lógicos y/o cualquier otro circuito o procesador que sea capaz de ejecutar las funciones que se describen aquí. En una realización, el controlador puede ser un microprocesador que incluya memoria de sólo lectura (ROM) y/o memoria de acceso aleatorio (RAM) tal como, por ejemplo, un microordenador de 32 bits con ROM de 2 Mbits y RAM de 64 Kbits. Tal como se utiliza aquí, el término "tiempo real" se refiere a resultados que ocurren en un período de tiempo sustancialmente corto después de que un cambio en las entradas afecte al resultado, siendo el período de tiempo un parámetro de diseño que puede seleccionarse en función de la importancia del resultado y/o la capacidad del sistema para procesar las entradas para generar el resultado.

La figura 3 ilustra, en un ejemplo no limitativo, una vista desde arriba de un aerogenerador 10 orientado en un ángulo de guiñada de 0°. El eje del rotor 30 y la dirección del viento 28 están alineados. En otras palabras, el plano del rotor 305 es perpendicular a la dirección del viento 28 (el plano del rotor 205 también es perpendicular al plano del dibujo en cada una de las figuras 3, 4 y 5). El plano de guiñada (no indicado) es coplanario a los dibujos de las

figuras 3, 4 y 5, y el eje de guiñada 38 (no indicado) es perpendicular a los dibujos. Las figuras 3, 4 y 5 también representan la góndola 16 y las palas del rotor 22 del aerogenerador.

5 La figura 3 ilustra una representación esquemática desde arriba de un aerogenerador orientado normalmente respecto a una dirección del viento 28, es decir, a un ángulo de guiñada de 0°. La figura 4 ilustra un ángulo de guiñada positivo 210 (por ejemplo, 20°), y la figura 5 ilustra un ángulo de guiñada negativo 210 (por ejemplo, -20°). En las figuras 4 y 5, el ángulo de guiñada 210 es tal que el eje del rotor y la dirección del viento en el plano de guiñada (plano de los dibujos) no están alineados.

10 Se describen aquí unas realizaciones de aerogeneradores, sistemas de control y procedimientos de funcionamiento en los que el ángulo de guiñada del aerogenerador puede ser tal que el plano del rotor 305 esté desviado de la perpendicular a la dirección del viento 310 (véase, por ejemplo, las figuras 4 y 5), particularmente de modo que el plano del rotor 305 esté desviado de la perpendicular respecto a la componente de la dirección del viento que es coplanaria al plano de guiñada 200. Como consecuencia, el ruido, particularmente la modulación de amplitud y/o la modulación de amplitud anormal, pueden mitigarse.

15 La figura 6 ilustra un aerogenerador que funciona en un ángulo de guiñada 210 (ajuste del ángulo de guiñada 210). La figura 6 representa el eje de guiñada 38, alrededor del cual puede girar la góndola 16 en el plano de guiñada 200. En la figura 6, el plano de guiñada 200 se ha dibujado como una elipse para transmitir la perpendicularidad del plano de guiñada 200 y el eje de guiñada 38. La figura 6 representa cizalladura del viento 280, dibujada como un grupo de flechas, cuya longitud pretendía representar la variación de la velocidad del viento con la altura. El grupo de flechas que representa la cizalladura del viento 280 también se dirige en la misma dirección que la flecha que representa la dirección del viento 28. Por lo tanto, en el ejemplo no limitativo ilustrado en la figura 6, el aerogenerador 10 funciona a un ángulo de guiñada 210 (entre el eje del rotor 30 y la dirección del viento 28) que está desviado de una alineación del eje del rotor 30 y la dirección del viento 28 en el plano de guiñada 200.

20 En un ejemplo no limitativo, la figura 6 ilustra un caso en el que la dirección del viento 28 se encuentra en el mismo plano que el plano de guiñada; en otras palabras, el viento se dirige horizontalmente, en el mismo plano que el plano de guiñada, pero en un ángulo respecto al eje del rotor 30. En este ejemplo no limitativo, no hay una componente vertical de la dirección del viento 28. Dado que la figura 6 da una vista en perspectiva tridimensional, puede parecer que hay una componente vertical en la dirección del viento 28, sin embargo, la dirección del viento 28 en este ejemplo es coplanaria con el plano de guiñada 200, y no tiene componente vertical.

25 Además, las flechas que representan la cizalladura del viento 280 también pretenden representar de manera no limitativa las direcciones del viento que están en la misma dirección que la dirección del viento 28, y tampoco tienen componente vertical. El flujo de aire representado por la cizalladura del viento 280 se dirige en la misma dirección 28. Opcionalmente, en este ejemplo, existe cizalladura del viento (cizalladura del viento distinta de cero), en otras palabras, la velocidad del viento aumenta con la altura. También es posible, sin embargo, que no haya cizalladura del viento, por lo que hay una velocidad del viento uniforme a varias alturas, por lo menos en las dimensiones relevantes del aerogenerador (por ejemplo, desde el suelo hasta la parte superior de la pala 22 orientada exactamente hacia arriba). El aerogenerador 10 puede funcionar en un ángulo de guiñada 210. Particularmente en el caso de cizalladura del viento 280, el funcionamiento en un ángulo de guiñada 210 de acuerdo con los procedimientos descritos aquí puede reducir el ruido, particularmente la modulación de amplitud y la modulación de amplitud anormal.

30 En una realización, se determina la dirección del viento, y se determina la configuración del ángulo de guiñada (210), por ejemplo, en base a la dirección del viento y/o cizalladura del viento 280. En condiciones de cizalladura del viento 280, por ejemplo, cizalladura del viento orientada particularmente vertical con una mayor velocidad del viento con una altura tal como se muestra en la figura 6, el funcionamiento del aerogenerador en un ángulo de guiñada reduce el ruido, particularmente la modulación de amplitud y la modulación de amplitud anormal.

35 En una realización, un aerogenerador de eje horizontal 10 incluye un rotor 18 que incluye por lo menos una pala de rotor 22. El rotor 18 está acoplado de manera giratoria a una góndola 16 y puede girar alrededor de un eje de rotor horizontal 30 que se extiende a través de la góndola 16. La góndola 16 puede girar alrededor de un eje de guiñada 38 en el plano de guiñada 200 mediante un mecanismo de accionamiento de guiñada 56. Un sistema de control 36 puede conectarse de manera comunicativa al mecanismo de accionamiento de guiñada 56, estando adaptado el sistema de control para, por ejemplo, determinar una dirección del viento y determinar un ángulo de guiñada (ajuste del ángulo de guiñada (210)) que se desvía de una alineación del eje del rotor y la dirección del viento en el plano de guiñada. El funcionamiento del aerogenerador en un ángulo de guiñada reduce el ruido, particularmente en condiciones de cizalladura del viento tal como la cizalladura vertical del viento.

40 Se observa aquí que el ángulo entre el eje del rotor y la dirección del viento, particularmente la dirección del viento proyectada sobre el plano de guiñada, se denomina "ángulo de guiñada" (véase, por ejemplo, el ángulo de guiñada

210 de las figuras 4, 5 y 6), Además, "ángulo azimutal" se refiere aquí a la orientación de la pala a medida que gira alrededor del eje 30 del rotor.

La figura 7 ilustra el ángulo acimutal 860 de una pala 22, en un ejemplo no limitativo. En la figura 7, se representa la torre 12 y se representa el buje 20. Se representan tres palas 22. Aquí, el ángulo acimutal 860 de una pala se define respecto al eje vertical 850 (que, a todos los efectos prácticos, coincide con el eje de guiñada 38 representado en la figura 6). El eje del rotor 30 no se muestra en la figura 6, pero estaría orientado fuera del plano del dibujo. En otras palabras, durante el funcionamiento del aerogenerador, las palas (y el rotor) giran en el plano del dibujo debido a la fuerza del viento sobre las palas 22 que, por motivos de simplicidad, está orientada hacia la página. Típicamente, las palas giran en sentido horario, cada una gira 360° para volver a su orientación inicial. Teniendo en cuenta sólo una de las palas, su ángulo acimutal se define de modo que el ángulo acimutal de su orientación hacia arriba es 0°, y el ángulo acimutal aumenta a medida que la pala (y el rotor) giran en sentido horario. Por ejemplo, el ángulo acimutal 860 de la pala 22 (la pala superior derecha 22) que se muestra en la figura 7 es de aproximadamente 35°. Por ejemplo, si (cuando) esta pala 22 gira otros 55°, entonces esta pala 22 alcanzará un ángulo acimutal de 180° y quedará orientada hacia abajo.

La figura 8 ilustra esquemáticamente un ejemplo no limitativo de una captura de imagen de una sección transversal de una pala de rotor 22 que gira en un plano de rotor 305 en presencia de viento 310, lo cual es útil para comprender algunas características técnicas de las realizaciones descritas de la invención. En la figura 8, la vista es a lo largo de la pala 22 radialmente hacia afuera desde el buje, aunque lo que se dibuja es una sección transversal de la pala 22 en lugar de la vista de, por ejemplo, la figura 7. En otras palabras, es útil considerar la perspectiva de un espectador en el centro del buje mirando radialmente hacia afuera, con los pies del espectador hacia la fuente del viento 310; en otras palabras, el espectador está orientado a lo largo de la dirección del viento 310 representada en la figura 8 con la cabeza del espectador en la punta de la flecha que representa el viento 310 e indica su dirección. A medida que el espectador permanece fijo, mirando hacia afuera en cualquier dirección, cada pala pasa por el campo de visión del espectador de derecha a izquierda.

Hay que tener en cuenta que el plano de rotación (el plano barrido por las palas del rotor) es el plano de dibujo en la figura 7, y perpendicular al plano de dibujo en la figura 8. En el ejemplo no limitativo que se muestra en la figura 8, el viento 310 se representa dirigido perpendicular al plano del rotor 305, siendo el plano del rotor 305 perpendicular al dibujo.

Tal como se ilustra en la figura 8, debido a la rotación de la pala 22 en el plano del rotor 305, hay presente una segunda componente 320 de flujo de aire (es decir, dirigida opuesta al movimiento de la sección de la pala del rotor 22), de modo que el viento aparente 330 es la suma vectorial del viento 310 y la segunda componente 320 del flujo de aire. La dirección del viento aparente 330 respecto a la línea de cuerda 340 de la pala 22 determina el ángulo de ataque 350. Se deduce que, para una geometría de línea de cuerda 340 determinada (por ejemplo, para una inclinación determinada) y una velocidad de rotación constante (y una segunda componente 320 del flujo de aire magnitud constante), cuanto mayor es la velocidad del viento 310, mayor es el ángulo de ataque 350. Esto puede entenderse considerando lo que sucede con el vector del viento aparente 330 representado en la figura 8 a medida que aumenta la velocidad del viento 310: el vector viento 310 se alarga verticalmente en la figura 8, de modo que cuando se suma a la segunda componente 320 del flujo de aire, el ángulo de ataque 350 aumenta.

La cizalladura del viento 280 (véase también la figura 6) dará como resultado una variación de la velocidad del viento 310 que depende del ángulo acimutal 860 (véase también la figura 7), debido a la variación de la velocidad del viento con la altura. Volviendo a la figura 8, puede apreciarse que la variación de la velocidad del viento 310, tal como la debida a la cizalladura del viento 380, puede dar lugar a una variación del ángulo de ataque 350 a medida que varía la orientación de la pala 22, extendiéndose hacia arriba y variando después a hacia abajo, y después hacia arriba nuevamente, a medida que barre los ángulos azimutales. En presencia de cizalladura del viento 280, la pala 22 experimenta una mayor velocidad del viento en ángulos azimutales cercanos a 0°, es decir, cuando la pala está orientada hacia arriba. La velocidad del viento puede variar de manera continua y cíclica, junto con el ángulo acimutal 860 de la pala 22.

Por ejemplo, con una cizalladura vertical del viento 280 como la representada en la figura 6, la velocidad del viento 310 y el ángulo de ataque 350 son mayores en un ángulo acimutal de 0°, particularmente en comparación con un ángulo acimutal de 180°.

La figura 8 puede ilustrar un ángulo de ataque constante 350 para el estado del plano del rotor 305 orientado perpendicular a la dirección del viento 310, es decir, un ángulo de guiñada de 0° y cizalladura del viento cero.

Se cree que la modulación de amplitud anormal se produce por la separación del flujo transitorio debido a variaciones del ángulo de ataque en el plano del rotor. Por ejemplo, una causa de las variaciones del ángulo de ataque puede ser una elevada cizalladura del viento. En la parte superior del rotor, la velocidad del viento es mayor

y, por lo tanto, los ángulos de ataque son mayores, lo que aumenta el riesgo de separaciones de flujo que pueden producir ruido sordo o una modulación de amplitud anormal.

5 En una realización descrita aquí, el ángulo de ataque 350 se reduce, por ejemplo, particularmente cuando una pala se encuentra cerca de una orientación vertical (ángulo azimutal de 0°), en condiciones de cizalladura del viento. Sin limitarse a consideraciones teóricas, cuando el aerogenerador realiza un movimiento de guiñada, el borde de ataque de la pala 22 puede cortar menos el viento para algunos ángulos acimutales de cada pala 22. En condiciones de cizalladura del viento 280, tales como aquellas con mayores velocidades del viento a mayores elevaciones, es ventajoso que las palas 22 corten menos el viento, particularmente para los ángulos acimutales verticales (entre 10 270° a 0° y 90°) en los que las palas están orientadas por lo menos ligeramente hacia arriba, ya que esas son las orientaciones que están sometidas a las velocidades del viento más elevadas.

15 La velocidad del viento es típicamente más elevada cuando la pala se encuentra a ángulos acimutales cercanos a 0°. En una realización, haciendo que el aerogenerador realice un movimiento de guiñada de manera que el ángulo de ataque se reduzca en ángulos azimutales cercanos a cero, puede reducirse el ruido. Además, en una realización descrita aquí, puede reducirse el porcentaje de tiempo que el ángulo de ataque de la pala, a medida que ésta gira, se encuentra por encima del ángulo de ataque de pérdida. Además, es posible que se produzca una reducción de la carga de fatiga.

20 En una realización descrita aquí, puede utilizarse el ángulo de guiñada para reducir el ángulo de ataque. En una realización, desalineando deliberadamente el rotor de modo que en la parte superior del rotor la pala se mueva hacia el lado del viento, los ángulos de ataque se reducen en la mitad superior del rotor, compensando el efecto de la cizalladura del viento, particularmente la cizalladura del viento vertical 280. El ángulo de variación de ataque y el riesgo de modulación de amplitud anormal pueden reducirse.

25 A continuación, se muestra una expresión analítica para el ángulo de ataque 350; r es la distancia radial a lo largo de una pala; ψ es el ángulo azimutal de la pala; H es la altura del buje 20; m es el exponente de cizalladura; a es la inducción axial; γ es el ángulo de guiñada; y θ es el ángulo de inclinación. La inclinación del rotor y el ángulo de flujo ascendente se ignoran.

30

$$\tan^{-1} \left[\frac{v_{\infty} \left(\frac{r (\cos \psi) + H}{H} \right)^m (1 - a) \cos \gamma}{v_{\infty} \left(\frac{r (\cos \psi) + H}{H} \right)^m (1 - a) \sin \gamma \cos \psi + \omega r} \right] - \theta r$$

35 La figura 9 ilustra el efecto de la cizalladura del viento sobre el ángulo de ataque, de acuerdo con la expresión analítica anterior. El eje horizontal 700 es el ángulo azimutal de la pala que varía entre 0° y 360°, y el eje vertical 750 es el ángulo de ataque. En la figura 9, el ángulo de guiñada es 0°. El ángulo de ataque, cuando no hay cizalladura del viento ($m = 0$), viene dado por la línea 500. El ángulo de ataque en la cizalladura del viento ($m = 0,2$) viene dado por la línea 510; y el ángulo de ataque en la cizalladura del viento ($m = 0,4$) viene dado por la línea 520. La figura 9 ilustra que, en ausencia de desalineación del ángulo de guiñada, en otras palabras, a un ángulo de guiñada cero, la cizalladura del viento produce una variación del ángulo de ataque que depende del ángulo azimutal, produciéndose un mínimo en el ángulo de ataque a un ángulo azimutal de 180° y un máximo a 0° (360°) grados. Por ejemplo, una fuerte cizalladura del viento produce grandes ángulos de ataque para ángulos azimutales de la pala cerca de 0°. Estos ángulos de ataque tan elevados pueden provocar separación, pérdida, turbulencia, ruido, pérdida de energía capturada, etc.

45 En la figura 9 también se muestra una variación de los ángulos de ataque 710, en este caso la variación de los ángulos de ataque 710 de una pala de un aerogenerador que funciona a una cizalladura del viento ($m = 0.4$) y sin ángulo de guiñada (véase línea 520).

50 En una realización, el ángulo de guiñada (ajuste del ángulo de guiñada (210)) está configurado para reducir una variación de un ángulo de ataque 710 en una sección de la pala en un rango de ángulos acimutales de la pala; particularmente cuando la variación se compara con la variación en ángulo de guiñada cero. Por ejemplo, el ángulo de ataque y/o la variación del ángulo de ataque 710 podría reducirse en todo el rango de ángulos azimutales de la pala (0° a 360°); además, o alternativamente, la reducción podría ser en un rango menor de ángulos acimutales, tal como un rango cercano a 0° y/o un rango que incluya 0°.

55 La figura 10 ilustra el efecto del ángulo de guiñada en el ángulo de ataque, de acuerdo con la expresión anterior. El eje horizontal 700 es el ángulo azimutal de la pala que varía de 0° a 360°, y el eje vertical 750 es el ángulo de ataque. En la figura 10, la cizalladura del viento es 0. El ángulo de ataque a un ángulo de guiñada de 0° viene dado

por la línea 500; en otras palabras, el eje del rotor está alineado con la dirección del viento en el plano de guiñada. El ángulo de ataque en el ángulo de guiñada (γ) = -20° viene dado por la línea 530. El ángulo de ataque en el ángulo de guiñada (γ) = $+20^\circ$ viene dado por la línea 540. La figura 10 ilustra, por ejemplo, que un ángulo de guiñada puede reducir el ángulo de ataque.

5 La figura 11 ilustra el efecto tanto del ángulo de guiñada como la cizalladura sobre el ángulo de ataque, de acuerdo con la expresión analítica anterior. El eje horizontal 700 es el ángulo azimutal de la pala que varía entre 0° y 360° , y el eje vertical 750 es el ángulo de ataque. Para facilitar la comparación, se muestra la línea 500 que corresponde a la ausencia de cizalladura y el ángulo de guiñada. Además, se muestra la línea 510 que corresponde a la cizalladura del viento (m) = 0,2 y un ángulo de guiñada (γ) de 0° . La línea 550 corresponde a la cizalladura del viento (m) = 0,2 y un ángulo de guiñada (γ) de -20° . La línea 560 corresponde a la cizalladura del viento (m) = 0,2 y un ángulo de guiñada (γ) de $+20^\circ$. La figura 11 ilustra que un ángulo de guiñada puede reducir y/o contrarrestar el efecto de la cizalladura del viento en el ángulo de ataque.

15 La figura 12 ilustra el efecto de la cizalladura del viento sobre el ángulo de ataque, de acuerdo con una simulación aeroelástica, de acuerdo con una realización. Puede realizarse una simulación aeroelástica utilizando, por ejemplo, una geometría real de la pala en, por ejemplo, condiciones que provocan elevados ángulos de ataque promedio, tal como se muestra en el ejemplo no limitativo de la figura 12. El ángulo de ataque a cizalladura del viento (m) = 0,3 y sin ángulo de guiñada viene dado por la línea 650. El ángulo de ataque a cizalladura del viento (m) = 0,3 y un ángulo de guiñada de -20° viene dado por la línea 660. El ángulo de ataque a cizalladura del viento (m) = 0,3 y un ángulo de guiñada de $+20^\circ$ viene dado por la línea 670.

25 Aunque existen diferencias entre los resultados analíticos y los resultados de la simulación aeroelástica de la figura 12, está claro, por ejemplo, que en ambos casos una guiñada negativa reduce el ángulo de ataque sobre ángulos azimutales donde el ángulo de ataque es el más elevado. Por lo tanto, puede determinarse una configuración de ángulo de guiñada que puede reducir el ángulo de ataque, el ángulo de ataque en un rango de ángulos azimutales, y/o una variación del ángulo de ataque, por ejemplo, en presencia de cizalladura del viento. Además, al afectar al ángulo de ataque, puede reducirse el ruido. Se contempla que puedan utilizarse diferentes expresiones, modelos, simulaciones, algoritmos, algoritmos de retroalimentación y similares para determinar el ángulo de guiñada, por ejemplo, en función de la cizalladura del viento, el ángulo de ataque, el ruido, etc.

35 En una realización que puede combinarse con otras realizaciones, el ángulo de guiñada (ajuste del ángulo de guiñada (210)) se configura para reducir el ángulo de ataque en una sección de la pala en un rango 770 de ángulos azimutales 860 (orientaciones azimutales de la pala), en comparación con el ángulo de ataque en un ángulo de guiñada cero; y opcionalmente, la sección de la pala en el rango 770 de ángulos azimutales 860 barre una área de mayor velocidad promedio del viento en comparación con una segunda zona situada opuesta al rango 770 de ángulos azimutales 860 con ángulo de ataque reducido. En otra realización, el rango 770 de ángulo de ataque reducido incluye el ángulo azimutal de 0° , que es la pala orientada hacia arriba, que se extiende hacia arriba desde el buje. Por ejemplo, la figura 12 ilustra que, con un ángulo azimutal de 0° , un ángulo de guiñada de -20° presenta un ángulo de ataque más pequeño para un rango 770 de ángulos azimutales 860 que incluye 0° (comparando la línea 660 y la línea 650 que muestran, para un cizalladura del viento de 0,3, un ángulo de guiñada de -20° , la línea 660, que tiene un ángulo de ataque más pequeño en el ángulo azimutal de 0° que el ángulo de guiñada de 0° con el mismo valor de cizalladura del viento, la línea 650 y un ángulo azimutal de 0°). El rango 770 que se muestra en la figura 12 es de entre aproximadamente 180° y aproximadamente 63° , incluyendo 0° (360°).

45 Particularmente para condiciones que incluyen cizalladura del viento, puede ser deseable reducir el ángulo de ataque para ángulos azimutales cercanos a 0° , donde la velocidad del viento puede ser más elevada. Por ejemplo, ángulos azimutales cercanos a 0° pueden incluir el rango de entre 270° y 90° , entre 300° y 60° y/o entre 330° y 30° .

50 Las figuras 13 a 18 ilustran el impacto del ángulo de guiñada y la cizalladura del viento en la pérdida de la pala, o el ángulo de pérdida de la pala, de acuerdo con una simulación. El área entre los círculos concéntricos 800, 810 representa una sección exterior del área barrida por las palas 22 a medida que giran (es decir, la vista está orientada hacia el aerogenerador desde la parte delantera, el buje 20 se encuentra en el centro de los círculos 800, 810). Las regiones 820 representan regiones, por ejemplo, rangos de ángulos azimutales y distancias radiales, donde los ángulos de ataque pueden exceder el ángulo de pérdida, "regiones de pérdida" aquí, que pueden ser, además, o alternativamente, regiones donde es probable que se exceda el ángulo de pérdida, por ejemplo, de acuerdo con un modelo y/o simulación. Para mayor claridad, el buje y las palas no se muestran en las figuras 14 a 18.

60 La figura 13, que ilustra que la región 820 que excede el ángulo de pérdida incluye el ángulo acimutal de 180° , cerca de la parte inferior de la rotación, para el caso de que no haya ángulo de guiñada ni cizalladura del viento. (En la figura 13, las palas se representan en ángulos acimutales de 0° , 120° y 240° .) En otras palabras, la región de pérdida se encuentra cerca de donde la pala se encuentra delante de la torre.

La figura 14 ilustra el caso de cizalladura del viento (m) de 0,3 y sin ángulo de guiñada, con un ángulo de ataque que excede el ángulo de pérdida para regiones cercanas a la parte superior de la rotación, es decir, incluye un ángulo azimutal de 0°. La figura 15 ilustra el caso de cizalladura del viento (m) 0,3 y un ángulo de guiñada -20°. La figura 16 ilustra el caso de ausencia de cizalladura del viento y guiñada de -20°. La figura 17 ilustra el caso de ausencia de cizalladura del viento y un ángulo de guiñada de + 20°. Finalmente, la figura 18 ilustra el caso de cizalladura del viento (m) de 0,3 y un ángulo de guiñada de + 20°. Se observa que, por ejemplo, en el caso de una cizalladura del viento (m) de 0,3, unos resultados de modelado más finos que los representados en las figuras 13 a 18 indican que la región que excede el ángulo de pérdida es aproximadamente un 37,5% más pequeña cuando el aerogenerador está funcionando en un ángulo de guiñada de -20° en comparación con un ángulo de guiñada cero. La región que excede el ángulo de pérdida puede ser incluso más pequeña o inexistente en otras condiciones, por ejemplo, en condiciones de cizalladura del viento más baja y/o condiciones de parámetros operativos mejor optimizados incluyendo, por ejemplo, ángulo de inclinación y cabeceo.

En una realización, el ángulo de guiñada (ajuste del ángulo de guiñada (210)) es tal que el rango de ángulos acimutales para los cuales el ángulo de ataque excede el ángulo de pérdida se reduce en comparación con el ángulo de guiñada cero. Además, o alternativamente, el centro de la región de pérdida se desplaza azimutalmente alejándose de 0° en comparación con un ángulo de guiñada cero. Además, la configuración del ángulo de guiñada, particularmente en combinación con una configuración de inclinación (que puede ser una configuración de mayor inclinación) determinada a partir de la cizalladura del viento y/o el ruido, puede eliminar la región de pérdida.

La figura 19 ilustra el efecto del ángulo de guiñada en el ángulo de ataque, de acuerdo con los resultados de la simulación aeroelástica. El eje horizontal 700 es el ángulo azimutal de la pala que varía entre 0° y 360°, y el eje vertical 750 es el ángulo de ataque. También se muestra un límite de separación 900. El límite de separación 900 puede coincidir con un límite superior deseado del ángulo de ataque, por ejemplo, debido a efectos indeseables que incluyen ruido, mayor riesgo de ruido, turbulencia, pérdida de eficiencia de captura de energía, etc. En una realización, el ángulo de guiñada es tal que no se excede el límite de separación 900, por lo menos para un rango de ángulos azimutales, particularmente cercanos a 0°, más particularmente en condiciones de cizalladura del viento.

En una realización, el aerogenerador funciona de manera que el ángulo de ataque permanece por debajo del límite de separación, y/o tal que existe un riesgo reducido de que el ángulo de ataque esté por encima del límite de separación, tal como se ilustra en la figura 19.

Por ejemplo: la línea 910 corresponde al ángulo de ataque en presencia de cizalladura del viento a un ángulo de guiñada de 0° y hay ángulos acimutales que exceden el límite de separación 900; la línea 920 corresponde al ángulo de ataque cuando el ángulo de guiñada es positivo y no hay cizalladura del viento; la línea 930 corresponde al ángulo de ataque cuando el ángulo de guiñada es negativo y no hay cizalladura del viento; la línea 930 corresponde a la reducción del ángulo de ataque en comparación con la línea 910, que puede ser el resultado de un desplazamiento de guiñada, es decir, de sumar líneas 910 y 930. Por ejemplo, introduciendo un desplazamiento de guiñada negativo a las condiciones que provocan los ángulos de ataque dados por la línea 910, los ángulos de ataque (que resultan en la línea 930) se mantienen por debajo del límite de separación 900.

La figura 20 ilustra las distribuciones de probabilidad de un valor operativo 201. Se muestra un valor crítico 205 del valor operativo 201, por encima del cual el funcionamiento es crítico. Por ejemplo, el valor operativo 201 puede ser el ángulo de guiñada y el valor crítico 205 puede ser un valor de ángulo de guiñada que da como resultado una modulación de amplitud, separación y/o turbulencia anormales. Por ejemplo, una primera distribución de probabilidad 211 del valor operativo tiene una parte significativa 215 por encima del valor crítico 205; una segunda distribución de probabilidad 220 del valor operativo 201 no tiene una parte significativa por encima del valor crítico 205. En una realización, el valor operativo es el ángulo de guiñada. En otra realización, el valor operativo es el ángulo de ataque. Las distribuciones de probabilidad 211, 220 de los valores operativos tienen valores operativos promedio (212, 222, respectivamente), que pueden corresponder a valores de punto de ajuste, es decir, puntos de ajuste operativos tales como un ángulo de guiñada establecido o un ajuste de ángulo de guiñada (210). Por ejemplo (sin ser limitativo), un ajuste de ángulo de guiñada (210) de -20° en realidad puede tener valores operativos muy probablemente entre -22° y 18° y un promedio de -20°.

La figura 21 ilustra una FFT 250 de un nivel de potencia acústica de un aerogenerador. El eje horizontal 260 es la frecuencia y el eje vertical 270 es la amplitud de la FFT. Los tiempos de muestreo para los datos pueden variar, por ejemplo, en intervalos de aproximadamente 50 ms, o en intervalos tales como aproximadamente 100 ms, 200 ms, 300 ms. Por ejemplo, puede tomarse una FFT cada 10 segundos más o menos (20 s, 30 s, ...) o cada minuto más o menos (1 min, 2 min, 3 min, ...), y esto puede variar. A partir de la FFT puede determinarse ruido, tal como ruido de modulación de amplitud anormal. En una realización, puede utilizarse el máximo cerca de la frecuencia de inclinación de la pala como parámetro de retroalimentación para determinar la configuración 210 del ángulo de guiñada. Más generalmente, en una realización que puede combinarse con otras realizaciones descritas aquí, puede determinarse la configuración 210 del ángulo de guiñada en base al ruido, por ejemplo, modulación de amplitud

anormal determinada a partir de la FFT, y/o una amplitud de ruido medida y/o integrada, tal como en un rango de frecuencia particular, opcionalmente modulada a una segunda frecuencia tal como una frecuencia de inclinación de la pala; por ejemplo, dicho ruido podría utilizarse como parámetro de retroalimentación para determinar un ajuste del ángulo de guiñada óptimo (por ejemplo, silencioso pero eficiente) 210, opcionalmente en combinación con un ajuste de inclinación y/o similar.

En una realización que puede combinarse con cualquier otra realización, puede determinarse el ruido (tal como un nivel de ruido y/o una amplitud de un ruido tal como dentro de una banda de frecuencia que pueda ser modulada por una segunda frecuencia que tenga un ancho de banda de una segunda frecuencia), particularmente de una modulación de amplitud (anormal). El ruido, nivel y/o amplitud de ruido pueden utilizarse como parámetro de retroalimentación para determinar la configuración del ángulo de guiñada y, opcionalmente, otra configuración operativa tal como, por ejemplo, la configuración de la inclinación de la pala (la configuración de la inclinación de cada pala individual o de cualquier número de palas). Por ejemplo, una entrada puede registrarse y/o procesarse, tal como filtrarse y/o procesarse por transformada de Fourier, por ejemplo, para determinar un ruido. Además, o alternativamente, el ruido puede correlacionarse y/o compararse con, por ejemplo, un ruido y/o un nivel de ruido tal como uno asociado a un ruido guardado en la memoria (es decir, mediciones de ruido, niveles de ruido modelados matemáticamente, niveles de ruido almacenados en la memoria en, por ejemplo, condiciones variables que incluyen parámetros de funcionamiento, tiempo, velocidades del viento, inclinaciones de la pala, ángulos de guiñada y/o cizalladuras del viento). El ruido determinado, la comparación y/o la correlación pueden utilizarse para determinar la configuración del ángulo de guiñada, y el aerogenerador funciona en la configuración del ángulo de guiñada. Por ejemplo, la memoria puede proporcionar una matriz de datos de condiciones que incluya, por ejemplo, valores medidos, simulados y/o extrapolados para parámetros interdependientes tales como: dirección del viento, velocidad, cizalladura, inclinación, ángulo de guiñada, ángulo de ataque, ángulo azimutal y ruido. La matriz de datos puede utilizarse para comparar y/o correlacionar las condiciones actuales con las condiciones contenidas en la matriz de datos, y la configuración del ángulo de guiñada (así como, opcionalmente, la configuración de inclinación, por ejemplo) determinado en función de la comparación y/o correlación.

En una realización que puede combinarse con cualquier otra realización, se determina el ruido, y la configuración del ángulo de guiñada se determina en función del ruido, particularmente la modulación de amplitud anormal.

En un ejemplo no limitativo, la modulación de amplitud (anormal) puede determinarse midiendo el ruido, por ejemplo, con un micrófono o similar, frente al tiempo con una frecuencia de muestreo, por ejemplo, de 2 veces por segundo o hasta aproximadamente 200 veces por segundo; el muestreo puede producirse durante una duración de, por ejemplo, entre 10 segundos y 1 minuto; a la traza de tiempo resultante se le aplica una transformada de Fourier, por ejemplo, una transformada de Fourier rápida; por ejemplo, la altura de un pico puede asociarse a la modulación de amplitud (anormal).

La figura 22 representa un sistema de control, o simplemente "sistema" que incluye un procesador 40, una entrada de señal 950, y una salida de señal 960. En una realización, la señal de salida corresponde a la señal enviada al mecanismo de accionamiento de guiñada 56 que provoca que el aerogenerador realice un movimiento de guiñada a la configuración del ángulo de guiñada, particularmente para controlar el ruido generado por el aerogenerador. La salida de señal 960 también puede ser una pluralidad de salidas de señal, tal como incluyendo, además, una configuración de inclinación además de la configuración de guiñada. La señal de entrada 950 puede ser la dirección del viento, por ejemplo. La determinación de la configuración del ángulo de guiñada 1010 puede basarse en una señal que se adquiere 1040, tal como dirección del viento, cizalladura del viento 280, velocidad del viento, velocidad del viento, temperatura, tiempo tal como el día o la noche, una variación 710 de un ángulo de ataque, un momento de flexión del eje principal, ruido, y cualquier combinación de los mismos.

Por ejemplo, se recibe una pluralidad de señales de entrada, por ejemplo, el procesador recibe una pluralidad de velocidades del viento, y se utiliza para determinar (tal como calcular, recuperar de la memoria o determinar mediante un algoritmo de minimización de errores tal como mínimos cuadrados) la cizalladura del viento. En una realización que puede combinarse con cualquier realización aquí descrita, el ajuste del ángulo de guiñada se determina en base a la cizalladura del viento 280.

En todavía otra realización, se determina la variación del ángulo de ataque de una pala o simplemente el ángulo de ataque como dependiente del ángulo azimutal, por ejemplo, en función de la determinación de cizalladura del viento. Por ejemplo, a través de estimación, cálculo y/o datos (tales como datos del modelo) almacenados en la memoria, puede determinarse el ángulo de guiñada. Un modelo puede tener en cuenta una o más variables, tales como la inclinación de la pala, cizalladura del viento, velocidad del viento (o una pluralidad de velocidades del viento, como en diferentes lugares), temperatura, tiempo (tal como noche/día). Además, o alternativamente, el ajuste del ángulo de guiñada puede determinarse en función de un momento de flexión del eje principal que puede medirse con un sensor o una pluralidad de los mismos.

- 5 En todavía otra realización, la configuración del ángulo de guiñada se determina en base a la cizalladura del viento, y la cizalladura del viento se determina en base a por lo menos uno de: una estimación, una recepción de un dato (o datos) meteorológico(s), y una medición. Por ejemplo, la cizalladura del viento puede estimarse en función de la hora del día y la temperatura, por ejemplo, utilizando una tabla de búsqueda de datos que correlacione el tiempo y la temperatura con la cizalladura del viento. En todavía otro ejemplo, pueden recibirse datos meteorológicos, por ejemplo, de un servicio de información meteorológica y/o de anemómetros y/o mástiles meteorológicos 58 vecinos posiblemente de aerogeneradores vecinos. Se contemplan datos meteorológicos tales como velocidad del viento, dirección, velocidad.
- 10 Además, o alternativamente, la cizalladura del viento puede basarse en una medición tal como, por ejemplo, la del anemómetro y/o mástiles meteorológicos del aerogenerador. Además, o alternativamente, la cizalladura del viento puede determinarse a partir de una medición de un LIDAR. Todavía otra posibilidad es que un sensor o una pluralidad de sensores (por ejemplo, un micrófono o una pluralidad de micrófonos) midan, por ejemplo, un ruido, y esto se utilice para determinar la cizalladura del viento y/o la configuración del ángulo de guiñada directamente.
- 15 También se contempla que la captura de potencia estimada o producción de energía anual también puedan utilizarse para determinar el ángulo de guiñada (por ejemplo, en combinación con otros factores).
- Las figuras 23 y 24 muestran esquemáticamente procedimientos para operar un aerogenerador. Un aerogenerador puede incluir un rotor que incluya una pala de rotor, estando acoplado el rotor de manera giratoria a una góndola, y pudiendo girar el rotor alrededor de un eje de rotor horizontal que se extiende a través de la góndola. La góndola está acoplada de manera giratoria a una torre, pudiendo girar la góndola en un plano de guiñada alrededor de un eje de guiñada. El procedimiento incluye determinar una dirección del viento 1000; determinar un ajuste del ángulo de guiñada 1010, en el que el ajuste de ángulo de guiñada 210 se desvía de una alineación del eje del rotor y la dirección del viento en el plano de guiñada; hacer que la góndola realice un movimiento de guiñada hacia la configuración del ángulo de guiñada 1020; y operar el aerogenerador 1030, por ejemplo, para generar electricidad. En una realización que puede combinarse con cualquier otra realización descrita aquí, el ángulo de guiñada se determina en base a la dirección del viento. Por ejemplo, la configuración del ángulo de guiñada puede configurarse para reducir el ángulo de ataque, particularmente en condiciones de cizalladura del viento.
- 20
- 25
- 30 En una realización, la determinación del ajuste de ángulo de guiñada 1010 se basa en por lo menos uno de: una cizalladura del viento 280, velocidad del viento, temperatura, tiempo tal como día o noche, una variación 710 de un ángulo de ataque, un momento de flexión del eje principal, y ruido. Además, o alternativamente, tal como se muestra en la figura 24, la determinación de la configuración del ángulo de guiñada 1010 se basa en una señal que se adquiere 1040, tal como cizalladura del viento 280, velocidad del viento, temperatura, tiempo tal como día o noche,
- 35 una variación 710 de un ángulo de ataque, un momento de flexión del eje principal, y ruido. El procesador puede determinar, además, o alternativamente, un tiempo.
- En una realización, se utiliza una señal adquirida como retroalimentación para determinar la configuración del ángulo de guiñada, tal como se muestra, por ejemplo, en la figura 24. Opcionalmente, también puede utilizarse la dirección del viento como parámetro de retroalimentación, tal como se muestra en la figura 25. Para algunas iteraciones del bucle de retroalimentación se contempla omitir el movimiento de guiñada de la góndola 1020, por ejemplo, si se determina que el ajuste del ángulo de guiñada es igual que el ángulo de guiñada real (particularmente un ángulo de guiñada distinto de cero).
- 40
- 45 Cabe señalar que las realizaciones descritas aquí incluyen aquellas en las que se determina la cizalladura del viento y/o la variación del ángulo de ataque que puede estar influenciada por la cizalladura del viento, y se determina un ajuste del ángulo de guiñada. La cizalladura del viento puede determinarse por al menos uno de: una estimación, una recepción de un dato meteorológico, y una medición. La medición puede realizarse mediante por lo menos uno de: un mástil meteorológico 58, una medición LIDAR, un sensor, y una pluralidad de sensores, tales como una cámara acústica.
- 50
- Por ejemplo, la cizalladura del viento puede determinarse midiendo la velocidad del viento en una o varias ubicaciones, y/o por estimación. Por ejemplo, en base a una sola medición de la velocidad del viento en una ubicación, puede estimarse la cizalladura del viento. Además, o alternativamente, la cizalladura del viento puede estimarse en función de múltiples mediciones de la velocidad del viento en diferentes ubicaciones, temperatura, dirección del viento, y/o tiempo, tal como día/noche. Puede utilizarse un mástil de medición meteorológica y/o un dispositivo de detección remota tal como un LIDAR para determinar la velocidad del viento y/o la cizalladura del viento.
- 55
- 60 En una realización que puede combinarse con cualquiera otra realización descrita aquí, el valor absoluto del ajuste del ángulo de guiñada es mayor de aproximadamente 2°, 3°, 4°, 5° y/o 6°; además, o alternativamente, el valor absoluto del ajuste del ángulo de guiñada es de entre aproximadamente 2 grados y aproximadamente 24 grados, o

de entre aproximadamente 2 y aproximadamente 16, o de entre aproximadamente 4 y aproximadamente 14, o de entre aproximadamente 5 y aproximadamente 12 grados.

5 En una realización que puede combinarse con cualquier otra realización descrita aquí, el (la determinación del) ajuste del ángulo de guiñada puede combinarse con (la determinación de) otra configuración operativa para regular, establecer y/o influir en el funcionamiento del aerogenerador, particularmente para generar energía eléctrica. Por ejemplo, la guiñada y la inclinación pueden regularse en combinación (simultáneamente o en serie) para controlar ruido, ángulo de ataque, captura de potencia (tal como producción de energía anual estimada, etc.), carga de fatiga, y similares.

10 En una realización que puede combinarse con cualquier otra realización descrita aquí, se determina que la cizalladura del viento es distinta de cero, y la configuración del ángulo de guiñada se determina en base a la cizalladura del viento distinta de cero.

15 En una realización que puede combinarse con cualquier otra realización descrita aquí, se determina el ajuste de inclinación, tal como se determina en función de la cizalladura del viento y/o ruido. Además, o alternativamente, se utiliza una velocidad del viento, una temperatura, un tiempo, una variación de un ángulo de ataque, un momento de flexión del eje principal, un ruido y cualquier combinación de los mismos para determinar el ajuste de guiñada. En particular, es posible determinar una configuración de inclinación y una configuración de ángulo de guiñada, tal como para operar el aerogenerador en la configuración de ángulo de guiñada y la configuración de inclinación (por ejemplo, inclinando la pala hacia la configuración de inclinación y realizando un movimiento de guiñada de la góndola hacia la configuración del ángulo de guiñada). Además, por ejemplo, la configuración de inclinación puede ser una configuración de inclinación aumentada, la(s) pala(s) inclinada(s) hacia la configuración de inclinación aumentada, y la góndola con un movimiento de guiñada hacia la configuración de ángulo de guiñada. Se contempla que, si el ajuste de la inclinación y/o el ángulo de guiñada son cercanos o iguales a la inclinación y/o ángulo de guiñada real, puede omitirse uno u otro de la inclinación o guiñada (es decir, los movimientos respectivos).

25 Un efecto técnico de los sistemas y procedimientos descritos anteriormente puede ser facilitar la reducción de ruido tal como reducción de modulación de amplitud anormal.

30 Se han descrito anteriormente en detalle unas realizaciones de ejemplo de sistemas y procedimientos para operar un aerogenerador de eje horizontal, controlar el ruido generado por un aerogenerador de eje horizontal y un aerogenerador de eje horizontal. Los sistemas y procedimientos no se limitan a las realizaciones específicas descritas aquí, sino que los componentes de los sistemas y/o etapas de los procedimientos pueden utilizarse de manera independiente y por separado de otros componentes y/o etapas descritos aquí. Más bien, la realización de ejemplo puede implementarse y utilizarse junto con muchas otras aplicaciones de palas de rotor.

35 Aunque las características específicas de varias realizaciones de la invención pueden mostrarse en algunos dibujos y no en otros, esto es únicamente por conveniencia. De acuerdo con los principios de la invención, cualquier característica de un dibujo puede ser referenciada y/o reivindicada en combinación con cualquier característica de cualquier otro dibujo.

40 Particularmente con el fin de establecer prioridad en jurisdicciones extranjeras, cabe señalar que las realizaciones descritas aquí incluyen realizaciones definidas por cada reivindicación dependiente, que se refiere directa o indirectamente a una reivindicación independiente, como si cada reivindicación dependiente dependiera de cualquier reivindicación anterior que se refiera directamente o indirectamente a la misma reivindicación independiente.

45 Esta descripción escrita utiliza ejemplos para describir la invención, incluyendo el modo preferido, y también para permitir que cualquier persona experta en la materia ponga en práctica la invención, incluyendo la fabricación y uso de cualquier dispositivo o sistema y la realización de cualquier procedimiento incorporado. Si bien se han descrito anteriormente varias realizaciones específicas, los expertos en la materia reconocerán que el alcance de las reivindicaciones permite modificaciones igualmente efectivas. Especialmente, las características mutuamente no exclusivas de las realizaciones descritas anteriormente pueden combinarse entre sí. El alcance patentable de la invención viene definido por las reivindicaciones, y puede incluir otros ejemplos que se les ocurren a los expertos en la materia. Se pretende que dichos otros ejemplos se encuentren dentro del alcance de las reivindicaciones si tienen elementos estructurales que no difieran del lenguaje literal de las reivindicaciones, o si incluyen elementos estructurales equivalentes con diferencias insustanciales del lenguaje literal de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para operar un aerogenerador de eje horizontal (10), incluyendo el aerogenerador un rotor (18) que incluye una pala de rotor (22), en el que el rotor (18) está acoplado de manera giratoria a una góndola (16), y el rotor (18) es giratorio alrededor de un eje de rotor horizontal (30) que se extiende a través de la góndola y, en e que la góndola está acoplada de manera giratoria a una torre (12), siendo giratoria la góndola (16) en un plano de guiñada (200) alrededor de un eje de guiñada (38), comprendiendo el procedimiento :
- 10 determinar una dirección del viento (28);
determinar un ajuste del ángulo de guiñada (210) para reducir una modulación de amplitud anormal, en el que el ajuste del ángulo de guiñada (210) se desvía de una alineación del eje del rotor (30) y la dirección del viento (28) en el plano de guiñada (200);
determinar una cizalladura del viento (280), en el que el ajuste del ángulo de guiñada (210) se determina en función de la cizalladura del viento determinada (280);
15 hacer que la góndola (16) realice un movimiento de guiñada hacia el ajuste del ángulo de guiñada (210); y
operar el aerogenerador (10).
- 20 2. Procedimiento para operar un aerogenerador de eje horizontal de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que la cizalladura del viento (280) se determina en base a por lo menos uno de:
- 25 una estimación, una recepción de un dato meteorológico, y una medición; en el que la medición se realiza mediante por lo menos uno de:
un mástil meteorológico (58), una medición LIDAR, un micrófono, una pluralidad de micrófonos, un sensor, y una pluralidad de sensores.
- 30 3. Procedimiento para operar un aerogenerador de eje horizontal de cualquiera de acuerdo con las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que
- 35 el ajuste del ángulo de guiñada (210) está configurado para reducir un ángulo de ataque (350) en una sección de la pala en un rango (770) de ángulos azimutales (860) de la pala; en el que,
el ángulo de ataque (350) en el ajuste del ángulo de guiñada (210) es menor en comparación con el ángulo de ataque (350) en un ángulo de guiñada cero; y en el que
el ángulo de guiñada cero corresponde a la alineación del eje del rotor (30) y la dirección del viento (28) en el plano de guiñada (200).
- 40 4. Procedimiento para operar un aerogenerador de eje horizontal de la reivindicación 3, caracterizado por el hecho de que
- 45 el ajuste del ángulo de guiñada (210) está configurado para reducir el ángulo de ataque (350) en un estado de cizalladura del viento (280).
- 50 5. Procedimiento para operar un aerogenerador de eje horizontal de la reivindicación 3 o 4, caracterizado por el hecho de que
- 55 el rango (770) de ángulos azimutales (860) y la sección de la pala barren un área de mayor velocidad del viento promedio en comparación con una segunda área situada opuesta al rango (770) de ángulos azimutales (860).
- 60 6. Procedimiento para operar un aerogenerador de eje horizontal de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que un valor absoluto del ajuste del ángulo de guiñada (210) es mayor de aproximadamente 2 grados.
7. Procedimiento para operar un aerogenerador de eje horizontal de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que
- 80 el ajuste del ángulo de guiñada (210) está configurado para reducir una variación de un ángulo de ataque (350) en una sección de la pala en un rango (770) de ángulos azimutales (860) de la pala; en el que la variación se compara con la variación a un ángulo de guiñada cero; y en el que
el ángulo de guiñada cero corresponde a la alineación del eje del rotor (30) y la dirección del viento (28) en el plano de guiñada (200).
8. Sistema de control configurado para operar un aerogenerador de eje horizontal (10) de acuerdo con el procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo el sistema de control:
un procesador, una entrada de señal, y una salida de señal.

9. Aerogenerador de eje horizontal (10) adaptado para funcionar de acuerdo con el procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, que comprende un sistema de control de acuerdo con la reivindicación 8.

FIG. 1

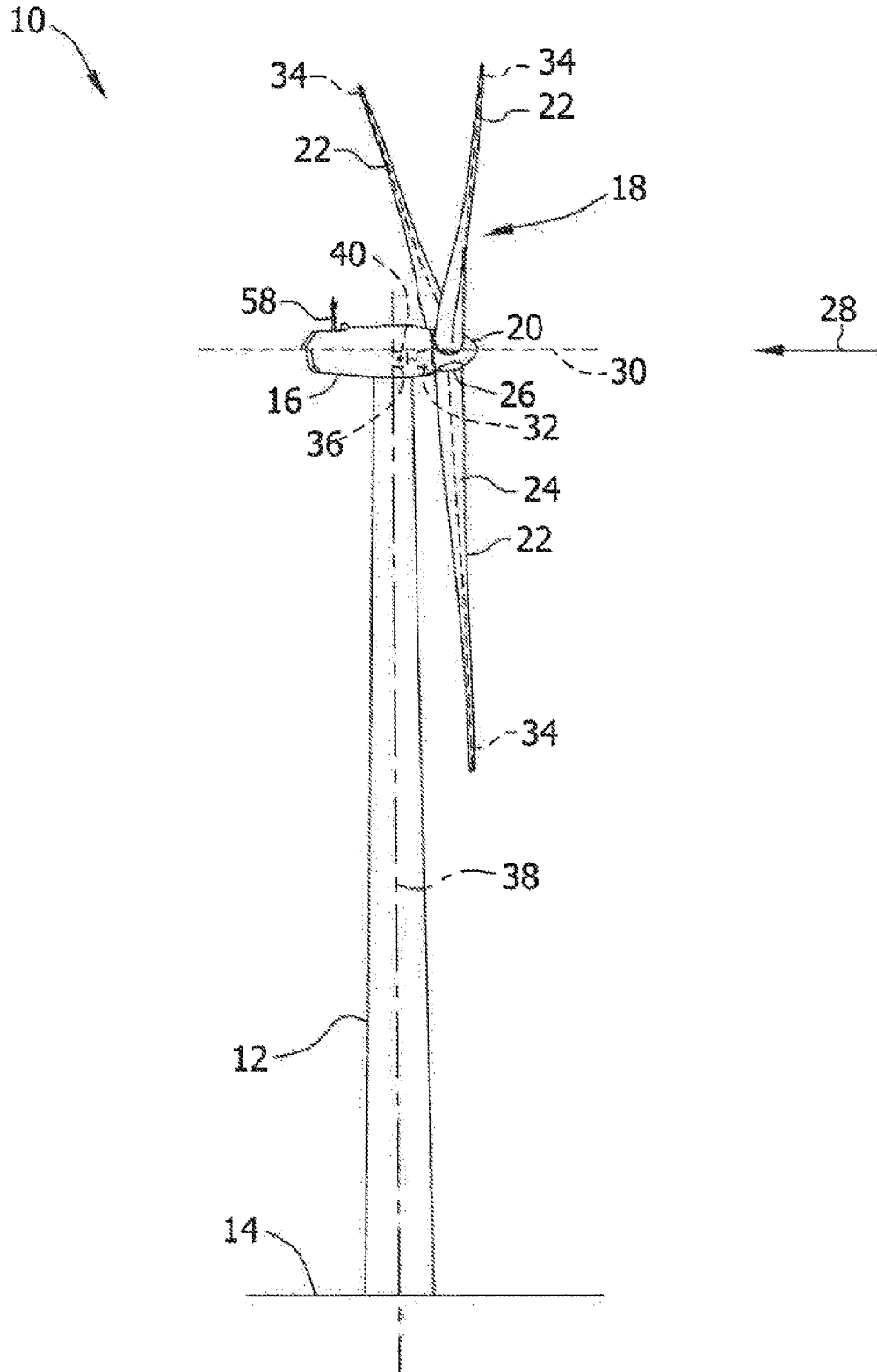
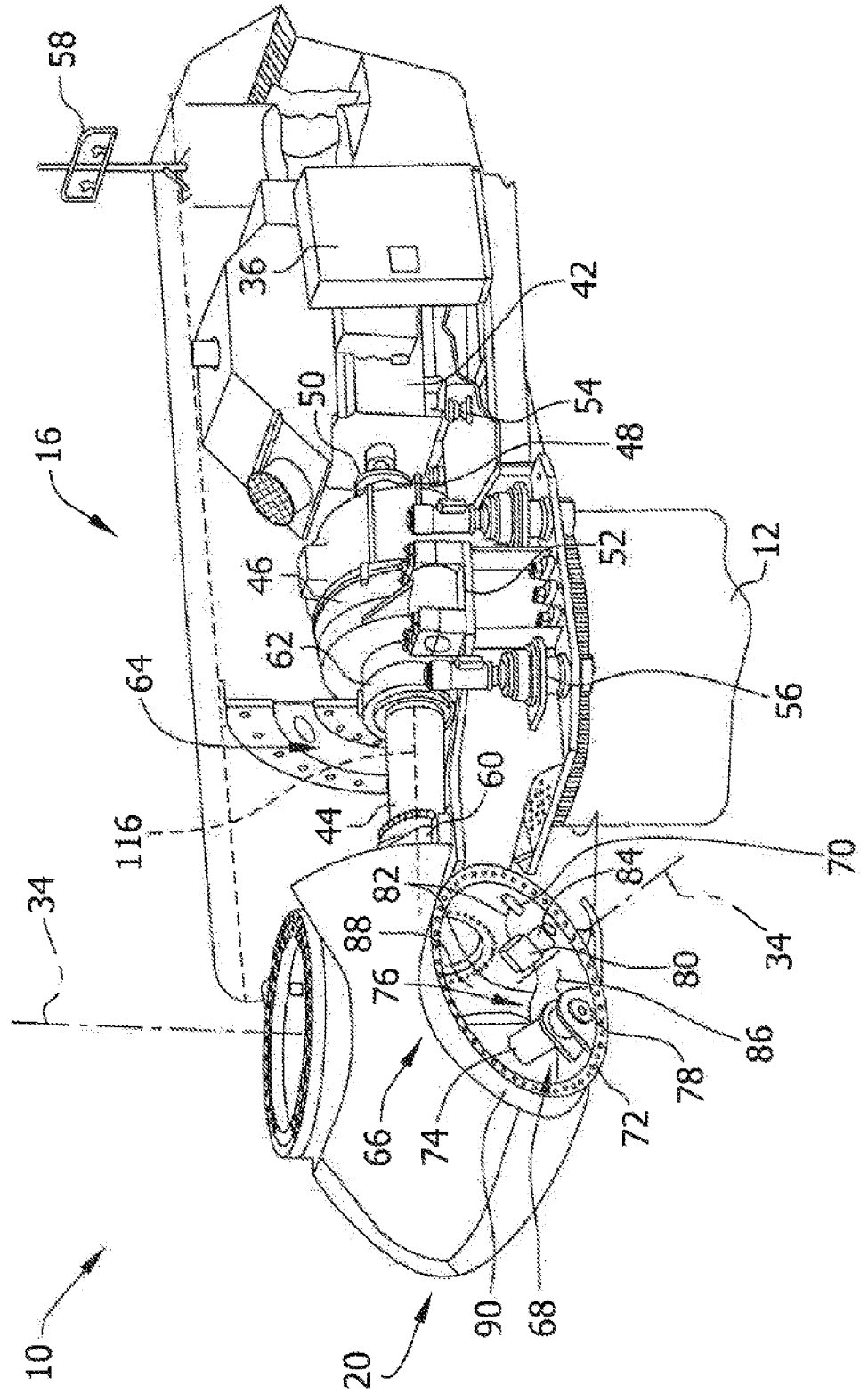


FIG. 2



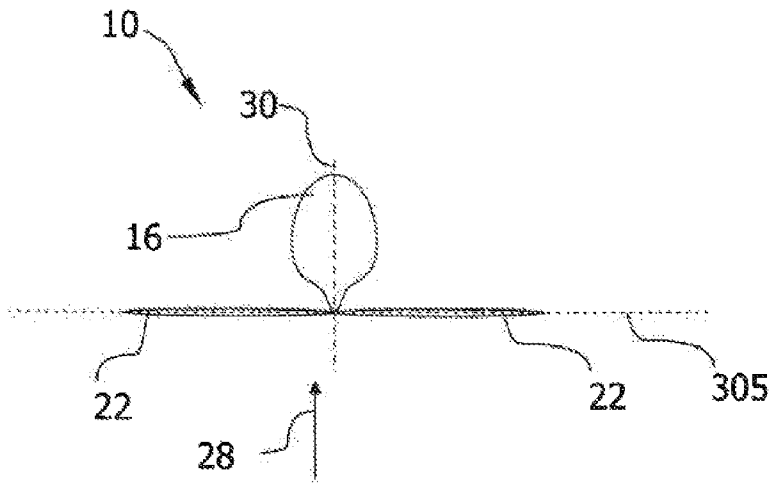


FIG. 3

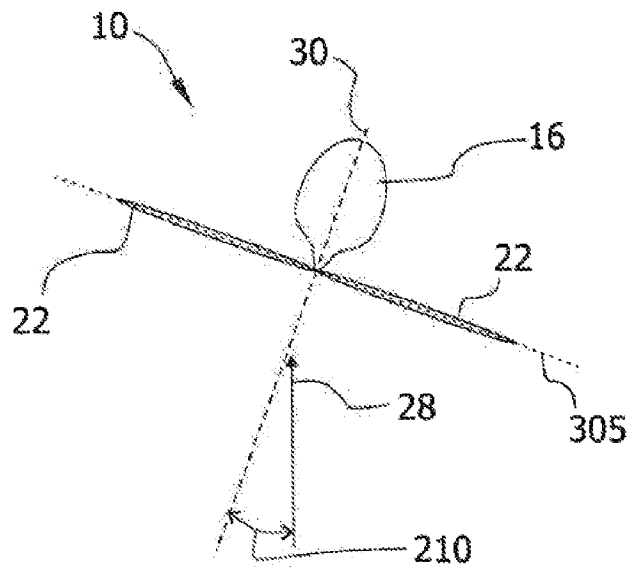


FIG. 4

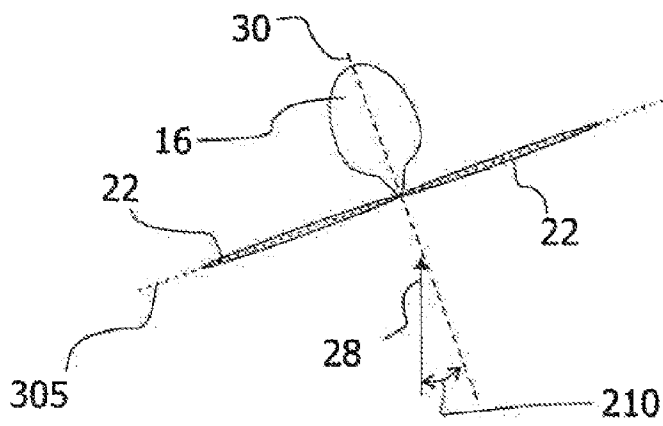


FIG. 5

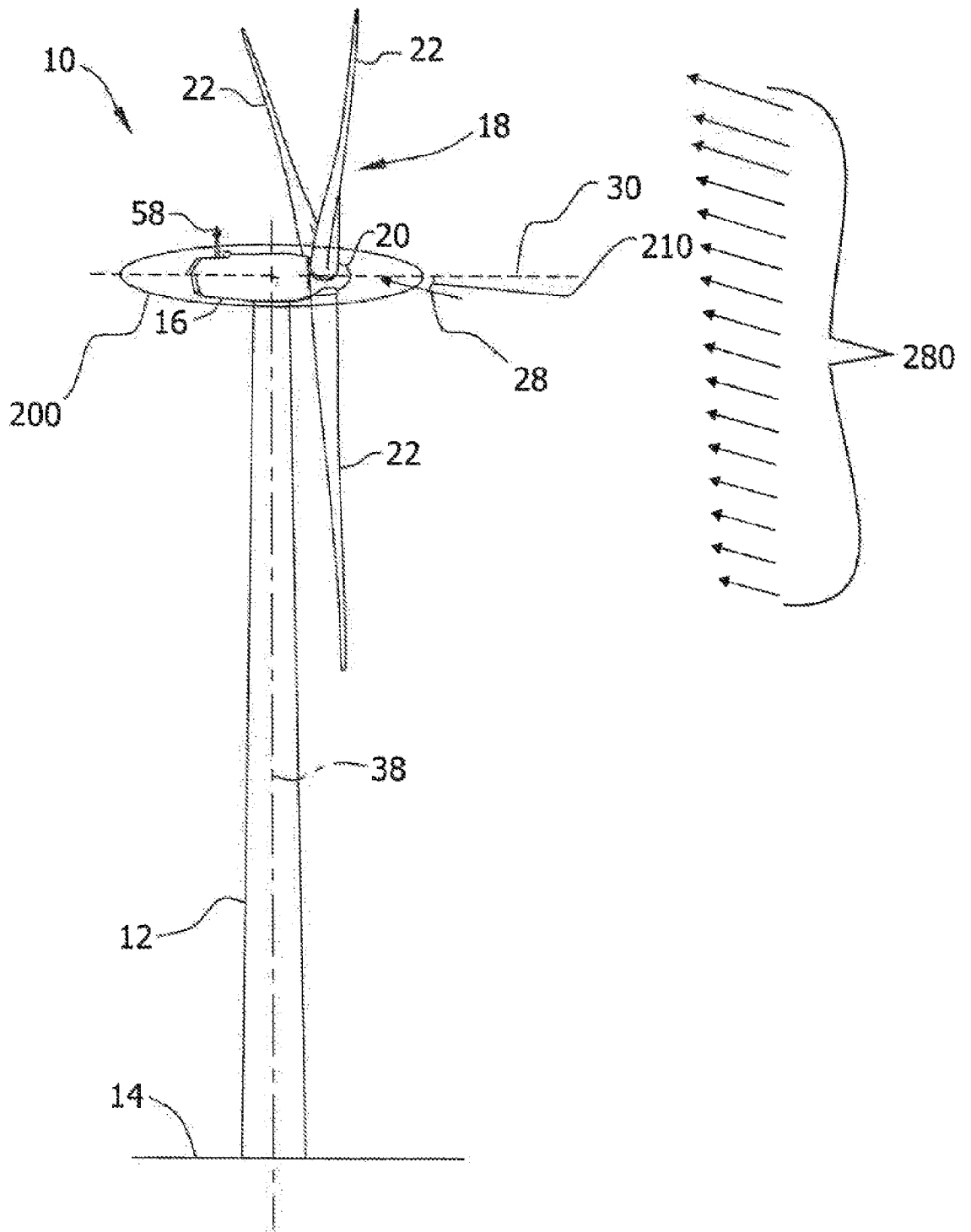


FIG. 6

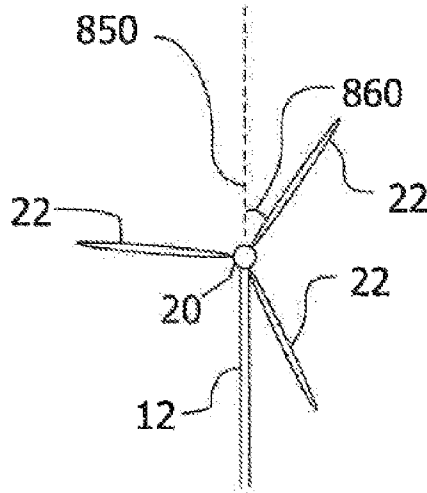


FIG. 7

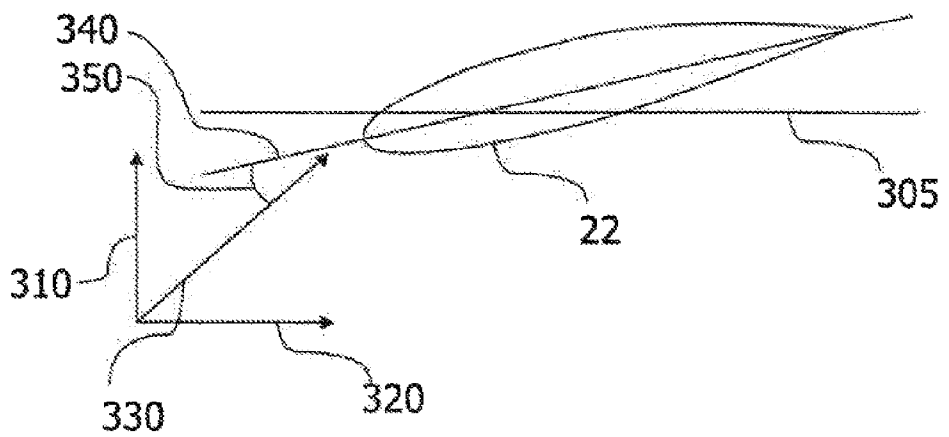


FIG. 8

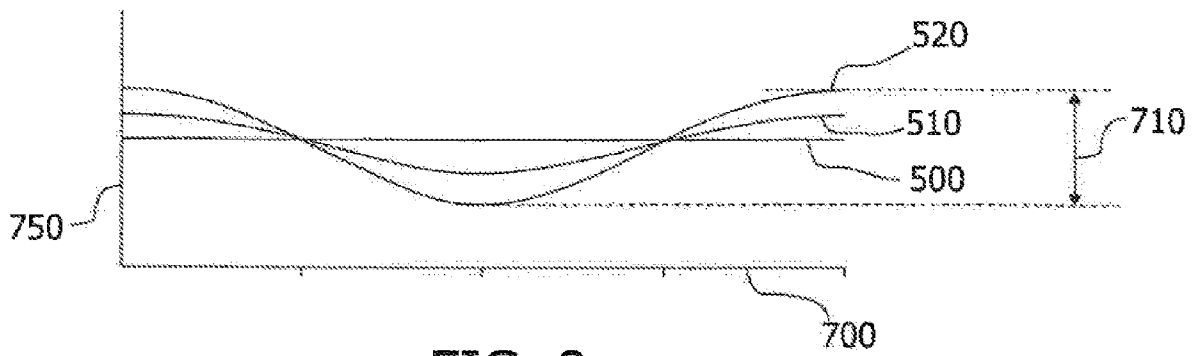


FIG. 9

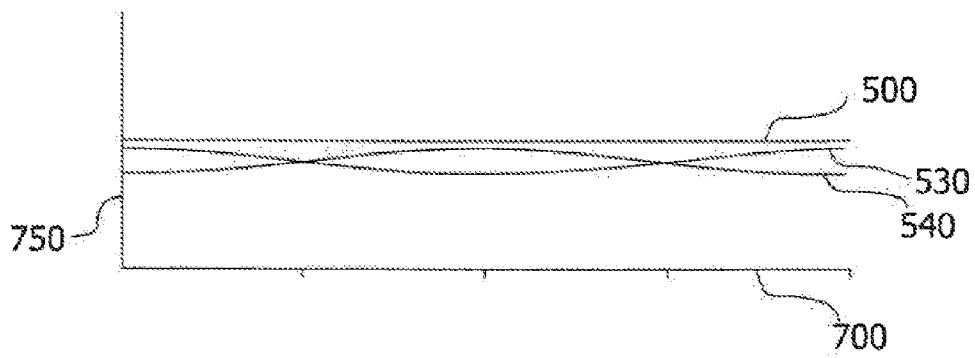


FIG. 10

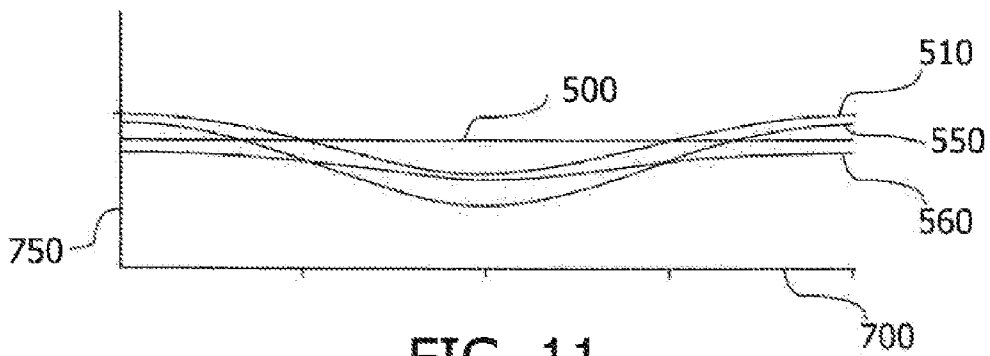


FIG. 11

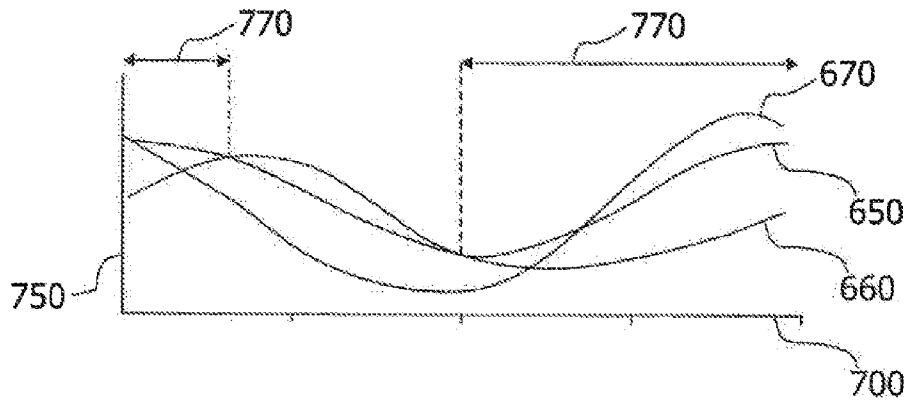


FIG. 12

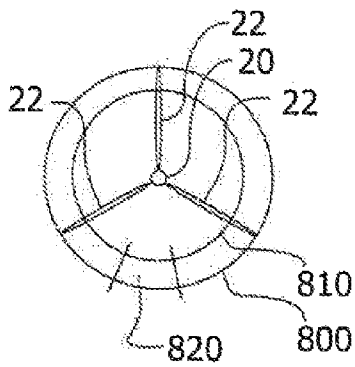


FIG. 13

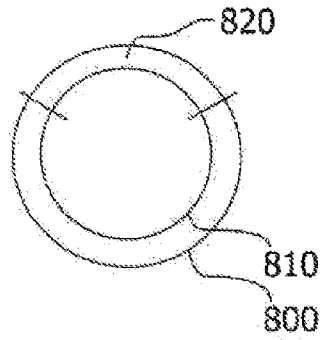


FIG. 14

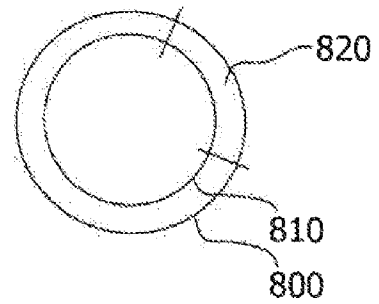


FIG. 15

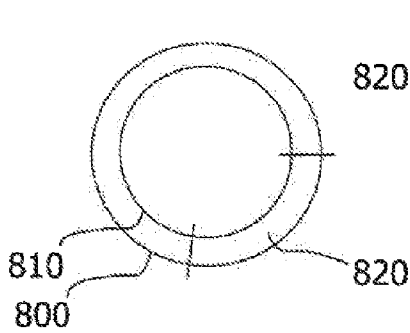


FIG. 16

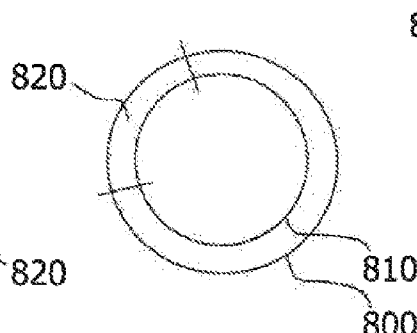


FIG. 17

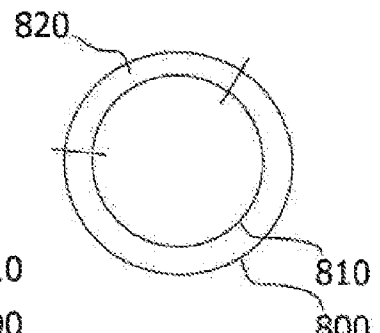


FIG. 18

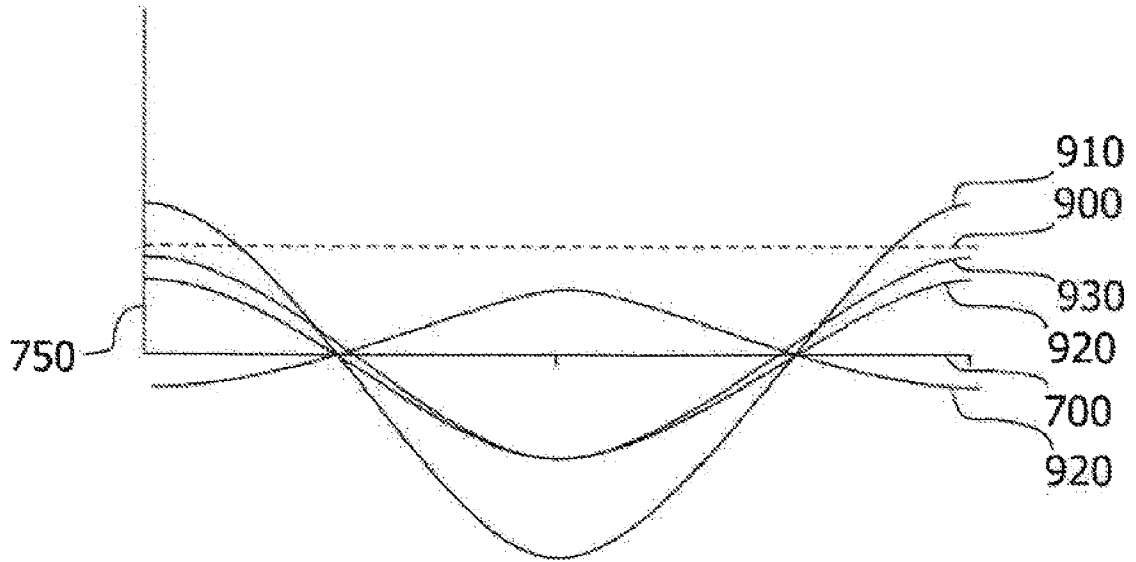


FIG. 19

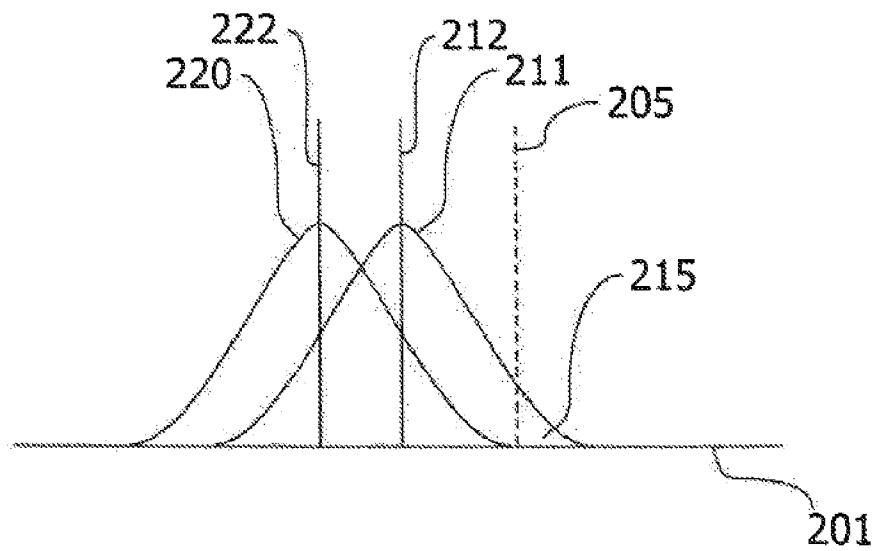


FIG. 20

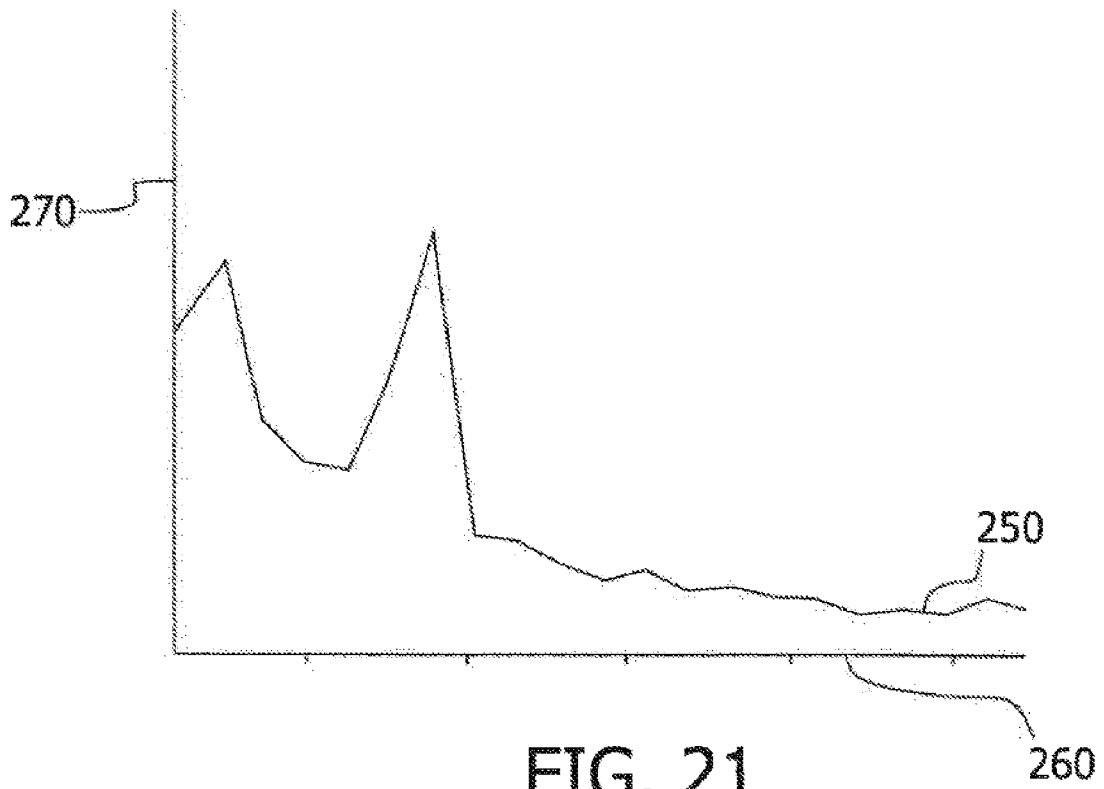


FIG. 21

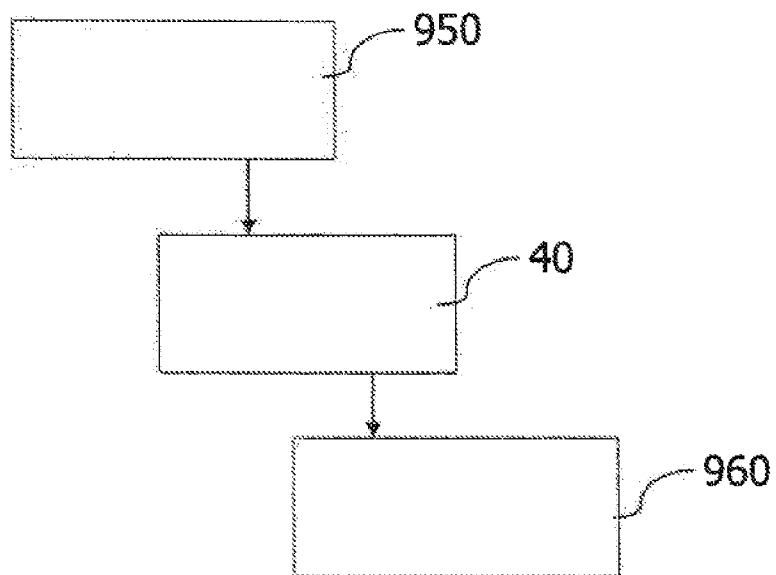


FIG. 22

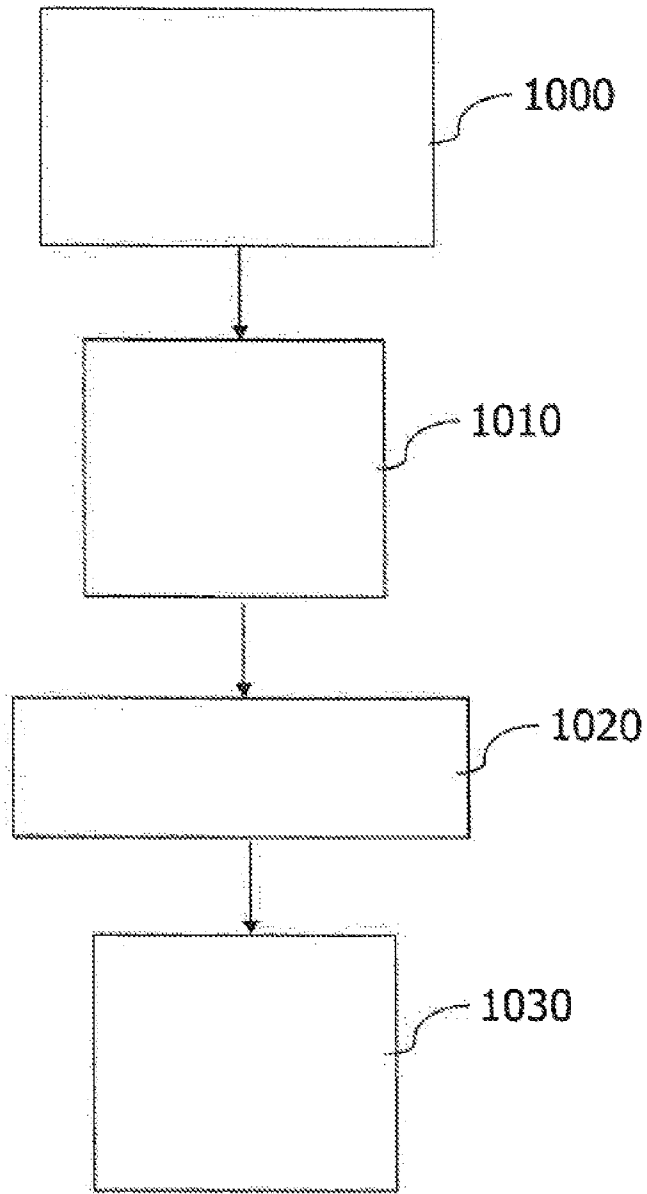


FIG. 23

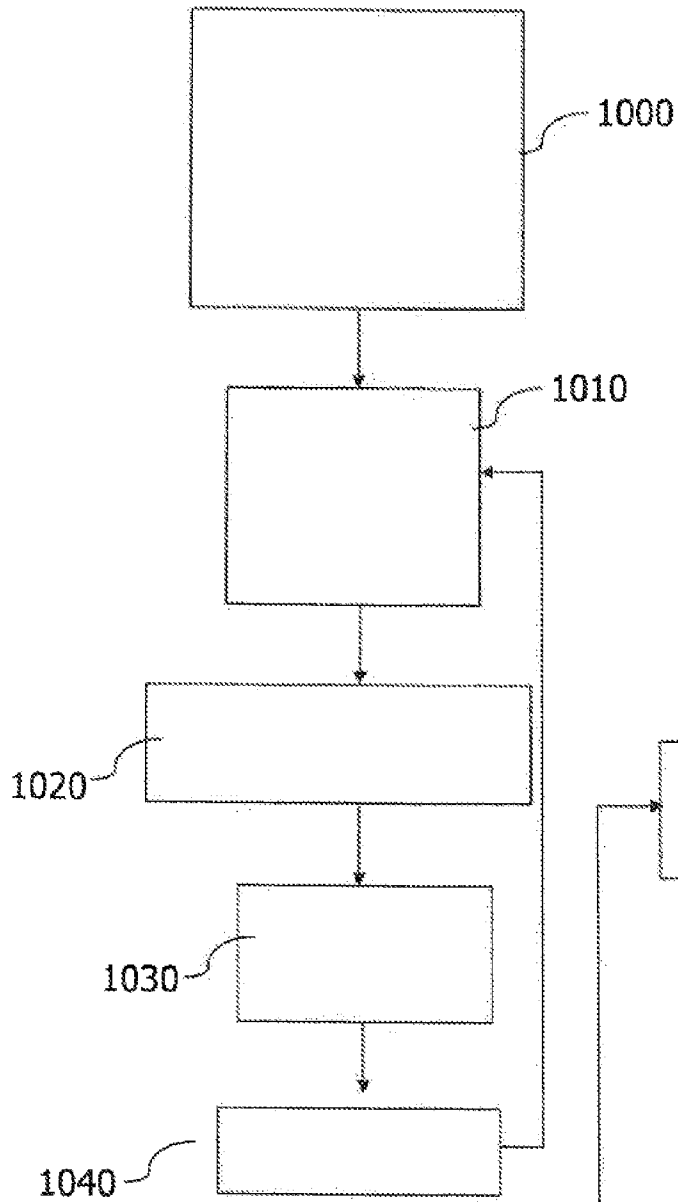


FIG. 24

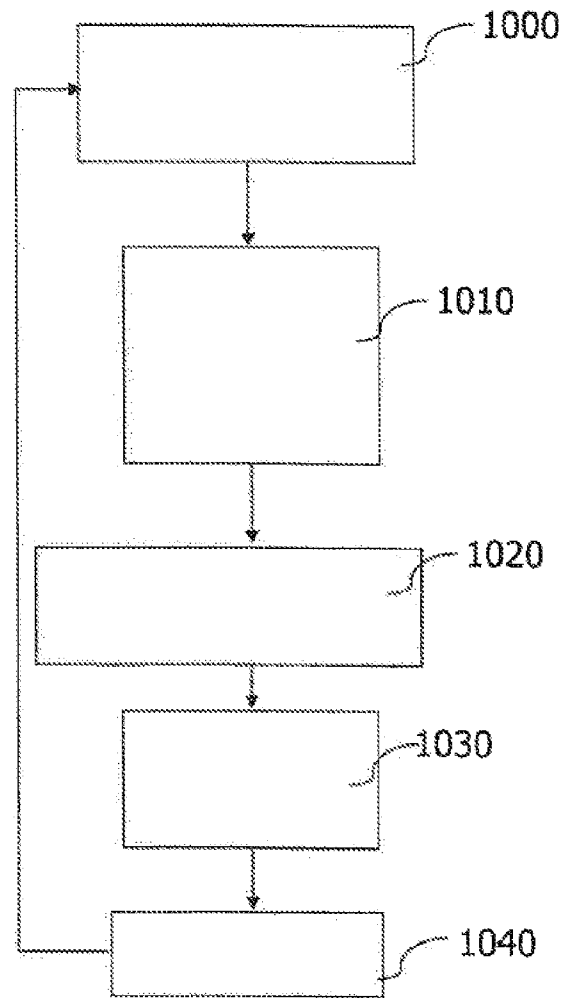


FIG. 25

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

Esta lista de referencias citadas por el solicitante es únicamente para la comodidad del lector. No forma parte del documento de la patente europea. A pesar del cuidado tenido en la recopilación de las referencias, no se pueden excluir errores u omisiones y la EPO niega toda responsabilidad en este sentido.

Documentos de patentes citados en la descripción

• US 2006002792 A [0002]

• US 2010117368 A [0002]