

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 604 334**

51 Int. Cl.:

F03D 7/04 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.07.2012** **PCT/DK2012/050246**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.01.2013** **WO13004244**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.07.2012** **E 12735083 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.10.2016** **EP 2737205**

54 Título: **Un método para la guiñada de un rotor de una turbina eólica**

30 Prioridad:

04.07.2011 DK 201170357

04.07.2011 US 201161504262 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
06.03.2017

73 Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)

Hedeager 42

8200 Aarhus N, DK

72 Inventor/es:

SPRUCE, CHRIS

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 604 334 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

Un método para la guiñada de un rotor de una turbina eólica

5 **Antecedentes de la invención**

La invención se refiere a una turbina eólica y, en particular, a un método para la guiñada de un rotor de una turbina eólica.

10 En las Figuras 1 y 2 se ilustra una turbina eólica 1 típica conocida. Comprende una torre 2 de turbina eólica sobre la que está montada una góndola 3 de turbina eólica. Un rotor 4 de turbina eólica, que comprende unas palas 5 de turbina eólica, está montado sobre un buje 6. El buje 6 está conectado a la góndola 3 a través de un árbol de baja velocidad (no mostrado) que se extiende desde el frontal de la góndola. El árbol de baja velocidad está conectado a una caja de engranajes que acciona un árbol de alta velocidad y el árbol de alta velocidad acciona un generador (no
15 mostrado). En grandes turbinas eólicas adecuadas para su uso en la generación de electricidad a gran escala en una planta eólica, por ejemplo, el diámetro del rotor puede ser tan grande como de 100 metros o más y la masa de la góndola, palas y buje en la parte superior de la torre es considerable y puede ser de unos pocos centenares de toneladas o más. El rotor gira alrededor de un eje de rotación mostrado por la línea discontinua.

20 La turbina eólica 1 de ejemplo de la Figura 1 es una turbina eólica Active Stall (marca comercial registrada). Cuando este tipo de turbina eólica 1 está generando energía y su generador está próximo a estar sobrecargado, sus palas 5 cambian su paso hacia el viento. Es decir, el ángulo de ataque de las palas 5 se incrementa para inducir la entrada en pérdida o para provocar una pérdida más profunda. El paso es la rotación de una pala 5 alrededor de su eje longitudinal tal como se ilustra por las flechas 7 en la Figura 2. Las palas 5 cambian su paso típicamente usando un
25 sistema hidráulico o motores eléctricos (no mostrados).

La rotación de la góndola 3 y del rotor 4 alrededor del eje longitudinal de la torre 2 de la turbina eólica se denomina guiñada, y esto se ilustra por la flecha 8 de la Figura 2. Las turbinas eólicas 1 generan energía más eficientemente cuando el rotor 4 de la turbina eólica 1 es perpendicular a la dirección del viento o, en otras palabras, el eje
30 alrededor del que gira el rotor es paralelo a la dirección del viento, y las turbinas eólicas se rotan o guiñan para enfrentarse al viento. Sin embargo, en turbinas contra el viento, en donde el rotor 4 está viento arriba de la torre 2 tal como la turbina eólica 1 ilustrada en las Figuras 1 y 2, cuando la dirección del viento está cambiando constantemente, la góndola ha de girarse para enfrentar el rotor 4 para que sea perpendicular a la dirección del viento. Para hacer esto, la góndola 3 se guiña mediante un actuador motorizado, tal como un motor eléctrico o
35 motores que funcionan a una única velocidad. Este actuador motorizado no funciona continuamente, y en momentos en los que la góndola no está siendo guiñada por el actuador motorizado, se proporcionan típicamente frenos (no mostrados) para impedir que la góndola sea desplazada por el viento fuera de su posición óptima.

La Figura 3 muestra un sistema de guiñada 50 típico para la guiñada de una turbina eólica 1 tal como la de las
40 Figuras 1 y 2. El sistema de guiñada 50 comprende un mecanismo de actuación 52 y un controlador (no mostrado) para el control del mecanismo de actuación 52. En este ejemplo, el mecanismo de actuación 52 comprende un par de motores 54 (y, en particular, motores eléctricos) cada uno con un piñón o pequeño engranaje dentado 56 mecánicamente conectado a su árbol 58. Los cuerpos 60 de los motores 54 se conectan mecánicamente a la góndola 3 (mostrada como las líneas discontinuas en la Figura 3). Los motores 54 están separados alrededor de la
45 circunferencia de, y los dientes 62 de los piñones 56 de los motores 54 engranan con, un anillo de guiñada 64, que es un gran anillo con una circunferencia dentada (circunferencia interior 66, en este ejemplo) mecánicamente conectada a la torre 2 de la turbina eólica. Durante el uso, cuando se accionan los motores 54 por el controlador de modo que giren sus árboles 58, los piñones 56 giran y mueven alrededor el anillo de guiñada 64 provocando que la góndola 3 y su rotor 4 se guiñen. En sistemas conocidos, la tasa de guiñada es constante y típicamente alrededor de
50 0,3°/s. La guiñada, particularmente en grandes turbinas eólicas 1, es lenta debido a que, como se ha mencionado anteriormente, las grandes góndolas 3 de turbina eólica son muy pesadas, típicamente de unos pocos centenares de toneladas. De nuevo, debido al alto peso de las góndolas 3 de grandes turbinas eólicas 1 se requiere una gran cantidad de energía para guiñarlas.

55 El error de guiñada es el ángulo entre el plano en que está el rotor 4 y la dirección del viento a la que está expuesto el rotor 4. En otras palabras, el error de guiñada es el ángulo entre el eje de rotación del rotor y la dirección del viento. La góndola apunta en la dirección del eje de rotación del rotor y, de ese modo, el error de guiñada es también la diferencia entre la dirección del viento y la dirección en la que está apuntando la góndola.

60 Cambios extremos en la dirección del viento dan como resultado grandes errores de guiñada y que la turbina eólica 1 quede expuesta a muy altas cargas. Realmente, para ser capaces de soportar dichas cargas, las denominadas cargas extremas de aleteo de las palas son las cargas que condicionan el diseño de las turbinas eólicas. La resistencia requerida se consigue típicamente a costa de un peso incrementado y costes de los componentes de la turbina eólica, tales como palas, buje, árbol, torre y cimentaciones. Sin embargo, estas cargas muy elevadas pueden
65 ocurrir infrecuentemente, por ejemplo, una vez al año y, bajo cargas particularmente altas, una turbina eólica típica tendría que pararse.

La disposición de turbina eólica de la Patente de Estados Unidos N.º 4298313 usa un motor eléctrico para guiar el rotor para incrementar la desviación entre el eje del rotor y la dirección del viento cuando se incrementa la velocidad del viento. Las turbinas a favor del viento, tal como la divulgada en la Patente de Estados Unidos N.º 5178518, en la que la turbina está aguas abajo de la torre de la turbina, pueden guiarse a favor del viento automáticamente, sin ninguna actuación, por el viento que sopla sobre las aletas que se proyectan desde la góndola. Pueden aplicarse frenos para reducir la velocidad de guiñada. También se usan frenos para reducir la velocidad de guiñada en la turbina eólica divulgada en la Solicitud de Patente Europea N.º EP 1890034. Pueden usarse también amortiguadores rotativos para reducir la velocidad de guiñada, tal como se divulga en la Solicitud de Patente Japonesa N.º 2007198167.

El documento WO 2010100271 divulga un sistema de guiñada para un molino eólico, en el que puede aplicarse un par motor variable.

El documento EP2159415 divulga un método para el ajuste de un ángulo de guiñada a partir de un ángulo de guiñada real hasta un ángulo de guiñada deseado de una turbina eólica.

El documento EP2143939 divulga métodos de control para una turbina eólica.

El inventor de la presente solicitud es el primero en apreciar que mediante el incremento de la velocidad de guiñada de un rotor de una turbina eólica, en una dirección para reducir el error de guiñada hacia cero o a cero y de modo que el rotor se enfrente al viento, desde una primera velocidad a una segunda velocidad más rápida cuando se supera al menos uno de entre un umbral de error de guiñada y un umbral de tasa de cambio en el error de guiñada, las cargas extremas pueden reducirse significativamente. En otras palabras, la velocidad de guiñada de la rotación se incrementa para reducir rápidamente el error de guiñada cuando el error de guiñada y/o el cambio en el error de guiñada es elevado o está por encima de un umbral predeterminado. Como resultado, el error de guiñada, que provoca altas cargas, se reduce durante cambios extremos en la dirección del viento. De ese modo pueden reducirse las cargas máximas que debería soportar una turbina eólica y dar como resultado componentes de la turbina eólica más ligeros y baratos. Puede conseguirse una velocidad de guiñada en movimiento incrementada de rotación o rotación rápida de muchas formas diferentes. Se consigue preferentemente mediante la operación de motores eléctricos que guían el rotor de la turbina a una velocidad de rotación más alta que la normal, lo que puede estar por encima de la velocidad nominal del motor, durante un corto período de tiempo. Debido a que estas ráfagas extremas de viento se experimentan muy raramente, la velocidad de rotación más alta solo se usa también raramente y el rotor y la góndola pueden guiarse a velocidades normales la mayor parte del tiempo (por ejemplo, más del 90 % del tiempo).

Sumario de la invención

La invención se define en sus diversos aspectos en las reivindicaciones independientes a continuación. Las características ventajosas se definen en las reivindicaciones dependientes a continuación.

Se describe con más detalle a continuación una realización preferida de la invención y toma la forma de una turbina eólica en la que la velocidad de guiñada de un rotor de la turbina eólica se incrementa, en una dirección para reducir el error de guiñada, desde una primera velocidad a una segunda velocidad más rápida cuando se excede un umbral de la tasa de cambio en el error de guiñada. El error de guiñada es una cantidad en la que un eje alrededor del que puede girarse el rotor no es paralelo a la dirección del viento a la que está expuesto el rotor.

En una realización adicional de la invención, la velocidad de guiñada se incrementa a una segunda velocidad más rápida cuando se excedan tanto un umbral de error de guiñada como un umbral de tasa de cambio en el error de guiñada.

Como resultado, las cargas máximas que debería soportar una turbina eólica pueden reducirse y dar como resultado componentes de turbina eólica más ligeros.

De acuerdo con la invención, en un primer aspecto se proporciona un método para la guiñada de un rotor de una turbina eólica, comprendiendo el método: incrementar la velocidad de guiñada del rotor de una turbina eólica, en una dirección para reducir el error de guiñada, desde una primera velocidad a una segunda velocidad más rápida cuando se excede un umbral de tasa de cambio del error de guiñada, siendo el error de guiñada una cantidad en la que un eje alrededor del que puede girar el rotor se desvía respecto a la dirección del viento a la que está expuesto el rotor.

De esta forma pueden reducirse las cargas extremas experimentadas por una turbina eólica. De ese modo, los ejemplos de la presente invención proporcionan un rotor de turbina eólica más ligero y una reducción típica del 15 % en el coste de cada pala de turbina eólica. Debido a ello, los ejemplos de la presente invención proporcionan una torre, cimentaciones, buje, árbol principal, parte superior de la torre, bastidor principal y sistema de guiñada de turbina eólica más ligeros y baratos debido al rotor más ligero y reducidas cargas extremas de inclinación. Como resultado, se estima que los ejemplos de la presente invención proporcionan una reducción del 3,1 % del coste de la energía de turbina eólica. Adicionalmente, los ejemplos de la presente invención reducen o incluso eliminan las

alarmas de "protección de momento de aleteo extremo".

Preferentemente, la segunda velocidad es entre sustancialmente 3 veces y sustancialmente 20 veces más rápida que la primera velocidad, más preferentemente entre sustancialmente 5 veces y 15 veces más rápida que la primera velocidad, y el más preferido sustancialmente 10 veces más rápida que la segunda velocidad.

Preferentemente, la primera velocidad es sustancialmente de 0,3 grados por segundo.

Preferentemente, las palas del rotor de la turbina eólica pueden cambiar su paso para inducir entrada en pérdida.

Preferentemente, el método comprende el control de al menos un motor para incrementar la velocidad de guiñada del rotor, y más preferentemente, el al menos un motor es un motor eléctrico.

De acuerdo con la invención, en un segundo aspecto se proporciona un controlador para una turbina eólica que comprende medios para implementar el método descrito anteriormente.

De acuerdo con la invención, en un tercer aspecto se proporciona un programa informático para implementar el método descrito anteriormente.

De acuerdo con la invención, en un cuarto aspecto se proporciona un producto de programa informático, que comprende un medio utilizable por ordenador que tiene un código de programa legible por ordenador incorporado en él, estando adaptado dicho código de programa legible por ordenador para ser ejecutado para implementar el método descrito anteriormente.

De acuerdo con la invención, en un quinto aspecto se proporciona una turbina eólica que comprende el controlador, el programa informático o el producto de programa informático tal como se ha descrito anteriormente.

Breve descripción de los dibujos

Se describirán ahora realizaciones preferidas de la invención, a modo de ejemplo, y con referencia a los dibujos en los que:

la Fig. 1 es una vista lateral de una turbina eólica conocida;

la Fig. 2 es una vista isométrica de una parte de la turbina eólica de la Fig. 1;

la Fig. 3 es una vista isométrica esquemática de un componente de turbina eólica de la turbina eólica de la Fig. 1 y Fig. 2;

la Fig. 4 es una vista esquemática de un controlador de un ejemplo de la presente invención;

la Fig. 5 es un diagrama de flujo que ilustra la operación del controlador de la Fig. 4; y

la Fig. 6a es un gráfico de una dirección del viento frente al tiempo (t).

La Fig. 6b es un gráfico del error de guiñada (E) frente al tiempo (t) para una turbina eólica conocida y para un ejemplo de turbina eólica de la presente invención.

Descripción detallada de realizaciones preferidas

La Figura 4 ilustra un controlador 100 de ejemplo para una turbina eólica 1 contra el viento para el control o la implementación de un método para el control de un sistema de guiñada de la turbina eólica 1, tal como la de la Figura 3.

El controlador 100 incluye medios para implementar el método que comprenden una memoria 102 y un procesador 104. El método implementado sobre el procesador puede implementarse en hardware o software. El procesador 104 tiene una entrada 106 para la dirección a la que mira el rotor 4 y una entrada para la dirección del viento 108 al que se expone la turbina eólica 1. La dirección a la que mira el rotor 4 se mide a través de sensores (no mostrados) localizados alrededor del anillo de guiñada 64 en una disposición conocida. La dirección del viento se mide por una veleta (no mostrada), que es una disposición conocida. El procesador 104 está en conexión de comunicación con la memoria 102 a través de la conexión 110. El controlador 100 está en conexión de comunicación a través de la conexión 112 con los motores 54. La dirección del viento también puede medirse por un dispositivo LIDAR (Detección y Localización por Luz).

Durante el uso, bajo el control del procesador 104, la memoria 102 almacena periódicamente (por ejemplo, una pluralidad de veces por segundo) la dirección a la que mira el rotor 4 y la dirección del viento. Periódicamente (de nuevo, por ejemplo, una pluralidad de veces por segundo), se pasa una indicación de la dirección a la que mira el rotor 4 y la dirección del viento, a través de la conexión 110 al procesador 104.

La operación del procesador 104 se ilustra en el diagrama de flujo 200 de la Figura 5. Primero, ilustrado en 202, el procesador 104 calcula el error de guiñada E y el cambio en el error de guiñada ΔE a lo largo del tiempo como sigue. El error de guiñada se calcula calculando la diferencia entre la dirección a la que mira el rotor 4 y la dirección del

viento. El error de guiñada se transmite a la memoria 102 y se almacena en ella. La tasa de cambio en el error de guiñada se calcula calculando la diferencia entre el error de guiñada previamente almacenado en la memoria 102 y el error de guiñada actual.

El procesador 104 del controlador 100 controla el ángulo de guiñada del rotor 4 de la turbina eólica 1 para incrementar la velocidad de guiñada del rotor 4 de la turbina eólica 1, en una dirección para reducir el error de guiñada, desde una primera velocidad a una segunda velocidad más rápida, típicamente por encima de la velocidad nominal del motor o motores que guiñan el rotor 4, pero durante un corto tiempo, cuando se excede al menos uno de entre el umbral del error de guiñada y el umbral de la tasa de cambio en el error de guiñada.

Para hacer esto, el procesador 104 de ejemplo del controlador 100 ilustrado en la Figura 4 funciona como sigue. Como se muestra en 204 en la Figura 5, si el error de guiñada $E = 0^\circ$, entonces el procesador 104 señaliza a los motores 54 para no girar o girar a una velocidad $R = 0$ (206). Si el error de guiñada es pequeño, por ejemplo, E está entre 0° y 10° (208 en la Figura 4), entonces a través de la conexión 112 el procesador 104 da instrucciones a los motores 54 para girar en una dirección para reducir E a una velocidad lenta, normal o nominal, por ejemplo, $0,3^\circ/\text{s}$ (210). Si el error de guiñada es mayor, pero todavía bastante pequeño, por ejemplo, E está entre 10° y 20° , y la tasa de cambio en el error de guiñada es también bastante pequeña, por ejemplo, ΔE es menor de $5^\circ/\text{s}$ (212), entonces a través de la conexión 112 el procesador 104 también da instrucciones a los motores 54 para girar en una dirección para reducir E a una velocidad lenta, normal o nominal, por ejemplo, $0,3^\circ/\text{s}$. Sin embargo, si el error de guiñada es incluso mayor y/o el cambio en el error de guiñada es particularmente grande, entonces a través de la conexión 112 el procesador 104 da instrucciones a los motores 54 para girar en una dirección para reducir E a una velocidad más rápida o por encima de la nominal, por ejemplo, $3^\circ/\text{s}$. Esto ocurre, por ejemplo, tal como se ilustra en 212, si E está entre 10° y 20° y/o el cambio en el error de guiñada es grande, por ejemplo, ΔE es mayor de $5^\circ/\text{s}$ (se excede el umbral del error de guiñada y/o el umbral de la tasa de cambio en el error de guiñada). En ejemplos alternativos, el rotor se guiña más rápido solo si se excede un umbral de la tasa de cambio del error de guiñada; el valor del error de guiñada es irrelevante.

Las Figuras 6a y 6b ilustran la diferencia entre la operación de un sistema conocido y un sistema de ejemplo de la presente invención e ilustran ventajas de la presente invención. La Figura 6a muestra un cambio en la dirección del viento frente al tiempo. En la Figura 6a, entre el tiempo $t = 0$ y $t = 8$ segundos, la dirección del viento cambia en 45 grados. La respuesta de la turbina eólica se muestra en la Figura 6b.

En la Figura 6b, la línea continua 300 ilustra la operación de una turbina eólica sin ningún sistema de guiñada en absoluto como un ejemplo. Como no hay sistema de guiñada, la góndola no puede guiñarse hacia la dirección incidente del viento, y el error de guiñada E es de 45° en $t = 8$ s, y permanece a 45° .

La línea de puntos 301 ilustra un sistema de guiñada conocido con una tasa de guiñada constante de $0,3^\circ/\text{s}$ en este ejemplo. La dirección del viento cambia 45° a lo largo de 8 segundos que es una tasa de cambio de la dirección del viento de $5,6^\circ/\text{s}$. Con el sistema de guiñada funcionando a $0,3^\circ/\text{s}$, el error de guiñada E experimentará una tasa de cambio de $5,3^\circ/\text{s}$ (es decir, $5,6^\circ/\text{s} - 0,3^\circ/\text{s}$). Por lo tanto, en $t = 8$ s, que será el error de guiñada E más alto que experimenta la turbina, E es de $42,6^\circ$. Después de $t = 8$ s, la dirección del viento no cambia y el valor de E se reduce a $0,3^\circ/\text{s}$ y de ese modo para alcanzar $E = 0$ le llevará 142 segundos.

La línea discontinua 302 ilustra un ejemplo de la presente invención. Entre $E = 0^\circ$ y $E = 10^\circ$, cuando el error de la guiñada es pequeño, la góndola se guiña en una dirección para reducir a $0,3^\circ/\text{s}$ de acuerdo con las etapas 208 y 210 de la Figura 5. Cuando la tasa de cambio del error de guiñada ΔE es mayor de $5^\circ/\text{s}$ (es decir, ΔE es de $5,6^\circ/\text{s}$), después de que $E = 10^\circ$, los motores 54 funcionan a una velocidad alta o por encima de la nominal para reducir rápidamente el error de guiñada E a $3^\circ/\text{s}$ de acuerdo con las etapas 212 y 216 de la Figura 5. Por lo tanto, el error de guiñada E máximo de acuerdo con la presente invención es de aproximadamente 26° que tiene lugar a $t = 8$ s. Después de $t = 8$ s, la dirección del viento no cambia y el valor de E se reduce a $3^\circ/\text{s}$ y para alcanzar $E = 0$ le llevará aproximadamente 9 segundos.

Como puede verse por la Figura 6b, el error de guiñada máximo experimentado por la turbina se reduce de $42,6^\circ$ a 26° , en comparación con un sistema de guiñada conocido. Adicionalmente, el tiempo que le lleva al error de guiñada alcanzar cero se reduce de acuerdo con la invención en comparación con el sistema de guiñada conocido. Ciertas cargas extremas que actúan sobre una turbina eólica (tal como el momento de flexión en la raíz de la pala, el momento de flexión en la base de la torre, entre otros) son condicionadas por el máximo error de guiñada. Como el máximo error de guiñada se reduce significativamente de acuerdo con la invención, las cargas que experimenta la turbina también se reducen.

El ejemplo mostrado en las Figuras 5 y 6b se ha simplificado. En la práctica, habría un retardo de histéresis de 10° (por ejemplo) del error de guiñada antes de que se inicie la guiñada.

Se entenderá que este es un mero ejemplo para ilustrar la invención. Pueden usarse otras estrategias de control simples para guiñar más rápido cuando el error de guiñada es mayor y, en particular, cuando el error de guiñada es grande y se incrementa rápidamente. Por ejemplo, puede usarse un controlador proporcional integral y derivativo

(PID).

Aunque la guiñada y la guiñada a alta velocidad se han descrito conseguidas mediante la operación de un par de motores, pueden conseguirse de otras maneras. Por ejemplo, mediante el uso de un único motor, u otros números de una pluralidad de motores, por ejemplo entre tres y diez motores. El anillo de guiñada 64 puede tener dientes alrededor de su circunferencia exterior y los piñones de los motores 54 pueden engranar con estos dientes para guiñar el rotor 4 de la turbina eólica.

Aunque la guiñada a alta velocidad se ha descrito mediante la marcha de un único o de una pluralidad de motores existentes por encima de su nivel nominal, el efecto puede conseguirse de otras maneras. Por ejemplo, pueden usarse motores de dos velocidades, que tienen varios polos para la operación a velocidad normal o lenta y más polos para operar el motor a alta velocidad. Podrían usarse actuadores de velocidad variable para la guiñada a diferentes velocidades. Podrían usarse motores con diferentes velocidades de operación, de modo que un motor o un conjunto de motores funcione para guiñar a velocidad normal y otro motor o conjunto de motores funcione para guiñar a alta velocidad.

El sistema es particularmente beneficioso para una turbina eólica Active Stall (marca comercial registrada), tal como la de las Figuras 1 y 2, en la que las palas del rotor de la turbina eólica pueden cambiar el paso para inducir entrada en pérdida. Esto es debido a que, en el caso de una turbina Active Stall, el diseño de las palas está dominado por el caso de cambio en la dirección del viento que provoca elevadas cargas extremas.

La fiabilidad en el sistema incluyendo el MTBI (tiempo medio entre inspecciones), MTBF (tiempo medio entre fallos) y disponibilidad de una turbina eólica puede mejorarse tal como se explica a continuación. La fiabilidad es más importante cuanto menos accesible sea una turbina eólica, por ejemplo, si está localizada costa afuera.

La fiabilidad puede mejorarse incluyendo diversos componentes adicionales (tales como sensores, por ejemplo los localizados alrededor del anillo de guiñada, y actuadores, tal como los accionadores de guiñada) en la turbina eólica para proporcionar redundancia.

Para los sistemas sensores, por ejemplo, en lugar de un sensor individual, se proporcionan múltiples sensores y típicamente un número impar de sensores, por ejemplo, tres. Se usan procedimientos de votación entre los sensores, de modo que la indicación de una mayoría de sensores (en este caso, dos) de entre los sensores se considera la indicación correcta. Esto proporciona diversas ventajas, tales como permitir que se identifique un sensor defectuoso (así, puede planificarse la reparación/sustitución del sensor defectuoso en la siguiente oportunidad conveniente, preferentemente en la siguiente visita de mantenimiento planificada) y permitir que la turbina continúe funcionando con un sensor defectuoso.

Para sistemas de actuación, tal como un accionador de guiñada, en lugar de un único actuador se proporciona un actuador o actuadores adicionales, redundantes, de modo que si falla un actuador, otro o más pueden usarse adicionalmente o en su lugar para mantener la turbina eólica en operación, opcionalmente, con una envolvente operativa reducida. A modo de ejemplo, con finalidades de ilustración, una turbina de seis accionadores de guiñada puede tener un séptimo añadido. Los siete estarían dimensionados con niveles de potencia/carga necesarios para operar la turbina con solo seis accionadores y en operación normal se operaría con seis accionadores. En el caso de que falle un accionador, el séptimo accionador se llevaría a operación y la turbina continuaría funcionando. El fallo se notificaría al departamento de mantenimiento y se podría sustituir el accionador en fallo. El momento de sustitución del accionador puede depender de varios factores, tales como el acceso a la turbina (puede ser costa afuera, por ejemplo), probabilidad de fallo de un accionador adicional, y la siguiente visita planificada a la turbina. En otra disposición se usarían los siete accionadores en operación normal, de modo que estén todos funcionando con niveles de potencia/carga inferiores a los de diseño y cuando falla un accionador, los seis restantes funcionan con sus niveles de diseño/carga. Esta disposición puede mejorar o maximizar la vida útil del sistema de accionamiento de guiñada.

Otros sistemas de actuación y componentes se benefician de la instalación de componentes redundantes, por ejemplo, sistemas de refrigeración, bombas del sistema de refrigeración, ventiladores de refrigeración (por ejemplo, en cabinas eléctricas), sistemas de calefacción (por ejemplo, calefactores de la caja de engranajes y calefactores en cabinas eléctricas), bombas hidráulicas, actuadores del sistema de paso, aletas en el borde de ataque y micropestañas en las palas.

La invención se ha descrito con referencia a implementaciones de ejemplo, puramente por razones de ilustración. La invención no ha de limitarse por estas, dado que se les ocurrirán a los expertos en la materia muchas modificaciones y variaciones. Por ejemplo, aunque la invención se ha descrito con referencia en particular a una gran turbina eólica con un rotor tan grande como de 100 metros o más, es aplicable también a un modelo pequeño dirigido a uso doméstico o de instalación ligera. El método implementado por el controlador instalado en la turbina eólica puede implementarse en hardware o software como un programa informático implementado en un ordenador o un producto de programa informático, que comprende un medio utilizable por ordenador, tal como una unidad de disco duro o una memoria de estado sólido, que tiene un código de programa legible por ordenador incorporado en él. La

invención se debe entender a partir de las reivindicaciones que siguen.

REIVINDICACIONES

1. Un método para la guiñada de un rotor (4) de una turbina eólica (1), comprendiendo el método:
 - 5 incrementar la velocidad de guiñada de un rotor de una turbina eólica, en una dirección para reducir el error de guiñada, desde una primera velocidad a una segunda velocidad más rápida cuando se excede un umbral de la tasa de cambio en el error de guiñada, siendo el error de guiñada el ángulo entre el eje de rotación del rotor y la dirección del viento al que está expuesto el rotor.
- 10 2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la velocidad de guiñada se incrementa a una segunda velocidad más rápida cuando se excede tanto un umbral del error de guiñada como un umbral en la tasa de cambio del error de guiñada.
- 15 3. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que la segunda velocidad es entre sustancialmente 3 veces y sustancialmente 20 veces más rápida que la primera velocidad.
- 20 4. Un método de acuerdo con la reivindicación 3, en el que la segunda velocidad es entre sustancialmente 5 veces y 15 veces más rápida que la primera velocidad.
- 25 5. Un método de acuerdo con la reivindicación 4, en el que la segunda velocidad es sustancialmente 10 veces más rápida que la primera velocidad.
- 30 6. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que la primera velocidad es sustancialmente de 0,3 grados por segundo.
- 35 7. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que las palas (5) del rotor de la turbina eólica pueden cambiar su paso para inducir la entrada en pérdida.
- 40 8. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, que comprende el control de al menos un motor (54) para incrementar la velocidad de guiñada del rotor.
- 45 9. Un método de acuerdo con la reivindicación 8, en el que el al menos un motor es un motor eléctrico.
- 50 10. Un método de acuerdo con la reivindicación 9, en el que dicha segunda velocidad más rápida se consigue mediante la operación de dicho motor eléctrico por encima de la velocidad nominal de dicho motor.
- 55 11. Un controlador (100) que comprende medios para implementar el método de acuerdo con las reivindicaciones 1 a 10.
- 60 12. Un programa informático para implementar el método de acuerdo con las reivindicaciones 1 a 10.
- 65 13. Un producto de programa informático, que comprende un medio utilizable por ordenador que tiene un código de programa legible por ordenador incorporado en él, estando adaptado dicho código de programa legible por ordenador para su ejecución para implementar el método de acuerdo con las reivindicaciones 1 a 10.
- 70 14. Una turbina eólica (1) que comprende el controlador (100) de acuerdo con la reivindicación 11, el programa informático de acuerdo con la reivindicación 12 o el producto de programa informático de acuerdo con la reivindicación 13.

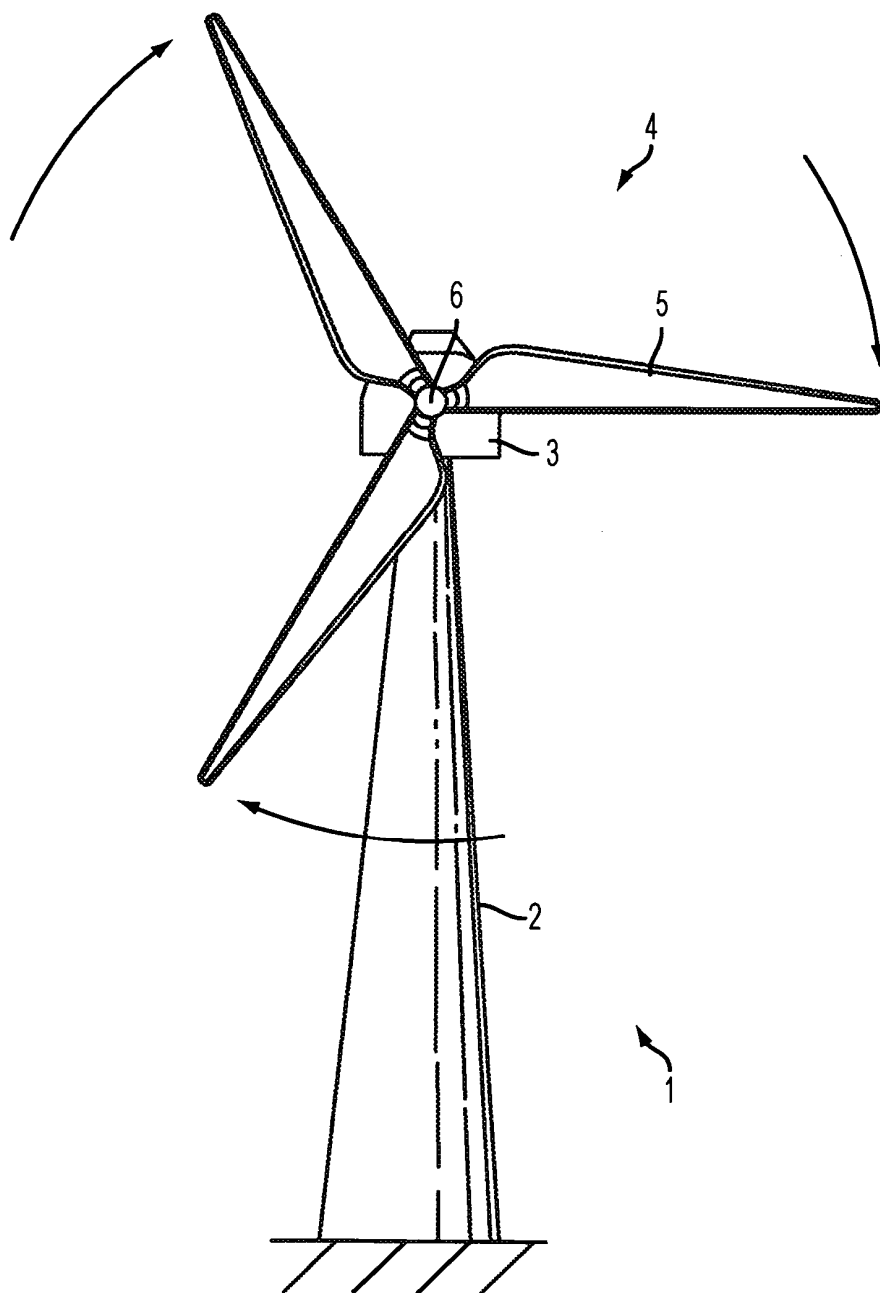


FIG. 1

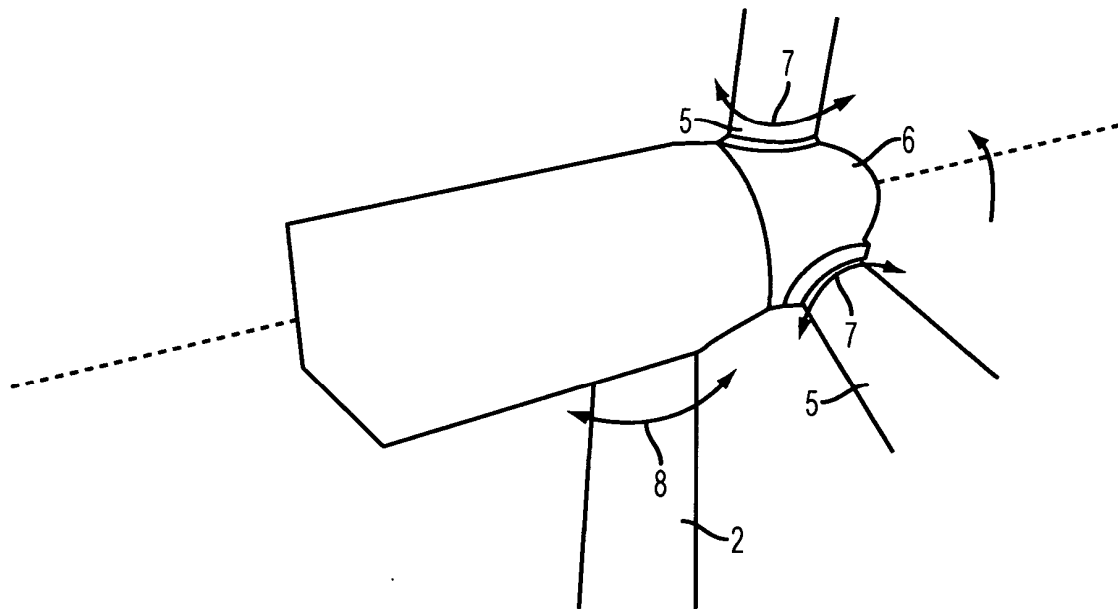


FIG. 2

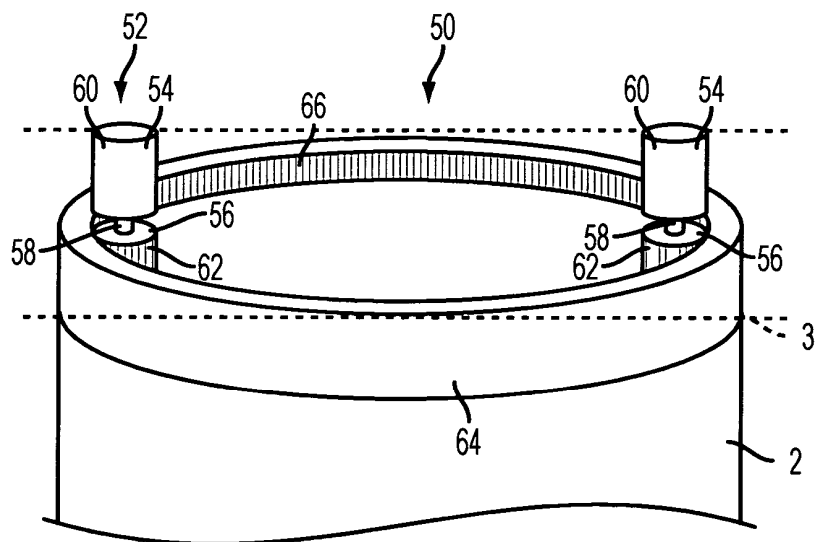


FIG. 3

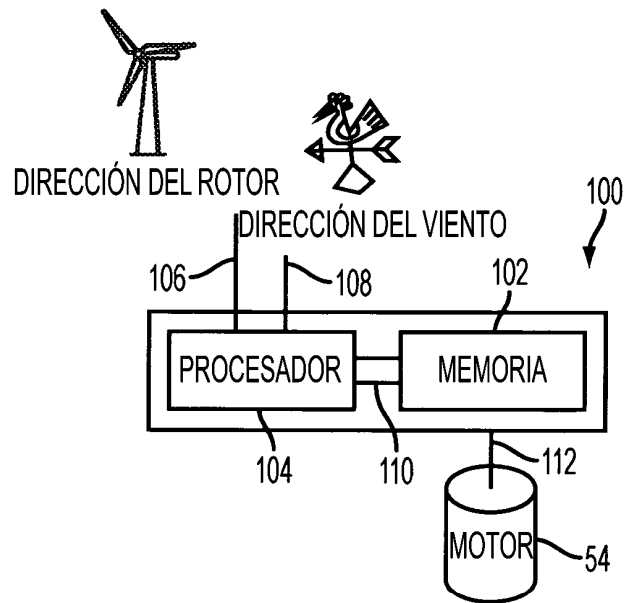


FIG. 4

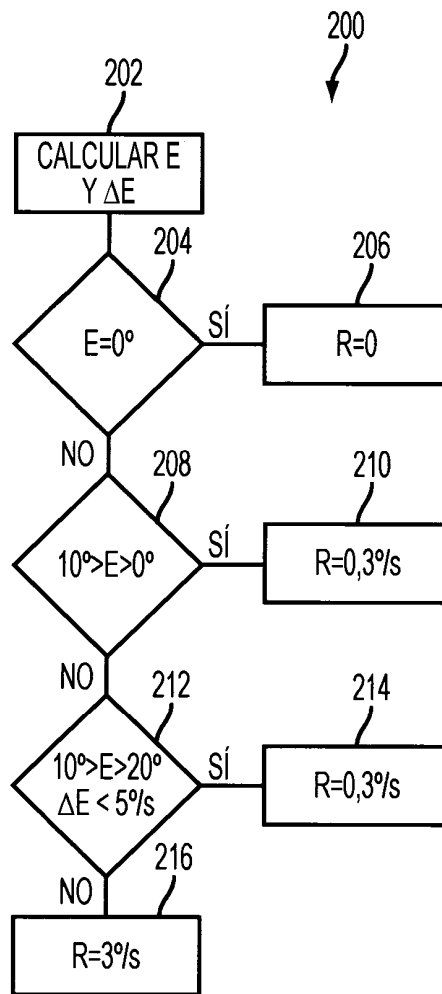


FIG. 5

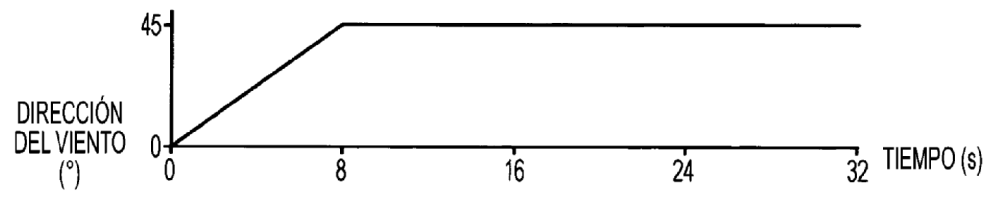


FIG. 6a

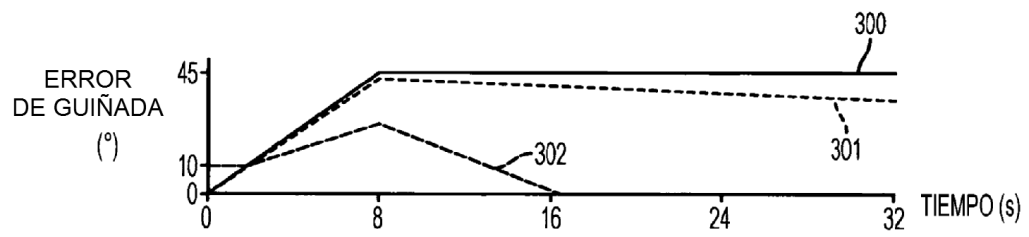


FIG. 6b