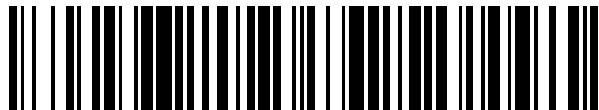


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 658 364**

51 Int. Cl.:

F03D 7/04 (2006.01)

F03D 17/00 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.05.2013 PCT/EP2013/059800**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.11.2013 WO13171154**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.05.2013 E 13726443 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.12.2017 EP 2850317**

54 Título: **Procedimiento de control del ángulo de paso de al menos una pala de turbina eólica**

30 Prioridad:

18.05.2012 EP 12168478

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

09.03.2018

73 Titular/es:

**ROMO WIND AG (100.0%)
Baarerstrasse 80
6300 Zug, CH**

72 Inventor/es:

**HANSEN, JESPER KJÆR y
HØJSTRUP, JØRGEN**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 658 364 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

Procedimiento de control del ángulo de paso de al menos una pala de turbina eólica

Campo de la invención

5 La invención se refiere a un procedimiento y aparato para controlar el ángulo de paso de al menos una pala de turbina eólica en un rotor en una turbina eólica.

Antecedentes de la invención

10 En una turbina eólica es esencial para controlar el ángulo de paso de las palas. Una turbina eólica convencional tiene un rotor, que comprende un número de palas, por lo general tres palas, y un control de giro. En algunos modelos de turbina, las denominadas turbinas con regulación de paso, el ángulo de paso de estas palas se puede
ajustar mecánica y dinámicamente mediante un mecanismo de paso que depende de las condiciones reales del
viento. En funcionamiento, el sistema de control de la turbina eólica ajusta o controla el ángulo de paso de las palas
para garantizar un rendimiento óptimo de la turbina eólica. Esto es para mantener la velocidad de giro del rotor
dentro de los límites de funcionamiento y minimizar el desgaste de la turbina eólica. Bajo ciertas circunstancias, tales
como velocidades de viento altas o bajas, la turbina eólica puede quedar fuera de servicio, ya sea deteniendo
15 completamente el rotor o asegurando al menos una velocidad de revolución lenta del rotor. Esto se puede hacer
mediante el ajuste/control del ángulo de paso de la pala de manera que el ángulo de ataque de las palas sea
desviado del viento.

20 Las turbinas eólicas de paso regulado conocidas tienen un sistema de control que controla el paso de las palas. Este sistema basa el control del ángulo de paso en la velocidad del viento medida por los sensores de viento de la turbina. Un anemómetro colocado en la góndola, detrás del rotor es un ejemplo de un procedimiento frecuentemente
utilizado para medir la velocidad del viento. Esta posición de los sensores de viento esta, sin embargo, lejos de ser
ideal, puesto que la veleta medirá el viento después de que ha pasado el rotor, cuando la turbina eólica está en
funcionamiento. Las mediciones se ven, por lo tanto, muy influenciadas por la turbulencia generada por el rotor, así
como por otros efectos aerodinámicos causados por la góndola. Además, los edificios, los árboles, y las turbinas
eólicas vecinas influirán significativamente en la velocidad de las lecturas de viento. Esto significa, que la veleta
transferirá información incorrecta al sistema de control de la turbina eólica. Los anemómetros de góndola utilizados
actualmente tampoco son capaces de detectar posibles fenómenos de viento perjudiciales tales como el
cizallamiento del viento y ángulos de inclinación del viento potencialmente dañinos. Esto es una desventaja puesto
que es deseable tener información de la velocidad del viento, cizallamiento del viento y el ángulo de inclinación del
viento del rotor tan fiable como sea posible.
30

Además, si la turbina eólica tiene más de una pala, de forma convencional tiene tres palas, el paso de pala de las palas se puede controlar independientemente uno del otro.

35 Además, se sabe del uso de un LiDAR para establecer la velocidad del viento contra el viento de la turbina eólica y utilizar esa información para controlar la turbina eólica. El documento EP 0 970 308 divulga una turbina eólica con un sistema anemómetro láser, tal como un LiDAR, que se utiliza para determinar la velocidad del aire delante de la turbina eólica. Además, se divulga que la velocidad del aire determinada delante de la turbina eólica se puede utilizar para controlar el paso de las palas de turbinas eólicas.

40 Un ejemplo de una turbina eólica controlada LiDAR se divulga conocer en el documento EP 2 025 929 A2. El mismo describe un procedimiento para controlar el paso de las palas basándose en las mediciones de un LiDAR. El LiDAR se monta en concentrados de la turbina eólica y se configura para medir los componentes de la velocidad del viento dentro de una porción predeterminada de un campo plano en frente del concentrador.
Cuando se utiliza un LiDAR como se ha divulgado en los documentos antes mencionados, la velocidad del viento se mide a una distancia sustancial en frente de la turbina eólica, al menos 20 metros. Sin embargo, la dirección y la
45 velocidad del viento cambiarán dentro de esta distancia; por consiguiente, los componentes de la velocidad del viento medida por un LiDAR serán diferentes de los componentes de la velocidad del viento que realmente ataca las palas. En consecuencia, las palas no pasan de manera óptima.

Además, si está lloviendo o nevando el LiDAR no puede medir la velocidad del viento, debido a que el rayo láser se bloquea y/o se ve interrumpido por las gotas de lluvia o copos de nieve, de tal manera, que ninguna información fiable puede recuperarse. Cuando la información no puede recuperarse la pala no puede pasar correctamente.

50 A partir del documento EP 2 112 373 se conoce un sistema para el control de la velocidad de giro del rotor de una turbina eólica basándose en la detección de dos componentes de la dirección del viento del viento al que se expone el rotor.

55 A partir del documento EP 2 025 929 se conoce un sistema básico para un mecanismo proactivo para controlar el paso de las palas de una turbina eólica mediante la colocación de las palas de forma individual o de forma asimétrica basándose en mediciones de las ráfagas de viento turbulentas en frente del rotor.

A partir del documento US 2010/0135789 se conoce un sistema y un procedimiento para controlar una turbina eólica que incluye la medición de una condición del viento a contraviento desde el rotor mediante un dispositivo de medición de condiciones contraviento.

5 A partir del documento GB 2476507 se conoce un anemómetro para detectar múltiples condiciones del viento corriente arriba incluyendo la velocidad, dirección y turbulencia del viento.

Sumario de la invención

Teniendo en cuenta la técnica anterior descrita anteriormente, un objeto de la presente invención es proporcionar un procedimiento y un aparato para controlar el ángulo de paso, basándose en datos fiables obtenidos mediante la medición del viento.

10 El objeto se puede lograr por medio de un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1. Mediante el uso del procedimiento presentado las palas se pueden inclinar de manera óptima para el viento real que ataca las palas y en todas las condiciones meteorológicas.

15 Un sensor ultrasónico puede comprender dos transductores entre los que se transmite una señal ultrasónica, mediante la medición del tiempo de viaje de la señal ultrasónica y conociendo la distancia entre los transductores es posible determinar la velocidad del viento.

Contraviento debe entenderse como el viento delante de la turbina eólica, el viento que fluye a contraviento en relación con la turbina eólica se ve sustancialmente inalterado por la turbina eólica. Al utilizar el viento a contraviento/delante de la turbina eólica, es posible asegurar que las palas se puedan controlar de forma óptima.

20 El experto en la materia reconocerá que el eje principal de una turbina eólica se puede inclinar, para asegurar que las palas no golpeen la torre de la turbina eólica. Por lo tanto, horizontal y alineado con la dirección del eje principal, debe entenderse como sustancialmente horizontal y sustancialmente alineado con la dirección del eje principal. También puede interpretarse como la dirección perpendicular al plano, definido por las palas del rotor.

25 El vector viento se tiene que entender como el vector de velocidad del viento que es el vector que describe la velocidad del viento. En un ejemplo, la primera componente del vector viento se entiende como la componente x y la segunda componente del vector viento es un vector en el plano definido por la componente y y la componente z.

Con el uso de un tercer componente, todos los tres vectores viento dimensionales pueden tomarse en cuenta cuando se controla el ángulo de paso.

30 La primera y segunda componentes del vector viento se pueden determinar por un anemómetro de control de giro como se describe en el documento EP 1733241 B1. El anemómetro de control de giro puede tener al menos un sensor fijado al rotor de la turbina eólica y un sensor angular, que puede determinar la posición angular del rotor. Un circuito es entonces capaz de convertir la relación entre la salida del al menos un sensor y la salida del sensor angular en la velocidad y dirección del viento, experimentado por la turbina eólica. En otras palabras, el anemómetro de control de giro puede determinar la velocidad del viento en tres dimensiones directamente en frente del plano del rotor. La determinación puede ser la medición, sin embargo, se debe entender que cuando se mide la salida del al menos un sensor, la salida debe ser procesada para determinar los componentes del vector viento.

35 El anemómetro de control de giro tiene varias ventajas con respecto al uso de LiDAR, puesto que los LiDAR no pueden determinar el ángulo de cizallamiento del viento ni la inclinación del viento, mientras que el anemómetro de control de giro puede determinar ambos. Además, los LiDAR tienen una pluralidad de otras desventajas. Los LiDAR son instrumentos delicados, que no son resistentes a las vibraciones. Los mismos utilizan láser y no pueden operarse bajo la lluvia, aguanieve ni nieve o ningún otro tipo de precipitación, puesto que el rayo láser se obstruye. Además, el láser no es capaz de operar si no hay partículas en suspensión en el aire cuando no se puede generar la retrodispersión. Estos inconvenientes se superan mediante el uso de un anemómetro de control de giro. Además, el precio de un LiDAR es relativamente alto en comparación con el anemómetro de control de giro y el software que lo acompaña y, en consecuencia, los requisitos de hardware son sustancialmente mayores para un LiDAR operacional en comparación con un anemómetro de control de giro.

40 En una realización, la primera y segunda componentes del vector viento se determinan mediante el uso de al menos un sensor ultrasónico situado contra el viento. Un sensor de este tipo puede ser un sensor, que es parte de un anemómetro de control de giro como se ha mencionado anteriormente. Contraviento debe entenderse como se ha mencionado anteriormente, por ejemplo, un sensor que se coloca a contraviento se puede situar en el control de giro o en las palas en el lado que se enfrenta a contraviento. En otras palabras, contraviento puede entenderse como delante del plano definido por las palas.

45 En una realización, el ángulo de paso se controla basándose en la media de la primera componente del vector viento y/o el promedio de la segunda componente del vector viento, preferentemente el promedio es durante un período de 1, 5, 10, 15 o 20 minutos. Dependiendo de la segunda componente del vector viento; el promedio de la primera y la segunda componentes puede dar el error de orientación de la turbina eólica o el ángulo de inclinación del viento. Si el rotor de la turbina eólica no está alineado correctamente, la turbina eólica tiene un error de orientación - el viento está en ángulo con respecto a un lado. El ángulo de inclinación del viento dice si el viento viene con un ángulo por encima o por debajo de la horizontal y sustancialmente alineado con la dirección del eje principal. En otras palabras el ángulo de inclinación del viento y/o el error de orientación, por ejemplo, medidos mediante un anemómetro de control de giro, se pueden utilizar a continuación como un parámetro de control para el control del paso de las palas

de la turbina eólica.

Preferentemente, el ángulo de paso se controla basándose en la turbulencia de la primera componente del vector viento, y/o la turbulencia de la segunda componente del vector viento. La turbulencia en una dimensión es la fluctuación de la velocidad en esa dimensión. Una componente del vector viento (la velocidad del viento), por ejemplo, la componente x, se puede describir mediante el uso de un valor medio y una fluctuación de la velocidad de la siguiente manera; $v_x = \overline{v_x} + v'_x$. Donde $\overline{v_x}$ es el valor medio de la velocidad del viento en la dirección x y v'_x es la fluctuación de la velocidad del viento en la dirección x. La turbulencia es igual a la fluctuación de la velocidad del viento. Por lo tanto, la turbulencia de la primera componente del vector viento puede entenderse como v'_x . Mediante el uso de la medición en tiempo real de la turbulencia, preferentemente medida por un anemómetro de control de giro, la turbina eólica se puede poner en un modo de reducción de carga cuando la turbulencia supera un valor predefinido. El modo de reducción de carga puede hacer pasar las palas para reducir la carga. Cuando se regula basándose en la turbulencia, se asegura reducir la única salida de potencia de la turbina eólica cuando es necesario, lo que aumenta la producción media de energía y elimina la necesidad de programar el controlador de las turbinas de viento de forma individual para cuidar de los sectores críticos, eliminando también la necesidad de una medición precisa de la posición de la góndola, lo que es problemático para muchos modelos de turbina.

En una realización, el ángulo de paso se controla basándose en los cambios repentinos de la primera componente del vector viento y/o en los cambios repentinos de la segunda componente del vector viento, en el que los cambios repentinos son cambios en el vector viento en más de un 50 % durante una escala de tiempo de 3 segundos y/o cambios de más de 7 m/s en una escala de tiempo de un minuto. Los cambios repentinos en el viento a menudo se asocian con niveles muy altos de ráfagas. Controlar el paso basándose en los cambios repentinos en el viento, permite al controlador de la turbina eólica tomar las medidas adecuadas para evitar cargas perjudiciales en la turbina eólica. Esto podría ajustar las palas, que en algunos casos pueden llevar el rotor a una parada. De acuerdo con la invención, el ángulo de paso se controla basándose en la descomposición espectral de la correlación entre la primera componente del vector viento y la segunda componente del vector viento, preferentemente la correlación entre la primera componente del vector viento y la segunda componente del vector viento constituye una medición del cizallamiento del viento. Mediante la descomposición espectral de la correlación de la primera componente del vector viento y la segunda componente del vector viento y preferentemente también la correlación de la primera componente del vector viento y la tercera componente del vector viento, se puede obtener información fiable del cizallamiento del viento relativa a diferentes separaciones. En consecuencia, el control del paso de las palas se puede mejorar, por ejemplo, a través de reducción de carga y/o la optimización de potencia de salida. $v_x = \overline{v_x} + v'_x$, $v_y = \overline{v_y} + v'_y$, $v_z = \overline{v_z} + v'_z$ Donde $\overline{v_x}$, $\overline{v_y}$, $\overline{v_z}$ es el valor medio de la velocidad del viento en la dirección x, y, z, respectivamente, y v'_x , v'_y , v'_z es la fluctuación de la velocidad del viento en la dirección x, y, z, respectivamente. La primera componente del vector viento puede ser v_x , la segunda componente del vector viento puede ser v_z y la tercera componente del vector viento puede ser v_y . A continuación, un sistema de coordenadas se puede elegir donde $\overline{v_y}$ y $\overline{v_z}$ sean cero y solamente $\overline{v_x}$ tiene un valor distinto de cero. Si esto se realiza la correlación entre v'_x y v'_z se puede determinar. Si es grande, existe un gradiente de viento grande en el plano xz y si es pequeña el gradiente de viento en el plano xz es pequeño. Si v_x es la velocidad del viento horizontal y alineado con la dirección del eje principal y v_z es la velocidad del viento vertical; entonces la correlación v'_x y v'_z da una medida del tamaño del cizallamiento del viento. El cizallamiento del viento se puede determinar a partir de la descomposición espectral de la correlación v'_x y v'_z de la siguiente manera: Se puede elegir una escala l que puede ser igual al diámetro del rotor, por ejemplo, 100 metros. Esta escala se puede convertir a una frecuencia f mediante el uso de la hipótesis de turbulencia congelada de Taylors de la siguiente manera; $f = \overline{v_x} / l$. Un filtro de paso de banda centrado en torno a f se puede utilizar, a continuación, para filtrar la correlación de v'_x y v'_z , con lo que la varianza $var(BP)$ de la señal se puede determinar. Por último, el cizallamiento del viento a través de la distancia de altura l se puede determinar como $(dv_z)/dt = C \sqrt{var(BP)} / l$. La constante C depende de la anchura de banda del filtro y puede determinarse experimentalmente. De manera similar el gradiente de viento se puede determinar en cualquier plano deseado.

Ventajosamente, el ángulo de paso se controla de tal manera que el rotor se lleva a una parada si la primera componente determinada del vector viento y/o la segunda componente determinada del vector viento exceden o caen por debajo de los valores predefinidos. Una turbina eólica puede inclinar las palas a fin de detener el giro del rotor en condiciones de viento predefinidas, tales como cuando la velocidad del viento supera o cae por debajo de un valor de operación predefinido, por ejemplo; velocidad del viento, ángulo de inclinación del viento, turbulencia, cambios repentinos en el viento y/o cizallamiento del viento. Esto se hace para minimizar el desgaste y obstaculizar dañar la turbina eólica en combinación con la optimización de la salida de potencia de la turbina eólica.

Preferentemente, la primera componente del vector viento y la segunda componente del vector viento se determinan a menos de 40 metros a contraviento del rotor, preferentemente menos de 10 metros, preferentemente menos de 1 metro. Se prefiere determinar, preferentemente medir, el vector viento lo más cerca del rotor como sea posible; mientras más lejos del rotor se determina el viento, mayor será la probabilidad de que hayan ocurrido cambios importantes antes de que llegue a las palas en el rotor. Esto es especialmente importante cuando se mide la

turbulencia, el ángulo de inclinación del viento y el cizallamiento del viento, puesto que varían, dependiendo de las condiciones del terreno u otros obstáculos del viento. Por ejemplo, si una turbina eólica está la estela de otra turbina eólica, la turbulencia, el ángulo de inclinación del viento y el cizallamiento del viento pueden cambiar significativamente en un intervalo de menos de 10 metros. La medición de la primera componente del vector viento y de la segunda componente del vector viento, se puede hacer mediante el uso de un anemómetro de control de giro como se ha descrito anteriormente.

Un LiDAR determina las condiciones del viento a una distancia considerable delante de la turbina eólica, de al menos 10 metros. Esto se cree que es ventajoso, puesto que da un retraso de tiempo para configurar la turbina eólica a las condiciones de viento entrantes. Sin embargo, las condiciones de viento pueden cambiar sustancialmente en más de 50 metros lo que da como resultado una turbina eólica que está lejos de ser controlada de forma óptima; con palas inclinadas en un ángulo no óptimo.

Para superar esta desventaja un anemómetro de control de giro se puede utilizar. Aquí las componentes del vector viento se determinan a menos de 1 metros delante del rotor. El ángulo de inclinación se puede ajustar, de este modo, dependiendo, entre otras cosas, del vector viento que golpea realmente las palas. La desventaja, en comparación con un LiDAR es que no hay tiempo de retraso cuando el paso se puede ajustar para el viento que viene. Sin embargo, mediante el uso de un anemómetro de control de giro la turbina eólica se puede ajustar a la carga real que golpea la turbina eólica, lo que es una ventaja en comparación con una turbina eólica controlada al menos en parte por un LiDAR.

Ventajosamente, la primera componente del vector viento se determina por uno, dos o tres sensores y/o la segunda componente del vector viento se determina por uno, dos o tres sensores. Esto hace que sea más fácil determinar la primera componente del vector viento y la segunda componente del vector viento. Además, si un sensor funciona incorrectamente, la operación de la turbina eólica puede continuar con los sensores restantes.

La invención se refiere también a un aparato para controlar el ángulo de paso de al menos una pala de turbina eólica en un rotor, conectado a un eje principal en una turbina eólica, que comprende, al menos un sensor ultrasónico montado en el rotor y adaptado para determinar, una primera componente del vector viento, que está a contraviento, horizontal y está alineada con la dirección del eje principal y una segunda componente del vector viento que está a contraviento y es perpendicular a la primera componente del vector viento y medios para controlar el ángulo de paso basándose en la primera componente del vector viento y la segunda componente del vector viento, el al menos un sensor ultrasónico está adaptado además para determinar una tercera componente del vector viento que está a contraviento y es perpendicular a la primera componente del vector viento y a la segunda componente del vector viento, en el que los medios para controlar el ángulo de paso se basan además en la tercera componente del vector viento.

En una realización preferida, un aparato de control de giro comprende un anemómetro de control de giro como se ha mencionado anteriormente. El anemómetro de control de giro se puede adaptar para determinar la primera componente del vector viento y la segunda componente del vector viento.

Se ha de entender, que el aparato se puede adaptar para realizar cualquiera de los procedimientos descritos anteriormente.

La invención puede también considerarse como una turbina eólica que comprende un aparato como el mencionado anteriormente y/o de realizar cualquiera de los procedimientos mencionados anteriormente.

Descripción de los dibujos

La invención se describirá a continuación con mayor detalle con referencia a los dibujos adjuntos:

La Figura 1 es una vista esquemática de una turbina eólica con palas controladas por una realización de la invención.

La Figura 2 es una vista esquemática de una turbina eólica con palas controladas por una realización de la invención.

Descripción detallada de la invención

La Figura 1 muestra una turbina 1 eólica que tiene una torre 2 y una góndola 3. En la góndola 3 se monta un rotor 4. El rotor 4 tiene tres palas 5A, 5B, 5C conectadas a un concentrador sobre el que se monta un de control 8 de giro para agilizar el flujo alrededor del concentrador. El concentrador se encuentra dentro del control de giro y no se muestra en las Figuras. El concentrador se conecta al eje principal (no mostrado). El eje principal está en ángulo hacia arriba por unos pocos grados en relación con la horizontal; para asegurar que las palas 5A, 5B, 5C no se ponen en contacto con la torre 2.

El paso de las palas 5A, 5B, 5C se controla por las unidades 6A, 6B, 6C de paso, respectivamente. Las unidades 6A, 6B, 6C de paso se encuentran dentro del control de giro y conectan las palas con el concentrador, que se conecta al eje principal, de tal manera que las palas 5A, 5B, 5C se pueden hacer girar. Las unidades 6A, 6B, 6C de

5 paso se conectan con el control 7 de turbina eólica, que recoge datos de los sensores en la turbina 1 eólica. El control 7 de turbina eólica determina los parámetros de control para el funcionamiento del paso de palas de las palas 5A, 5B, 5C de turbina eólica. En una realización, el control 7 de turbina eólica controla adicionalmente otros parámetros para el control de la turbina 1 eólica. En otra realización; la turbina 1 eólica tiene una pluralidad de unidades de control, que controlan diferentes partes de la operación de turbina eólica.

Un anemómetro de control de giro se fija en la turbina 1 eólica, un ejemplo de un anemómetro de control de giro se describe en el documento EP 1 722 241 B1. A continuación se muestra una breve descripción de un anemómetro ruleta.

10 En el control 8 de giro, tres sensores 9A, 9B, 9C ultrasónicos para detectar la velocidad del aire se montan. Los mismos se montan de tal manera, que las mediciones de viento se hacen por encima de la capa límite del control de giro. Se observa, que en la presente realización se utilizan tres sensores, sin embargo, también es posible utilizar uno o dos o cualquier número de sensores. Al determinar las componentes del vector viento mediante el uso de los sensores 9A, 9B, 9C ultrasónicos las mediciones deben compensarse por el giro del control de giro.

15 La turbina 1 eólica comprende además un sensor angular (no mostrado), que puede medir la posición angular del rotor y un circuito 10, que puede convertir la relación entre las salidas de los sensores 9A, 9B, 9C ultrasónicos y el sensor angular, en la velocidad y dirección del viento experimentado por la turbina 1 eólica. En otras palabras, se puede determinar las componentes del vector viento, por ejemplo, una primera componente del vector viento que es está a contraviento, horizontal y alineada con la dirección del eje principal, una segunda componente del vector viento que está a contraviento y es perpendicular a la primera componente del vector viento y, una tercera
20 componente del vector viento que está a contraviento y es perpendicular a la primera componente del vector viento y a la segunda componente del vector viento.

El control 8 de giro tiene la forma de una esfera en el área relevante y, en consecuencia el circuito 10 puede utilizar ese conocimiento para determinar cómo fluye el aire a su alrededor. Este conocimiento se combina con la posición de los sensores 9A, 9B, 9C ultrasónicos debido a que su giro hace posible determinar el viento en cualquier
25 dirección deseada.

Mediante el uso del anemómetro de control de giro descrito, es posible determinar el viento en tres dimensiones. Por lo tanto, todo el vector viento se puede determinar y, por lo tanto, el cizallamiento del viento, la turbulencia, los cambios repentinos en el viento, el error de orientación y el ángulo de inclinación del viento se pueden determinar.

30 Se hace notar, que la presente invención, a diferencia de los controles de paso anteriores, que en cierta medida, se basan en parte en las mediciones que o bien dan un valor incorrecto de las condiciones del viento o se modifican mediante un modelo matemático para compensar las inexactitudes conocidas. En ambos ejemplos las condiciones de viento determinadas no son exactos, al menos no en todas las condiciones de funcionamiento.

35 Se hace notar también, que las condiciones de viento a contraviento del rotor pueden cambiar con en pocos metros si por ejemplo la turbina 1 eólica se coloca cerca o en una colina o se cambia el paisaje y también se verán afectadas por otras turbinas de viento o árboles en los alrededores. Por tanto, se prefiere determinar las condiciones del viento tan cerca del rotor como sea posible para que el viento no se altere antes de que golpee las palas 5A, 5B, 5C.

40 En la Figura 2 se muestra un sistema cartesiano de coordenadas, el eje x es horizontal y está alineado con la dirección del eje principal de la turbina y, por lo tanto, puede entenderse como la dirección de la primera componente del vector viento. El eje z es vertical y perpendicular al eje x. El eje Y es horizontal y perpendicular a los ejes x y z. La segunda componente del vector viento se puede tomar como estando en el plano definido por los ejes y e z. En un ejemplo, la segunda componente del vector viento está en la dirección del eje z. La tercera componente del vector viento es perpendicular tanto a la primera como a la segunda componente del vector viento y por lo tanto se puede entender como estando en el plano definido por los ejes z e y.

45 El cizallamiento del viento se puede determinar mediante la descomposición espectral de la correlación entre la medida de la componente x del vector viento y la componente z del vector viento. El vector viento se descompone (descomposición de Reynolds) en tres componentes. $v_x = \overline{v_x} + v'_x$, $v_y = v'_y$, $v_z = v'_z$, donde v'_x , v'_y , v'_z tienen un valor medio de cero. La Figura 3 muestra un gráfico del cizallamiento del viento. Para determinar el cizallamiento del viento sobre la escala / la fluctuación vertical de una partícula 11 de aire se considera. Cuando la fluctuación vertical es positiva, y la partícula de aire se mueve de A a B, se produce una contribución negativa a v'_x . En la manera opuesta; cuando la fluctuación vertical es negativa y la partícula de aire se mueve de A a C, hay una contribución positiva a v'_x . En consecuencia, la correlación $\text{corr}(v'_x, v'_z)$ será negativa y grande, si el gradiente del viento es grande y pequeña si el gradiente del viento es pequeño. La contribución a la $\text{corr}(v'_x, v'_z)$ a partir de la escala / se puede determinar mediante la conversión de la escala / a una frecuencia mediante el uso de la hipótesis de la
50 turbulencia congelada de Taylor, de la siguiente manera; $f = v_x/l$. Un filtro de paso de banda puede a continuación adaptarse para filtrar la señal de $\text{corr}(v'_x, v'_z)$ centrada alrededor de la frecuencia f . La varianza, $\text{var}(BP)$, de esa señal se puede determinar a continuación. El cizallamiento del viento a través de la altura / se puede determinar mediante el uso de la fórmula

$(dv_z)/dt = C\sqrt{\text{var}(BP)}/l$. La constante C se puede determinar experimentalmente.

Lista de referencia:

- 1 turbina eólica
- 2 torre
- 5 3 góndola
- 4 rotor
- 5 palas
- 6 unidades de paso
- 7 control de turbina eólica
- 10 8 control de giro
- 9 sensores ultrasónicos para detectar la velocidad del aire
- 10 circuito
- 11 partícula de aire

15

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de control del ángulo de paso de al menos una pala (5a, 5b, 5c) de turbina eólica en un rotor (4) conectado a un eje principal en una turbina (1) eólica, comprendiendo el procedimiento las etapas de, determinar:
- una primera componente del vector viento que está a contraviento, horizontal y alineada con la dirección del eje principal y,
 - una segunda componente del vector viento que está a contraviento y es perpendicular a la primera componente del vector viento,
- 5
- en el que la primera componente del vector viento y la segunda componente del vector viento se determinan mediante el uso de al menos un sensor ultrasónico montado en el rotor (4), en el que el procedimiento comprende además las etapas de determinar:
- una tercera componente del vector viento que está a contraviento y es perpendicular a la primera componente del vector viento y a la segunda componente del vector viento
- 10
- por lo que el ángulo de paso se controla basándose en la primera, la segunda y la tercera componentes del vector viento, **caracterizado porque** el ángulo de paso se controla además basándose en la descomposición espectral de la correlación entre la primera componente del vector viento y la segunda componente del vector viento, preferentemente la correlación entre la primera componente del vector viento y la segunda componente del vector viento constituye una medida del cizallamiento del viento o,
- 15
- en el que el ángulo de paso se controla basándose en la descomposición espectral de la correlación entre la primera componente del vector viento y la tercera componente del vector viento, preferentemente la correlación entre la primera componente del vector viento y la tercera componente del vector viento constituye una medida del cizallamiento del viento.
- 20
2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la primera y la segunda componentes del vector viento se determinan mediante el uso de al menos un sensor ultrasónico situado a contraviento.
- 25
3. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el ángulo de paso se controla basándose en el promedio de la primera componente del vector viento y/o el promedio de la segunda componente del vector viento, preferentemente el promedio es durante un período de 1, 5, 10, 15 o 20 minutos.
- 30
4. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el ángulo de paso se controla basándose en la turbulencia de la primera componente del vector viento, y/o la turbulencia de la segunda componente del vector viento, en el que la turbulencia en una dimensión es la fluctuación de la velocidad en esa dimensión.
- 35
5. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el ángulo de paso se controla basándose en los cambios repentinos en de primera componente del vector viento y/o en los cambios repentinos en la segunda componente del vector viento, en el que los cambios repentinos son cambios en el vector viento de más de un 50 % sobre en escala de tiempo de 3 segundos y/o cambios de más de 7 m/s en una escala de tiempo de un minuto.
- 40
6. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el ángulo de paso se controla de tal manera, que el rotor (4) se lleva a una parada si la primera componente determinada del vector viento y/o la segunda componente determinada del vector viento exceden o caen por debajo de los valores predefinidos.
- 45
7. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la primera componente del vector viento y la segunda componente del vector viento se determinan a menos de 40 metros a contraviento del rotor (4), preferentemente menos de 10 metros, preferentemente menos de 1 metro.
- 50
8. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la primera componente del vector viento se determina por uno, dos o tres sensores ultrasónicos y/o la segunda componente del vector viento se determina por uno, dos o tres sensores ultrasónicos.
9. Aparato de control del ángulo de paso de al menos una pala (5a, 5b, 5c) de turbina eólica en un rotor (4) conectado a un eje principal en una turbina (1) eólica, que comprende, al menos un sensor ultrasónico montado en el rotor (4) y adaptado para determinar,
- una primera componente del vector viento, que está a contraviento, horizontal y alineada con la dirección del eje principal y
 - una segunda componente del vector viento que está a contraviento y es perpendicular a la primera componente del vector viento, y;
 - una tercera componente del vector viento que está a contraviento y es perpendicular a la primera componente del vector viento y a la segunda componente del vector viento, en el que dicho aparato comprende medios para controlar el ángulo de paso basándose en la primera, la segunda y la tercera componentes del vector viento.

- caracterizado porque** el ángulo de paso se controla además basándose en la descomposición espectral de la correlación entre la primera componente del vector viento y la segunda componente del vector viento, preferentemente la correlación entre la primera componente del vector viento y la segunda componente del vector viento constituye una medición del cizallamiento del viento o,
- 5 en el que el ángulo de paso se controla basándose en la descomposición espectral de la correlación entre la primera componente del vector viento y la tercera componente del vector viento, preferentemente la correlación entre la primera componente del vector viento y la tercera componente del vector viento constituye una medida del cizallamiento del viento.
10. Aparato de acuerdo con la reivindicación 9, en el que el al menos un sensor ultrasónico se sitúa a contraviento.
- 10 11. Una turbina (1) eólica que comprende un aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9 o 10 y/o que utiliza el procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.

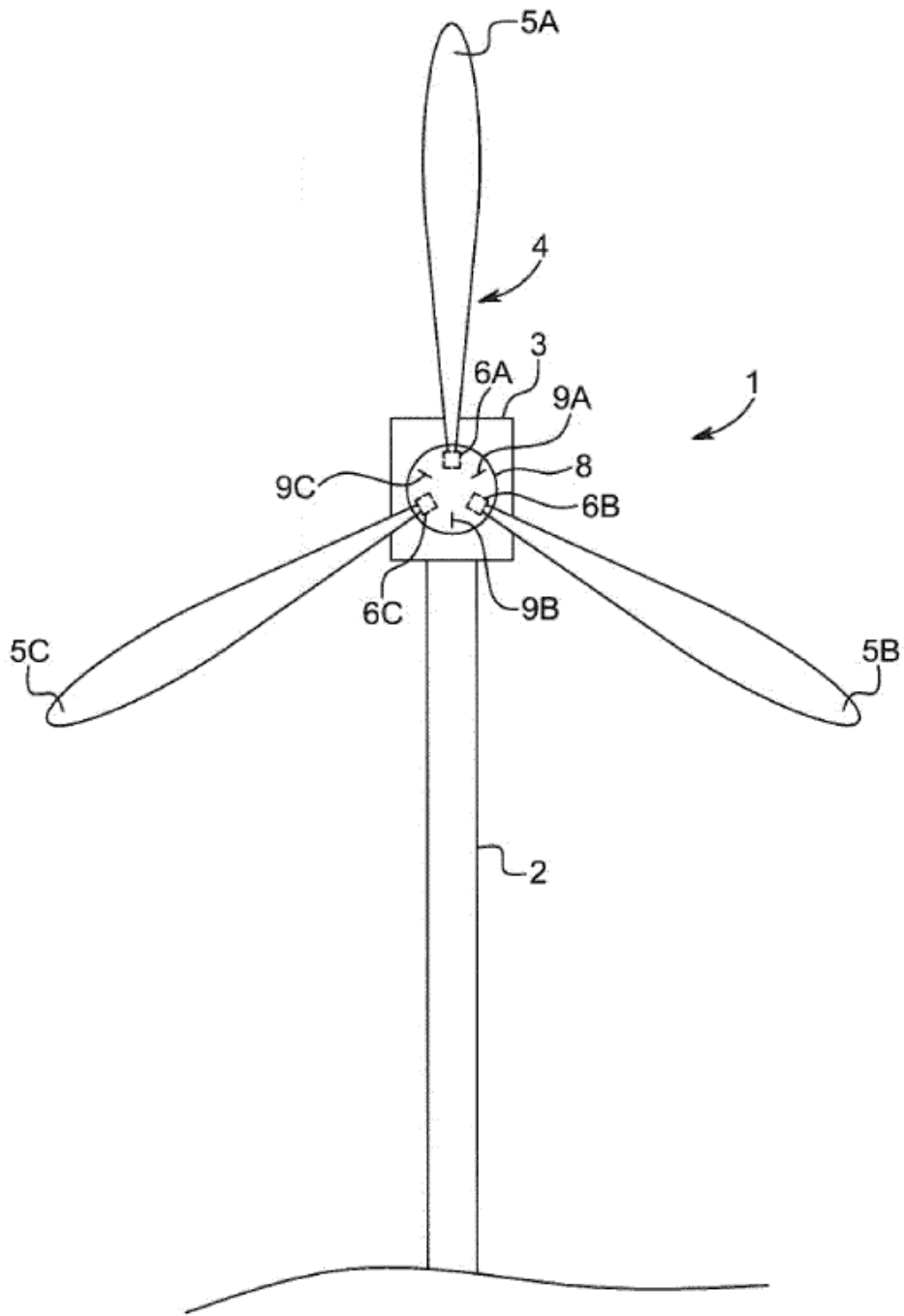


FIG. 1

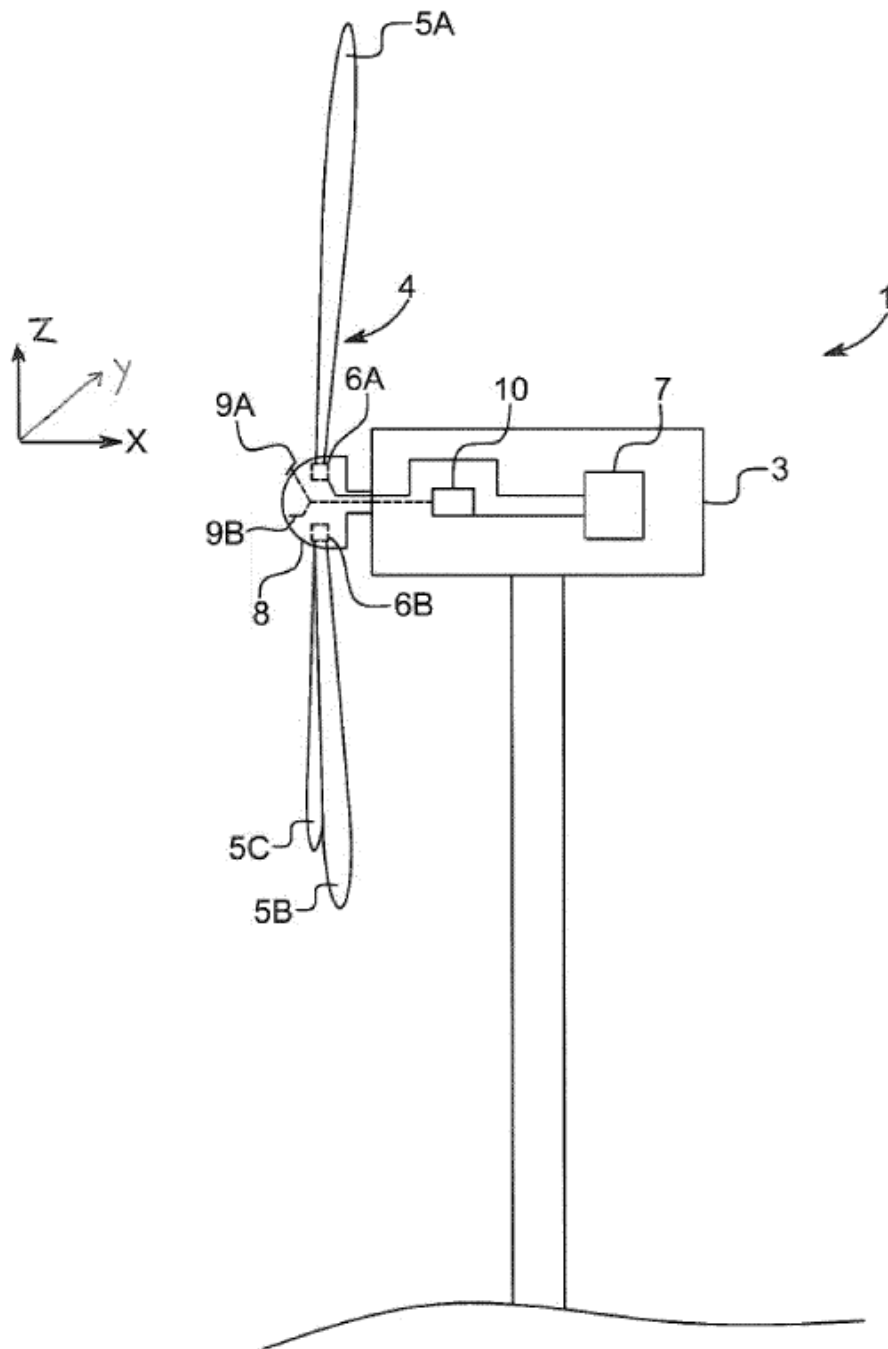


FIG. 2

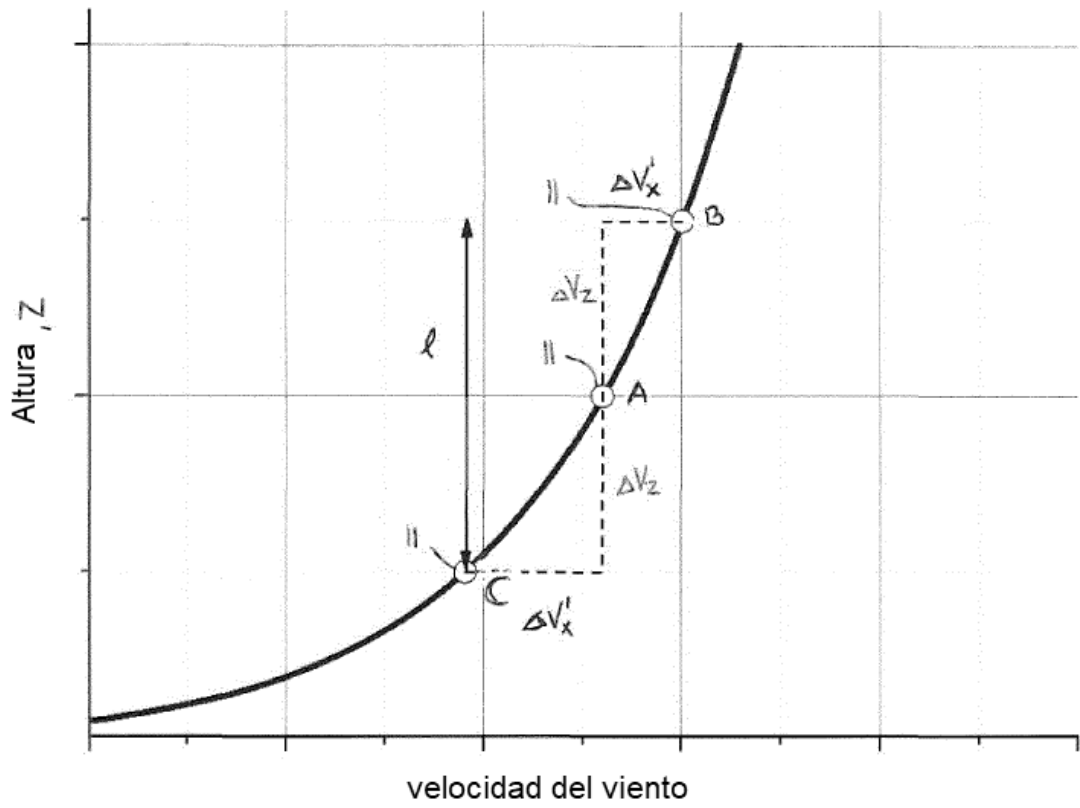


Fig. 3.