

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 633 293**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/00** (2006.01)

**F03D 7/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.11.2008 PCT/DK2008/000421**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.06.2009 WO09068036**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.11.2008 E 08853575 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.06.2017 EP 2232062**

54 Título: **Una turbina eólica, un procedimiento para controlar una turbina eólica y su uso**

30 Prioridad:

**30.11.2007 DK 200701719**

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

**20.09.2017**

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)**

**Hedeager 42**

**8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:

**NIELSEN, THOMAS, STEINICHE, BJERTRUP y**

**PEDERSEN, BO, JUUL**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

ES 2 633 293 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**

Una turbina eólica, un procedimiento para controlar una turbina eólica y su uso

**Antecedentes de la invención**

5 La presente invención se refiere a una turbina eólica, a un procedimiento para controlar una turbina eólica y a su uso.

**Descripción de la técnica relacionada**

10 Una turbina eólica conocida en la técnica comprende una torre de turbina eólica cónica y una góndola de turbina eólica situada en la parte superior de la torre. Un rotor de turbina eólica con varias palas de turbina eólica se conecta a la góndola a través de un árbol de baja velocidad, que se extiende fuera de la parte frontal de la góndola, tal como se ilustra en la figura 1.

15 Las oscilaciones y vibraciones de las palas de las turbinas eólicas no son deseables, ya que someten a la pala y a la estructura de la turbina eólica a una tensión innecesaria, lo que, en el peor de los casos, puede conducir a una vida reducida de las palas u otras partes de la turbina eólica. En particular, las oscilaciones de borde no son deseables, porque la pala tiene poca amortiguación frente a este modo de oscilaciones. Las oscilaciones de borde son oscilaciones a lo largo de la cuerda entre el borde de salida y el borde de ataque de la pala, pero, debido al complejo diseño de la pala de las turbinas eólicas modernas y, particularmente porque la pala se retuerce en su extensión longitudinal, las oscilaciones de borde típicamente se combinarán hasta un cierto grado con las oscilaciones de aleta, que son oscilaciones entre el lado de presión y el lado de sotavento de la pala, es decir, sustancialmente perpendicular a la dirección de borde.

20 Las oscilaciones de borde se observan típicamente en turbinas eólicas con control tanto de entrada en pérdida como de orientación cuando el rotor está girando y la turbina eólica está produciendo energía para una red eléctrica, es decir, la turbina eólica está funcionando. La turbina con control de entrada en pérdida se enfrenta principalmente a este problema cuando funciona con vientos fuertes más allá del punto de entrada en pérdida, y la turbina con regulación de orientación se enfrenta principalmente a este problema cuando funciona con viento fuerte, donde las ráfagas repentinas de viento pueden hacer que las palas entren en pérdida momentáneamente.

25 Pero, a medida que las turbinas eólicas y las palas de las turbinas eólicas se hacen cada vez más grandes, las propiedades de las palas, tales como el amortiguamiento de la pala y/o las frecuencias propias de la pala, cambian en consecuencia, y, por lo tanto, también se producen oscilaciones de borde en las palas de las turbinas eólicas que no están funcionando, es decir, en las turbinas eólicas en las que el rotor está en ralentí o completamente detenido, y la turbina eólica no está produciendo sustancialmente energía para una red eléctrica.

30 Las contramedidas conocidas contra oscilaciones de borde están todas diseñadas para hacer funcionar turbinas eólicas y, por lo tanto, son más o menos ineficaces en relación con turbinas eólicas que no están funcionando.

35 Un objeto de la presente invención es, por lo tanto, proporcionar una técnica ventajosa para amortiguar o eliminar oscilaciones de borde en una pala de una turbina eólica que funciona en una situación de producción de energía en ralentí en relación con una red eléctrica.

**La invención**

La presente invención proporciona una turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1.

40 Ciertas condiciones pueden influir en la generación de oscilaciones de borde en las palas del rotor de la turbina eólica en ralentí: el viento tiene que tener cierta velocidad de viento crítica, las palas del rotor tienen que tener cierto diseño, las palas del rotor tienen que colocarse con cierto ángulo de orientación, el plano del rotor tiene que estar en un cierto ángulo con respecto a la dirección del viento entrante, entre otras.

Las turbinas eólicas están dotadas por naturaleza de la capacidad de cambiar o alterar el ángulo de guiñada de la góndola con el fin de optimizar el ángulo del plano del rotor en relación con el viento entrante.

45 Aunque para otros propósitos, la capacidad de alterar el ángulo de guiñada está, por lo tanto, ya presente en las turbinas eólicas, y utilizar esta capacidad para alterar al menos una de las condiciones necesarias para que se produzcan oscilaciones de borde o al menos para que se acumulen oscilaciones de borde es ventajoso, por el hecho de que se dispone de medios simples y rentables para amortiguar o eliminar las oscilaciones de borde en las palas de una turbina eólica que funciona en una situación de producción de energía en ralentí en relación con una red eléctrica.

50 Debe hacerse hincapié en que por "*una situación de producción de energía en ralentí de la turbina eólica en relación con una red eléctrica*" se entiende que la turbina eólica está en un modo no operativo, es decir, no está produciendo sustancialmente energía para una red eléctrica y el rotor está puesto completamente en parada o está en ralentí.

En un aspecto de la presente invención, dichos medios de detección son uno o más sensores de carga colocados dentro o en dicha al menos una pala de rotor.

5 Los sensores de carga colocados dentro o en la pala, tal como dentro o en la raíz de la pala, son ventajosos porque dichos sensores son relativamente simples y baratos y, si se implementan apropiadamente, proporcionan información fiable sobre la situación de carga de la pala, incluyendo si las cargas se desplazan rítmicamente hacia delante y hacia atrás entre el lado del borde de salida y el lado del borde de ataque de la pala, indicando de este modo oscilaciones de borde.

10 Además, muchas turbinas eólicas modernas ya están provistas de sensores de carga dentro o en las palas para detectar diferentes cargas durante el funcionamiento normal de la turbina eólica, es decir, cuando la turbina eólica está produciendo energía para una red eléctrica y, por lo tanto, es ventajoso y rentable utilizar los sensores que ya están presentes.

En un aspecto de la presente invención, dichos medios de detección son uno o más acelerómetros colocados dentro o en dicha por lo menos una pala de rotor.

15 Los acelerómetros son excelentes dispositivos para proporcionar información sobre el estado de oscilación de la pala y, por lo tanto, es ventajoso utilizar acelerómetros colocados dentro o en la pala como medios de detección.

En un aspecto de la presente invención, dichos medios de detección son uno o más acelerómetros colocados en una góndola de dicha turbina eólica.

20 Normalmente, el rotor gira lentamente cuando la turbina eólica está en ralentí y, si una o más palas oscilan en el borde, estas oscilaciones podrían transmitirse a la góndola, haciendo que la góndola oscile ligeramente alrededor del eje de guiñada, especialmente cuando la pala oscilante embanderada apunta hacia el lado, o la góndola podría inclinarse ligeramente en la dirección vertical si la pala oscilante embanderada apunta hacia arriba o hacia abajo.

Solo entonces se necesitarían uno o dos acelerómetros para detectar oscilaciones de borde de las palas y, puesto que la góndola presenta un entorno muy controlado, en el que se puede acceder fácilmente al acelerómetro, es ventajoso colocar los sensores de oscilación en la góndola (más fija).

25 En un aspecto de la presente invención, dicho sistema de control de guiñada comprende medios para cambiar dicha posición de guiñada de la góndola de la turbina eólica entre 0,5° y 30°, preferentemente entre 2° y 15° y, más preferentemente, entre 3° y 8° si dichos medios de detección detectan oscilaciones de borde en una o más de dichas palas.

30 Si la posición de guiñada se altera demasiado poco, cuando se detectan oscilaciones de borde, las oscilaciones pueden no amortiguarse, o las oscilaciones no se detienen hasta que no pasa un tiempo relativamente largo. Si la posición de guiñada se altera demasiado, la góndola u otras partes de la turbina eólica podrían verse forzadas innecesariamente, o el rotor podría comenzar a girar demasiado rápido, lo que podría ser desventajoso. Una rotación demasiado rápida durante el ralentí podría forzar y desgastar innecesariamente diferentes partes de la turbina eólica, y podría conducir a que el rotor se bloquee.

35 Los rangos actuales para alterar el ángulo de guiñada -cuando se detectan oscilaciones de borde- presentan, por lo tanto, una relación ventajosa entre la eficiencia de la amortiguación y la seguridad.

En un aspecto de la presente invención, dicho sistema de control de guiñada comprende medios para devolver dicha góndola a su posición original de ángulo de guiñada, cuando dichos medios de detección detectan que el tamaño de dichas oscilaciones de borde está por debajo de un nivel predefinido.

40 Esto es ventajoso, ya que la góndola vuelve con ello a su posición de estacionamiento, reduciendo con ello la tensión sobre las palas y otras partes de la turbina eólica.

En otro aspecto de la presente invención, dicho sistema de control de guiñada comprende medios para alterar solo el ángulo de guiñada de dicha góndola si dichas oscilaciones de borde detectadas están por encima de un nivel predefinido.

45 En un aspecto de la presente invención, dichos medios de control comprenden, además, un temporizador para dar una señal de alarma si el tamaño de dichas oscilaciones de borde no ha caído por debajo de un nivel predefinido en un periodo de tiempo predefinido.

50 Si el tamaño de las oscilaciones de borde no ha caído por debajo de un nivel predefinido dentro de un periodo de tiempo predefinido, podría producirse algún defecto o las palas podrían resultar dañadas por las oscilaciones y, por lo tanto, es ventajoso hacer que los medios de control den una alarma. Esta señal de alarma podría desencadenar, a continuación, el inicio de otros procedimientos de amortiguación de oscilación de borde, o podría transferirse a un centro de vigilancia o de otro tipo que pudiera evaluar la situación y tomar las medidas necesarias.

En un aspecto de la presente invención, dicho sistema de control de guiñada comprende medios para alterar el

- 5 ángulo de guiñada de dicha góndola hasta un ángulo óptimo, en el que dichas oscilaciones de borde están sustancialmente en un mínimo. De este modo, se asegura que las oscilaciones de borde sean sustancialmente detenidas o minimizadas, por lo que se asegura, además, que la deformación de las palas de rotor y la estructura de la turbina eólica se minimicen, lo que a su vez da lugar a una mayor vida útil de las palas u otras partes de la turbina eólica.
- En otro aspecto de la presente invención, dicho sistema de control de guiñada comprende medios para interrumpir la alternancia del ángulo de guiñada de dicha góndola si el tamaño de dichas oscilaciones de borde ha disminuido a un nivel por debajo de un nivel de umbral definido.
- 10 De este modo se asegura que no se efectúen alternaciones innecesarias de guiñada para ahorrar energía y para minimizar el desgaste de la mecánica de guiñada.
- En otro aspecto de la presente invención, dicho sistema de control de guiñada altera el ángulo de guiñada en relación con oscilaciones de borde amortiguadas sobre la base de datos obtenidos previamente, tales como valores de velocidad del viento, valores de tendencia, episodios de control de ángulo de guiñada anteriores, etc.
- 15 De este modo, se garantiza que se puede obtener una alteración óptima del ángulo de guiñada y que dicho control de guiñada puede basarse en datos obtenidos previamente, de tal manera que, por ejemplo, se pueden predecir y se pueden compensar situaciones de control conocidas. Aún más, los valores de tendencia y las situaciones predichas pueden inicializar la alteración del mecanismo de guiñada antes de un evento real que, a su vez, puede incluso inhibir la aparición de oscilaciones de borde.
- 20 En otro aspecto más de la presente invención, dicho sistema de control de guiñada comprende una memoria para almacenar valores de datos obtenidos previamente. Con ello se asegura que dicho control de guiñada puede funcionar óptimamente y basar su estrategia de control en valores de datos obtenidos previamente.
- En otro aspecto de la presente invención, dicho sistema de control de guiñada comprende capacidades de procesamiento de datos para procesar valores de datos y para calcular, por ejemplo, valores de tendencia del control de guiñada.
- 25 Además, la presente invención proporciona un procedimiento para controlar una turbina eólica, de acuerdo con la reivindicación 11.
- En el presente documento se proporciona un procedimiento simple y rentable para amortiguar o eliminar oscilaciones de borde en las palas de una turbina eólica en una situación de producción de energía en ralentí en relación con una red eléctrica.
- 30 En un aspecto de la presente invención, dicha góndola se vuelve a colocar en su posición original de ángulo de guiñada, cuando dicho valor de oscilación de borde ha caído por debajo de un nivel predeterminado adicional.
- En un aspecto de la presente invención, se transmite una señal de alarma si dicho valor de oscilación de borde no ha caído por debajo de un nivel predeterminado dentro de un tiempo predeterminado.
- 35 En un aspecto de la presente invención, dicho valor de oscilación de borde se establece mediante mediciones de carga de dicha pala.
- En un aspecto de la presente invención, dicho ángulo de guiñada se altera en una dirección que reduce la velocidad de rotación del rotor de la turbina eólica, si la velocidad de giro de dicho rotor está por encima de un nivel predefinido.
- 40 En un aspecto de la presente invención, dicho ángulo de guiñada se altera en una dirección que aumenta la velocidad de rotación del rotor de la turbina eólica, si la velocidad de giro de dicho rotor está por debajo de un nivel predefinido.
- La presente invención se refiere, además, al uso de un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 14 a 20, en el que dicha turbina eólica es una turbina eólica con control de orientación o de entrada en pérdida activa, que comprende medios para detectar oscilaciones de borde.
- 45 **Figuras**
- La presente invención se describirá a continuación con referencia a las figuras, en las que:
- la figura 1 ilustra una turbina eólica de funcionamiento moderno y gran tamaño, conocida en la técnica, vista desde delante,
- la figura 2 ilustra una pala de turbina eólica, vista desde delante,
- 50 la figura 3 ilustra una sección transversal de una pala de turbina eólica en ralentí, vista desde la raíz de la

pala,

la figura 4 ilustra una sección transversal de una pala de turbina eólica en ralentí, vista desde la raíz de la pala,

la figura 5 ilustra una sección transversal simplificada de una góndola, vista desde el lado.

## 5 Descripción detallada de la técnica relacionada

La figura 1 ilustra una turbina eólica 1 de funcionamiento moderno, que comprende una torre 2 y una góndola 3 de turbina eólica situada en la parte superior de la torre 2. El rotor 4 de turbina eólica, que comprende tres palas 5 de turbina eólica, está conectado a la góndola 3 por el árbol de baja velocidad que se extiende hacia fuera desde la parte frontal de la góndola 3.

10 En este modo de realización, la turbina eólica 1 comprende tres palas 5, pero, en otro modo de realización, la turbina eólica 1 podría comprender otro número de palas 5, tal como una, dos, cuatro o más.

## Descripción detallada de la invención

15 La figura 2 ilustra una pala 5 de turbina eólica, vista desde el lado frontal/de presión 11. La pala 5 de turbina eólica comprende un borde de ataque 6, un borde de salida 7, una punta 8 y una raíz 9. Una pala 5 de turbina eólica conocida en la técnica está hecha típicamente de un compuesto de fibra de vidrio y resina reforzado con fibra de carbono, madera reforzada con fibra de carbono o una combinación de los mismos.

20 Una pala 5 de turbina eólica tiene típicamente un centro elástico que está más próximo al borde de ataque 6 que al borde de salida 7, al menos con respecto a la mayoría de las partes de la pala 5. Si se producen oscilaciones de borde a una frecuencia en o cerca de la primera frecuencia de borde natural de las palas, especialmente el borde de salida 7 está por consiguiente expuesto a una tensión considerable que, bajo ciertas condiciones, podría reducir la vida útil de la pala 5.

La figura 3 ilustra una sección transversal de una pala 5 de turbina eólica en ralentí en una situación de no entrada en pérdida, vista desde la raíz de la pala 5.

25 En este modo de realización, la pala 5 es una pala 5 de una turbina eólica corriente con orientación regulada 1, en la que la pala 5 está embanderada, es decir, la pala 5 se muestra en una posición de estacionamiento en la que la pala 5 está orientada de modo que la cuerda C de la pala 5 es sustancialmente paralela al viento entrante. Debido a que las palas de turbina eólica 5 conocidas en la técnica se retuercen a lo largo de su extensión longitudinal, habitualmente solo en algunas partes de la pala 5 la cuerda C es sustancialmente paralela al viento entrante cuando se pone en posición de estacionamiento.

30 Para el caso de, por ejemplo, una pala 5 de una turbina eólica 1 con control de orientación, la pala está típicamente inclinada de modo que el borde de ataque 6 está orientado hacia el viento entrante cuando la pala 5 está embanderada, mientras que una pala 5 de una turbina eólica 1 con regulación de entrada en pérdida típicamente hará que el borde de salida 7 se oriente hacia el viento entrante, cuando la pala 5 está embanderada, pero, en otros casos, son substancialmente los mismos mecanismos los que afectan a las palas 5 de los dos tipos de turbinas eólicas cuando están en ralentí.

35 Cuando una turbina eólica 1 con control de orientación está produciendo energía durante el funcionamiento normal, el controlador electrónico de las turbinas comprueba la potencia de salida de la turbina 1, por ejemplo, varias veces por segundo. Cuando la potencia de salida llega a ser demasiado alta, el controlador envía un orden al mecanismo de orientación 13 de la pala, que inmediatamente orienta (gira) las palas 5 del rotor desviándolas ligeramente con respecto del viento. De igual modo, las palas 5 son giradas de nuevo hacia el viento cada vez que el viento vuelve a amainar. Durante el funcionamiento normal, las palas 5 de una turbina eólica 1 con regulación de orientación habitualmente solo se inclinan una fracción de grado cada vez, y el rotor 4 estará girando al mismo tiempo.

40 Para varios modos de realización de una turbina eólica, si la velocidad del viento del viento entrante aumenta por encima de cierto nivel, tal como 25 metros/s, el controlador pondrá las palas 5 en posición de bandera para hacer que el rotor 4 deje de girar o, al menos, hacer que el rotor se ponga en ralentí, y la turbina eólica dejará sustancialmente de producir energía para la red eléctrica. Esto se hace, entre otras razones, para proteger las palas 5 y el resto de la turbina eólica 5 de una sobrecarga perjudicial a altas velocidades del viento.

45 Si el rotor 4 no está fijado directamente contra la rotación cuando la turbina eólica 1 está en ralentí, la situación de ralentí no significa necesariamente que el rotor 4 deje de girar. En realidad, el rotor 4 girará lentamente a menudo, y también ocurre que el rotor 4 gira hacia atrás en relación con el sentido de rotación, cuando la turbina eólica 1 no está en ralentí, es decir, cuando está produciendo energía para una red eléctrica.

50 La figura 4 ilustra una sección transversal de una pala 5 de turbina eólica en ralentí en una situación de entrada en pérdida, vista desde la raíz 9 de la pala 5.

La pala 5 ilustrada en la figura 4 es una pala 5 embanderada en una turbina eólica 1 con regulación de entrada en pérdida activa en ralentí, ilustrada durante una ráfaga repentina de viento que crea una situación de entrada en pérdida no deseada. En otro modo de realización, podría ser también una pala 5 en una turbina eólica 1 con regulación de orientación en ralentí.

5      Técnicamente, una turbina eólica 1 con control de entrada en pérdida activa se asemeja a una turbina eólica 1 con control de orientación, en que ambas tienen palas orientables y, con el fin de obtener un par de torsión (fuerza de giro) razonablemente grande a velocidades de viento bajas, habitualmente la turbina eólica 1 con control de entrada en pérdida activa será programada para orientar las palas 5 de manera similar a una turbina eólica 1 con control de orientación, a bajas velocidades del viento. No obstante, cuando la turbina eólica 1 con control de entrada en pérdida activa alcanza su potencia nominal, se notará una diferencia importante con respecto a las turbinas eólicas 1 con control de orientación. Si el generador 17 está a punto de llegar a la sobrecarga, la turbina eólica 1 con control de entrada en pérdida activa orientará sus palas 5 en la dirección opuesta a la de una turbina eólica 1 con control de orientación. En otras palabras, aumentará el ángulo de ataque de las palas 5 del rotor para hacer que las palas 5 entren en una pérdida todavía mayor, desperdiciando de este modo el exceso de energía en el viento.

10      Las palas 5 embanderadas en una turbina eólica 1 con control de orientación o con control de entrada en pérdida, en ralentí, no suelen entrar en pérdida, porque el viento sobrepasará la pala 5 sustancialmente sin alterarla, y el mecanismo de guiñada de la turbina eólica 1 garantizará que el plano del rotor sea sustancialmente perpendicular a la dirección del viento entrante, haciendo que el viento sobrepase las palas 5 sustancialmente como se ilustra en la figura 3 y, si las palas 5 embanderadas entrasen en pérdida, habitualmente eso tendría muy poca o ninguna consecuencia.

15      Sin embargo, en ciertas circunstancias pueden levantarse ráfagas de viento desde diferentes direcciones con tanta rapidez, que el sistema de control de las turbinas 1 o el mecanismo de guiñada no pueden reaccionar con la suficiente rapidez y, durante un corto periodo de tiempo, puede producirse una entrada en pérdida. Estos periodos cortos de entrada en pérdida pueden inducir oscilaciones de borde en la pala 5, que potencialmente pueden ser muy perjudiciales. Particularmente si estas ráfagas se producen rítmicamente a una frecuencia igual o cercana a la primera frecuencia natural de borde de las palas 5, la energía de las oscilaciones de borde puede acumularse.

20      De la misma manera, fenómenos aerodinámicos como el sistema de torbellinos de Von Karman, la separación periódica de flujo, los torbellinos de turbulencia o locales pueden, en ciertas circunstancias, inducir oscilaciones de borde en la pala 5 embanderada, particularmente si estos fenómenos ocurren de forma periódica o rítmica a una frecuencia o en fase con una frecuencia igual o cercana a la primera frecuencia natural de borde de las palas 5.

25      La figura 5 ilustra una sección transversal simplificada de una góndola 3 de una turbina eólica 1 con regulación de orientación o de entrada en pérdida activa, vista de lado. Las góndolas 3 existen en una multitud de variaciones y configuraciones, pero, en la mayoría de los casos, la cadena de tracción de la góndola 3 comprende casi siempre uno o más de los componentes siguientes: una caja de engranajes 15, un acoplamiento (no mostrado), algún tipo de sistema de frenado 16 y un generador 17. Una góndola 3 de una turbina eólica moderna 1 puede incluir también un convertidor 18 (también denominado inversor) y un equipo periférico adicional, tal como un equipo adicional de manejo de la potencia, armarios de control, sistemas hidráulicos, sistemas de refrigeración y más.

30      El peso de toda la góndola 3, incluyendo los componentes de góndola 15, 16, 17, 18, es soportado por una estructura de refuerzo 19. Los componentes 15, 16, 17, 18 están dispuestos habitualmente encima de y/o conectados a esta estructura de soporte de carga 19 común. En este modo de realización simplificado, la estructura de refuerzo 19 solo se extiende a lo largo de la parte inferior de la góndola 3, por ejemplo, en forma de un armazón de base al que se conectan algunos o todos los componentes 15, 16, 17, 18. En otro modo de realización, la estructura de refuerzo 19 podría comprender una campana de engranajes que transfiere la carga del rotor 4 a la torre 2, o la estructura de soporte de carga 19 podría comprender varias partes interconectadas, tales como una celosía.

35      En este modo de realización de la presente invención, el tren de impulsión se establece en un ángulo con respecto a un plano horizontal. El tren de impulsión se inclina, entre otras razones, para permitir que el rotor 4 se pueda inclinar de forma correspondiente, por ejemplo, para garantizar que las palas 5 no golpeen la torre 2, para compensar las diferencias en la velocidad del viento en la parte superior e inferior del rotor 4 y otras.

40      En este modo de realización de la presente invención, los medios de detección 21 son acelerómetros 22 colocados en cada una de las palas 5 para detectar si la pala individual 5 oscila en el borde. En la medida en que la amplitud de las oscilaciones de borde de una pala 5 aumentará con la distancia desde la raíz 9 de la pala 5, los medios de detección 21 son, en este modo de realización de la presente invención, acelerómetros, colocados en el interior de las palas 5, a una distancia dada de la raíz 9 de la pala 5.

45      Los medios de detección 21 también podrían colocarse en la parte posterior de la góndola 3, en forma de uno o más acelerómetros 22, fijados a la parte posterior de la estructura de refuerzo 19. El acelerómetro 22 se montaría entonces de tal manera que se detectarían oscilaciones de borde de las palas 5 que conducen a oscilaciones horizontales o sustancialmente horizontales de la góndola y/o a oscilaciones verticales que intentan inclinar la

góndola verticalmente.

5 Las oscilaciones de borde de las palas 5 pueden inducir oscilaciones de la góndola 3, por ejemplo, haciendo que la góndola 3 oscile ligeramente alrededor del centro de la torre 2, es decir, en la dirección de guiñada, razón por la cual estas oscilaciones pueden detectarse de manera relativamente fiable en la parte trasera de la góndola 3. Las frecuencias típicas de las oscilaciones de borde (primera frecuencia natural) están en el intervalo de 0,9-1,8 Hz.

10 En otro modo de realización de la presente invención, los medios de detección 21 podrían ser otros tipos de sensores distintos de los acelerómetros 22, tales como micrófonos, galgas extensométricas, fibras ópticas u otros, o podrían colocarse de manera diferente en las palas 5, o los sensores de oscilación 21 podrían colocarse fuera de las palas 5, por ejemplo, dentro o en el eje de rotación 26 de un rotor 4, por ejemplo, en el centro del cubo 14 o en la góndola 3.

15 Los medios de detección 21 podrían ser, simplemente, unos medios ya presentes en la turbina eólica 1 para detectar cargas u otros parámetros durante el funcionamiento normal de la turbina eólica 1, tal como los sensores de oscilación de la torre, habitualmente colocados en la parte superior de la torre para detectar si la torre oscila, donde las oscilaciones de borde de las palas 5 podrían transmitirse a través de la góndola 3 a la torre 2 y ser detectadas como ligeras vibraciones de la torre 2. También podrían ser sensores de carga colocados en la raíz 9 de la pala 5 para detectar la carga sobre la pala 5 durante el funcionamiento normal, de la manera en que lo harían típicamente estos sensores durante el ralentí.

20 La turbina eólica 1 está provista también de medios de registro 20, para detectar si la turbina eólica 1 está funcionando en una situación de producción de energía en ralentí en relación con la red eléctrica, es decir, si la turbina eólica 1 no está produciendo sustancialmente energía para la red eléctrica, a la que la turbina eólica 1 suministraría energía durante el funcionamiento normal de la turbina eólica 1.

25 En este modo de realización, los medios de registro 20 son un amperímetro, que mide si hay alguna salida eléctrica desde el convertidor 18 o, al menos, si la salida eléctrica está por debajo de un cierto nivel bajo e insignificante, pero, en otro modo de realización, los medios de registro 20 podrían ser un voltímetro u otro dispositivo, y los medios de registro 20 podrían realizar mediciones o registros en otra parte, tal como en el generador 17, en las líneas eléctricas dentro o fuera de la turbina eólica 1, en una unidad de potencia central fuera de la turbina eólica 1 o, en cualquier otro lugar.

30 Los medios de registro 20 también incluyen medios que solo detectan indirectamente si la turbina eólica 1 está en ralentí, por ejemplo, codificadores, tacómetros u otros que detectan si el árbol principal u otras partes que generalmente giran están girando, o a qué velocidad están girando. Si estas partes no giran, o solo giran a muy baja velocidad, podría indicar que la turbina eólica 1 estaba en ralentí.

35 Varios modos de realización de turbinas eólicas de eje horizontal utilizan guiñada forzada, es decir, utilizan un sistema de control de guiñada que incluye medios de control de guiñada 25 y un mecanismo de guiñada 24 que utiliza, por ejemplo, motores eléctricos y cajas de engranajes para mantener el rotor desviado contra el viento haciendo girar la góndola 3 en la parte superior de la torre 2.

A menudo, el mecanismo de guiñada 24 comprende uno o más motores de guiñada, un cojinete de guiñada y frenos de guiñada, por ejemplo, para frenar el mecanismo de guiñada cuando no se utiliza. El mecanismo de guiñada es activado por los medios de control de guiñada 25 que controlan el ángulo de guiñada o la posición de guiñada, por ejemplo, sobre la base de una señal de retroalimentación de posición de un sensor de posición.

40 Para varios modos de realización de la presente invención, los medios de control de guiñada 25 están colocados en el cubo 14 pero, en otros modos de realización, los medios de control de guiñada 25 estarían colocados en la góndola 3, en la torre 2, en una casa vecina o en cualquier otra parte, por ejemplo, en la misma ubicación que el mecanismo para controlar la guiñada en relación con la carga, la potencia u otro parámetro durante el funcionamiento normal de la turbina eólica 1. En otros modos de realización, dichos medios de control de guiñada 25 pueden incluso estar integrados en el mecanismo de guiñada.

50 De acuerdo con un modo de realización de la presente invención, los medios de detección 21 y los medios de registro 20 están conectados a los medios de control de guiñada 25. Si la turbina eólica 1 está en ralentí y si se detectan oscilaciones de borde de las palas 5 o si se detectan oscilaciones de borde por encima de un cierto nivel, los medios de control de guiñada 25 puede iniciar el control del mecanismo de guiñada 24 para alterar el ángulo de guiñada.

Para un modo de realización de la presente invención, el control del ángulo de guiñada con respecto a las oscilaciones de borde amortiguadas, es un proceso iterativo o un sistema adaptativo que sigue este sistema de control simplificado que comprende las etapas siguientes:

55 1 - los medios de registro 20 registran si la turbina eólica 1 está funcionando en una situación de producción de energía en ralentí en relación con una red eléctrica

2- detectar valores del nivel de oscilaciones de borde, por ejemplo, mediante los medios de detección 21

3- procesar los registros y los valores detectados

4- iniciar la alteración del ángulo de guiñada

5- detectar nuevos valores del nivel de oscilaciones de borde, por ejemplo, por medio de los medios de detección 21

5 6- determinar si el nivel de oscilaciones de borde ha aumentado o disminuido.

7- si dicho nivel ha disminuido: iniciar la alteración del ángulo de guiñada en la misma dirección que en la etapa 3.

8- si dicho nivel ha aumentado: iniciar la alteración del ángulo de guiñada en la dirección opuesta a la etapa 3.

9- si se ha alcanzado un mínimo de oscilaciones de borde: detener la alteración del ángulo de guiñada.

De este modo, el ángulo de guiñada se controla para minimizar sustancialmente dichas oscilaciones de borde.

10 Para otro modo de realización de la presente invención, el sistema de control anterior puede interrumpirse tan pronto se detecte que el nivel de oscilaciones de borde ha descendido hasta un nivel por debajo de un nivel de umbral definido.

15 Para otro modo de realización de la presente invención, el ángulo de guiñada se controla en relación con oscilaciones de borde amortiguadas sobre la base de los datos obtenidos anteriormente, pudiendo ser dichos datos, por ejemplo, valores de la velocidad del viento, valores de tendencia, episodios anteriores de control del ángulo de guiñada, etc.

Para varios modos de realización, los medios de control de guiñada 25 comprenden la memoria para almacenar dichos datos obtenidos previamente y/o los medios de control de guiñada comprenden capacidades de procesamiento de datos para procesar datos y para calcular, por ejemplo, dichos valores de tendencia.

20 Para otros modos de realización, si las oscilaciones de borde no han caído por debajo de un nivel predeterminado dentro de un periodo de tiempo predeterminado, los medios de control de guiñada podrían comprender medios para enviar una alarma que indica que los procedimientos de amortiguación se han iniciado. De la misma manera, si las oscilaciones de borde continúan creciendo en tamaño -aunque la góndola 3 haya sido activada para contrarrestar las oscilaciones mediante dicho control de guiñada- podría transmitirse una señal de alarma a una unidad de vigilancia externa o a otro sitio.

25 En un modo de realización de la presente invención, la góndola 3 se vuelve a poner en su posición de estacionamiento original o sustancialmente en su posición de estacionamiento original, de inmediato o después de un tiempo predeterminado específico, pero, en un modo de realización preferido, la góndola 3 se vuelve a poner en esta posición, cuando los medios de detección 21 detectan que el tamaño de las oscilaciones ha vuelto a caer por debajo de cierto nivel predefinido.

35 En un modo de realización adicional, la góndola 3 también podría mantenerse en su nuevo ángulo de guiñada y, a continuación, solo se movería de nuevo si se detectasen oscilaciones de borde adicionales, si el rotor estuviera girando demasiado rápido, demasiado lento o en la dirección incorrecta, si se volviera a poner la turbina eólica en el modo de funcionamiento o si otras condiciones exigieran un cambio de la posición de guiñada. De este modo, la posición de guiñada solo se cambia cuando es absolutamente necesario, con lo que se ahorra energía y se reduce el desgaste.

40 En otro modo de realización de la presente invención, los medios de control de guiñada 25 podrían comprender también medios para aumentar la ganancia de los medios de control de guiñada si el tamaño de las oscilaciones se eleva por encima de un determinado nivel predefinido, si el tamaño de las oscilaciones no se ha amortiguado por debajo de un nivel predefinido dentro de un cierto tiempo predefinido tal como entre 1 y 1000 segundos, preferentemente entre 10 y 500 segundos y/o si el tamaño de las oscilaciones ha estado por encima de un cierto nivel predefinido durante al menos un cierto tiempo predefinido.

45 La ganancia es la parte del algoritmo de control de los medios de control de guiñada que controlan el tamaño de la reacción a un nivel de oscilación dado, por ejemplo, controlando cuánto se amplifica la señal de entrada de los medios de detección 21 (por ejemplo, la amplitud de las oscilaciones de borde) en el algoritmo de control de los medios de control de guiñada, controlando de este modo la magnitud de la alternancia del ángulo de guiñada para una señal de entrada dada.

50 El nivel predefinido mencionado anteriormente, por ejemplo, para determinar si las palas 5 deben volver a su posición de ángulo de orientación original, determinar si se debe cambiar el ángulo de orientación, determinar si se debe iniciar un procedimiento de alarma y para otras determinaciones podría definirse como un porcentaje del excedente de una carga conocida, por ejemplo, si se detectase que la tracción por gravedad de las palas 5 daría lugar a una carga máxima dada medida por los sensores de carga en la raíz 9 de la pala 5, pudiendo ser este nivel



5 predefinido que esta carga máxima dada se sobrepasara en al menos un 5 % y, preferentemente, en al menos un 15 %, tal como un 20 %, lo que indicaría que la pala 5 está influenciada por otras fuerzas aparte de la gravedad, es decir, la pala 5 podría estar oscilando en el borde, particularmente si estos excesos de carga ocurren rítmicamente y dentro de uno o más rangos de frecuencia, tal como entre 0,1 y 5 Hz, preferentemente entre 0,5 y 3 Hz, lo que indicaría que el exceso procede de oscilaciones de borde, y no solo de algunos fenómenos aerodinámicos breves.

De manera similar, si los medios de detección 21 fueran uno o más acelerómetros colocados en las palas 5, en el cubo, en la góndola 3 o en la torre 2, los niveles predeterminados también podrían definirse como un porcentaje superior a un nivel de aceleración conocido.

10 Los niveles también podrían definirse como un porcentaje de una carga o aceleración aceptable o, simplemente, basarse en valores estadísticos o empíricos, o basarse en pruebas prácticas.

15 La presente invención se ha ejemplificado anteriormente con referencia a ejemplos específicos de turbinas eólicas 1, medios de detección 21, modos de realización de un procedimiento para amortiguar oscilaciones de borde y otros. Sin embargo, debería entenderse que la presente invención no se limita a los ejemplos particulares descritos anteriormente, sino que puede diseñarse y alterarse en una multitud de variantes dentro del alcance de la presente invención, especificado en las reivindicaciones.

**Lista**

- 1. Turbina eólica
- 2. Torre
- 3. Góndola
- 20 4. Rotor
- 5. Pala
- 6. Borde de ataque
- 7. Borde de salida
- 8. Punta
- 25 9. Raíz
- 10. Grieta
- 11. Lado de presión
- 12. Lado de sotavento
- 13.
- 30 14. Medios de control
- 15. Caja de engranajes
- 16. Sistema de desconexión
- 17. Generador
- 18. Convertidor
- 35 19. Estructura de refuerzo
- 20. Medios de registro
- 21. Medios de detección
- 22. Acelerómetro
- 23.
- 40 24. Mecanismo de guiñada
- 25. Medios de control de guiñada

C. Cuerda

**REIVINDICACIONES**

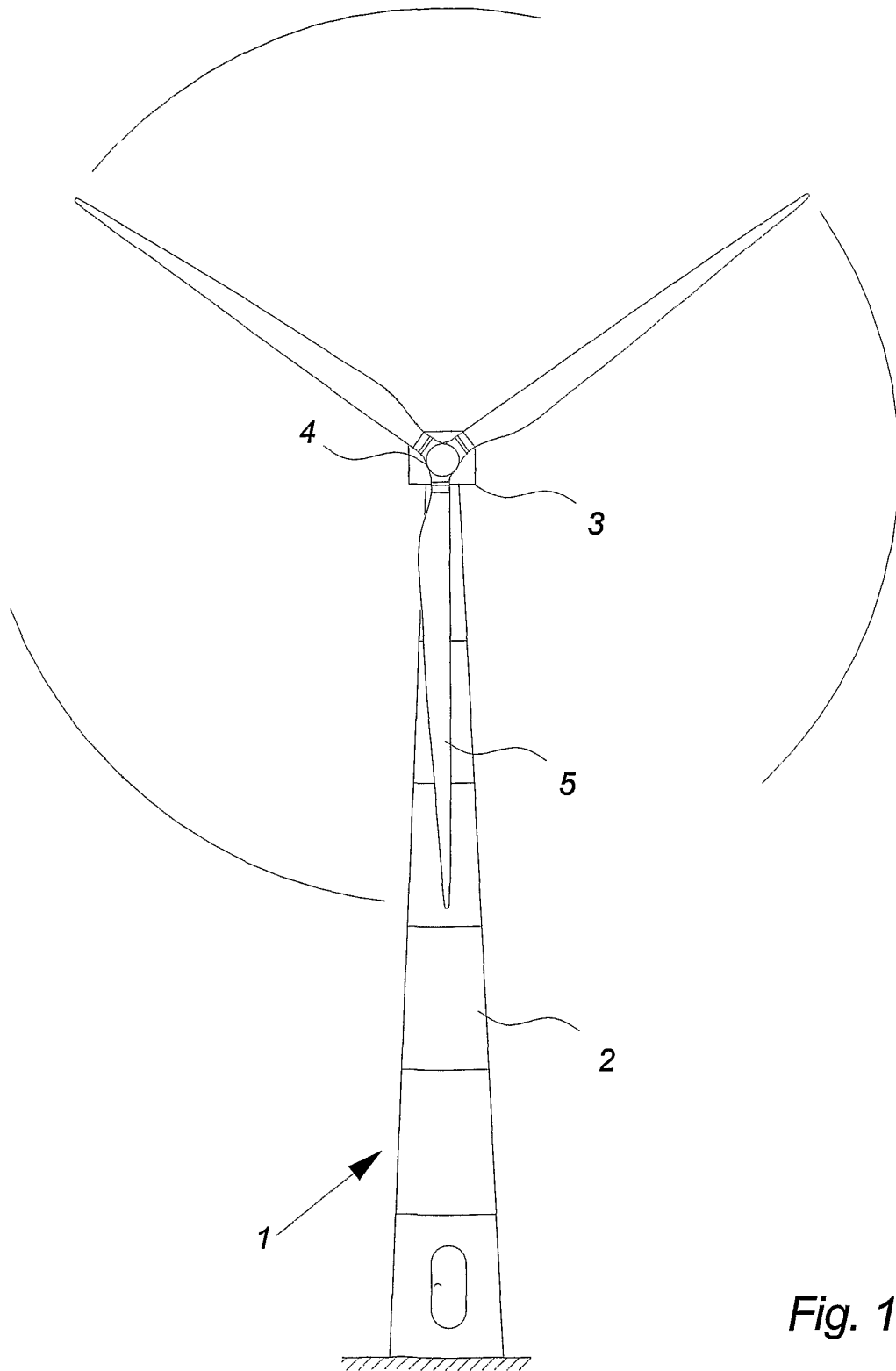
1. Turbina eólica (1), que comprende  
un rotor (4), que comprende, al menos, una pala (5) de rotor,  
un sistema de control de guiñada, que incluye medios de control de guiñada (25), un mecanismo de guiñada (24)  
5 que comprende uno o más motores de guiñada y un cojinete de guiñada,  
medios de registro (20) para registrar una situación de producción de energía en ralentí de dicha turbina eólica (1)  
con respecto a una red eléctrica, y  
medios de detección (21) para detectar oscilaciones de borde en una o más de dichas palas (5), estando  
10 caracterizada la turbina eólica por que dicho sistema de control de guiñada está adaptado para cambiar la posición  
de guiñada de la góndola (3) de turbina eólica cuando dichos medios de registro (20) registra que dicha turbina  
eólica (1) está funcionando en una situación de producción de energía en ralentí y dichos medios de detección (21)  
detecta oscilaciones de borde en una o más de dichas palas (5) de rotor, amortiguando o eliminando de ese modo  
dichas oscilaciones de borde.
2. Turbina eólica (1) de acuerdo con la reivindicación 1, en la que dichos medios de detección (21) son uno o más  
15 acelerómetros (22) colocados dentro o en dicha al menos una pala (5) de rotor.
3. Turbina eólica (1) de acuerdo con la reivindicación 1, en la que dicho medio de detección (21) son uno o más  
acelerómetros (22) colocados en una góndola (3) de dicha turbina eólica (1).
4. Turbina eólica (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dicho sistema de control  
20 de guiñada comprende medios para cambiar dicha posición de guiñada de la góndola (3) de turbina eólica entre 0,5°  
y 30°, preferentemente entre 2° y 15°, y más preferentemente entre 3° y 8° si dichos medios de detección (21)  
detectan oscilaciones de borde en una o más de dichas palas (5) de rotor.
5. Turbina eólica (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dicho sistema de control  
de guiñada comprende medios para volver a poner dicha góndola (3) en su posición original de ángulo de guiñada,  
25 cuando dichos medios de detección (21) detectan que el tamaño de dichas oscilaciones de borde está por debajo de  
un nivel predefinido.
6. Turbina eólica (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dicho sistema de control  
de guiñada comprende medios solo para alterar el ángulo de guiñada de dicha góndola (3) si dichas oscilaciones de  
borde detectadas está por encima de un nivel predefinido.
7. Turbina eólica (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dicho sistema de control  
30 de guiñada comprende además un temporizador para dar una señal de alarma si el tamaño de dichas oscilaciones  
de borde no ha caído por debajo de un nivel predefinido dentro de un periodo de tiempo predefinido.
8. Turbina eólica (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dicho sistema de control  
de guiñada comprende medios para alterar el ángulo de guiñada de dicha góndola (3) hasta un ángulo óptimo donde  
dichas oscilaciones de borde está sustancialmente en un mínimo.
9. Turbina eólica (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dicho sistema de control  
35 de guiñada comprende medios para interrumpir la alteración del ángulo de guiñada de dicha góndola (3) si el tamaño  
de dichas oscilaciones de borde ha disminuido hasta un nivel por debajo de un umbral definido.
10. Turbina eólica (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dicho sistema de  
control de guiñada altera el ángulo de guiñada en relación con oscilaciones de borde amortiguadas sobre la base de  
40 datos obtenidos previamente, tales como valores de velocidad del viento, valores de tendencia, episodios de control  
de ángulo de guiñada anteriores, etc.
11. Procedimiento para controlar una turbina eólica (1), comprendiendo dicho procedimiento las etapas de:
- registrar si dicha turbina eólica (1) está funcionando en una situación de producción de energía en ralentí en  
relación con una red eléctrica,
  - 45 • establecer un valor de oscilación de borde de una pala (5) de rotor de turbina eólica de dicha turbina eólica (1), y
  - cambiar el ángulo de guiñada de la góndola (3) de dicha turbina eólica (1) si dicha turbina eólica (1) está  
funcionando en una situación de producción de energía en ralentí y dicho valor de oscilación de borde está por  
encima de un nivel predefinido, amortiguando o eliminando de ese modo dicha oscilación de borde.
12. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 11, en el que dicha góndola (3) se vuelve a poner en su posición  
50 de ángulo de guiñada original, cuando dicho valor de oscilación de borde ha caído por debajo de otro nivel

predeterminado.

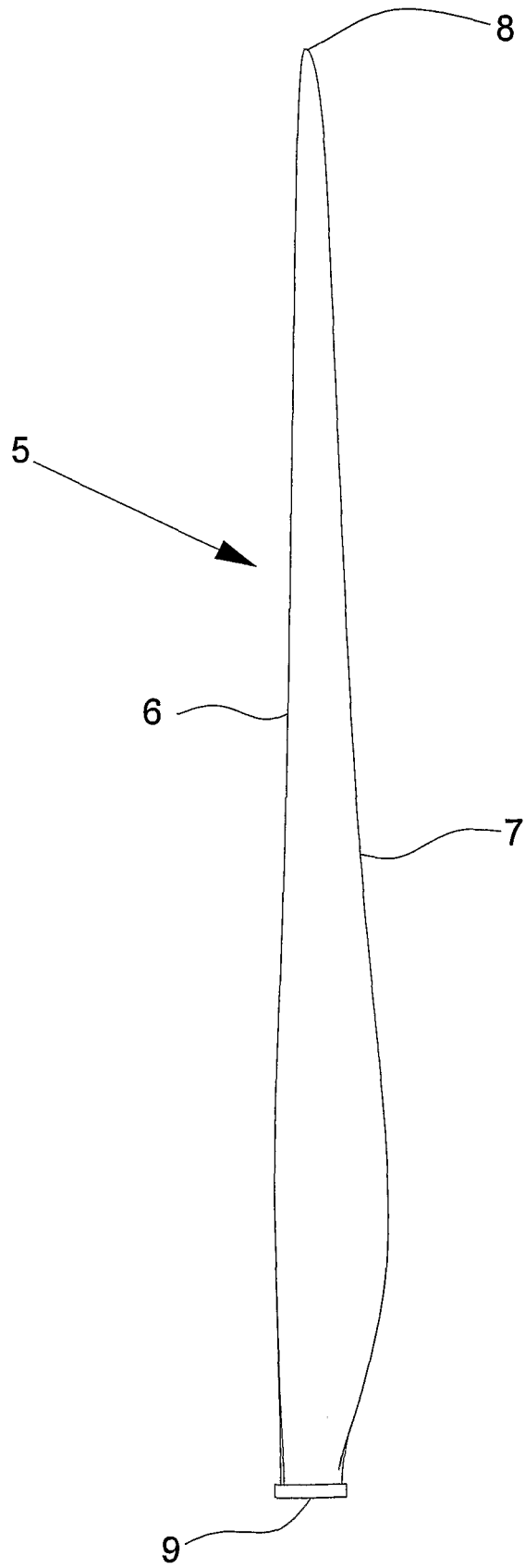
13. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 11 o 12, en el que se transmite una señal de alarma si dicho valor de oscilación de borde no ha caído por debajo de un nivel predeterminado dentro de un tiempo predeterminado.

5 14. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, en el que dicho ángulo de guiñada se altera en una dirección que reduce la velocidad de rotación del rotor (4) de turbina eólica, si la velocidad de rotación de dicho rotor (4) está por encima de un nivel predefinido,

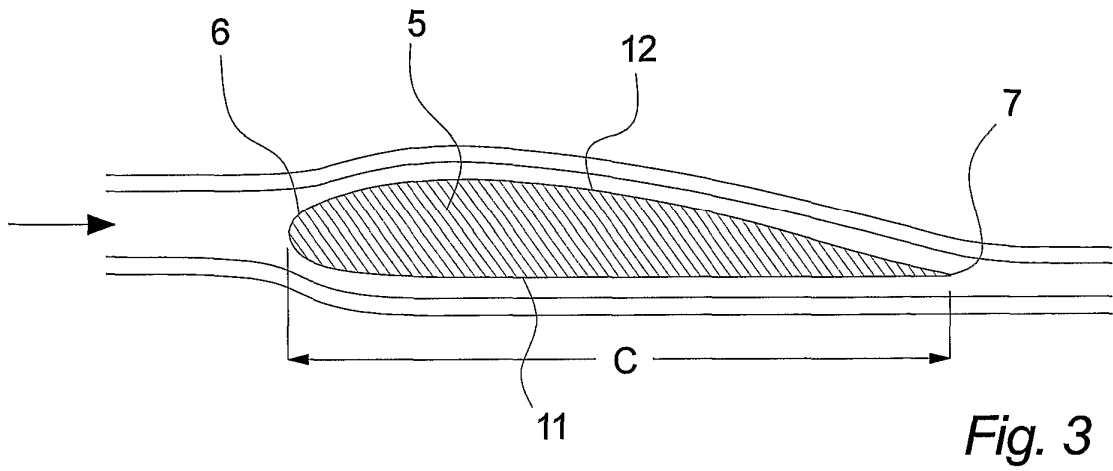
10 15. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 a 14, en el que dicho ángulo de guiñada se altera en una dirección que aumenta la velocidad de rotación del rotor (4) de turbina eólica, si la velocidad de rotación de dicho rotor (4) está por debajo de un nivel predefinido.



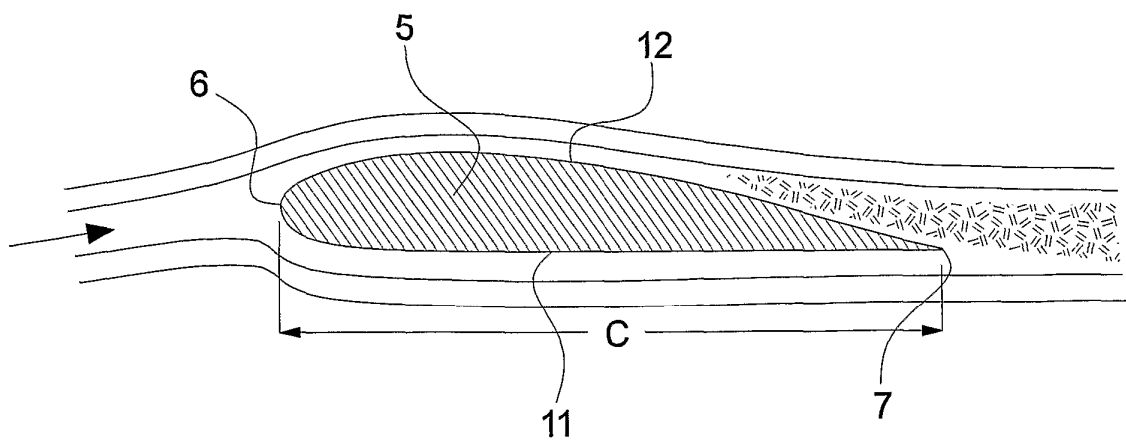
*Fig. 1*



*Fig. 2*



*Fig. 3*



*Fig. 4*

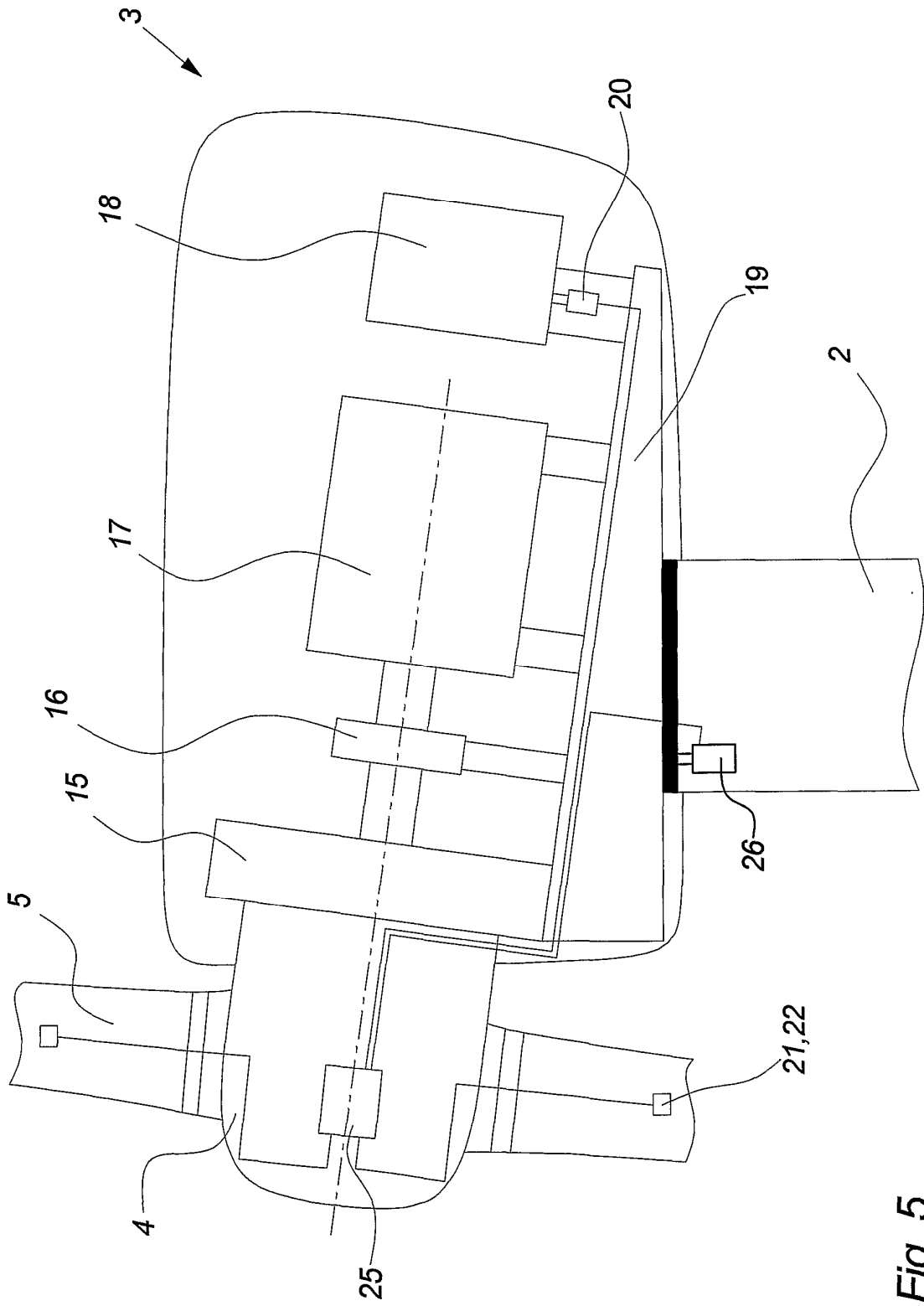


Fig. 5