

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 687 832**

51 Int. Cl.:

| | |
|-------------------|-----------|
| F03D 7/02 | (2006.01) |
| F03D 80/00 | (2006.01) |
| F03D 1/06 | (2006.01) |
| F03D 17/00 | (2006.01) |
| F03D 9/25 | (2006.01) |
| F03D 13/20 | (2006.01) |

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.11.2013 PCT/EP2013/003531**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.05.2014 WO14079579**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.11.2013 E 13795170 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.07.2018 EP 2923080**

54 Título: **Procedimiento para hacer funcionar una instalación de energía eólica e instalación de energía eólica**

30 Prioridad:
22.11.2012 DE 102012221345

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
29.10.2018

73 Titular/es:
**SENVION GMBH (100.0%)
Überseering 10
22297 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:
**LEWEKE, HENNING y
WARFEN, KARSTEN**

74 Agente/Representante:
LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 687 832 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para hacer funcionar una instalación de energía eólica e instalación de energía eólica

5 La invención se refiere a un procedimiento para hacer funcionar una instalación de energía eólica con una torre, una góndola regulable azimutalmente dispuesta sobre la torre y un rotor que presenta al menos un álabe regulable en el ángulo del álabe, en donde mediante al menos un dispositivo de medición se detectan y vigilan durante el funcionamiento de la instalación de energía eólica oscilaciones de la torre y se desconecta el funcionamiento de potencia de la instalación de energía eólica cuando una magnitud, en particular un valor medio variable, de las oscilaciones de la torre rebasa por encima un valor límite de las oscilaciones de la torre. Además, la invención se refiere a una instalación de energía eólica.

10 Correspondientes instalaciones de energía eólica con una torre, sobre cuya punta está dispuesta una góndola con un rotor, son estructuras muy oscilantes. Estímulos de oscilaciones pueden formarse por asimetrías en la instalación, por ejemplo posiciones erróneas del álabe, desequilibrios aerodinámicos o mecánicos o mediante el atascamiento previo de la torre, pero también por condiciones desfavorables del entorno, por ejemplo turbulencias extraordinarias fuera de las especificaciones de diseño, mediante la acumulación de hielo o mediante condiciones de
15 flujo variables. Estas oscilaciones de la torre someten a una carga al material de la torre en el transcurso del funcionamiento de una instalación de energía eólica y se tienen en cuenta en el diseño de la carga admisible de la torre para una vida útil planeada de la misma.

20 Con el fin de evitar que se manifiesten oscilaciones de la torre que someten a una carga a la torre más allá de la medida aceptable, se vigilan habitualmente oscilaciones de la torre y se desconecta el funcionamiento de carga de la instalación cuando se rebasa por encima un valor límite firmemente preestablecido, que es específico para la instalación. De este modo, se impide que sucesos de oscilaciones desmesurados acorten la vida útil de la torre más allá de una medida tolerable.

25 Hasta ahora se implementan habitualmente dos umbrales de desconexión fijamente parametrados para la aceleración de la torre, uno con un tiempo de desconexión corto, por ejemplo de una a dos semi-oscilaciones de la torre y con un valor límite elevado, y otro con un tiempo de desconexión algo más largo, por ejemplo de cinco a seis semioscilaciones y un bajo valor límite. Dado que frecuencias propias de la torre habituales se encuentran en 0,2 a 0,5 Hz, la duración observada asciende, por consiguiente, para el espacio de tiempo corto a 2,5 hasta 5 segundos y para el espacio de tiempo más largo a 7,5 hasta 15 segundos. En este caso, los valores límite deben estar parametrados tan altos que tampoco en el caso de un viento de desconexión tenga lugar en un caso normal
30 desencadenamiento alguno, es decir, en el caso de elevadas velocidades del viento en las que se desconecta regularmente la instalación de energía eólica. Además, en el estado de la técnica es conocido reducir la potencia y/o el número de revoluciones de una instalación de energía eólica al aparecer elevados niveles de oscilaciones, con el fin de reducir el nivel de oscilaciones sin una desconexión.

35 Del documento WO 02/075153 A1 se conoce un procedimiento para controlar una instalación de energía eólica, en el que se detecta la aceleración de la torre. Con el fin de realizar una vigilancia fiable y eficiente de las oscilaciones están comprendidos medios para detectar la oscilación de la torre, el recorrido de la oscilación y/o la desviación absoluta de la torre en la parte superior de la torre desde su posición de reposo, y los datos determinados a partir de ello se elaboran de manera que se modifica la realización de funcionamiento de la instalación de energía eólica o partes de la misma cuando la oscilación y/o la desviación absoluta de la torre rebasa por encima un primer valor
40 límite predeterminable y se detectan dos recorridos de oscilación en al menos dos direcciones diferentes en un plano esencialmente horizontal.

Frente a ello, la misión en la que se basa la presente invención estriba en mejorar una instalación de energía eólica de manera sencilla con una seguridad al menos constante en su rentabilidad.

45 Este problema se resuelve mediante un procedimiento para hacer funcionar una instalación de energía eólica con una torre, una góndola regulable azimutalmente dispuesta sobre la torre y un rotor que presenta al menos un álabe regulable en el ángulo del álabe, en el que mediante al menos un dispositivo de medición se detectan y vigilan durante el funcionamiento de la instalación de energía eólica oscilaciones de la torre y se desconecta el funcionamiento de potencia de la instalación de energía eólica cuando una magnitud, en particular un valor medio variable, de las oscilaciones de la torre rebasa por encima un valor límite de las oscilaciones de la torre, que está perfeccionado porque al menos durante un funcionamiento de carga de la instalación de energía eólica, el valor
50 límite de oscilaciones de la torre está definido como al menos una función del valor límite que depende, en particular, de un valor medio variable, de la velocidad reinante del viento y/o de un parámetro unido con la velocidad del viento y en varios intervalos de valores diferentes de la velocidad del viento o del parámetro unido con la misma presenta diferentes dependencias funcionales. En este caso, se puede tratar de un valor medio variable del parámetro. Parámetros unidos son, entre otros, la potencia del generador o el ángulo del álabe.
55

Con la transición de valores límite constantes hasta ahora utilizados a una función del valor límite dependiente de la velocidad del viento es ahora posible, en función de la velocidad del viento, parametrizar el valor límite de modo que ahora ya se detectan también amplitudes de oscilación que se manifiestan de manera duradera, solo ligeramente incrementadas, que someten a carga de manera reforzada a la torre en virtud de su durabilidad y reducen su vida útil o bien duración de funcionamiento. Con ello, se elimina de una manera sencilla el conflicto interpretativo hasta ahora existente para los valores límite que costó a la instalación hasta ahora de una disponibilidad en el caso de un fuerte viento en virtud de indemnizaciones incrementadas y en tiempos de viento débil no permitía reconocer oscilaciones que dañaban la carga por fatiga.

Debido a que la velocidad del viento o bien el parámetro unido con ella es dividido en varios intervalos de valores en los que en cada caso reinan diferentes dependencias funcionales del valor límite de oscilación de la torre, es posible tener en cuenta de manera razonable diferentes estados de funcionamiento de la instalación de energía eólica, por ejemplo el arranque, el funcionamiento a carga parcial, el funcionamiento a carga completa y la desconexión cercana a una velocidad de desconexión del viento. Por "varios intervalos de valores" se entiende en el marco de la invención al menos dos intervalos de valores. También pueden estar previstos, tres, cuatro, cinco o más intervalos de valores con dependencias funcionales propias, incluidos valores constantes. Dependencias funcionales adecuadas son también funciones lineales o cuadráticas, o también Splines, que están definidos por tramos.

Transiciones del valor límite de oscilaciones de la torre entre diferentes intervalos de valores son preferiblemente continuos, es decir, sin saltos. Esto significa que resulta una línea de función continua. La transición va acompañada de una transición brusca de la función en la primera derivada o se realiza un suavizamiento de la transición en un intervalo de transiciones entre los intervalos de valores que limitan entre sí de la velocidad del viento o del parámetro dependiente de los mismos.

Ahora es ya también posible elaborar niveles de oscilación que se manifiestan en una instalación no perturbada, tolerables, que dependen fuertemente de las condiciones del entorno. Así, en el caso del funcionamiento de la instalación próxima a la velocidad de desconexión se manifiestan habitualmente fuertes niveles de oscilación, los cuales, sin embargo, en virtud de la baja frecuencia de aparición de este estado no se consideran críticos a lo largo de la vida útil. Sin embargo, si estos niveles de oscilación se manifestaran por ejemplo en el caso de un viento nominal, con el tiempo dañarían demasiado a la instalación de energía eólica. Así, en las proximidades de la velocidad de desconexión puede utilizarse un valor límite más elevado que en el caso de la velocidad del viento nominal, con el fin de captar las situaciones.

Además, ahora también es posible tener en cuenta estados de funcionamiento extraordinarios tales como, por ejemplo, una congelación del rotor. Un nivel de cargas elevado de la instalación en estos estados de funcionamiento, por ejemplo mediante una congelación irregular y, con ello, un desequilibrio que conduce de manera creciente a oscilaciones pero que, habitualmente, solo dura un breve tiempo, se puede tratar con ello asimismo. Así, en estos casos es admisible un aumento limitado en el tiempo del valor límite o bien del umbral de desconexión que puede ser tenido en cuenta en la función.

Con el fin de modelar la dependencia de la velocidad del viento del valor límite está previsto, ventajosamente, que el valor de la función del valor límite corresponda, en el caso de bajas velocidades del viento, en particular por debajo de una velocidad de inicio V_{inicio} de la instalación de energía eólica, a un primer valor límite $a_{\text{límite0}}$ o discorra por debajo del primer valor límite $a_{\text{límite0}}$, disminuya a velocidades medias del viento, en particular entre V_{inicio} y un primer valor límite de la velocidad del viento V_{viento0} con $V_{\text{viento0}} > V_{\text{inicio}}$, y aumente a velocidades del viento elevadas, en particular entre un segundo valor límite de la velocidad del viento V_{viento1} y un tercer valor límite de la velocidad del viento V_{viento2} , siendo $V_{\text{viento2}} > V_{\text{viento1}} > V_{\text{viento0}}$, hasta un valor que es mayor que el valor límite $a_{\text{límite0}}$.

Esta definición incluye las alternativas de que en el intervalo de la velocidad de inicio el valor límite $a_{\text{límite0}}$ es constante y que el valor límite en este intervalo es variable, por ejemplo define una rampa ascendente o descendente con la velocidad del viento o el parámetro dependiente de la misma, definiendo $a_{\text{límite0}}$ para este caso un límite superior. Asimismo queda abarcado que a elevadas velocidades del viento, el valor límite alcance un máximo que es mayor que $a_{\text{límite0}}$ para caer luego de nuevo. Sin embargo, el máximo puede también mantenerse constante o ser constante a lo largo de un intervalo limitado de velocidades del viento antes de que caiga de nuevo el valor límite a velocidades del viento todavía mayores.

La parte más baja de la función del valor límite se encuentra en el intervalo medio de velocidades del viento, en particular entre V_{viento0} y V_{viento1} . También en este intervalo la función del valor límite puede ser constante o se puede modificar además ligeramente, en particular disminuir a V_{viento1} . En el caso mencionado en último lugar, por ejemplo, la pendiente de la curva varía en V_{viento0} claramente y se aplanan. El transcurso mencionado sirve, por consiguiente, como caracterización de un haz de curvas que tiene en común los puntos de apoyo correspondientes, estando determinados o siendo determinables los puntos de apoyo de manera específica a la instalación.

De este modo es posible modelar, en el intervalo en el que la instalación de energía eólica es hecha funcionar la mayor parte del tiempo, a saber en el intervalo de carga parcial superior, es decir, a velocidades medias del viento, un valor límite bajo con el que se puedan reconocer estados de oscilación extraordinarios y duraderos. En el caso de elevadas velocidades del viento, el umbral no debe ser demasiado bajo, de modo que la función del valor límite a elevadas velocidades del viento aumenta hasta un valor mayor que eventualmente es igual al valor límite más alto hasta ahora utilizado. En el caso de la velocidad de inicio se han de esperar asimismo durante un breve tiempo elevadas oscilaciones de la torre en el arranque y en funcionamiento de carga parcial de la instalación, dado que el número de revoluciones del rotor se encuentra entonces próximo a la frecuencia propia de la torre, de modo que también en el caso de bajas velocidades del viento se establece un valor límite más elevado que en el caso de velocidades medias del viento para las que está expuesta la instalación.

Con el fin de poder tener en cuenta estados de funcionamiento extraordinarios, la función del valor límite depende de al menos un segundo parámetro para una o varias condiciones especiales meteorológicas y/o condiciones especiales de funcionamiento, comprendiendo la función del valor límite, en particular, un término de corrección $a_{\text{límite compensación}}$ constante o dependiente de la velocidad del viento que, al aparecer condiciones especiales meteorológicas o condiciones especiales de funcionamiento, es añadido al valor límite de oscilaciones de la torre.

Una condición especial meteorológica es, por ejemplo, una congelación del álabes o de los álabes o un funcionamiento en marcha en inercia (estela) de una instalación de energía eólica prominente o bien antepuesta. El funcionamiento en estela es dependiente de la dirección del viento. Segundos parámetros correspondientes son una medida de la congelación y/o una medida para la turbulencia de la marcha en inercia. Condiciones especiales de funcionamiento son, por ejemplo, un estrangulamiento de la potencia o una reducción del número de revoluciones en virtud de restricciones de los sonidos, de la red o demás restricciones. El segundo parámetro es entonces una medida del estrangulamiento de la potencia y/o de la reducción del número de revoluciones.

Dado que estados de funcionamiento extraordinarios de este tipo conducen asimismo ciertamente a oscilaciones de la torre más intensas pero habitualmente se manifiestan solo durante espacios de tiempo muy limitados en el tiempo, en estos casos se ha de añadir, en el caso más sencillo, un término aditivo positivo a la función que es constante o dependiente de la velocidad del viento. Por ejemplo, en el caso de una congelación de los álabes, la función puede definirse con una compensación dependiente de la velocidad del viento, cuyo valor disminuye con una velocidad del viento creciente, con el fin de no poner en peligro la instalación de energía eólica en el caso de elevadas velocidades del viento debido a cargas adicionales demasiado grandes. También compensaciones, que son introducidas en virtud de condiciones de flujo o turbulencia, pueden depender de la velocidad del viento. Una posibilidad más sencilla es, no obstante, un término constante, que al eliminarse la condición de funcionamiento particular, puede eliminarse de nuevo de la función.

Además, está previsto ventajosamente que en el caso de un cambio de un estado de funcionamiento a otro durante un breve espacio de tiempo añadir un término aditivo positivo. El espacio de tiempo puede ascender ventajosamente a uno hasta 10 minutos. Con ello, se considera el efecto de que el caso de un cambio del estado de funcionamiento se manifiesta un nivel de oscilaciones elevado que se estabiliza luego en el espacio de unos pocos minutos. Alternativamente, la vigilancia de las oscilaciones puede proveerse de un valor medio suficientemente grande, p. ej. de 5 o 10 minutos. El cambio del estado de funcionamiento representa en particular también una condición especial de funcionamiento, de modo que en este caso el término aditivo se identifica con la compensación $a_{\text{límite compensación}}$.

Se prefiere que el valor de la función del valor límite no rebase por debajo un primer valor límite $a_{\text{límite1}}$ más pequeño que se aplica en particular en el caso de una velocidad del viento media o en un intervalo de velocidades del viento medias. Con ello, también con la función del valor límite de acuerdo con la invención se evita que tenga lugar una desconexión demasiado frecuente indeseada de la instalación.

Asimismo es ventajoso que el valor de la función del valor límite no rebase por encima un segundo valor límite mayor $a_{\text{límite2}}$ que se aplica, en particular, en el caso de grandes velocidades del viento. El segundo valor límite mayor delimita absolutamente las oscilaciones de la torre y sirve también para la seguridad de la instalación.

Ventajosamente, una duración promedio de las oscilaciones de la torre es mayor que una duración promedio para la velocidad del viento reinante, en particular en al menos un factor de 5, en particular en al menos un factor de 10. La duración promedio para las oscilaciones de la torre puede elegirse relativamente larga, dado que con ello se tienen más en cuenta las cargas permanentes de la torre que pueden perjudicar con mayor intensidad a la vida útil de la torre que desviaciones individuales. Frente a ello, la velocidad del viento puede ser promediada a lo largo de un espacio de tiempo más corto, con el fin de que en cada instante se disponga de un valor límite adecuado a partir de la función del valor límite como barómetro comparativo. Al mismo tiempo puede continuarse también con la vigilancia hasta ahora utilizada con valores límites para una duración promedio de pocas semi-oscilaciones de la torre, con el fin de captar peligrosos sucesos de oscilación individuales.

- Preferiblemente, el valor medio variable de las oscilaciones de la torre es promediado a lo largo de un tiempo de varios minutos, en particular entre 2 y 20 minutos, y/o el valor medio variable de la velocidad del viento reinante es promediado a lo largo de un tiempo de varios segundos, en particular entre 10 y 60 segundos. Estos intervalos de tiempo ofrecen para una pluralidad de instalaciones de energía eólica puntos de referencia para una realización favorable del procedimiento. Los espacios de tiempo variables concretos o bien los espacios de tiempo promediados, así como los valores límites y el transcurso de la función se pueden determinar en la fase de diseño mediante simulaciones matemáticas y pueden adaptarse preferiblemente después de la instalación y la puesta en funcionamiento de la instalación de energía eólica en el lugar de manera correspondiente a las condiciones locales reinantes.
- 5
- 10 Para la evaluación de la velocidad del viento se ha acreditado ventajoso prever adicionalmente al valor medio breve arriba mencionado un valor medio más prolongado. Preferiblemente, la determinación de la velocidad del viento tiene lugar como máximo a base de un valor medio de 30 segundos y un valor medio de 10 minutos. Alternativamente a la formación del valor medio se pueden aplicar ventajosamente también otras filtraciones de los valores de medición, en particular filtros de paso bajo.
- 15 Como magnitud de medida para las oscilaciones de la torre se mide preferiblemente una aceleración de la torre. De acuerdo con la invención se pueden emplear también otras magnitudes de medición, por ejemplo, tiras de medición de la dilatación en la torre u otros aparatos de medición conocidos con los que se puede medir una amplitud de oscilación, la aceleración de las oscilaciones o similar.
- 20 En un perfeccionamiento ventajoso, para las oscilaciones de la torre en dirección al eje del rotor y para oscilaciones de la torre en un plano perpendicular al eje del rotor se aplican dos funciones del valor límite diferentes. De este modo se tiene en cuenta que tanto las fuerzas excitantes como las amortiguaciones que actúan sobre la torre son diferentes paralelamente a la dirección del viento y transversalmente a la dirección del viento, de modo que se pueden aplicar también diferentes valores límites para las oscilaciones de la torre en estas direcciones o bien para los componentes de oscilación en estas direcciones.
- 25 El algoritmo de vigilancia y cálculo está integrado, por motivos de seguridad, preferiblemente en el software de un dispositivo de control del funcionamiento de la instalación de energía eólica. Alternativamente, la vigilancia tiene lugar ventajosamente en el marco de una vigilancia a distancia, por ejemplo una vigilancia a distancia de un parque de instalaciones de energía eólica.
- 30 El problema en el que se funda la invención se resuelve también mediante una instalación de energía eólica con una torre, una góndola regulable azimutalmente dispuesta sobre la torre y un rotor que presenta al menos un álabe regulable en el ángulo del álabe, al menos un dispositivo de medición que está configurado y dispuesto para detectar oscilaciones de la torre, así como un dispositivo de control del funcionamiento, que comprende en particular una instalación de tratamiento de datos con un software de control del funcionamiento, que está diseñado para la vigilancia de las oscilaciones de la torre y para la desconexión de un funcionamiento de potencia de la instalación de energía eólica al rebasar por encima un valor límite de las oscilaciones de la torre mediante un valor medio variable de las oscilaciones de la torre, que está perfeccionado debido a que en la dirección de control de funcionamiento, en particular el software de control del funcionamiento está definida al menos una función del valor límite como valor límite de oscilación de la torre que depende, en particular, de un valor medio variable, de la velocidad del viento reinante. Esta instalación de energía eólica está configurada preferiblemente, en particular, mediante el software de control del funcionamiento, para realizar un procedimiento de acuerdo con la invención previamente descrito.
- 35
- 40 Frente al concepto hasta ahora seguido, muy aproximativo, de la vigilancia de oscilaciones, con los objetos de la invención se pueden reconocer de manera muy sencilla y segura un deterioro de la instalación de energía eólica, que va más allá de la medida norma, tal como, por ejemplo, por desequilibrios moderadamente intensos, y se puede reaccionar frente a ello. La vigilancia puede ajustarse de modo que para situaciones de carga con una gran periodicidad son válidos límites más estrechos que para sucesos cortos individuales, por ejemplo sucesos de un fuerte viento, que ciertamente tienen grandes amplitudes pero que, en virtud de la baja periodicidad de aparición, apenas repercuten en la resistencia del funcionamiento.
- 45
- 50 Por consiguiente, es ventajoso, por una parte, una elevada disponibilidad en el caso de un viento débil y un viento fuerte y, por consiguiente, una mejora de la rentabilidad y, por otra parte, la introducción de una vigilancia más precisa que es muy ventajosa, por ejemplo, a lo más tardar para el funcionamiento bajo condiciones especiales tales como, por ejemplo, hielo.
- 55 Asimismo, el funcionamiento de una instalación de energía eólica se pone por primera vez de un modo sencillo en condiciones para reconocer, a través del plano de vigilancia de las oscilaciones de la torre, también defectos y, en particular, defectos que acortan de manera significativa la vida útil, en sistemas de regulación, es decir, el software, el hardware, así como en las calibraciones por parte del personal tales como, por ejemplo, en la regulación de la amortiguación de la torre.

Dado que una instalación de energía eólica se calcula para una determinada clase de viento, este procedimiento ofrece mediante el establecimiento de la curva característica, es decir, de la función del valor límite, la posibilidad de crear una vigilancia según la especificación.

- 5 Otras características de la invención resultan evidentes a partir de la descripción de formas de realización de acuerdo con la invención, junto con las reivindicaciones y los dibujos adjuntos. Formas de realización de acuerdo con la invención pueden cumplir características particulares o una combinación de varias características.

La invención se describe en lo que sigue sin limitación del pensamiento general de la invención con ayuda de ejemplos de realización con referencia al dibujo, en donde en relación con todas las particularidades de acuerdo con la invención no explicadas con mayor detalle en el texto se remite expresamente al dibujo. Muestra:

- 10 La Fig. 1, un diagrama de una función de valor límite $a_{\text{límite}}$ de acuerdo con la invención.

El valor límite $a_{\text{límite}}$ está representado en el eje Y del diagrama, la velocidad del viento v_{viento} en el eje X. El posible intervalo de valores límite está limitado por un valor límite inferior $a_{\text{límite1}}$ y un valor límite superior $a_{\text{límite2}}$, por encima de los cuales la función del valor límite $a_{\text{límite}}$ no se desvía hacia arriba o bien hacia abajo.

- 15 En el caso de una velocidad del viento por debajo de la velocidad del viento de inicio, que se encuentra en función de la instalación de energía eólica en unos pocos metros por segundo, el valor base de la función $a_{\text{límite}}$, caracterizado con una línea de trazo grueso, asciende a un valor $a_{\text{límite0}}$ y es constante. El punto final de este intervalo constante de la función está caracterizado con P_1 . En este punto, el valor límite $a_{\text{límite0}}$ oscila, en función del tipo de instalación de energía eólica, normalmente entre 5 y 30 mG (la unidad mG designa una milésima de la aceleración de la Tierra). Análogamente, la aceleración de la torre puede reemplazarse como medida de medición para
20 oscilaciones de la torre también por otras medidas de medición adecuadas, por ejemplo, tiras de medición de la dilatación, sensores de posición, o similares.

- Entre los puntos P_1 y P_2 , es decir, en el caso de velocidades del viento entre la velocidad del viento de inicio específica para la instalación y una velocidad del viento v_{viento0} que corresponde aproximadamente a un intervalo variable en el número de revoluciones inferior, el valor de la función del valor límite disminuye constantemente y en el ejemplo de realización es lineal hasta que se alcance en el punto P_2 el valor límite $a_{\text{límite1}}$ inferior. En función de la
25 instalación, la velocidad del viento v_{viento0} oscila entre 3 y 10 m/s y, por ejemplo, puede llegar como velocidad del viento nominal v_{nominal} como valor para v_{viento0} . En el punto P_2 se ha alcanzado el valor límite inferior $a_{\text{límite1}}$, el cual, de manera específica para la instalación, oscila entre 3 y 30 mG. De manera ventajosa, es menor que el valor $a_{\text{límite0}}$.

- 30 En el ejemplo conforme a la Fig. 1, el valor de la función del valor límite $a_{\text{límite}}$ entre los puntos P_2 y P_3 es constante en el valor $a_{\text{límite1}}$, correspondiente el punto P_3 a una velocidad del viento v_{viento1} , la cual, de manera específica para la instalación, oscila entre 10 y 15 m/s y corresponde aproximadamente al viento nominal para la instalación de energía eólica.

- Más allá de la velocidad del viento nominal o bien de la velocidad del viento v_{viento1} , el valor de la función $a_{\text{límite}}$ aumenta de nuevo constantemente y, en el ejemplo de realización, de modo lineal hasta el punto P_4 en el que se
35 alcanza el valor límite $a_{\text{límite2}}$ superior que, por norma general, oscila entre 10 y 40 mG. Por encima del punto P_4 , el valor de la función del valor límite $a_{\text{límite}}$ es entonces constante a este valor $a_{\text{límite2}}$. La velocidad del viento v_{viento2} en el punto P_4 asciende aprox. a 22 a 30 m/s y corresponde aproximadamente a la velocidad de desconexión de la instalación de energía eólica y debería ser mayor que la velocidad del viento nominal.

- 40 Con una línea algo más fina se representa la función $a_{\text{límite}}$ a la que se añade una compensación constante $a_{\text{límitehielocompensación}}$, que es tomada en cuenta en el caso de un estado de congelación de los álabes de la instalación de energía eólica. En este caso, durante un tiempo relativamente breve se manifiestan desequilibrios mayores y estados de oscilación de la torre mayores. Con el fin de no llegar en este caso a una desconexión indeseada e innecesaria de la instalación de energía eólica, mediante la compensación $a_{\text{límitehielocompensación}}$, se eleva la función del valor límite $a_{\text{límite}}$. También con la compensación $a_{\text{límitehielocompensación}}$ termina la curva en un máximo en el valor límite
45 superior $a_{\text{límite2}}$, el cual, no obstante, ya se alcanza en este caso con velocidades del viento menores, es decir, antes de alcanzar v_{viento2} .

- Un perfeccionamiento preferido prevé en este caso una compensación modificada con la velocidad del viento o bien un parámetro unido con la misma. Con el fin de reducir grandes amplitudes de oscilación está previsto preferiblemente en este caso reducir continuamente la compensación en el intervalo entre v_{viento1} y v_{viento2} , de modo
50 que el valor límite $a_{\text{límite2}}$, se alcanza solo en el caso de v_{viento2} , es decir, en el punto P_4 .

El ejemplo de realización representado en la Fig. 1 con varios tramos de curvas lineales que están constantemente dispuestos uno junto a otro, forma un procedimiento a implementar de manera particularmente sencilla. Alternativamente, también se puede elegir naturalmente otra función que presenta menos dobleces o ninguna, por

ES 2 687 832 T3

ejemplo una función interpolada en spline a través de varios puntos de apoyo o una función completamente constante también en la primera y eventualmente también la segunda derivación.

- 5 En la Tabla siguiente se designan los intervalos de parámetros de la figura. Con la dirección X se designan las oscilaciones en la dirección del eje del rotor, con Y, transversalmente al eje del rotor. Para cada uno de los parámetros individuales, una forma de realización preferida comprende la elección del parámetro en el intervalo entre mínimo y máximo. En formas de realización particularmente preferidas se ajusta un único parámetro o una elección de parámetros en el intervalo del "intervalo normal".

| Parámetro | Unidad | MIN | Intervalo normal | MAX | Indicación |
|--------------------------|--------|------------|------------------|----------|------------|
| Vviento0 | m/s | Vinicio | 3-10 | Vnominal | 2) |
| alímite0 | mG | 10 | 5-30 | 50 | 1) |
| Vviento1 | m/s | $>a_0$ | 10-15 | 20 | 3) |
| alímite1 | mG | $\leq a_0$ | 3-30 | 50 | |
| Vviento2 | m/s | Vnominal | 22-30 | 30 | 4) |
| alímite2 | mG | 10 | 10-40 | 50 | |
| alímitehielocompensación | mG | 0 | 3-20 | 30 | |

- 10 En este caso, la indicación 1) significa que el valor límite es eventualmente dependiente de la altura del cubo, 2) el intervalo variable en el número de revoluciones inferior, 3) el intervalo del viento nominal y 4) la velocidad de desconexión.

- 15 Los parámetros Vviento0, Vviento1 y Vviento2 representan el primer, segundo y tercer valor de la velocidad del viento de la curva característica de la oscilación máxima admitida de la torre, mientras que alímite0, alímite1 y alímite2 designan en cada caso el primer, segundo y tercer valor límite de la curva característica de la oscilación de la torre máxima admitida. alímitehielocompensación representa la compensación para oscilaciones de la torre máximas permitidas en el caso de la condición especial de la congelación de los álabes. Los distintos parámetros pueden definirse de manera diferente en cada caso paralelos para la dirección X e Y y transversales al eje de giro del rotor.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para hacer funcionar una instalación de energía eólica con una torre, una góndola regulable azimutalmente dispuesta sobre la torre y un rotor que presenta al menos un álabe regulable en el ángulo del álabe, en donde mediante al menos un dispositivo de medición se detectan y vigilan durante el funcionamiento de la instalación de energía eólica oscilaciones de la torre y se desconecta el funcionamiento de potencia de la instalación de energía eólica cuando una magnitud, en particular un valor medio variable, de las oscilaciones de la torre rebasa por encima un valor límite de las oscilaciones de la torre, caracterizado por que al menos durante un funcionamiento de carga de la instalación de energía eólica, el valor límite de oscilaciones de la torre está definido como al menos una función del valor límite que depende, en particular, de un valor medio variable, de la velocidad reinante del viento y/o de un parámetro unido con la velocidad del viento y en varios intervalos de valores diferentes de la velocidad del viento o del parámetro unido con la misma presenta diferentes dependencias funcionales.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que el valor de la función del valor límite corresponde, en el caso de bajas velocidades del viento por debajo de 3 a 10 m/s, en particular por debajo de una velocidad de inicio v_{inicio} de la instalación de energía eólica, a un primer valor límite $a_{límite0}$ o discurre por debajo del primer valor límite $a_{límite0}$, disminuye a velocidades medias del viento, en particular entre v_{inicio} y un primer valor límite de la velocidad del viento $v_{viento0}$ con $v_{viento0} > v_{inicio}$, y aumenta a velocidades del viento elevadas, en particular entre un segundo valor límite de la velocidad del viento $v_{viento1}$ y un tercer valor límite de la velocidad del viento $v_{viento2}$, siendo $v_{viento2} > v_{viento1} > v_{viento0}$, hasta un valor que es mayor que el valor límite $a_{límite0}$.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que la función del valor límite depende de al menos un segundo parámetro para una o varias condiciones especiales meteorológicas y/o condiciones especiales de funcionamiento, comprendiendo la función del valor límite, en particular, un término de corrección $a_{límitecompensación}$ constante o dependiente de la velocidad del viento que, al aparecer condiciones especiales meteorológicas o condiciones especiales de funcionamiento, es añadido al valor límite de oscilaciones de la torre.
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que en el caso de un cambio de un estado de funcionamiento a otro durante 1 a 10 minutos se añade un término o compensación aditivo positivo.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que el valor de la función del valor límite no rebasa por debajo un primer valor límite $a_{límite1}$ más pequeño que se aplica en particular en el caso de una velocidad del viento media o en un intervalo de velocidades del viento medias.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que el valor de la función del valor límite no rebasa por encima un segundo valor límite mayor $a_{límite2}$ que se aplica, en particular, en el caso de grandes velocidades del viento.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que una duración promedio para las oscilaciones de la torre es mayor que una duración promedio para la velocidad del viento reinante, en particular en al menos un factor de 5, en particular en al menos un factor de 10.
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que el valor medio variable de las oscilaciones de la torre es promediado a lo largo de un tiempo de varios minutos, en particular entre 2 y 20 minutos, y/o el valor medio variable de la velocidad del viento reinante es promediado a lo largo de un tiempo de varios segundos, en particular entre 10 y 60 segundos.
9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado por que como magnitud de medida para las oscilaciones de la torre se mide una aceleración de la torre.
10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado por que para las oscilaciones de la torre en dirección al eje del rotor y para oscilaciones de la torre en un plano perpendicular al eje del rotor se aplican dos funciones del valor límite diferentes.
11. Instalación de energía eólica con una torre, una góndola regulable azimutalmente dispuesta sobre la torre y un rotor que presenta al menos un álabe regulable en el ángulo del álabe, al menos un dispositivo de medición que está configurado y dispuesto para detectar oscilaciones de la torre, así como un dispositivo de control del funcionamiento, que comprende, en particular, una instalación de tratamiento de datos con un software de control del funcionamiento, que está diseñado para la vigilancia de las oscilaciones de la torre y para la desconexión de un funcionamiento de potencia de la instalación de energía eólica al rebasar por encima un valor límite de las oscilaciones de la torre mediante un valor medio variable de las oscilaciones de la torre, caracterizada por que en la dirección de control de funcionamiento, en particular el software de control del funcionamiento, está definida al menos una función del valor límite como valor límite de oscilación de la torre que depende, en particular, de un valor

medio variable, de la velocidad del viento reinante, y/o un parámetro relacionado con la velocidad del viento y que presenta diferentes dependencias funcionales de la velocidad del viento o del parámetro relacionado con la misma.

- 5 12. Instalación de energía eólica según la reivindicación 11, caracterizada por que el dispositivo de control del funcionamiento está configurado, en particular mediante el software de control del funcionamiento, para realizar un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 10.

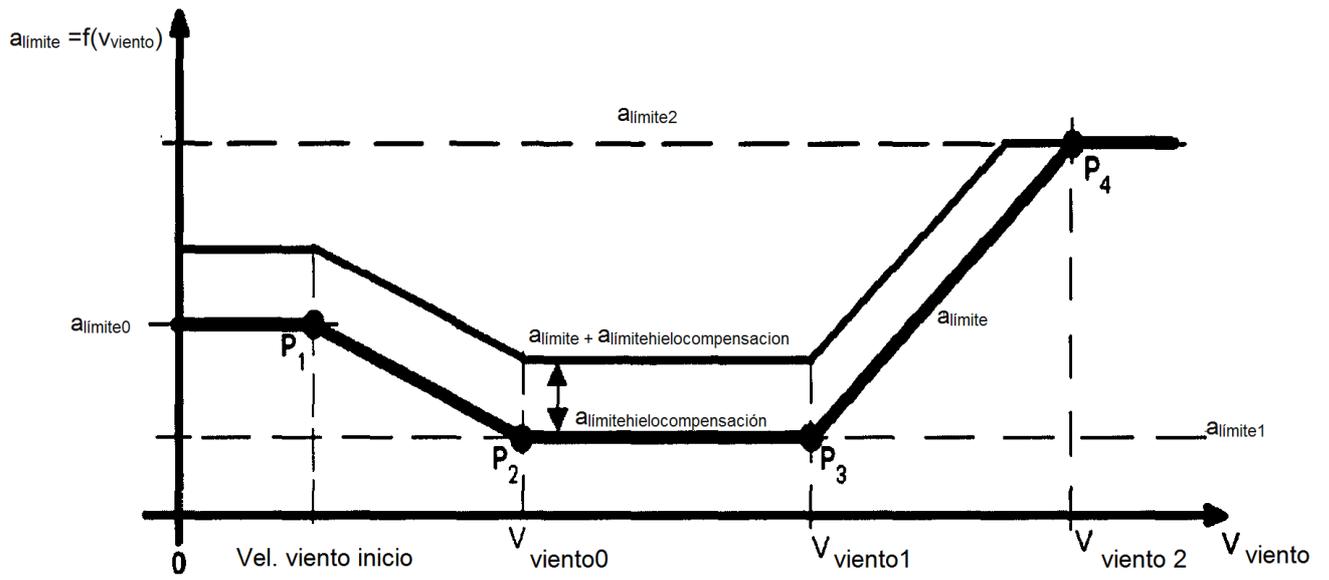


Fig. 1