

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 616 706**

51 Int. Cl.:

F03D 7/04

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.12.2010 PCT/EP2010/070443**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.06.2011 WO2011076818**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.12.2010 E 10805229 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.01.2017 EP 2516852**

54 Título: **Método y aparato para proteger turbinas eólicas de daños**

30 Prioridad:

**23.12.2009 GB 0922601
23.12.2009 US 289872 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
14.06.2017

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)
Hedeager 42
8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:

**BOWYER, ROBERT;
SPRUCE, CHRISTOPHER;
CREABY, JUSTIN y
WEDEL-HEINEN, JENS, JAKOB**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 616 706 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

Método y aparato para proteger turbinas eólicas de daños

Campo de la invención

5 Esta invención se refiere a turbinas eólicas y más específicamente a la protección de turbinas eólicas del daño producido por condiciones excepcionales o de viento extremo.

Antecedentes de la invención

10 Cuando se selecciona una turbina eólica para una ubicación de funcionamiento dada, deben considerarse las características del sitio tales como las complejidades del terreno del sitio y las condiciones de viento normal. Las turbinas elegidas pueden hacerse funcionar idealmente a potencia nominal durante la mayor cantidad de tiempo posible. Sin embargo, en la práctica, las velocidades del viento son variables y la turbina debe poder hacer frente a una amplia variedad de velocidades del viento. A velocidades del viento inferiores, la salida de potencia o bien será cero, si hay viento insignificante, o bien por debajo de la potencia nominal. Una vez la velocidad del viento aumenta hasta por encima de lo requerido para la generación de potencia nominal, la turbina se protegerá del daño, por ejemplo, variando el paso de las palas para reducir la potencia extraída del viento. En casos extremos, la turbina puede apagarse o dar guiñadas fuera del viento para impedir un daño catastrófico. Sin embargo, un procedimiento de apagado o guiñada de emergencia lleva tiempo, y en algunas circunstancias puede no ser capaz de impedir que se produzca un daño grave a los componentes de la turbina

15 Cuando se diseñan turbinas eólicas, es deseable maximizar la longitud de las palas y en general minimizar el peso de los componentes. Sin embargo, este procedimiento es un equilibrio entre la reducción en el coste de generar electricidad y la integridad de la turbina eólica; la turbina debe diseñarse para poder soportar las condiciones más intensas del viento al que se expondrá.

20 Una condición del viento parcialmente problemática es una ráfaga extrema. Una ráfaga de este tipo puede producirse sólo una vez al año o cada pocos años, pero tiene el potencial de producir un daño grave a la turbina eólica. Un perfil de ráfaga particular usado por los diseñadores es la denominada ráfaga de tipo "sombrero mejicano" en la que la velocidad del viento incidente disminuye justo antes de que la ráfaga incida en la turbina. La disminución en la velocidad se detecta en la turbina que puede ajustar el paso de las palas en respuesta a aumentar la potencia generada. Cuando la ráfaga extrema incide entonces en el rotor de turbina, se ajusta el paso de las palas en un ángulo inapropiado que aumenta enormemente la carga sobre las palas y por tanto la posibilidad de daño grave a los componentes de la turbina. La condición de ráfaga extrema de tipo sombrero mejicano se describe en la norma internacional IEC 64100-1, tercera edición en S.6.3.2.2. La norma internacional IEC 61400-1 define una ráfaga como un cambio temporal en la velocidad del viento (definiciones 3.20) y velocidad de viento extremo como el valor de la velocidad del viento superior, promediada con respecto a t s con una probabilidad anual de superar $1/N$ ("periodo de recurrencia": N años). Una nota a esta definición establece que en la norma, se usan periodos de recurrencia de $N=50$ años y $N=1$ año e intervalos de tiempo promedio de $t=3$ y $=10$ min, sin embargo, la turbina se diseña usando velocidades de viento extremo para casos de carga de diseño.

25 La sección 6.3.2.2 define una ráfaga operativa extrema (EOG) como:

La magnitud de la ráfaga a la altura del cubo $V_{ráfaga}$ viene dada para las clases de turbina eólica convencionales por la siguiente relación:

$$V_{ráfaga} = \text{Min} \left\{ 1,35(V_{g1} - V_{cubo}); 3,3 \left(\frac{\alpha_1}{1 + 0,1 \left(\frac{D}{\Lambda_1} \right)} \right) \right\}$$

40 donde

α_1 es el valor representativo de la desviación estándar de la turbulencia;

Λ_1 es el parámetro de escala de la turbulencia;

D es el diámetro del rotor.

45 Otras condiciones extremas que deben tener en cuenta los diseñadores de turbinas eólicas incluyen cambios extremos en la dirección del viento, cizalladura de viento extremo, turbulencia extrema y una ráfaga coherente extrema con cambio de dirección.

Debido a la necesidad de diseñar turbinas eólicas que sobrevivan a estas condiciones extremas, las turbinas son efectivamente demasiado complejas para las condiciones de funcionamiento normales. Se ha apreciado que si pudieran mitigarse los efectos de estas condiciones de funcionamiento extremas, se reduciría en particular la cantidad de material usado en las palas de turbina disminuyendo los costes de fabricación. Alternativamente, las palas podrían hacerse más grandes lo que podría aumentar la captura de energía a velocidades del viento bajas y permitir que se logre una mayor potencia nominal.

Sumario de la invención

Según la invención, se proporciona un sistema de control para una turbina eólica, que comprende un dispositivo montado en la turbina eólica para detectar una propiedad de condiciones del viento en una posición en contra del viento de la turbina eólica, un detector para recibir y procesar señales procedentes del dispositivo de detección para detectar condiciones de viento extremo en la posición en contra del viento de la turbina eólica y proporcionar una salida, un corrector para procesar una salida del dispositivo de detección y corregir la salida para tener en cuenta la inducción axial y/o la coherencia del viento, y un controlador para generar una o más señales de control en respuesta a la salida corregida del dispositivo de detección para variar un punto de referencia de funcionamiento de la turbina eólica hasta un valor fuera de un valor de funcionamiento normal en respuesta a la detección de la condición de viento extremo.

La invención también proporciona un método de control de una turbina eólica, que comprende detectar un parámetro de condiciones del viento en una posición en contra del viento de la turbina usando un dispositivo de detección montado en la turbina eólica, recibir y procesar señales de salida procedentes del dispositivo de detección en un detector para detectar una condición de viento extremo en la posición en contra del viento de la turbina eólica, comprendiendo el procesamiento corregir la señal de salida para tener en cuenta la inducción axial y/o la coherencia del viento, y generar una o más señales de control en un controlador para variar un punto de referencia de funcionamiento de la turbina eólica hasta un valor fuera de un valor de funcionamiento normal en respuesta a la detección de la condición de viento extremo.

Las realizaciones de la invención permiten que una turbina eólica detecte condiciones de viento extremo con suficiente antelación como para que pueda emprenderse una acción evasiva antes de que las condiciones extremas lleguen a la turbina eólica. Esto permite que se mitiguen los efectos potencialmente catastróficos de las condiciones extremas. Los datos reunidos por el dispositivo de detección se corrigen para tener en cuenta la inducción axial y/o la coherencia del viento. Esto se facilita preferiblemente mediante el uso de un dispositivo de detección de compuerta de selección múltiple que detecta condiciones en una pluralidad de posiciones. Tanto la corrección para inducción axial como para coherencia del viento tienen la ventaja de que la detección de eventos extremos es más precisa, evitando la acción evasiva innecesaria que da como resultado una pérdida de generación de potencia, por tanto sólo deben emprenderse cuando es absolutamente necesario. Puesto que las realizaciones de la invención tienen la ventaja de mitigar los efectos de condiciones de viento extremo, los componentes de la turbina eólica tales como las palas no tienen que diseñarse para soportar todo el efecto de las condiciones de viento extremo. Como resultado, las palas y otros componentes pueden ser más ligeros, con menos material, reduciendo así los costes de fabricación. Alternativamente, para una instalación dada, pueden usarse palas grandes, permitiendo que se extraiga más energía del viento.

Preferiblemente, el detector detecta uno o más de velocidad de viento extremo, ráfagas de viento extremo, turbulencia extrema, cambio extremo de dirección del viento y cizalladura de viento extremo. La acción evasiva emprendida en respuesta a la detección dependerá de qué condición extrema, o de qué combinación de condiciones extremas, se detecte y de su gravedad.

Preferiblemente, el dispositivo de detección detecta una propiedad de condiciones del viento en una pluralidad de posiciones en contra del viento de la turbina eólica y preferiblemente en posiciones entre 0,5 y 3 diámetros de rotor delante de la turbina eólica. El dispositivo de detección puede montarse en la góndola de la turbina, en la torre, en el cubo o en palas individuales. Puede usarse un único dispositivo montado en una pala o pueden usarse múltiples dispositivos en una pala. Pueden usarse uno o más dispositivos en más de una pala.

Las señales de control generadas por el controlador en respuesta a la detección de un evento extremo pueden comprender una señal de guiñada y/o una señal de potencia. La señal de potencia puede comprender una instrucción de apagado del generador, una instrucción de ajuste de paso de pala del rotor, una instrucción de salida de potencia del generador y/o una instrucción de límite de empuje.

Preferiblemente, el valor de la una o más señales de control se determina con referencia a los valores existentes de los parámetros que van a controlarse.

Preferiblemente el dispositivo de detección es un anemómetro Doppler, tal como un anemómetro láser Doppler. Un Lidar es un dispositivo de detección preferido.

La invención también se refiere a una turbina eólica que tiene un sistema de control tal como se definió anteriormente.

Ahora se describirán realizaciones de la invención, a modo de ejemplo únicamente, y con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1 es una vista de extremo de una turbina eólica;

la figura 2 es una vista lateral de la turbina eólica de la figura 1 mostrándose las palas sólo parcialmente; y

5 la figura 3 es una vista esquemática de un controlador para la turbina eólica de las figuras 1 y 2.

Las figuras 1 y 2 ilustran una turbina eólica 1 que realiza la invención que comprende una torre 2, una góndola 3 que aloja un generador (no mostrado) y un rotor 14 que porta tres palas de rotor 5. Parte de la torre y parte de las palas se omiten en la figura 2 por motivos de claridad. Un buje 4 está montado en el cubo de rotor y un anemómetro de cazoletas 6 y un sensor de viento ultrasónico 7 están dispuestos sobre la superficie superior de la góndola 3. Aunque los rotores de turbina eólica más comerciales tienen tres palas, el número de palas puede ser diferente.

Un dispositivo de detección 10 también está montado en la turbina eólica. El dispositivo de detección detecta una o más propiedades del viento en una posición delante de o en contra del viento de la turbina eólica. El dispositivo de detección puede ser un dispositivo de medición de la velocidad del viento sencillo, pero un dispositivo preferido es un anemómetro Doppler. Este dispositivo es preferiblemente un anemómetro láser Doppler tal como un Lidar, aunque pueden usarse otros tipos de anemómetro Doppler tal como un SODAR o RADAR. En la siguiente descripción se usa un Lidar como el dispositivo preferido. En algunas realizaciones más sencillas puede usarse un dispositivo de anemómetro que no usa el efecto Doppler. El Lidar se muestra en las figuras 1 y 2 montado en la superficie superior de la góndola, pero su posición puede variar. Por ejemplo, puede montarse en la torre, en la parte inferior de la góndola, en el buje o incluso en las palas. En este último caso, puede montarse un Lidar independiente en cada pala o un único Lidar en sólo una o dos de las palas. Una pala puede tener más de un Lidar.

Se conoce el uso de Lidar para controlar el funcionamiento de una turbina eólica en condiciones de funcionamiento normales, por ejemplo, del documento US 6.320.272 de Lading *et al.* Este documento enseña el uso de un sistema de medición láser de la velocidad del viento tal como un Lidar (Light Detección and Ranging, radar óptico) montado en la góndola. El Lidar funciona emitiendo un haz de láser delante de la turbina eólica para medir condiciones a una distancia delante de la turbina eólica. El Lidar funciona de una manera conocida o bien detectando moléculas de aire o bien detectando partículas atrapadas en la corriente de aire y calculando información sobre el flujo de aire a partir de estas mediciones. Esta información puede incluir la velocidad y la dirección del viento y la cizalladura del viento en las direcciones vertical y horizontal, aunque los parámetros que pueden calcularse dependerán de la complejidad del Lidar usado. En los usos conocidos del Lidar, pueden controlarse los parámetros de funcionamiento de la turbina eólica para optimizar la cantidad de energía que puede extraerse del viento.

En realizaciones de la presente invención, se usa el Lidar conjuntamente con el sistema controlador para detectar una condición de entrada de viento extremo, tal como una ráfaga, que o bien requiere que la turbina eólica se someta a un apagado de emergencia o bien que se “sumerja” en el viento de manera que la ráfaga no dañe la turbina. Esto último puede incluir ajustar el paso de las palas a una posición extrema de manera que se minimice la carga sobre las palas. Esto también puede incluir, adicional o alternativamente, someter a una guiñada rápida para mover el rotor fuera del viento. La primera opción puede incluir desconectar el generador de la turbina de la red de distribución eléctrica. Esta acción contrasta con la técnica anterior que busca realizar pequeños ajustes de optimización en puntos de referencia del sistema para optimizar el rendimiento.

Las condiciones de viento extremo se definen en la norma IEC 61400-1 como eventos de cizalladura del viento por encima de una determinada magnitud, velocidades del viento máximas debidas a tormentas y cambios rápidos en la velocidad y la dirección del viento. Normalmente son eventos que se producen muy rara vez, por ejemplo de promedio una vez al año.

En una realización sencilla de la invención, el Lidar detecta una ráfaga coherente extrema a aproximadamente 0,5 - 3 diámetros de rotor aguas arriba del rotor. Para un rotor de 100 m de diámetro, esto es aproximadamente 50 - 300 m y para una ráfaga de 30 m/s, equivale a un aviso previo de 1,6 - 10 s de la ráfaga. Esta distancia no es fija, pero necesita estar suficientemente lejos delante de la turbina eólica para permitir que la turbina eólica emprenda la acción evasiva cuando se requiere. El límite de la distancia estará regido por la potencia y la calidad del Lidar.

En el caso sencillo de detección de ráfaga coherente, el Lidar puede ser una unidad de tipo simple observación que tiene una única unidad de medición láser que envía un único haz de láser aguas arriba de la turbina. Sin embargo, se prefiere que se usen una pluralidad de unidades de medición láser, por ejemplo prefiriéndose detectar una ráfaga extrema. Esta redundancia es deseable ya que la detección de un evento extremo es un evento de seguridad crítico y la redundancia protege contra el fallo de una o más las unidades de medición láser. Por el mismo motivo se prefiere que las unidades de medición láser tengan cada una sus propias líneas de suministro eléctrico separadas físicamente para diferentes fuentes de suministro eléctrico dentro de la turbina. Si no se proporcionan suministros eléctricos individuales, entonces al menos deben estar presentes dos suministros.

El Lidar puede detectar una ráfaga extrema varios segundos antes de que llegue a la turbina eólica. Esto da tiempo suficiente para que el controlador de la turbina comience el apagado o emprenda otra acción evasiva. El controlador,

basándose en datos recibidos del Lidar, puede reiniciar entonces la turbina una vez que ha pasado la ráfaga.

Por tanto, el Lidar se usa en este supuesto sencillo para evitar la carga extrema de los componentes de la turbina producida por ráfagas extremas. Como resultado, no es necesario que los componentes de la turbina se diseñen para soportar tales cargas altas y pueden realizarse más ligeros o más grandes para aumentar la captura de energía a velocidades del viento inferiores.

Cuando el Lidar detecta que la ráfaga extrema no es suficientemente grave como para requerir un apagado total, el controlador puede reducir la velocidad de rotación del rotor y reducir el par de torsión a través de una señal de demanda de corriente del generador antes de que la ráfaga alcance el rotor. Esto tiene la ventaja de que puede reanudarse el funcionamiento normal más rápidamente que en el ejemplo anterior. Se apreciará que el movimiento del punto de referencia del generador es significativo y mucho mayor que el que se aplicaría para optimizar el rendimiento en condiciones normales. Por tanto, en respuesta a la detección de una ráfaga extrema, el controlador puede ajustar un punto de referencia de demanda de corriente del generador a un valor que no apague la turbina eólica pero que está fuera de las condiciones de funcionamiento normales para el generador.

En una realización más compleja, el controlador puede proteger la turbina eólica frente a tanto ráfagas extremas como cambios de dirección de viento extremo. Esto requiere un Lidar más complejo ya que debe detectar tanto la dirección como la velocidad, aunque por lo demás es similar a la disposición descrita anteriormente que requiere sólo un Lidar de tipo observación frontal. La redundancia y los controles son ambos tal como se describió anteriormente. En todas las realizaciones de la invención, puesto que la ráfaga u otra detección de evento extremo es un evento de seguridad crítico, la turbina debe tener un modo seguro que pueda aparecer por defecto si falla el Lidar.

En realizaciones más complejas, el Lidar puede detectar la velocidad, la dirección, la cizalladura vertical y una cizalladura horizontal del viento. La capacidad para detectar todos estos parámetros requiere un Lidar más complejo que el de tipo sencillo de observación frontal de las realizaciones anteriores. Un Lidar adecuado es un Lidar de barrido que usa una única o preferiblemente múltiples unidades de medición láser que tienen cada una, una dirección de observación inclinada con respecto al eje de rotación del rotor de turbina. Puede usarse una única unidad con múltiples lentes para generar múltiples haces. Cuando el Lidar se monta en el cubo de rotor, estos haces describirán cada uno un círculo que permite un mapa bidimensional del campo eólico que va a construirse. Un ejemplo de este tipo de Lidar se describe en el documento US-A-7.281.891. Alternativamente, cuando el Lidar se monta en un componente estático de la turbina eólica, el Lidar puede dotarse de un mecanismo de exploración tal como un espejo rotatorio para permitir que el haz o los haces exploren el campo eólico. Este tipo de dispositivo Lidar también se conoce.

Preferiblemente, el Lidar medirá las condiciones del viento en una pluralidad de distancias delante de la turbina eólica. También se conoce en la técnica un Lidar de compuerta de selección múltiple. Son deseables múltiples mediciones de distancia ya que el frente de viento que se aproxima a la turbina eólica variará y se desarrollará.

Además de medir las condiciones del viento a varias distancias, también es deseable, aunque no esencial, corregir los datos obtenidos del Lidar para tener en cuenta la inducción axial y la coherencia del viento. Aunque estas correcciones no son esenciales, se prefiere realizar la corrección, ya que un fallo puede dar como resultado que una ráfaga se identifique como extrema cuando no lo es y que se emprenda una acción evasiva innecesaria. Esto da como resultado una pérdida innecesaria de producción y una pérdida económica para el operador.

Se produce inducción axial delante del rotor y se produce por una acumulación de presión delante del rotor producida por el rotor. Esto tiende a ralentizar el flujo de aire a través del rotor y extiende el flujo de aire radialmente hacia el exterior.

Se requiere corrección de la coherencia del viento ya que la naturaleza turbulenta del viento hace que el flujo de aire cambie cuando se mueve de un punto a otro. Por tanto, una ráfaga detectada en una compuerta de selección distante puede cambiar drásticamente en el momento que la ráfaga alcanza la turbina eólica. Las correcciones de coherencia pueden basarse en datos y modelos acumulados a partir de múltiples mediciones de compuerta de selección y pueden ser específicas para una turbina eólica dada ya que las condiciones locales tales como el terreno pueden afectar a la coherencia local.

Un controlador que implementa estas correcciones se ilustra en la figura 3. El campo eólico se ilustra en 20 y se detecta por el Lidar 30 que emite, en múltiples intervalos, mediciones de la velocidad del viento 32, la dirección del viento 34, la cizalladura vertical 36 y la cizalladura horizontal 38. Estos valores se corrigen por el controlador en primer lugar para la inducción axial en 40 y luego para la coherencia en 42 aunque el orden de corrección no es importante. Entonces se convierten las mediciones corregidas en una señal de tiempo en 44 aplicando una función de transferencia de la distancia con respecto al tiempo para proporcionar señales de Lidar corregidas que proporcionan una entrada a una unidad de detección de evento extremo 46. Esta unidad procesa las señales del Lidar y si se detecta un evento extremo que daría como resultado una carga extrema, la unidad puede emitir un evento de activación de acción extrema. La unidad de detección de evento extremo puede detectar una velocidad de viento extremo 48, ráfaga operativa extrema 50, turbulencia extrema 52, cambio de dirección extremo 54 y

- 5 cizalladura de viento extremo 56 y emitir una señal de activación en una salida respectiva tal como se muestra en la figura 3. Las activaciones de salida extrema forman entradas para una unidad de acción de evento extremo 60 que envía instrucciones a la turbina para que emprenda la acción evasiva apropiada dependiendo de la entrada de activación extrema. Un evento dado puede generar una o más activaciones y la unidad de acción extrema determina qué acción emprender basándose en el tipo y el número de activaciones. Cada condición extrema, combinación de condiciones extremas y nivel de extremidad de cada condición tiene un curso de acción predeterminado. Esto puede almacenarse, por ejemplo, como una tabla de consulta dentro de la unidad de acción de evento extremo 60.
- 10 La unidad de acción de evento extremo emite uno o ambos de una instrucción de ángulo de guiñada 64 o una petición de nivel de potencia 62. Las señales de petición se envían como señales de nivel de potencia de evento extremo y de ángulos de guiñada de evento extremo a una unidad de control de producción 70 que también recibe como entrada señales de realimentación de la turbina 72 procedentes de la turbina eólica y genera como salidas señales de control del sistema que se aplican a la turbina eólica 80 para controlar los parámetros de la turbina eólica.
- 15 La señal de ángulo de guiñada desarrollada por la unidad de acción de evento extremo 60, cuando se aplica a una señal de control por la unidad de control de producción hace que el accionamiento de guiñada de la turbina eólica mueva el rotor fuera del viento. La señal de control se ha desarrollado en respuesta a la detección previa de un evento extremo y hay tiempo suficiente para que el accionamiento de guiñada de la turbina eólica mueva el rotor fuera de la trayectoria del viento que se aproxima antes de que llegue a la turbina, de modo que se minimiza la carga sobre el rotor producida por el acontecimiento extremo y se minimiza el daño.
- 20 La señal de control del nivel de potencia desarrollada por la unidad de acción de evento extremo 60 hará que el nivel de potencia del generador cambie desde su punto de referencia de funcionamiento normal hasta un nivel por debajo de las condiciones de funcionamiento normales. La señal de petición de nivel de potencia enviada dependerá de la naturaleza y la gravedad del evento extremo y puede incluir una instrucción de apagado del generador en respuesta a la cual el controlador realiza un apagado de emergencia. Esto puede implicar abrir los contactos del generador e impedir la generación de energía, desconectando así el generador de la red eléctrica a la que está unido.
- 25 Alternativamente, el perfil de nivel de potencia enviado a la unidad de control de producción 70 puede comprender una referencia de paso que proporciona un nuevo punto de referencia para que las palas del rotor se muevan de modo que la carga sobre las palas se reduce cuando el evento extremo alcanza la turbina eólica. Un tercer nivel de potencia proporciona una señal de referencia de potencia nueva para reducir la potencia generada por el generador; y un cuarto nivel de potencia es una señal de límite de empuje. Ha de entenderse que esto no es una lista exhaustiva de respuestas a la detección de un evento extremo y que el controlador responde a la detección de un evento extremo emprendiendo la acción apropiada para minimizar o evitar el daño a los componentes de la turbina eólica.
- 30 Aunque en algunos eventos extremos es esencial el apagado del generador, se prefiere emprender una acción menos drástica si es posible, ya que la acción puede revertirse más rápidamente cuando las señales recibidas del Lidar indican que el evento extremo ha pasado y que pueden reanudarse los puntos de referencia de funcionamiento normal.
- 35 Las realizaciones de la invención tienen la ventaja de que puede evitarse o minimizarse el daño a los componentes de la turbina eólica producido por eventos extremos mediante la detección con antelación del evento, seguido por la acción evasiva que puede emprenderse antes de que el evento extremo llegue a la turbina eólica. Como resultado, no es necesario que los componentes de la turbina eólica, en particular las palas, se diseñen para soportar todo el impacto de los eventos extremos y por tanto pueden realizarse usando menos material o más grandes.
- 40 Son posibles diversas modificaciones a las realizaciones descritas y se les ocurrirán a los expertos en la técnica sin apartarse de la invención que se define por las reivindicaciones siguientes.
- 45

REIVINDICACIONES

1. Sistema de control para una turbina eólica, que comprende
un dispositivo montado en la turbina eólica para detectar una propiedad de condiciones del viento en una posición en contra del viento de la turbina eólica,
5 un corrector para corregir una salida del dispositivo de detección y proporcionar una salida corregida para tener en cuenta inducción axial y coherencia del viento,
un detector para recibir y procesar la salida corregida para detectar condiciones de viento extremo en la posición en contra del viento de la turbina eólica y proporcionar una salida de activación de acción extrema tras la detección de las condiciones de viento extremo, y
10 un controlador para generar una o más señales de control para variar un punto de referencia de funcionamiento de la turbina eólica hasta un valor fuera de un valor de funcionamiento normal tras recibir la activación de acción extrema.
2. Sistema de control según la reivindicación 1, en el que el detector detecta uno o más de velocidad de viento extremo, ráfaga de viento extremo, turbulencia extrema, cambio extremo de dirección del viento y cizalladura de viento extremo.
15
3. Sistema de control según la reivindicación 1 ó 2, en el que el dispositivo de detección mide condiciones del viento en una pluralidad de posiciones en contra del viento de la turbina eólica.
4. Sistema de control según la reivindicación 1, 2 ó 3, en el que el dispositivo de detección está montado en la góndola de turbina eólica, en la torre de turbina eólica, en una pala del rotor de turbina eólica o en el cubo de rotor de turbina eólica.
20
5. Sistema de control según cualquier reivindicación anterior, en el que el dispositivo de detección detecta condiciones del viento en una posición entre 0,5 y 3 diámetros de rotor en contra del viento de la turbina eólica.
6. Sistema de control según cualquier reivindicación anterior, en el que la una o más señales de control comprenden una señal de guiñada, una señal de nivel de potencia, una instrucción de apagado del generador, una instrucción de paso de pala del rotor, una instrucción de salida de potencia del generador o una instrucción de límite de empuje.
25
7. Sistema de control según la reivindicación 6, en el que el valor de la una o más señales de control se determina con referencia a valores existentes de los parámetros que van a controlarse.
- 30 8. Sistema de control según cualquier reivindicación anterior, en el que el dispositivo de detección es un anemómetro Doppler o un Lidar.
9. Turbina eólica que incluye un sistema de control según cualquier reivindicación anterior.
10. Método de control de una turbina eólica, que comprende
35 detectar un parámetro de condiciones del viento en una posición en contra del viento de la turbina usando un dispositivo de detección montado en la turbina eólica,
corregir una salida del dispositivo de detección y proporcionar una salida corregida para tener en cuenta la inducción axial y la coherencia del viento,
recibir y procesar la salida corregida para detectar una condición de viento extremo en la posición en contra del viento de la turbina eólica y proporcionar una activación de acción extrema, y
40 generar una o más señales de control en un controlador para variar un punto de referencia de funcionamiento de la turbina eólica hasta un valor fuera de un valor de funcionamiento normal tras recibir la activación de acción extrema.
11. Método según la reivindicación 10, en el que el detector detecta uno o más de velocidad de viento extremo, ráfaga de viento extremo, turbulencia extrema, cambio extremo de dirección del viento y cizalladura de viento extremo.
45
12. Método según la reivindicación 10 u 11, en el que el dispositivo de detección detecta condiciones del viento en una pluralidad de posiciones en contra del viento de la turbina eólica.

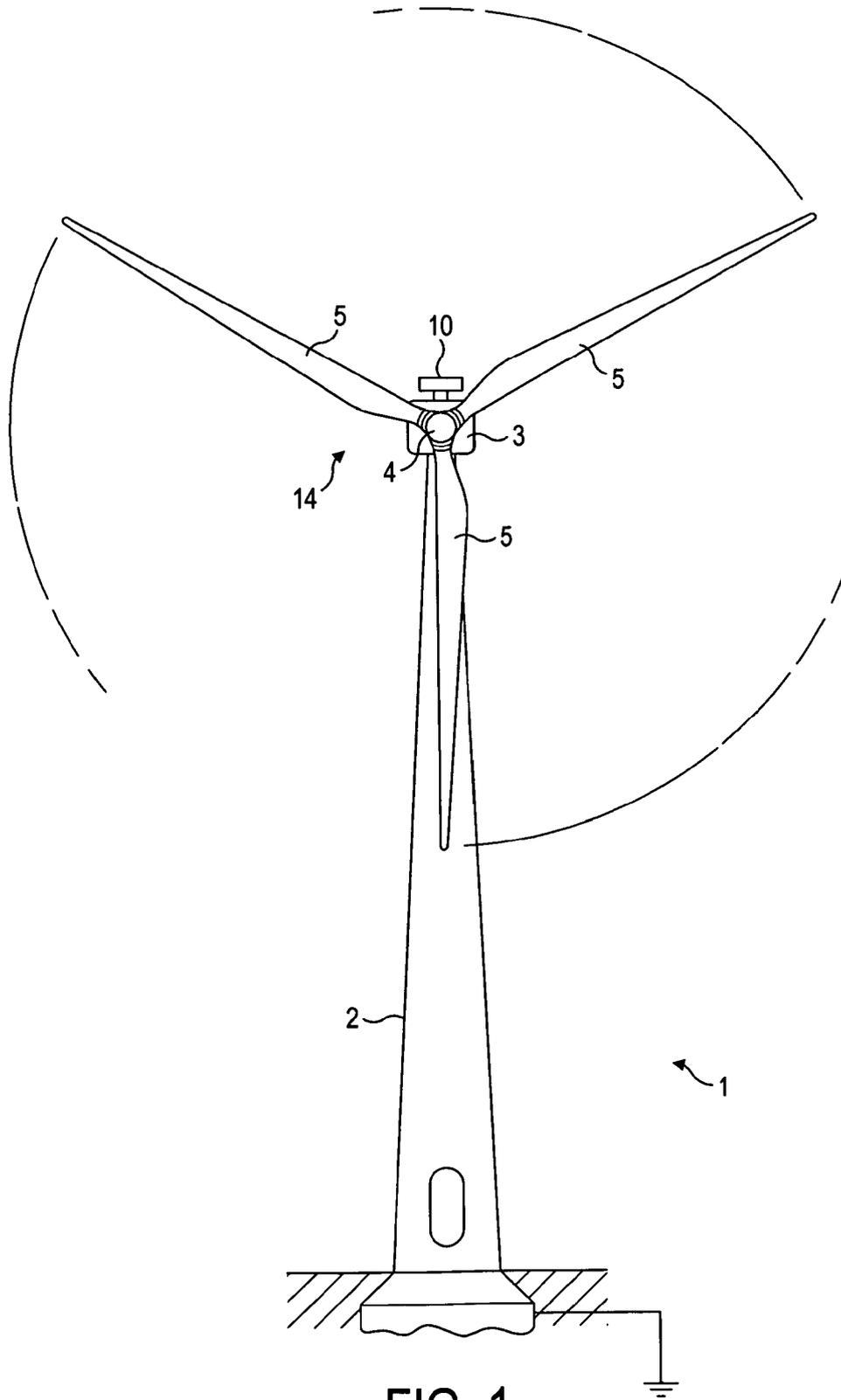


FIG. 1

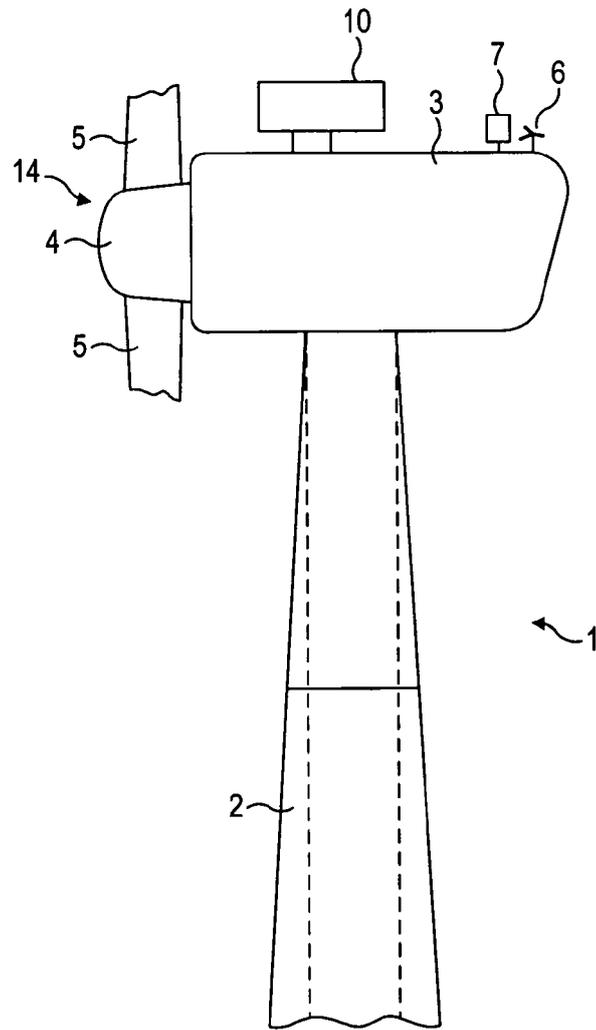


FIG. 2

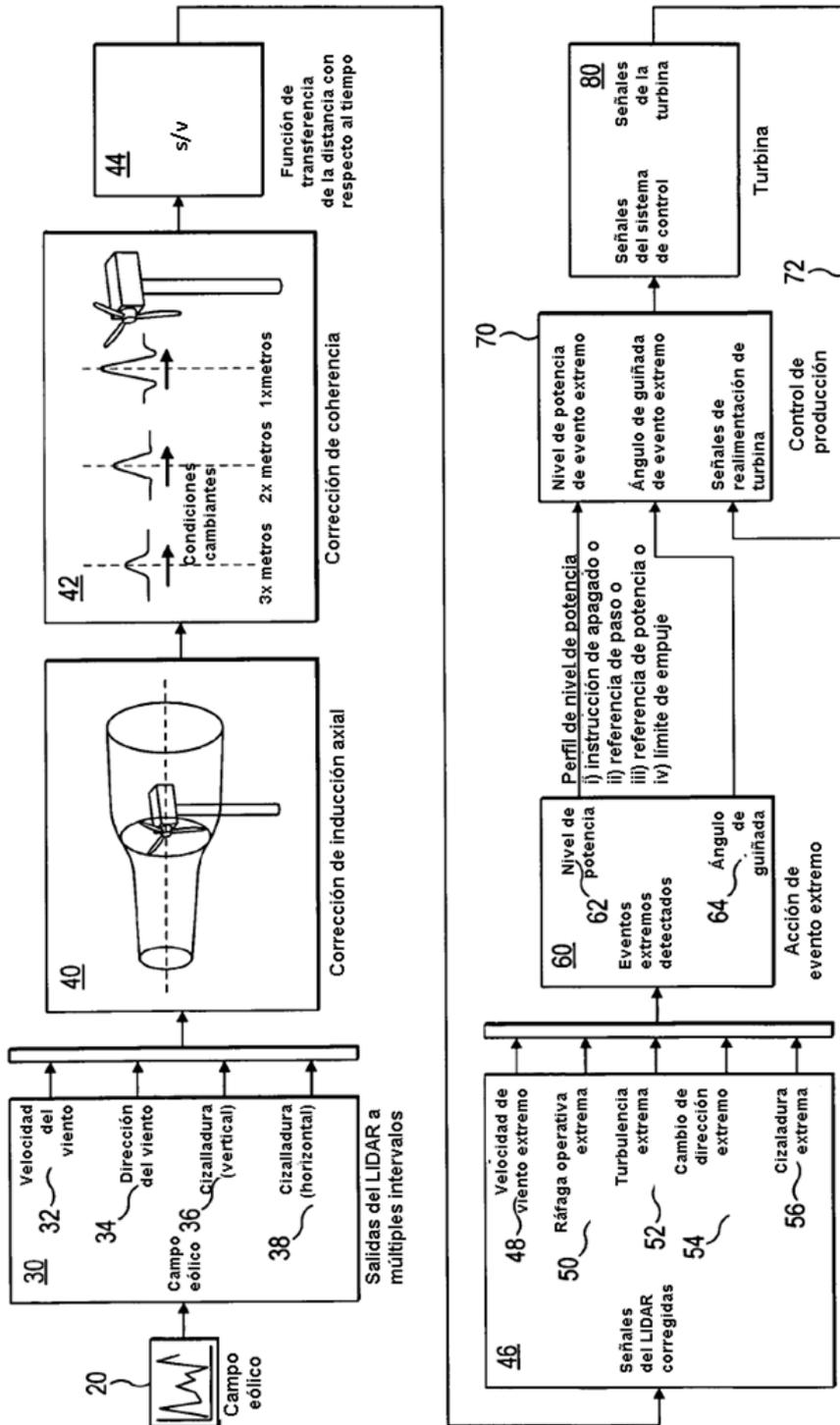


FIG. 3