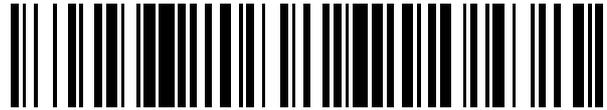


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 573 326**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.08.2008 E 08161867 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.03.2016 EP 2025929**

54 Título: **Sistema y procedimiento para la reducción de las cargas en una turbina eólica de eje horizontal que utiliza barlovento**

30 Prioridad:

13.08.2007 US 891870

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

07.06.2016

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**BARBU, CORNELIU y
VYAS, PARAG**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 573 326 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

Sistema y procedimiento para la reducción de las cargas en una turbina eólica de eje horizontal que utiliza barlovento

5 La invención se refiere en general a turbinas eólicas, y, en particular, a un sistema y procedimiento para reducir el desequilibrio de la carga observado por los componentes de la turbina (rotor, tren de accionamiento, torre) durante el funcionamiento normal.

10 Las turbinas eólicas se consideran fuentes alternativas de energía, respetuosas con el medio ambiente y relativamente baratas. Un generador de turbina eólica incluye, en general, un rotor de viento que tiene una pluralidad de palas que transforman la energía eólica en un movimiento de rotación de un árbol de accionamiento, que a su vez se utiliza para accionar un rotor de un generador eléctrico para producir energía eléctrica. En los modernos sistemas de generación de energía eólica, la producción de energía a partir de una pluralidad de generadores de turbinas eólicas, que comprende un "parque eólico", se combina normalmente para su transmisión hasta una red.

15 La producción de energía de un generador de una turbina eólica aumenta generalmente con la velocidad del viento hasta que se alcanza una producción de energía nominal. A partir de entonces, la producción de energía se mantiene, habitualmente, constante en el valor nominal incluso con un aumento en la velocidad del viento. Esto se consigue, en general, mediante la regulación de la acción de la inclinación de las palas en respuesta a un aumento en la velocidad del viento. Con el aumento en la velocidad del viento más allá de la producción de energía nominal, las palas son inclinadas, en general, hacia la pluma (es decir, torcidas para que se alineen más estrechamente con la dirección del viento), controlando de ese modo la velocidad angular del rotor. Como resultado, la velocidad del generador y, en consecuencia, la producción del generador se puede mantener relativamente constante con el aumento de las velocidades del viento.

25 En caso de ráfagas turbulentas repentinas, la velocidad del viento, la turbulencia del viento y el gradiente transversal pueden cambiar drásticamente en un intervalo de tiempo relativamente pequeño. Reducir el desequilibrio del rotor mientras se mantiene constante la producción de energía del generador de turbina eólica durante este tipo de ráfagas turbulentas repentinas exige cambios relativamente rápidos del ángulo de la inclinación de las palas. Sin embargo, hay normalmente un lapso de tiempo entre la aparición de una ráfaga turbulenta y la inclinación real de las palas basado en la dinámica del actuador del control de inclinación y la inercia de los componentes mecánicos. Como resultado, los desequilibrios de las cargas y la velocidad del generador y, por consiguiente las oscilaciones en los componentes de la turbina así como la potencia, pueden aumentar considerablemente durante tales ráfagas turbulentas, y pueden reducir la vida de la máquina y exceder el máximo nivel prescrito de producción de energía (también conocido como límite de velocidad excesiva) haciendo que el generador se active y, en ciertos casos, la turbina eólica se detenga. El límite de velocidad excesiva tiene, en general, una función protectora para el generador de turbina eólica particular y se basa en consideraciones sobre la fatiga de los componentes mecánicos, tales como la torre, el tren de accionamiento y otros. Por otro lado, las ráfagas turbulentas repentinas pueden también aumentar considerablemente los momentos de pandeo de proa a popa y de lado a lado en la torre debido al aumento en el efecto de gradiente transversal.

40 La reducción de la carga, hasta el momento, se ha abordado hasta ahora sólo inclinando las palas de la turbina eólica mientras se tiene en cuenta la medición de la velocidad del viento a barlovento, para aliviar el impacto de los vientos en ráfagas turbulentas sobre la turbina. En consecuencia, el desequilibrio del rotor debido al gradiente transversal y turbulencia del viento sólo se ha abordado a través de la inclinación de las palas de la turbina eólica de una manera reactiva, basándose en la carga sobre la torre debido a la entrada turbina eólica.

Por ejemplo, varias técnicas y dispositivos convencionales se describen en los documentos GB 2398841, US 6.320.272, US 7.025.567 y EP 1460266.

45 Por consiguiente, existe la necesidad de un mecanismo proactivo para controlar la inclinación de las palas de una turbina eólica para compensar el desequilibrio del rotor durante el funcionamiento normal mediante la inclinación de las palas de forma individual o de forma asimétrica, basado no sólo en la velocidad del viento, sino también en la dinámica de la turbulencia del viento y de el gradiente transversal delante del rotor, determinada antes de que llegue al rotor.

50 Así, se proporcionan varios aspectos y realizaciones de la presente invención definidos por las reivindicaciones adjuntas.

Varias características, aspectos y ventajas de la presente invención llegarán a entenderse mejor cuando se lea la siguiente descripción detallada con referencia a los dibujos adjuntos en los que caracteres similares representan partes similares a lo largo de los dibujos, en los que:

La FIG. 1 ilustra un generador de turbina eólica de acuerdo con una realización de la presente invención;

55 La FIG. 2 ilustra un dispositivo de detección y localización por la luz (LIDAR) y sus componentes de la velocidad del viento asociados medidos;

La FIG. 3 ilustra un LIDAR montado en un buje de turbina eólica y configurado para medir una parte predeterminada de un campo plano delante del buje;

La FIG. 4 ilustra una vista frontal del LIDAR representado en la FIG. 3;

5 La FIG. 5 ilustra los elementos funcionales del generador de turbina eólica de acuerdo con una realización de la presente invención;

La FIG. 6 es un diagrama de control del sistema que ilustra una estrategia de control para aplicar el control de inclinación de la pala individual de acuerdo con una realización de la presente invención; y

La FIG. 7 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento de control de inclinación individual de las palas de acuerdo con una realización de la presente invención.

10 Aunque las figuras de los dibujos identificados anteriormente establecen realizaciones alternativas, también se contemplan otras realizaciones de la presente invención, como se indica en el análisis. En todos los casos, esta divulgación presenta realizaciones ilustradas de la presente invención a modo de representación y no de limitación. Otras numerosas modificaciones y realizaciones pueden ser ideadas por los expertos en la técnica que caen dentro del alcance y el espíritu de los principios de esta invención.

15 La siguiente descripción presenta un sistema y procedimiento de acuerdo con una realización, para generar la información a barlovento proporcionada por un sensor de medición del viento directo y utilizar esta información para determinar la carga que experimentará el rotor de un generador turbina eólica, cuando la parte turbina eólica golpea la turbina. Basado en el desequilibrio estimado en el rotor, el ángulo de la pala cambia de manera que el rotor ve la misma carga uniforme en todo el rotor. El sistema y el procedimiento también pueden emplearse para controlar la
20 producción de energía de un generador de turbina eólica durante los cambios repentinos en velocidad del viento, gradiente transversal y turbulencia del viento tales como durante una ráfaga turbulenta manteniendo la velocidad del generador dentro del límite de velocidad excesiva (o umbral de protección) durante tales ráfagas turbulentas, evitando así la activación o parada del generador de turbina eólica durante las ráfagas turbina eólica turbulentas. Las realizaciones de la presente técnica proporcionan una metodología de detección orientada al control para obtener
25 información de velocidad del viento, turbulencia del viento y gradiente transversal utilizando sensores de medida del viento a barlovento y un conjunto de algoritmos de control que procesan la información de velocidad, turbulencia y gradiente transversal a barlovento para generar comandos individuales de inclinación de la pala para inclinar de forma individual las palas de la turbina eólica antes de que se produzca una ráfaga turbina eólica turbulento, dando como resultado de ese modo un aumento de la captación de energía eólica y cargas dinámicas reducidas en la
30 estructura de la turbina eólica (rotor, tren de accionamiento, torre, etc.). Las realizaciones del sistema y el procedimiento se describen en detalle a continuación refiriéndose en general a las FIG. 1-7.

La ráfaga (o ráfagas) turbulenta, como se usa en el presente documento, significa un régimen turbina eólica complejo que incluye no sólo la velocidad del viento, sino otras dinámicas de viento tales como pero sin limitarse a la turbulencia del viento, el gradiente transversal y similares. Los modelos conocidos para ráfaga de viento sólo han
35 considerado la velocidad del viento y no incluyen otras dinámicas de viento.

Volviendo ahora a los dibujos, la FIG. 1 ilustra un generador 10 de turbina eólica de acuerdo con una realización de la presente invención. El generador 10 de turbina eólica comprende un rotor 12 que tiene una pluralidad de palas 14, 16, 18 de turbina eólica montadas en un buje 20. El generador 10 de turbina eólica también comprende una góndola 22 que está montada en la parte superior de una torre 24. El rotor 12 se acopla con accionamiento a un generador
40 32 eléctrico como se representa en la FIG. 5, a través de un tren de accionamiento alojado dentro de la góndola 22. La torre 24 expone las palas 14, 16, 18 al viento (direccionalmente representado por las flechas 26), lo que hace que las palas 14, 16, 18 giren alrededor de un eje 28. Las palas 14, 16 y 18 transforman la energía cinética del viento en un par de rotación, que se transforma adicionalmente en energía eléctrica a través del generador eléctrico alojado dentro de la góndola 22.

45 La FIG. 2 es una imagen simplificada que ilustra un LIDAR 38 y sus componentes de la velocidad del viento asociados medidos que se miden dentro de un ángulo (θ) de cono y recorrido (R) predeterminados que se pueden seleccionar adecuadamente para proporcionar una precisión deseada de la medida, así como una aceptable sensibilidad. El LIDAR 38 se describe con más detalle en este documento en adelante.

50 La FIG. 3 ilustra un LIDAR 38 montado en un buje 20 de turbina eólica y configurado para medir los componentes de la velocidad del viento dentro de una parte 44 predeterminada de un campo 40 plano delante del buje 20.

La FIG. 4 ilustra una vista frontal del LIDAR 38 montado en un buje 20 de turbina eólica representado en la FIG. 3. El ángulo (θ) de cono se muestra en el plano x-y, donde el eje z representa el eje de rotación de las palas 14, 16 y 18 mostradas en la FIG. 1.

55 La FIG. 5 es un diagrama de bloques de los elementos funcionales principales del generador 10 de turbina eólica de acuerdo con una realización. Como se ilustra, las palas 14, 16, 18 del generador 10 de turbina eólica accionan un generador 32 eléctrico que está alojado dentro de la góndola 22 representada en la FIG. 1. El generador 10 de

turbina eólica comprende además un controlador 30 configurado para controlar la producción de energía eléctrica del generador 32 basándose en la velocidad del viento detectada y al menos otras dinámicas como el gradiente transversal o la turbulencia del viento. La producción de energía del generador 32 eléctrico puede ser controlada a través de controlar preventivamente e individualmente la inclinación de las palas 14, 16 y 18 a través de los motores 34 de la inclinación de la pala. Controlando el par del entrehierro del generador 32 a través de uno o más transformadores 36 de potencia también puede controlarse simultáneamente la producción de energía del generador 32.

Para bajas velocidades del viento, un aumento en la velocidad del viento en ciertas condiciones de turbulencia del viento y de gradiente transversal puede causar un aumento en la velocidad de rotación de las palas 14, 16 y 18, y, como consecuencia, la producción de energía eléctrica del generador 32. En ciertas realizaciones, se permite que la producción de energía eléctrica aumente con la velocidad del viento hasta que se alcanza un nivel nominal de producción de energía. Con aumentos adicionales en la velocidad del viento, la producción de energía del generador 32 se mantiene sustancialmente constante. Esto se logra inclinando una o más de las palas 14, 16, 18 hacia la pluma. En este análisis, la inclinación se refiere a la torsión de la pala de la turbina eólica para cambiar el ángulo de ataque del viento sobre la pala. La inclinación hacia la pluma implica la torsión de la pala de manera que la superficie de la pala está alineada a lo largo de la dirección de la velocidad 26 del viento (es decir, reduciendo el ángulo de ataque). La inclinación de una pala hacia la pluma conduce a una disminución de la captación de energía eólica por la pala. Por consiguiente, con ciertos aumentos de la velocidad del viento, las palas se inclinan progresivamente hacia la pluma, para mantener una velocidad del generador sustancialmente constante y, como consecuencia, una producción constante de energía por el generador.

Como se ha indicado anteriormente en el presente documento, en el caso de ráfagas repentinas turbulentas, pueden aumentar o incluso disminuir la velocidad del viento, la turbulencia y/o el gradiente transversal en un intervalo relativamente pequeño de tiempo. Con el fin de compensar el lapso de tiempo de los motores 34 de la inclinación de la pala y mantener una carga uniforme en todo el rotor 20, y mantener también una producción constante de energía del generador 10 de turbina eólica durante tales ráfagas repentinas turbulentas, o al menos un cambio relativamente suave o controlado en la producción, las palas 14, 16 y 18 pueden ser inclinadas de forma preventiva y de forma individual antes de que una ráfaga turbulenta golpee la turbina, evitando de ese modo que el generador 10 de turbina eólica alcance su límite de velocidad excesiva (o de baja velocidad) ante la aparición de una ráfaga. Para aplicar esta inclinación preventiva, dinámicas de viento que incluyen pero que no se limitan a velocidad del viento, gradiente transversal y turbulencia del viento son detectadas a barlovento de las palas 14, 16 y 18 a través de uno o más sensores 38 de medición del viento a barlovento. La información de el gradiente transversal y de la turbulencia del viento se determina a partir de la información de la velocidad del viento para proporcionar un perfil de las dinámicas de viento más completo y preciso para su uso por el mecanismo proactivo de control de inclinación.

En la realización ilustrada, un sensor 38 incluye un dispositivo de detección y localización por la luz, también denominado LIDAR. Refiriéndose de nuevo a la FIG. 1, el LIDAR 38 es un radar de medición que está configurado para explorar una zona anular alrededor del generador 10 de turbina eólica y medir la velocidad del viento basándose en la reflexión y/o dispersión de la luz transmitida por el LIDAR de aerosol. El ángulo (θ) de cono y el recorrido (R) del LIDAR 38 pueden seleccionarse adecuadamente para proporcionar una precisión deseada de la medida así como una sensibilidad aceptable. En la realización ilustrada, el LIDAR 38 se sitúa en el buje 20 después de lo cual se montan las palas 14, 16 y 18. En ciertas realizaciones alternativas, el LIDAR 38 se puede también situar alrededor de la base de la torre 24 de la turbina eólica.

De acuerdo con aspectos de la presente técnica, el LIDAR 38 está configurado para medir la velocidad del viento por delante de al menos una parte específica, normalmente las secciones más importantes de las palas 14, 16 y 18 en cuanto a la contribución de esas secciones al par aerodinámico en las palas. Estas secciones pueden incluir, por ejemplo, secciones cercanas al extremo de la pala. La FIG. 3 ilustra un campo 44 de medición de este tipo. Los puntos por delante de las palas 14, 16 y 18 en los que se mide la velocidad del viento mediante el LIDAR 38 están representados por un plano 40 en la FIG. 3.

De acuerdo con una realización, la carga potencial vista por la turbina 10 eólica cuando lee la información del viento delante de la estructura va a correlacionar la información a barlovento, que puede incluir, sin limitación, la información de velocidad del viento, gradiente transversal y turbulencia del viento, con la medición de la carga proporcionada por sensores de la brida principal, sensores de la raíz de la pala o sensores del árbol principal, y estimar el momento en el que tiene que producirse el nuevo ajuste de la inclinación de la pala para compensar este desequilibrio de la distancia por delante de la turbina 10 eólica, donde se han registrado la velocidad y turbulencia del viento y el gradiente transversal .

Como se ilustra en la FIG. 5, la velocidad del viento, el gradiente transversal y la turbulencia del viento a barlovento detectadas por el LIDAR 38 se utiliza por el controlador 30 para determinar los comandos (C_p^n) individuales de inclinación de la pala, donde n es el número de palas de la turbina eólica, y en donde los comandos individuales de inclinación de pala se transmiten a cada motor individual de la inclinación de la pala dentro de una pluralidad de motores 34 de inclinación de pala para aplicar el cambio real en la inclinación de cada pala 14, 16 y 18 mediante los

motores 34 de inclinación de la pala. El mecanismo de control aplicado por el controlador 30 se describe con mayor detalle en adelante con referencia a la FIG. 6.

La FIG. 6 es un diagrama esquemático que ilustra un mecanismo 42 de control a modo de ejemplo para aplicar el control de inclinación de la pala preventivo y/o individual de acuerdo con una realización de la presente invención. El mecanismo 42 de control incorpora un sistema 45 de control de retroalimentación y un sistema 46 de control directo de alimentación. El sistema 45 de control de retroalimentación está configurado para determinar y retroalimentar los valores de carga corregidos de forma secuencial para cada pala 14, 16 y 18 en el punto 47 de suma, basado en la velocidad C de rotación de las palas 14, 16 y 18 de la turbina eólica y también en los componentes F medidos de la velocidad del viento generada por el LIDAR 38 descrito anteriormente en el presente documento. Los datos del sensor de carga medidos localmente se ajustan entonces para aplicar asimétricamente un cambio deseado en la velocidad de rotación de cada pala 14, 16 y 18 en el bloque 50 y generar una salida 48 correspondiente indicativa de

un cambio requerido en el ángulo (C_p) de la inclinación de las palas para lograr la velocidad requerida y la reducción en el desequilibrio del rotor. En el bloque 52, el efecto de cambiar la inclinación de las palas basándose en una pluralidad de dinámicas de la velocidad del viento y del rotor están separados para determinar los cambios reales en los dispositivos activos de modificación del flujo empleados para alterar la aerodinámica de las palas 14, 16 y 18, y los valores de carga, respectivamente. La ganancia G_B se basa en dinámicas de viento turbulento que incluyen sin limitación velocidad del viento, gradiente transversal y turbulencia del viento, mientras que la ganancia G_L se basa en dinámicas de la velocidad del rotor. Como se comprenderá, la salida 48 del sistema 45 de control de retroalimentación está configurado para causar una disminución en el ángulo de la inclinación de las palas cuando la velocidad de las palas del generador excede una velocidad de referencia y un aumento en el ángulo de la inclinación de las palas cuando la velocidad de las palas del generador es menor que la velocidad de referencia. Así, bajo el funcionamiento normal del generador 10 de turbina eólica, la salida 48 actúa preventivamente e individualmente sobre cada uno de los motores 34 de la inclinación de la pala de manera que el desequilibrio del rotor se reduce al mínimo y la velocidad total del generador de viento se mantiene a un nivel de referencia constante deseado.

El sistema 46 de alimentación directa utiliza la información de la velocidad del viento (V_w) a barlovento desde el LIDAR 38 y genera una salida 54 que está configurada en combinación con otras dinámicas de viento turbulento tal como, pero no limitado a, gradiente transversal y turbulencia del viento, para hacer que, asimétricamente, las palas se inclinen antes de un cambio repentino en la turbulencia del viento, siendo la cantidad de la inclinación determinada individualmente para cada una de las palas 14, 16 y 18. El sistema 46 de alimentación directa incorpora una ganancia F en los datos de velocidad del viento (V_w) en el bloque 56 para producir la salida 54. La salida 54 del sistema de control de alimentación directa se resume en el nudo 58 con la salida 48 del sistema 45 de control de

retroalimentación para producir los comandos individuales de inclinación de la pala, (C_p). En una realización, esta ganancia F es directamente proporcional a la expresión $G_B G_L^{-1}$, donde G^B se basa en la influencia de la velocidad del viento, gradiente transversal y turbulencia del viento sobre las dinámicas de la pala, como se ha indicado anteriormente en el presente documento. Así, durante una ráfaga turbulenta, el cambio repentino de la velocidad del viento se detecta a barlovento de las palas 14, 16 y 18, provocando un aumento en la salida 54 del sistema 46 de alimentación directa y, por consiguiente, un cambio en cada comando (C_p) de inclinación de la pala. Esto a su vez hace que los motores 34 de la inclinación de la pala inclinen, asimétricamente, las palas antes de que la ráfaga turbulenta alcance realmente el generador 10 de turbina eólica. Así, la técnica asegura que el desequilibrio del rotor causado por el gradiente transversal y la turbulencia del viento se reduzca y que la producción de energía del generador 10 eólico se reduzca gradualmente y que la velocidad del generador no exceda el límite de velocidad excesiva que podría causar que se activara. En ciertas realizaciones, la ganancia F puede ser además proporcional a la velocidad del viento detectada, de tal manera que cuanto más fuerte es la ráfaga turbulenta, más rápida es la respuesta del sistema 46 de alimentación directa para modificar los comandos de la inclinación de las palas,

(C_p). Una ganancia 68 de la inclinación a escala puede añadirse además a las dinámicas de viento en la salida 62 para proporcionar modificaciones de los comandos para activar los dispositivos de modificación de flujo asociados con cada una de las palas 14, 16 y 18.

La FIG. 7 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento 80 a modo de ejemplo para la compensación del desequilibrio del rotor a través de una turbina eólica debido a la turbulencia del viento y al gradiente transversal y también para controlar la producción de energía de un generador 10 de turbina eólica de acuerdo con aspectos de la presente técnica. El procedimiento 80 comienza mediante la exploración del campo de viento a barlovento delante del rotor representado en el bloque 82. El bloque 82 puede incorporar el uso de un LIDAR 38 para explorar el campo de viento por delante de las secciones más importantes de las palas 14, 16 y 18 en cuanto al par aerodinámico para determinar cambios repentinos, por ejemplo, en velocidad del viento, gradiente transversal y turbulencia del viento.

En el bloque 83, velocidad del viento, turbulencia del viento y gradiente transversal se determinan a partir de la información de campo de viento explorado.

En el bloque 84, el desequilibrio del rotor inducido por el campo de viento que alcanza al rotor se determina con

base en la información anterior de velocidad del viento, turbulencia del viento y gradiente transversal.

- En una realización, el sensor 38 a barlovento determina la velocidad del viento por delante de la turbina y determina lo que sería la carga visto por los componentes de la turbina, en particular el rotor, cuando el viento alcanza la turbina. El bloque 82 puede incorporar un sistema de control de retroalimentación como se ilustra en la FIG. 3 anterior. Un algoritmo de control, tal como se ha descrito anteriormente con referencia a la FIG. 6, determina a priori el ángulo de la pala al que cada pala 14, 16 y 18 se debe fijar para cuando el viento alcance el rotor, para compensar cualquier desequilibrio del rotor, representado en el bloque 84. Se genera una señal de alimentación directa basándose en la dinámica de las palas y los cambios en velocidad del viento, gradiente transversal y turbulencia del viento a barlovento. La señal de la inclinación de las palas y la señal de alimentación directa se suman entonces para determinar de forma preventiva e individualmente los comandos de la inclinación de la pala como se ha indicado anteriormente en el presente documento con referencia a la FIG. 6. Los motores de la inclinación de las palas son accionados en respuesta a los comandos individuales de la inclinación de la pala, para efectuar la inclinación preventiva de las palas individuales antes de un cambio repentino en las dinámicas de velocidad del viento, gradiente transversal y/o turbulencia del viento.
- Una manera de entender la carga potencial vista por la turbina 10 eólica cuando la lectura de la información del viento delante de la estructura va a correlacionar la información a barlovento con la medición de la carga proporcionada por sensores de la brida principal, sensores de la raíz de la pala o sensores del árbol principal, y estimar el momento en que tiene que producirse el nuevo ajuste de la inclinación de la pala para compensar este desequilibrio de la distancia por delante de la turbina donde se ha registrado la velocidad del viento.
- Así, las técnicas descritas anteriormente facilitan el uso óptimo de la información de las dinámicas de viento a barlovento para compensar el desequilibrio del rotor y controlar las fluctuaciones de la producción de energía del generador de turbina eólica durante los cambios repentinos en velocidad del viento, gradiente transversal y turbulencia del viento, al tiempo que reduce las cargas dinámicas en la estructura de la torre. Como se comprenderá también, las técnicas descritas anteriormente pueden adoptar la forma de los procesos y aparatos aplicados por ordenador o controlador para poner en práctica esos procesos. Los aspectos de la presente técnica pueden también realizarse en forma de instrucciones que contienen códigos de programas informáticos recogidas en soportes tangibles, tal como disquetes, CD-ROM, discos duros, o cualquier otro medio de almacenamiento legible por ordenador, en el que, cuando el código del programa informático es cargado y ejecutado por un ordenador o controlador, el ordenador se convierte en un aparato para poner en práctica la invención. Las técnicas descritas pueden además ser realizadas en la forma de código o señal de programa informático, por ejemplo, si es almacenado en un medio de almacenamiento, es cargado y/o ejecutado por un ordenador o controlador, o se transmite a través de algún medio de transmisión, tal como hilos o cableado eléctrico, a través de fibra óptica, o por medio de radiación electromagnética, en el que, cuando el código de programa informático es cargado y ejecutado por un ordenador, el ordenador se convierte en un aparato para poner en práctica la invención. Cuando se aplica en un microprocesador de uso general, los segmentos de códigos de programa informático configuran el microprocesador para crear circuitos lógicos específicos.
- Aunque sólo ciertas características de la invención se han ilustrado y descrito en el presente documento, a los expertos en la técnica se les ocurrirán muchas modificaciones y cambios. Debe entenderse, por lo tanto, que las reivindicaciones adjuntas están destinadas a cubrir todas las modificaciones y cambios que caigan dentro del alcance de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Una turbina (10) eólica, que comprende:

una pluralidad de palas (14, 16, 18) montadas en un rotor (12);

5 al menos un sensor (38) de dinámicas de viento a barlovento configurado para detectar una pluralidad de dinámicas de viento transitorias a barlovento a una distancia deseada desde el generador (10) de turbina eólica en una dirección del viento que se mueve hacia el generador (10) de turbina eólica, en la que al menos una dinámica de viento transitoria a barlovento es distinta de la velocidad del viento e incluye el gradiente transversal y/o turbulencia del viento;

10 un sistema (46) de control de alimentación directa configurado para determinar una señal de alimentación directa en respuesta a un cambio en las dinámicas de viento transitorias a barlovento detectadas y el acoplamiento de la señal de alimentación directa a la señal del comando de la inclinación de la pala para obtener preventiva y asimétricamente señales de comando de la inclinación individual de la pala; y

15 un sistema (42) de control de inclinación, configurado para controlar de forma asimétrica la inclinación de una pluralidad de palas (14, 16, 18) del generador (10) de turbina eólica basándose en la velocidad del viento a barlovento y un cambio en la pluralidad de dinámicas de viento transitorias detectadas antes de un cambio en las dinámicas de viento transitorias en la pluralidad de palas (14, 16, 18) utilizando la señal de alimentación directa para determinar una señal del comando de la inclinación de la pala preventiva para controlar asimétricamente la inclinación de la pluralidad de palas (14, 16, 18) de turbina eólica antes de un cambio en las dinámicas de viento transitorias en las palas (14, 16, 18) de turbina eólica, de manera que el desequilibrio del rotor debido a gradiente transversal y/o turbulencia del viento se reduce a través del rotor (12).

20

2. La turbina (10) eólica de la reivindicación 1, en la que el al menos un sensor (38) de dinámica de viento a barlovento comprende un dispositivo de detección y localización por la luz.

25 3. La turbina (10) eólica de cualquier reivindicación precedente, que comprende además un sistema (45) de control de retroalimentación configurado para determinar una señal del comando de la inclinación de la pala basándose en una diferencia entre una señal de sensor de carga local y un valor de carga corregido.

4. La turbina (10) eólica de cualquier reivindicación precedente, en la que el sistema (42) de control de inclinación comprende medios para controlar el muestreo de la dinámica de viento transitoria a barlovento a una distancia deseada del generador (10) de turbina eólica en una dirección del viento.

30 5. La turbina (10) eólica de cualquier reivindicación precedente, en la que el sistema (42) de control de inclinación comprende además medios configurados para utilizar la señal de alimentación directa para determinar una señal de comando de inclinación de la pala preventiva para controlar la inclinación de no más de una pala (14, 16, 18) de turbina eólica individual antes de un cambio en la dinámica de viento transitoria en la pala (14, 16, 18) de turbina eólica.

35 6. Un procedimiento para controlar el desequilibrio del rotor (12) del generador (10) de turbina eólica de cualquier reivindicación precedente en respuesta a un cambio previsto en la dinámica de viento, que comprende:

detectar una pluralidad de dinámicas de viento a barlovento a una distancia deseada desde al menos una pala (14, 16, 18) de turbina eólica en una dirección del viento que va hacia el generador (10) de turbina eólica, en el que al menos una dinámica de viento es distinta de la velocidad del viento e incluye el gradiente transversal y/o la turbulencia del viento; y

40 controlar asimétricamente la inclinación de al menos una pala (14, 16, 18) del generador (10) de turbina eólica basándose en la velocidad del viento a barlovento y un cambio en la pluralidad de las dinámicas de viento detectadas antes de un cambio en la dinámica de viento en al menos una pala (14, 16, 18), tal que el desequilibrio del rotor (12) debido al gradiente transversal y/o a la turbulencia del viento se reduce a través del rotor (12).

45

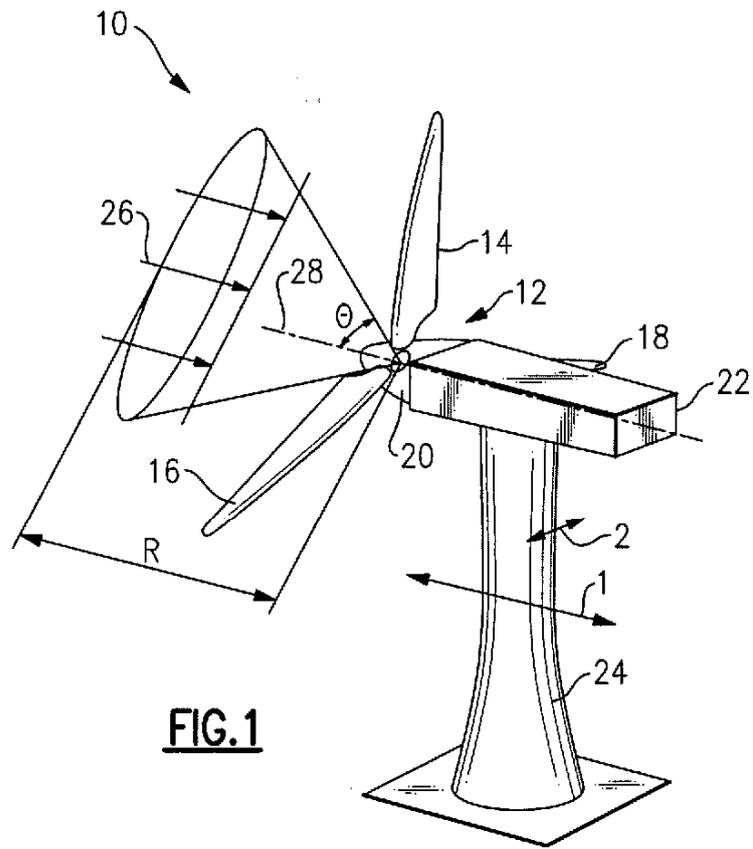


FIG.1

COMPONENTE
MEDIDO DE LA
VELOCIDAD DEL
VIENTO

θ : ÁNGULO DEL CONO

R : RECORRIDO

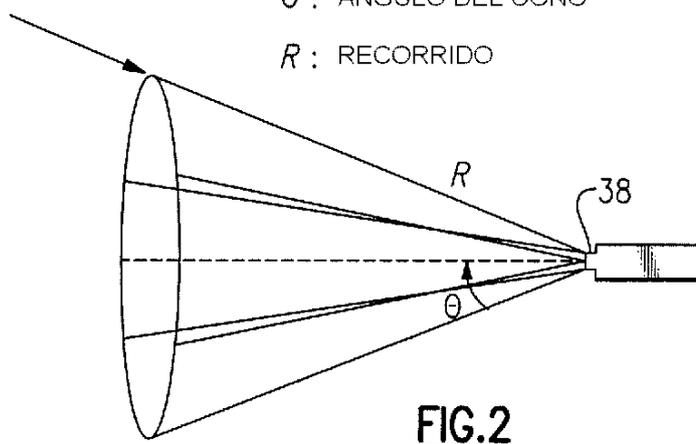


FIG.2

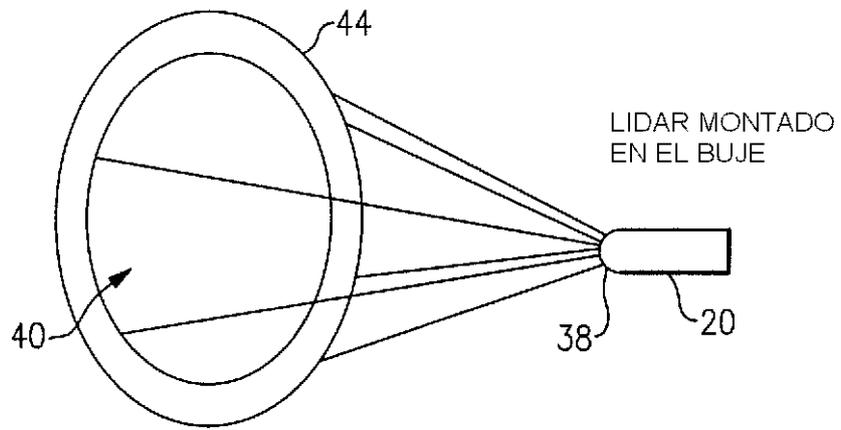


FIG.3

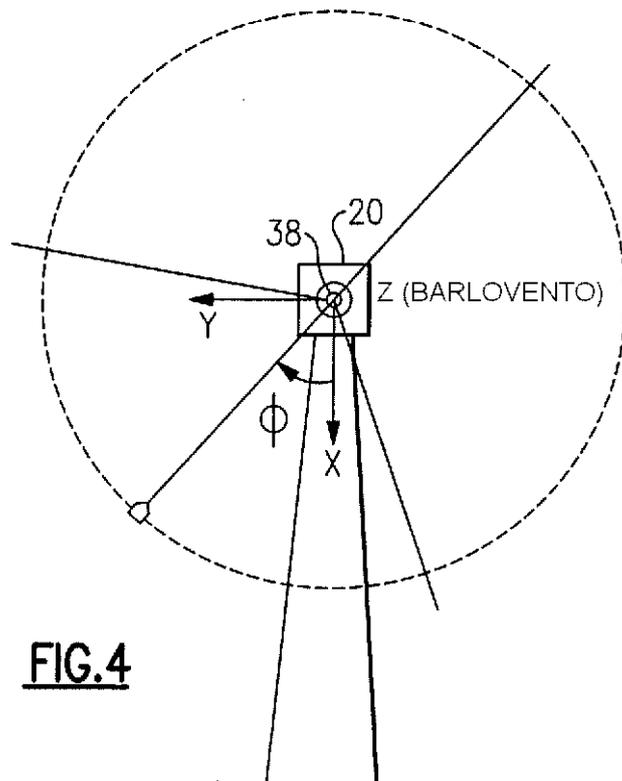


FIG.4

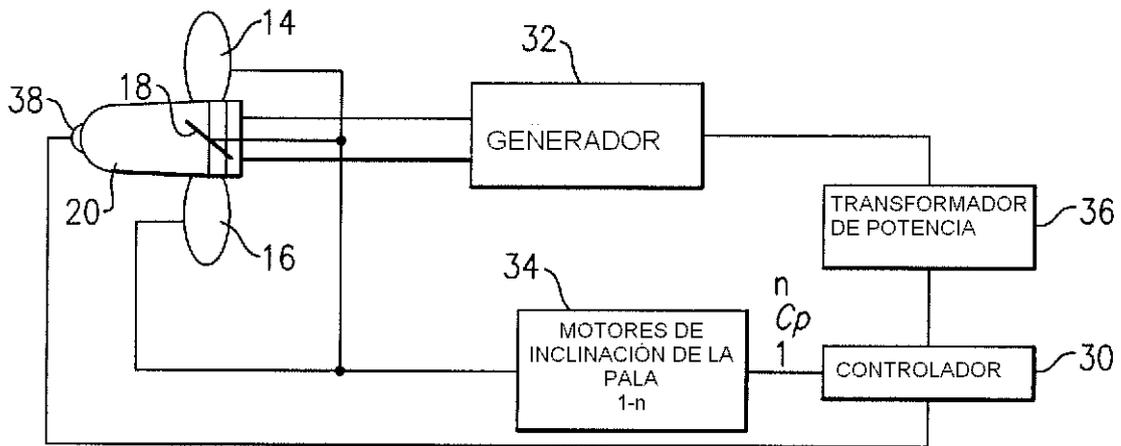


FIG.5

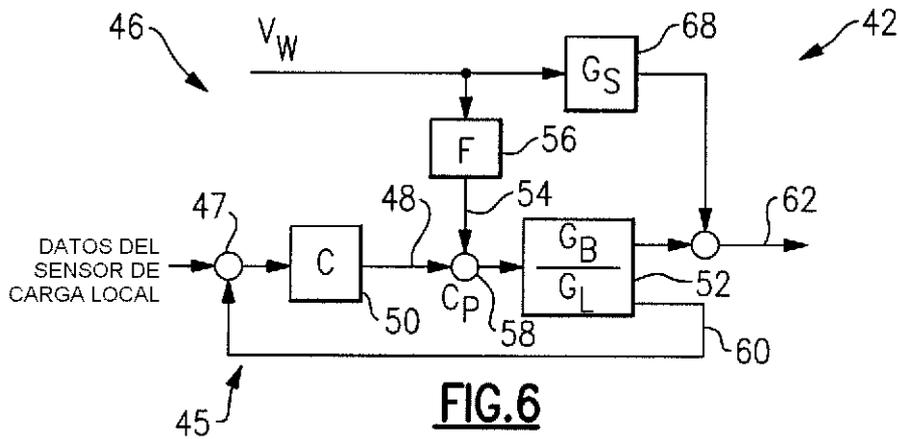


FIG.6

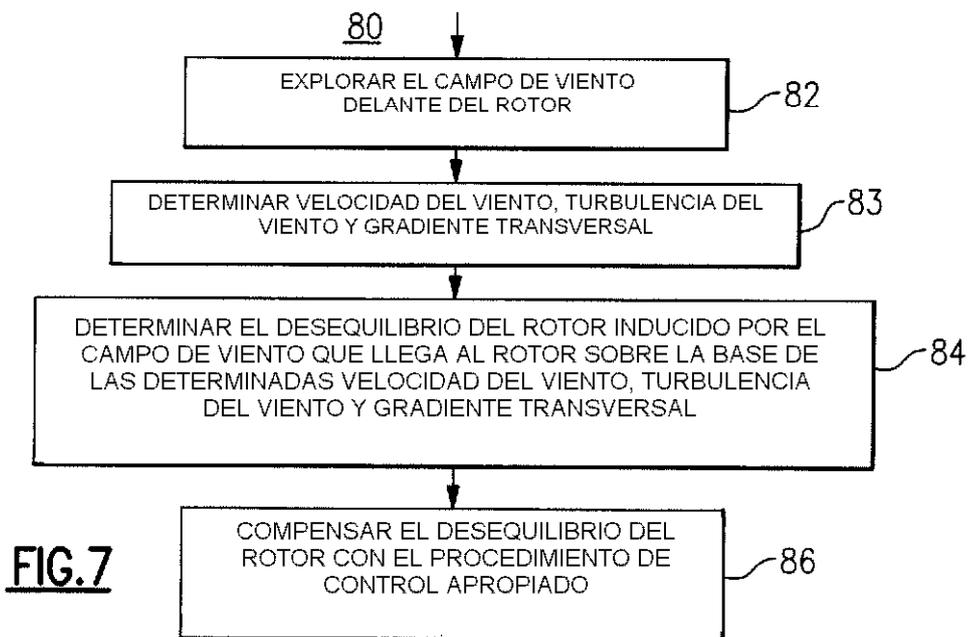


FIG.7