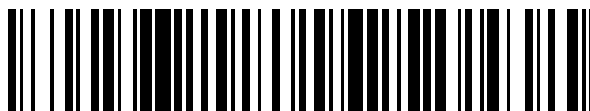


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 438 224**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/00** (2006.01)

**F03D 7/02** (2006.01)

**F03D 11/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.11.2007 E 07021775 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.10.2013 EP 1972781**

54 Título: **Amortiguador de oscilaciones de una instalación de energía eólica**

30 Prioridad:

**17.11.2006 DE 102006054666**

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

**16.01.2014**

73 Titular/es:

**REPOWER SYSTEMS SE (100.0%)  
Überseering 10  
22297 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:

**SEIDEL, MARC;  
VON MUTIUS, MARTIN y  
STEUDEL, DIRK**

74 Agente/Representante:

**BOTELLA REYNA, Antonio**

**ES 2 438 224 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**

Amortiguador de oscilaciones de una instalación de energía eólica

5 La invención se refiere a un procedimiento para el funcionamiento de una instalación de energía eólica, especialmente una instalación de energía eólica fundada en un fondo acuático, por ejemplo una instalación de energía eólica offshore, en el que la instalación de energía eólica comprende una estructura de soporte y un rotor dispuesto en la estructura de soporte, y en el que el rotor presenta una pala de rotor. Además, la invención se refiere a una instalación de energía eólica, especialmente a una instalación de energía eólica fundada en un fondo acuático,  
10 por ejemplo una instalación de energía eólica offshore, con una estructura de soporte y con un rotor que comprende una pala de rotor.

Por el documento DE102004024564B4 se conocen un procedimiento para el control y la regulación de una instalación de energía eólica, así como una instalación de energía eólica correspondiente, en la que están previstas  
15 una sala de máquinas ajustable en un ángulo de acimut así como al menos una pala de rotor ajustable alrededor de su eje longitudinal y una alimentación eléctrica, y la instalación de energía eólica se hace funcionar en un régimen de barrena, y en función de una velocidad de viento y de la dirección del viento se ajusta una posición de ángulo de acimut para la sala de máquinas y uno o varios ángulos de ajuste para la al menos una pala de rotor cuando una velocidad de viento medida sobrepasa un valor de velocidad predeterminado, y un accionamiento de acimut se  
20 acciona para ajustar la posición de ángulo de acimut de la sala de máquinas y se ajusta correspondiente al menos un accionamiento de paso alimentado por la alimentación eléctrica (accionamiento del ángulo de pala de rotor) que ajusta la al menos una pala de rotor al ángulo de ajuste determinado por la unidad de control, y la al menos una pala de rotor rota en la posición ajustada con un número de revoluciones de un intervalo de números de revoluciones predeterminado.

25 El documento DE19860215C1 da a conocer un procedimiento para el funcionamiento de una instalación de energía eólica offshore provista de un dispositivo para intervenir en las cargas de viento que actúan sobre el rotor, con los pasos del registro de la intensidad de viento que actúa sobre las palas de rotor, el registro de la altura de olas que se mueven hacia la instalación de energía eólica, el cálculo de la carga total que resulta por la carga del viento y la  
30 carga de las olas y que debe ser recibida por el fundamento, y la intervención en el rotor reduciendo la carga cuando la carga total esperada durante el impacto de la ola en la torre excede una carga límite.

El documento DE10141098A1 da a conocer una instalación de energía eólica con un rotor rotatorio alrededor de un eje de rotor que presenta al menos una pala de rotor que se extiende transversalmente con respecto al eje de rotor,  
35 con un dispositivo de ajuste para ajustar la al menos una pala de rotor, pudiendo modificarse mediante el ajuste el par de giro con respecto al eje de rotor bajo carga de viento, y con una disposición de estabilización con la que el rotor puede estabilizarse en al menos una posición de giro predefinida, presentando la disposición de estabilización un dispositivo de acoplamiento acoplable al dispositivo de ajuste, con el que en caso de la desviación de la posición de giro predefinida se puede realizar un ajuste de la al menos una pala de rotor para producir un par de giro que  
40 contrarreste dicha desviación.

Especialmente en instalaciones de energía eólica offshore, la solicitante ha detectado que durante la parada de la instalación de energía eólica existe el peligro de que las olas que actúan sobre el fundamento de la instalación de energía eólica pueden excitar el sistema total en la primera o la segunda frecuencia propia de flexión pudiendo  
45 producirse oscilaciones no deseadas que pueden causar daños o un envejecimiento anticipado de la instalación de energía eólica.

La presente invención tiene el objetivo de reducir o evitar oscilaciones no deseadas de la estructura de soporte de una instalación de energía eólica.

50 Este objetivo se consigue mediante un procedimiento para el funcionamiento de una instalación de energía eólica fundada en un fondo acuático, en el que la instalación de energía eólica comprende una estructura de soporte y un rotor dispuesto en la estructura de soporte, especialmente en una torre, y en el que el rotor presenta una pala de rotor, y para reducir las oscilaciones de la estructura de soporte causadas por acciones mecánicas sobre la  
55 estructura de soporte, la instalación de energía eólica se hace funcionar en régimen de barrena, siendo inducidas las acciones mecánicas sobre la estructura de soporte por olas de agua.

Según la invención, se ha detectado que haciendo funcionar la instalación de energía eólica en régimen de barrena se puede aprovechar el efecto de una amortiguación aerodinámica para reducir las oscilaciones de la estructura de

- soporte. Para ello, el funcionamiento de la instalación de energía eólica en régimen de barrena, preferentemente ha de realizarse de tal forma que el número de revoluciones en barrena del rotor, preferentemente en ralentí, se ajuste de tal forma que se produzca una amortiguación de oscilaciones suficiente. La amortiguación de las oscilaciones está basada en el movimiento del rotor, provocado por la oscilación de la estructura de soporte, en la masa de aire del tubo de circulación sometida al efecto de inercia, generada por el régimen de barrena. El funcionamiento de la instalación de energía eólica en régimen de barrena incluye especialmente un funcionamiento con un ángulo de pala constante que a la velocidad de viento existente provoca la rotación del rotor, estando incluida una vigilancia activa de parámetros de funcionamiento incluso con un ángulo de pala constante, especialmente el número de revoluciones y/o la velocidad de viento.
- 10 El término estructura de soporte incluye en el sentido de la invención especialmente la estructura portante de la instalación de energía eólica, es decir, especialmente la torre y el fundamento que soporta el rotor sobre el fondo marino o, en el caso de fundamentos flotantes, sobre el nivel del mar. En particular, se ha de considerar parte de la estructura de soporte especialmente también el lecho. El lecho es especialmente aquella parte de la estructura de soporte que se extiende desde el fondo marino hasta la superficie del agua o el pie de la torre. El lecho es especialmente - por ejemplo en el caso de un monopilar - la parte de la instalación de energía eólica que está anclada o hundida en el fondo. En el caso de un fundamento plano o un fundamento de gravitación, el lecho es la superficie de apoyo sobre el fondo marino con su flexibilidad.
- 15 El procedimiento de funcionamiento de la instalación de energía eólica está destinado preferentemente al uso en instalaciones de energía eólica offshore. Preferentemente, durante la realización del procedimiento, la instalación de energía eólica no emite energía a una red, es decir, se hace funcionar en ralentí. Preferentemente, el procedimiento de funcionamiento se realiza a velocidades de viento inferiores a la velocidad de viento nominal de la instalación de energía eólica y de forma especialmente preferible inferiores a la velocidad de viento de conexión de la instalación de energía eólica. Preferentemente, régimen de barrena de una instalación de energía eólica significa que el rotor rota en ralentí y que el generador preferentemente no alimenta energía a la red. Entonces, el par de giro originado del rotor es muy reducido y sirve sustancialmente para superar las resistencias de fricción del ramal de accionamiento. El régimen de barrena incluye también un funcionamiento por motor del generador en caso de calma, es decir que en este caso la energía para superar la resistencia de aire del rotor se toma de la red.
- 20 Preferentemente, la instalación de energía eólica presenta un dispositivo de ajuste de ángulo de pala, ajustándose en función de al menos un parámetro, especialmente de un parámetro del entorno, un ángulo de pala, especialmente predeterminable. Por parámetro se entiende en el marco de la invención especialmente una magnitud física como la velocidad de viento, la velocidad media del viento, el tamaño, la longitud y/o la velocidad de olas, la amplitud de oscilación de la cabeza de la torre, la frecuencia de oscilación de la cabeza de la torre etc. El dispositivo de ajuste del ángulo de pala está dispuesto preferentemente en la raíz de la pala de rotor y ajusta la pala de rotor alrededor del eje longitudinal de la pala de rotor a un ángulo de pala predeterminable. Si el ángulo de pala (ángulo de paso) se ajusta en función del número de revoluciones en barrena y/o de la velocidad de viento y/o de una amplitud de oscilación medida de la estructura de soporte, es posible una realización especialmente segura del procedimiento. Preferentemente, se ajusta un número de revoluciones en barrena predeterminable. Además, preferentemente el número de revoluciones en barrena se ajusta en función de la velocidad de viento y/o del ángulo medio de pala. En el marco de la invención, un ángulo medio de pala es especialmente un valor medio temporal de un ángulo de pala, pero en caso del ajuste de pala individual está incluido también el valor medio de los ángulos de pala de al menos de dos palas de rotor.
- 30 Resulta especialmente preferible la realización del procedimiento si el número de revoluciones en barrena, especialmente con velocidades de viento superiores a 3 m/seg., se sitúa entre 10% y 80%, especialmente entre 15% y 60% del número de revoluciones nominal de la instalación de energía eólica. De esta forma, es posible una reducción especialmente eficiente de las oscilaciones causadas por acciones mecánicas sobre la estructura de soporte de la instalación de energía eólica sin aportar al sistema en caso de ráfagas de viento repentinas elevadas cargas adicionales procedentes de la aerodinámica del rotor.
- 35 Además, resulta especialmente preferible que el al menos un parámetro (valor de medición) de la altura de ola, la distancia de ola, la velocidad de ola, la dirección de ola, la aceleración de la cabeza de torre, la amplitud de oscilación de la estructura de soporte, la velocidad media del viento o el número de revoluciones medio en barrena y se compara con un parámetro predeterminable (valor nominal) y en función del resultado de la comparación se controla o se regula el número de revoluciones en barrena o el ángulo de pala o el ángulo de seguimiento del rotor (ángulo de acimut). Así, es posible una realización muy exacta del procedimiento. Por ejemplo, al sobrepasar un valor de aceleración predeterminado de la cabeza de torre se puede aumentar el número de revoluciones en barrena
- 40
- 45
- 50
- 55

y/o adaptarse al alcanzar una velocidad media del viento de los ángulos de pala. Por ejemplo, también en caso de prever la medición o evaluación de la distancia de olas y/o la velocidad de olas y/o la altura de olas, se puede evaluar previamente si se puede producir una oscilación no deseada de la estructura de soporte de la instalación de energía eólica ajustando entonces correspondientemente un número de revoluciones en barrena antes de producirse oscilaciones indeseablemente fuertes de la estructura de soporte, de modo que se produzca una estabilización de la estructura de soporte ya antes de producirse acciones mecánicas correspondientes sobre la estructura de soporte.

Preferentemente, el rotor sigue una dirección de viento, dependiendo el seguimiento del viento de la dirección del viento y/o de la relación de las amplitudes de la oscilación longitudinal de la cabeza de torre con respecto a la oscilación transversal de la cabeza de torre. Por seguimiento del rotor con respecto a una dirección de viento se entiende especialmente un ajuste de ángulo de acimut del rotor o de la cabeza de torre o de la sala de máquinas. En el marco de la invención, el término cabeza de torre incluye también el término sala de máquinas.

Un procedimiento muy seguro es posible si se puede predeterminedar un valor límite inferior y/o superior del número de revoluciones límite del rotor, y en caso de un rebase por defecto del valor límite inferior del número de revoluciones o de un rebase por exceso del valor límite superior del número de revoluciones se realiza una modificación del ángulo de pala de la pala de rotor.

En caso de una falta de alimentación de energía, preferentemente, se pone en una posición de bandera. Por alimentación de energía se entiende la alimentación por la red eléctrica o por sistemas de energía auxiliares. Esto último puede estar realizado en forma de grupos electrógenos de emergencia o acumuladores que en caso de un fallo de la red permitan la continuación del régimen de barrena controlado. En caso de derrumbarse también una alimentación de energía auxiliar de este tipo, las palas de rotor se desplazan a la posición de bandera segura, a través de la alimentación de emergencia del ajuste de palas (baterías pitch).

El objetivo se consigue además mediante una instalación de energía eólica fundada en un fondo acuático, por ejemplo una instalación de energía eólica offshore con una estructura de soporte y con un rotor que comprende una pala de rotor, en la que está previsto al menos un sensor que mide la amplitud, la aceleración y/o la dirección de una oscilación de la estructura de soporte y/o una aceleración de la estructura de soporte y al menos una magnitud física, a saber, la distancia y/o la velocidad de olas de agua que actúen mecánicamente sobre la instalación de energía eólica causando una oscilación u oscilaciones de la estructura de soporte, y en la que está previsto un dispositivo de control o de regulación que en función de al menos uno de estos valores de medición predeterminedar un ángulo de pala de la pala de rotor o un número de revoluciones en barrena para reducir las oscilaciones de la estructura de soporte producidas por acciones mecánicas sobre la estructura de soporte. Además, preferentemente, está previsto un dispositivo de ajuste de ángulo de pala que ajusta el ángulo de pala predefinido por el dispositivo de control o de regulación.

Por magnitud física se entiende, especialmente en el caso de una instalación de energía eólica fundada en un fondo acuático, la distancia de olas y/o la velocidad de olas.

Preferentemente, está previsto un sensor que mide el número de revoluciones medio en barrena del rotor, o bien, es un dispositivo de cálculo como por ejemplo un ordenador que puede estar separado del dispositivo de control o de regulación, aunque también puede estar integrado en este o ser este mismo, y que determina el número de revoluciones medio en barrena, siendo procesado el número de revoluciones medio en barrena en el dispositivo de control o de regulación para predeterminedar el ángulo de pala de la pala de rotor. Preferentemente, está previsto un sensor que mide una altura de ola, una distancia de ola, una velocidad de ola y/o una dirección de ola, siendo procesados el valor de medición o los valores de medición en el dispositivo de control o de regulación, para definir el ángulo de pala de la pala de rotor y/o el ángulo de seguimiento del rotor.

Además, preferentemente, está previsto un producto de software con medios de código de programa para realizar todos los pasos de procedimiento según la invención o un procedimiento preferible en un ordenador y/o en un dispositivo de control o de regulación de una instalación de energía eólica. Se trata de un ordenador o de un dispositivo de control o de regulación de una instalación de energía eólica. Preferentemente, el producto de software puede almacenarse en al menos un soporte de datos o medio.

De manera especialmente preferible se indica un dispositivo de control o de regulación de una instalación de energía eólica, concebido para realizar un producto de software según la invención.

A continuación, la invención se describe sin limitar la idea general de la invención, haciendo referencia a los dibujos, remitiendo expresamente a los dibujos en cuanto a todos los detalles según la invención que no se describen en detalle en el texto. Muestran:

- 5 La figura 1 una representación esquemática de una instalación de energía eólica según la invención,
- la figura 2a un diagrama esquemático de un par de flexión longitudinal de una oscilación longitudinal de la torre de una instalación de energía eólica durante la realización del procedimiento según la invención, con una velocidad de viento de 3 m/seg.,
- 10 la figura 2b un diagrama esquemático de un par de flexión longitudinal de una oscilación longitudinal de la torre de una instalación de energía eólica, sin realización del procedimiento según la invención, con una velocidad de viento de 3 m/seg.,
- 15 la figura 3a un diagrama esquemático de un par de flexión longitudinal de una oscilación longitudinal de la torre de una instalación de energía eólica durante la realización del procedimiento según la invención, con una velocidad de viento de 6 m/seg.,
- la figura 3b un diagrama esquemático de un par de flexión longitudinal de una oscilación longitudinal de la torre de una instalación de energía eólica, sin realización del procedimiento según la invención, con una velocidad de viento de 6 m/seg., y
- 20 la figura 4 un diagrama esquemático de una línea característica de un ángulo de pala encima de la velocidad de viento.
- 25 En las siguientes figuras, los elementos o piezas idénticos o iguales llevan las mismas cifras de referencia, de modo que no se vuelven a describir de nuevo.
- La figura 1 muestra una representación esquemática de una instalación de energía eólica según la invención, mediante la que se puede realizar el procedimiento según la invención. La instalación de energía eólica está provista del signo de referencia 1. Se puede hacer funcionar según la invención por ejemplo una 5M de la solicitante. Esta tiene una altura de cabeza de torre de aprox. 90 m y un diámetro de rotor de aprox. 126 m. Está prevista una torre 2 fundada en un fondo acuático 14 mediante un monopilar 13. Por lo tanto, la estructura de soporte es especialmente la combinación de la torre 2 y el monopilar 13. El fundamento sólo está representado de forma aproximada aquí. Las aguas están señalizadas por el signo de referencia 10. En las instalaciones de energía eólica offshore predominarán por ejemplo profundidades de 20 m a 30 m. En lugar de un fundamento mediante monopilares también puede estar previsto por ejemplo un fundamento por gravedad o un trípode o un fundamento Jackett.
- 30 Para que las olas 11 produzcan la menor acción mecánica posible sobre la instalación de energía eólica, es conveniente ofrecer la menor superficie de ataque posible, por lo que en principio resulta menos adecuado un fundamento por gravedad, es decir que en el caso de un fundamento por gravedad pueden actuar mayores efectos de oscilación por la acción de energía mecánica sobre la torre 2 o el fundamento de la torre 2.
- Además, está representada una plataforma 12 en la que pueden encontrarse por ejemplo personas. Preferentemente, la altura de dicha plataforma 12 por encima de la superficie del agua 10 está realizada de tal forma que la plataforma 12 no se vea afectada por olas muy altas.
- 45 La instalación de energía eólica 1 presenta una cabeza de torre 3 o una góndola 3 o una sala de máquinas 3 en la que podrían estar dispuestos por ejemplo un generador y un árbol. El árbol está provisto de un buje 4 en el que están dispuestas tres palas de rotor 5, cuyos ángulos de pala de rotor o pitch pueden ajustarse de la manera habitual a través de dispositivos de ajuste de ángulo de pala 6 representados sólo esquemáticamente.
- 50 En este tipo de instalaciones de energía eólica, como están representadas en la figura 1, especialmente en instalaciones de energía eólica offshore, existe el peligro de que durante la parada, las olas 11 que actúan sobre el fundamento, en este caso el monopilar 13, exciten la instalación de energía eólica en la primera y la segunda frecuencia propia de flexión del sistema total. La primera frecuencia propia de flexión es una oscilación por toda la longitud de la instalación de energía eólica con una gran amplitud en la cabeza de la torre y la segunda frecuencia propia de flexión es una oscilación con un abombamiento en el centro de la instalación de energía eólica. En el caso de instalaciones fijas prácticamente no existe ninguna amortiguación aerodinámica. Según la invención, se garantiza
- 55

- que en caso del peligro de frecuencias propias de flexión de la instalación de energía eólica o en caso de oscilaciones existentes de la instalación de energía eólica, la instalación de energía eólica se haga funcionar en un régimen de barrena, es decir con una rotación del rotor, de modo que se establezca o se produzca una amortiguación aerodinámica. Resulta especialmente preferible que el número de revoluciones de barrena del rotor en ralentí se ajuste de tal forma que se produzca una amortiguación aerodinámica suficiente. Entonces, en el régimen de barrena se incrementa el número de revoluciones de tal forma que se amortigüe la oscilación producida de la torre o la oscilación que puede producirse a causa de parámetros físicos. La amortiguación hace que la amplitud de oscilación de un par de flexión de la torre se reduce al menos a la mitad. Por ejemplo, si con un número de revoluciones de barrena normal de 0 a 2 revoluciones/min. se siguen produciendo oscilaciones demasiado grandes en el lado del rotor con un número de revoluciones nominal de 12 revoluciones/min., el número de revoluciones de barrena puede aumentarse por ejemplo a 8 revoluciones/min., de modo que se produzca una amortiguación aerodinámica. Por tanto, el rotor de la instalación de energía eólica 1 gira sin que se tome corriente o energía del sistema para su suministro a una red o para el accionamiento de un consumidor.
- 15 En el ejemplo de realización según la figura 1, la red está representada esquemáticamente por la cifra de referencia 20. La red de consumo 20 está conectada a la instalación de energía eólica por un cable 21.

En el ejemplo de realización según la figura 1 están previstos algunos sensores 7 a 9, 17 y 19 que tienen al menos en parte funciones diferentes. No es necesario prever todos los sensores. El sensor 7 determina oscilaciones de la torre 2 que pueden producirse típicamente con la segunda frecuencia propia de flexión del sistema total. Preferentemente, el sensor 7 está dispuesto en el centro del sistema total, de forma especialmente preferible en un lugar que no corresponde necesariamente al centro geométrico del sistema total, sino al lugar de la instalación de energía eólica en la que el abombamiento de la segunda frecuencia propia de flexión del sistema total de la instalación de energía eólica presenta la mayor amplitud. El sensor 7 puede ser una tira de medición de alargamiento. Sin embargo, también puede ser un sensor de aceleración.

Los sensores 8 y 9 pueden ser por ejemplo sensores de aceleración que midan una oscilación de la cabeza de la torre en los sentidos longitudinal y transversal de la cabeza de la torre. El parámetro físico que se puede medir aquí es por ejemplo la amplitud de oscilación, la velocidad de oscilación y/o la aceleración. Para ello pueden usarse también los sensores que habitualmente están funcionando en una cabeza de torre, que producen por ejemplo una señal de desconexión de emergencia cuando las oscilaciones se vuelven demasiado fuertes, por ejemplo en cuanto a la amplitud o la aceleración. Los sensores representados en la figura 1 están representados sólo de forma muy esquemática. El sensor 17 puede servir por ejemplo para medir un número de revoluciones del rotor. El dispositivo de cálculo 18 puede estar previsto para determinar el número de revoluciones medio de barrena o el número de revoluciones medio. Además, está previsto un sensor 19 que puede servir para medir la altura de olas, una distancia de olas y/o una velocidad de olas. Preferentemente, el sensor 19 es un sensor basado en olas electromagnéticas, por ejemplo un sensor infrarrojo o un sensor óptico. Especialmente, el sensor 19 puede estar realizado como sensor distanciómetro o como sensor Doppler. Los sensores están conectados por líneas representadas con puntos y rayas a un dispositivo de control o de regulación 16 representado esquemáticamente, en el que se pueden calcular a partir de los resultados de medición los parámetros esenciales para el control o la regulación de la instalación de energía eólica, como por ejemplo un valor nominal de ángulo de pala o un valor nominal de número de revoluciones de barrena.

La figura 2 muestra diagramas esquemáticos de un par de flexión del pie de torre en kNm encima del tiempo en segundos, con una velocidad de viento de 3 m/seg. En la figura 2a están aplicados los pares de flexión del pie de torre que se producen durante el funcionamiento de una instalación de energía eólica según la invención o durante el uso de un procedimiento según la invención. En este caso, el ángulo de paso está ajustado a 10°, significando un ángulo de paso de 90° la posición de bandera. En la figura 2b, el ángulo de paso está ajustado a 90°. En la figura 2b no se usa el procedimiento según la invención. Se puede ver claramente que la amplitud en la curva según el procedimiento de la figura 2b, que no corresponde a la invención, es sensiblemente más grande, lo que conduce a una carga sensiblemente más grande de la instalación de energía eólica y por tanto a un mayor desgaste o la necesidad de fabricar una instalación de energía eólica más estable en comparación con el caso según la figura 2a en la que se realiza un procedimiento según la invención con un ángulo de paso constante de 10°.

Unas curvas correspondientes están representadas en las figuras 3a y 3b, tratándose de curvas que resultan con una velocidad de viento de 6 m/seg. La figura 3a representa a su vez los pares de flexión del pie de la torre durante la realización del procedimiento según la invención, a saber, con un ángulo de paso de 20°, mientras que la figura 3b representa un diagrama en el que se midieron los pares de flexión del pie de la torre sin el procedimiento según la invención (ángulo de paso = 90°). Los diagramas representados también pueden representar valores calculados o

simulados.

Con un control o una regulación en función de la velocidad de viento se usa preferentemente una línea característica del ángulo de paso encima de la velocidad de viento según la figura 4, estando aplicado en la figura 4 el ángulo de paso en grados encima de la velocidad de viento en m/seg. Se puede ver que con mayores velocidades de viento aumenta también el ángulo de paso. Además, en instalaciones de energía eólica correspondientes puede ser posible que con menores velocidades de viento también sea mayor el ángulo de paso, de modo que con velocidades de viento medias resulte un mínimo del ángulo de paso.

10 Incluso con alturas de ola relativamente pequeñas puede producirse la excitación de una resonancia de la instalación de energía eólica a causa del período de olas. Una frecuencia propia típica se sitúa en  $f_0 = 0,27$  Hz, es decir, una duración de período de  $T_0 = 3,7$  seg. En el caso de pequeñas alturas de ola y las bajas velocidades de viento vinculadas generalmente a ello, también puede resultar ventajoso no hacer que el rotor siga la dirección del viento de la manera descrita anteriormente, sino exclusivamente la dirección de las olas, es decir, de tal forma que el plano del rotor esté situado paralelamente con respecto a las olas. Entonces, para alcanzar el número de revoluciones de barrena está previsto eventualmente un funcionamiento por motor del generador. La orientación según las olas puede realizarse o bien de la manera antes mencionada, mediante la evaluación de la relación entre las oscilaciones transversales y longitudinales de la torre, o bien, con la ayuda de los sensores mencionados para registrar la dirección de las olas.

20 Durante el funcionamiento normal, el procedimiento según la invención se emplea sustancialmente con velocidades de viento inferiores a la velocidad de conexión de la instalación de energía eólica, ya que durante el servicio de producción, es decir, durante un servicio de la instalación de energía eólica en el que se emite energía, en la mayoría de los casos existe una amortiguación suficiente del rotor. En caso de que la instalación de energía eólica no estuviese en condiciones de producir a causa de una avería, el procedimiento según la invención puede emplearse de manera conveniente también a velocidades de viento más elevadas, en cuanto exista una excitación de oscilación crítica. Esto se puede vigilar por ejemplo mediante sensores de movimiento bidimensionales que ya existan en la góndola o la cabeza de torre 3, como por ejemplo los sensores 8 y 9 que están representados esquemáticamente en la figura 1. En casos aislados, el procedimiento según la invención puede emplearse también por encima de la velocidad de desconexión, aunque sólo en caso de condiciones ambientales extraordinarias hay que contar con una excitación crítica por olas en caso de elevadas velocidades de viento.

Si el rotor está listo para entrar en barrena, por ejemplo en caso de averías en el generador, en el convertidor o en el área de transformador y si existe una alimentación de red, se pueden emplear convenientemente los ángulos de pala de rotor al producirse acciones mecánicas sobre la instalación de energía eólica que provoquen oscilaciones propias. En caso de velocidades de viento superiores a la velocidad de viento de conexión debería realizarse un control o una regulación permanentes de la instalación de energía eólica en cuanto a la frecuencia de barrena o los ángulos de pala. En caso de ausencia de alimentación de red puede estar prevista una especie de régimen de ahorro de energía en el que los ángulos de pala se adapten a la velocidad de viento actual por ejemplo en intervalos de tiempo predeterminables (por ejemplo en un ciclo de 10 minutos) mediante un breve movimiento de ajuste. Lo análogo se refiere al seguimiento de viento de la cabeza de torre 3 en el acimut. Pueden estar previstos dispositivos de alimentación de energía auxiliares (acumuladores o un grupo electrógeno de emergencia, por ejemplo un grupo diesel). Un dispositivo de control central vigila entonces el estado de funcionamiento. Otros sistemas preferentemente no están activos entonces. En caso de exceder un número de revoluciones límite predeterminado o del fallo de una alimentación de energía auxiliar, las palas deberían ponerse en una posición de bandera segura a través de los acumuladores que han de preverse preferentemente en el buje 4.

Si la instalación está conectada a la red, es decir, si existe una tensión de red, es posible ajustar el ángulo de pala a un ángulo establecido predeterminable, por ejemplo  $10^\circ$ , o que se regule o controle en función de aceleraciones medidas de la cabeza de torre, con un valor umbral preferible de aprox.  $0,4$  m/seg<sup>2</sup>. En caso de velocidades de viento más elevadas se podría emplear la aplicación de la curva de velocidad de viento y ángulo de pala según la figura 4. Las aceleraciones de la cabeza de torre pueden vigilarse también en este caso. Asimismo, es posible calcular previamente con la ayuda de la altura, la distancia y la velocidad de olas si pueden producirse oscilaciones correspondientes en una frecuencia propia de la instalación de energía eólica que resulten problemáticas, después de lo cual puede actuar o iniciarse el procedimiento según la invención. También puede estar realizado un sistema inteligente que en función de las condiciones marco físicas (altura, velocidad, distancia de olas, velocidad de viento, temperatura, presión barométrica y/u otros parámetros) estén almacenadas las oscilaciones de la instalación de energía eólica que se producen con estos parámetros, de modo que el procedimiento según la invención se realice también en función de casos ya producidos de oscilaciones o de experiencias ya obtenidas.

**Lista de signos de referencia**

	1	Instalación de energía eólica
5	2	Torre
	3	Cabeza de torre
	4	Buje
	5	Pala de rotor
	6	Dispositivo de ajuste de ángulo de pala
10	7-9	Sensor
	10	Plataforma acuática
	11	Ola
	12	Plataforma
	13	Monopilar
15	14	Fondo acuático
	15	Señal de medición
	16	Dispositivo de control o de regulación
	17	Sensor
	18	Dispositivo de cálculo
20	19	Sensor
	20	Red eléctrica
	21	Cable



**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para el funcionamiento de una instalación de energía eólica (1) fundada en un fondo acuático (14), en el que la instalación de energía eólica (1) comprende una estructura de soporte (2, 13) y un rotor (4, 5) dispuesto en la estructura de soporte (2, 13), y en el que el rotor (4, 5) presenta una pala de rotor (5), y para reducir las oscilaciones de la estructura de soporte (2, 13) causadas por acciones mecánicas sobre la estructura de soporte (2, 13), la instalación de energía eólica (1) se hace funcionar en régimen de barrena, siendo inducidas las acciones mecánicas sobre la estructura de soporte (2, 13) por olas de agua (11)
- 10 2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque durante la realización del procedimiento, la instalación de energía eólica (1) no emite energía a una red.
3. Procedimiento según las reivindicaciones 1 ó 2, caracterizado porque la instalación de energía eólica (1) presenta un dispositivo de ajuste de pala de rotor (6), ajustándose en función de al menos un parámetro un  
15 ángulo de pala predeterminable.
4. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado porque el ángulo de pala se ajusta en función del número de revoluciones de barrena y/o de la velocidad de viento y/o de una amplitud de oscilación medida de la estructura de soporte (2, 13).  
20
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque se ajusta un número de revoluciones de barrena predeterminable.
6. Procedimiento según la reivindicación 5, caracterizado porque el número de revoluciones de barrena se ajusta en función de la velocidad de viento y/o del ángulo medio de pala.  
25
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque el número de revoluciones de barrena, especialmente con velocidades de viento superiores a 3 m/seg., se sitúa entre 10% y 80%, especialmente entre 15% y 60%, del número de revoluciones nominal de la instalación de energía eólica (1).  
30
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado porque al menos un parámetro (valor de medición) de la altura de ola, la distancia de ola, la velocidad de ola, la dirección de ola, la aceleración de la cabeza de torre, la amplitud de oscilación de la estructura de soporte (2, 13), la velocidad media del viento o el número de revoluciones medio en barrena se mide y se compara con un parámetro predeterminable (valor nominal),  
35 y en función del resultado de la comparación se controla o se regula el número de revoluciones en barrena o el ángulo de pala o el ángulo de seguimiento del rotor.
9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado porque el rotor (4,5) sigue una dirección de viento, dependiendo el seguimiento del viento de la dirección del viento y/o de la relación de las amplitudes de la oscilación longitudinal de la cabeza de torre con respecto a la oscilación transversal de la cabeza de torre.  
40
10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado porque se pueden predeterminar un valor límite inferior y/o superior del número de revoluciones límite del rotor (4, 5), y en caso de un rebase por defecto del valor límite inferior del número de revoluciones o de un rebase por exceso del valor límite superior del número de revoluciones se realiza una modificación del ángulo de pala de la pala de rotor (5).  
45
11. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 10, caracterizado porque en caso de falta de alimentación de energía, la pala de rotor (5) se pone en una posición de bandera.  
50
12. Instalación de energía eólica (1) fundada en un fondo acuático (14) con una estructura de soporte (2, 13) y con un rotor (4, 5) que comprende una pala de rotor (5), en la que está previsto al menos un sensor (7, 8, 9, 17, 19) que mide la amplitud, la aceleración y/o la dirección de una oscilación de la estructura de soporte (2, 13) y/o una aceleración de la estructura de soporte (2, 13) y/o al menos una magnitud física, a saber, la distancia y/o la velocidad de olas de agua que actúen mecánicamente sobre la instalación de energía eólica (1) causando una oscilación u oscilaciones de la estructura de soporte, y en la que está previsto un dispositivo de control o de regulación (16) que en función de al menos uno de estos valores de medición predetermina un ángulo de pala de la pala de rotor (5) o un número de revoluciones en barrena para reducir las oscilaciones de la estructura de soporte (2, 13) producidas por acciones mecánicas sobre la estructura de soporte (2, 13), siendo inducidas las acciones  
55

mecánicas en la estructura de soporte (2, 13) por olas de agua (11).

13. Instalación de energía eólica (1) según la reivindicación 12, caracterizado porque además está previsto un dispositivo de ajuste de ángulo de pala (6) que ajusta el ángulo de pala predeterminado por el dispositivo de control o de regulación (16).

14. Instalación de energía eólica (1) según la reivindicación 12 ó 13, caracterizado porque está previsto un sensor (17) que mide un número de revoluciones medio de barrena del rotor (4, 5) o porque está previsto un dispositivo de cálculo (18) que determina el número de revoluciones medio de barrena, siendo procesado el número de revoluciones medio de barrena en el dispositivo de control o de regulación (17) para predeterminar el ángulo de pala de la pala de rotor (5).

15. Instalación de energía eólica (1) según una de las reivindicaciones 12 a 14, caracterizado porque está previsto un sensor (19) que mide una altura de ola, una distancia de ola y/o una velocidad de ola, y el valor de medición o los valores de medición son procesados en el dispositivo de control o de regulación (16) para predeterminar el ángulo de pala de la pala de rotor (5).

16. Producto de software con medios de código de programa, que está realizado para ejecutar todos los pasos de procedimiento según el procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 11 en un ordenador (18) y/o en un dispositivo de control o de regulación (16) de una instalación de energía eólica.

17. Producto de software según la reivindicación 16, caracterizado porque el producto de software puede almacenarse en al menos un soporte de datos o medio.

18. Dispositivo de control o de regulación (16) de una instalación de energía eólica, que está concebido para ejecutar un producto de software según la reivindicación 16 ó 17.

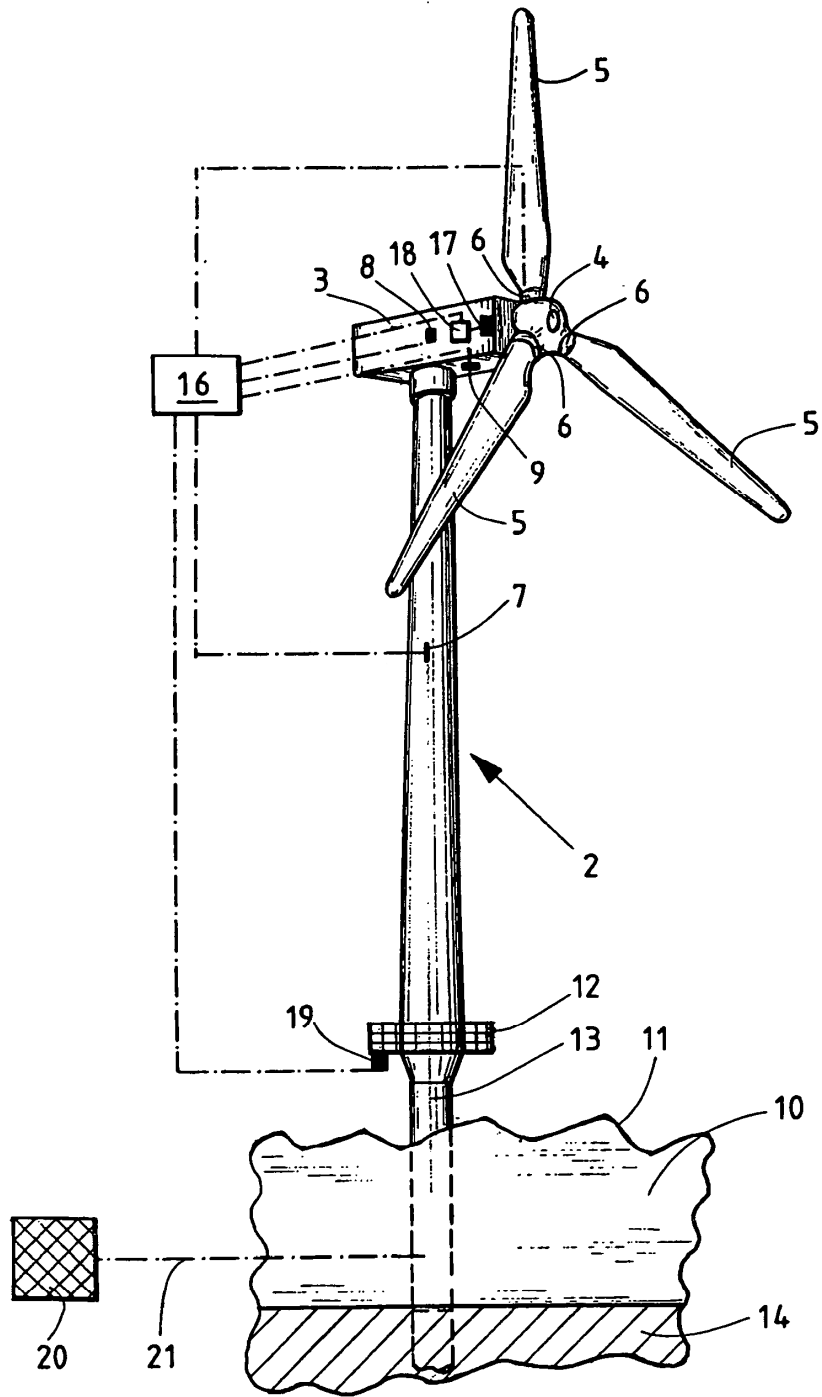


FIG. 1

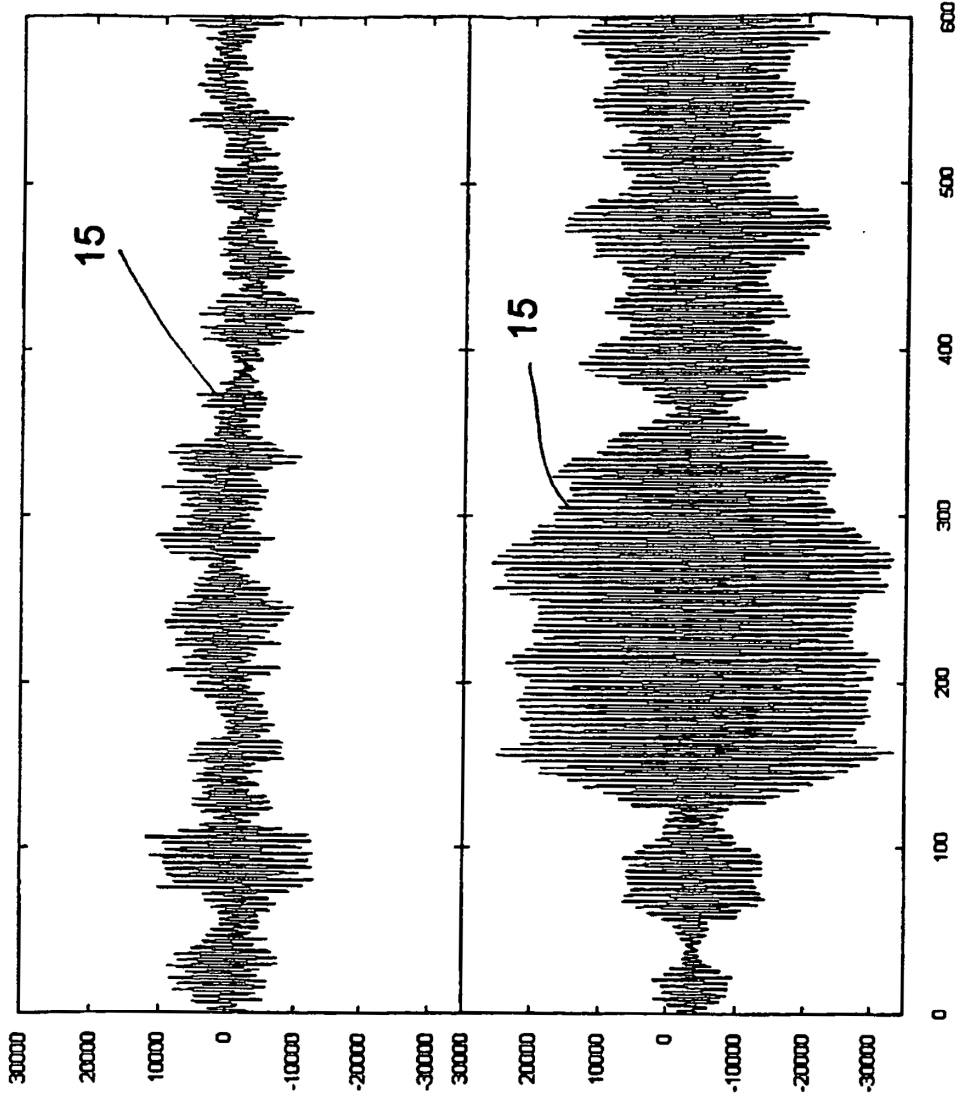


Fig. 2a

Fig. 2b

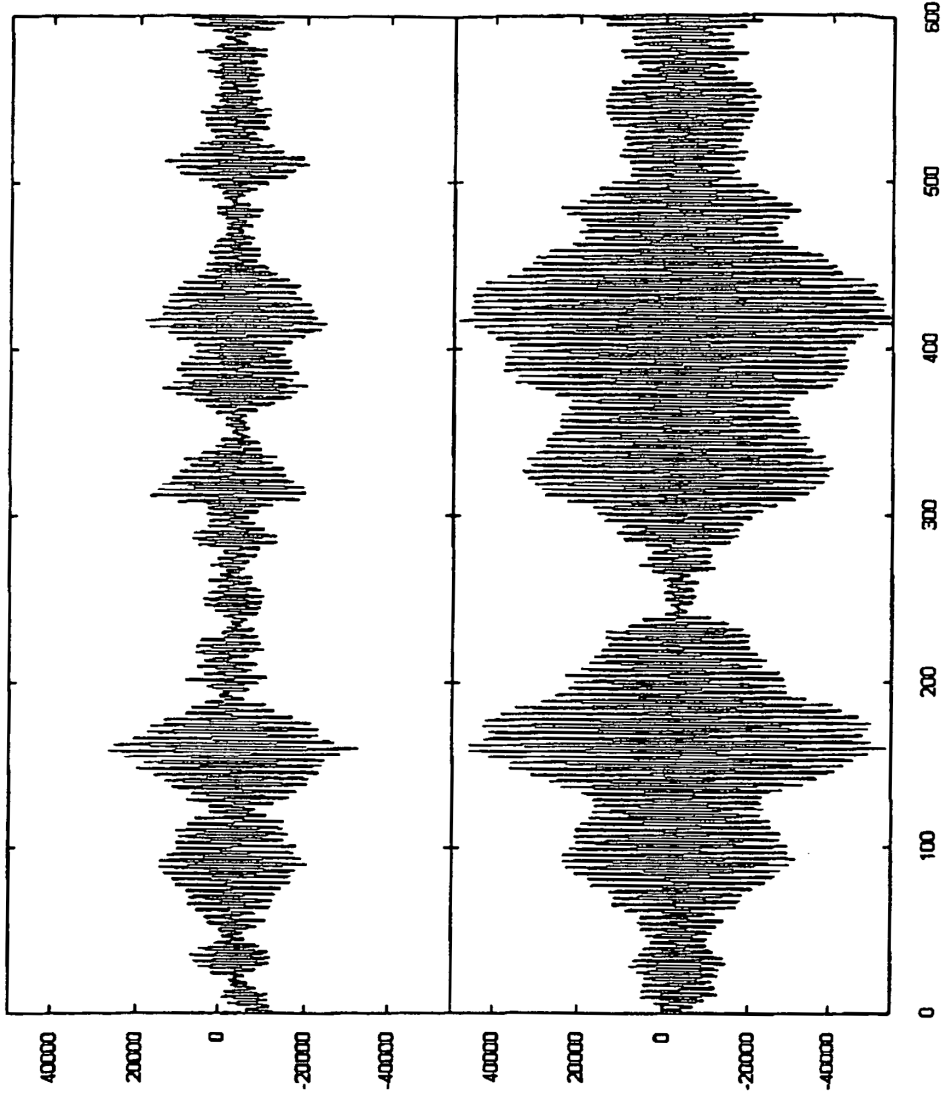


Fig. 3a

Fig. 3b

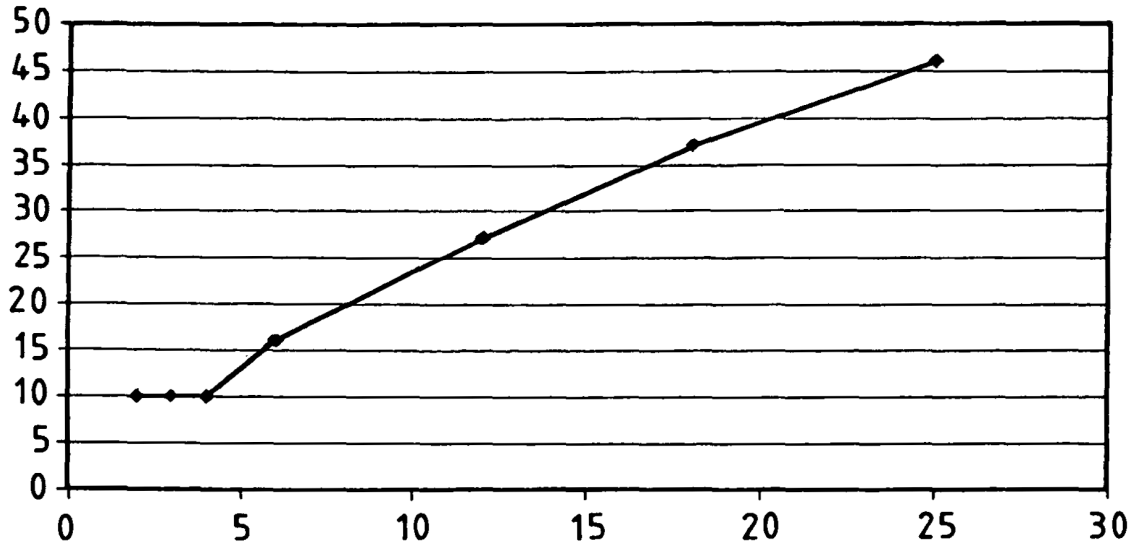


FIG. 4