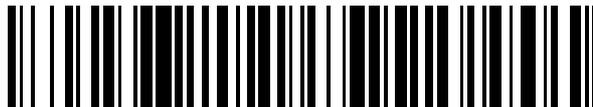


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 628 360**

51 Int. Cl.:

G01N 21/47 (2006.01)

F03D 80/40 (2006.01)

F03D 17/00 (2006.01)

B64D 15/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.10.2012 E 12007019 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.03.2017 EP 2719624**

54 Título: **Procedimiento para el funcionamiento de una planta de energía eólica y planta de energía eólica para la ejecución del procedimiento**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
02.08.2017

73 Titular/es:
**NORDEX ENERGY GMBH (100.0%)
Langenhorner Chaussee 600
22419 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:
TODE, SIEGFRIED

74 Agente/Representante:
ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María

ES 2 628 360 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 el funcionamiento de una planta de energía eólica y planta de energía eólica para la ejecución del procedimiento

5 La invención se refiere a un procedimiento para el funcionamiento de una planta de energía eólica, en el que se determina un peligro de congelación, así como a una planta de energía eólica con una fuente luminosa, un detector de luz y un control conectado al detector de luz.

10 En algunos emplazamientos de plantas de energía eólica se produce siempre una congelación de componentes de la planta de energía eólica, en particular de las palas de rotor, a causa de la alta humedad del aire o de las precipitaciones a temperaturas en el punto de congelación. Tal congelación puede afectar el funcionamiento de la planta de energía eólica, en particular la potencia aerodinámica de las palas de rotor. Más allá de las pérdidas de rendimiento correspondientes se pueden originar desequilibrios aerodinámicos que pueden reducir la vida útil de los componentes.

15 Por consiguiente, mediante una descongelación efectiva es posible aumentar la vida útil y la eficiencia de una planta de energía eólica en emplazamientos, en los que se produce una congelación. Para la descongelación en particular de las palas de rotor se pueden usar sistemas de descongelación activos y pasivos. Los sistemas de descongelación activos presentan en particular un dispositivo calefactor eléctrico. Tal dispositivo calefactor es conocido, por ejemplo, por el documento WO98/53200A1.

20 Con el fin de poder usar los sistemas de descongelación activos de manera precisa y sin un consumo de energía excesivo es importante identificar a tiempo la formación inicial de hielo o un peligro de congelación. A tal efecto es conocido por el documento US2011/0089692A1 medir en el entorno de una planta de energía eólica los datos meteorológicos de temperatura, humedad relativa del aire y radiación solar y sobre esta base determinar una probabilidad de congelación. En el caso del procedimiento conocido se monitoriza además si la planta de energía eólica alcanza un valor de potencia esperado con la respectiva velocidad del viento. En dependencia de las diferencias de potencia y del peligro de congelación determinado es posible desconectar la planta de energía eólica.

25 Por el documento de Viktor Carlsson: "Measuring routines of ice accretion for Wind Turbine applications", Master Thesis, Master of Science programme in Engineering Physics, 180 hp Umeå Universitet, Skellefteå Kraft, es conocido determinar una congelación ya existente en la proximidad de la planta de energía eólica sobre la base de una comparación de los resultados de medición de un anemómetro calentado y no calentado. El trabajo describe también el problema de una congelación de las palas de rotor dentro de las nubes y, en este sentido, la posibilidad de determinar la altura de las nubes (cloud base height) mediante una medición de una luz láser retrodispersada por el techo de nubes. Este tipo de medición de la altura de nubes es conocido también con las siglas LIDAR (light detection and ranging).

30 Por el documento WO2011/048024 es conocido medir la distancia de las palas de rotor en plantas de energía eólica con sensores ópticos para identificar cargas asimétricas en las palas de rotor y/o corregir de manera correspondiente la posición acimutal de la planta de energía eólica y/o el ángulo de ataque de palas de rotor individuales.

35 Por el documento US2012/0207589A1 es conocido un procedimiento para detectar hielo sobre una superficie de una pala de rotor de una planta de energía eólica. En el caso de este procedimiento se evalúan las intensidades de la luz reflectada y reflejada de manera difusa en la superficie. La diferenciación entre reflexión y reflejo difuso se realiza con ayuda de un filtro de polarización.

40 Partiendo de esto, la invención tiene el objetivo de poner a disposición un procedimiento para el funcionamiento de una planta de energía eólica que permita determinar con facilidad y exactitud un peligro de congelación.

45 Este objetivo se consigue mediante un procedimiento para el funcionamiento de una planta de energía eólica que presenta un rotor con al menos una pala de rotor que barre una superficie de rotor, con las etapas indicadas en la reivindicación 1. En las reivindicaciones secundarias subsiguientes aparecen configuraciones ventajosas del procedimiento.

El procedimiento presenta las siguientes etapas:

- 50
- orientar un rayo de iluminación hacia la superficie de rotor,
 - detectar intensidades luminosas de partes reflejadas del rayo de iluminación, comprendiendo una primera intensidad luminosa la luz reflejada por la al menos una pala de rotor y no comprendiendo una segunda intensidad luminosa la luz reflejada por la al menos una pala de rotor, y
 - determinar un peligro de congelación sobre la base de las intensidades luminosas detectadas.

65

El rayo de iluminación es emitido por una fuente luminosa. El hecho de que dicho rayo esté orientado hacia la superficie de rotor significa que la luz del rayo de iluminación ilumina una zona situada al menos parcialmente en la superficie de rotor. La zona iluminada puede ser más o menor puntiforme, pero también relativamente grande. En particular, la zona iluminada puede estar dimensionada de modo que queda situada completamente dentro de la proyección de una pala de rotor sobre la superficie de rotor en el momento en el que la pala de rotor se encuentra precisamente en la posición de la zona iluminada durante su rotación. En este caso hay momentos en los que todo el rayo de iluminación o al menos una parte del rayo de iluminación, incidente sobre la superficie de rotor, incide completamente sobre una pala de rotor.

Las intensidades luminosas se detectan, por ejemplo, con un detector de luz. Por tanto, el hecho de que se detecten partes reflejadas del rayo de iluminación significa que no se detecta la intensidad del propio rayo de iluminación, sino solo aquellas partes que han incidido previamente sobre objetos o partículas dentro del rayo de iluminación, en particular una pala de rotor, gotas de aguas y/o copos de nieve, y que han sido reflejadas por los mismos, en particular en dirección, esencialmente contraria, al rayo de iluminación. El proceso físico, en el que se basa el reflejo, puede ser en particular una dispersión o una reflexión o una mezcla de ambos.

En el procedimiento según la invención se usan intensidades luminosas que corresponden a dos situaciones diferentes. La primera intensidad luminosa corresponde a aquella situación, en la que el rayo de iluminación incide completa o parcialmente sobre una pala de rotor y al menos una parte del rayo de iluminación es reflejada por la pala de rotor. Ésta se encuentra en la primera intensidad luminosa, si no se debilita en el "camino de vuelta" de la pala de rotor al lugar de detección. A esto se añaden aquellas partes del rayo de iluminación que son reflejadas antes de incidir sobre la pala de rotor, por ejemplo, por dispersión en gotas de agua.

La segunda intensidad luminosa corresponde a aquella situación, en la que la pala de rotor no se encuentra en la zona, sobre la que incide el rayo de iluminación y/o no se encuentra en una zona, hacia la que está orientado un detector de luz usado para la detección. En esta situación se detectan solo aquellas partes del rayo de iluminación que se reflejan en partículas/gotas u otras estructuras distintas a la pala de rotor. Este reflejo puede tener lugar igualmente por delante o por detrás de la superficie de pala. Se produce por una opacidad del aire, en particular por gotas de lluvia y/o nevada.

Por consiguiente, la pala de rotor influye en la primera intensidad luminosa y no en la segunda intensidad luminosa. La segunda intensidad luminosa es, por lo general, menor que la primera intensidad luminosa. En determinadas condiciones, las dos intensidades luminosas pueden ser aproximadamente iguales, por ejemplo, en caso de una fuerte nevada.

La primera y la segunda intensidad luminosa se pueden detectar en momentos iguales o diferentes. En particular se puede trabajar con un único rayo de iluminación y un único detector de luz. En este caso, las intensidades luminosas se han de detectar sucesivamente. Como resultado del movimiento de la pala de rotor a través de la zona iluminada se produce un cambio continuo de la situación de iluminación.

De manera alternativa, la detección de las dos intensidades luminosas se ejecuta en zonas de la superficie de pala separadas espacialmente. Esto puede ocurrir opcionalmente al mismo tiempo. Por ejemplo, se pueden iluminar zonas de la superficie de pala, en las que una pala de rotor se encuentra en un momento determinado, y una zona de la superficie de pala distinta a la anterior, en la que no se encuentra una pala de rotor. Las zonas pueden estar situadas a distancia una de otra, por ejemplo, cuando se usan dos rayos de iluminación. Dichas zonas pueden formar también una superficie continua dentro de la superficie de pala, que se extiende más allá de las dimensiones de una pala de rotor dispuesta aquí. De manera similar y, dado el caso, en combinación con lo anterior, las zonas de detección de uno o varios detectores de luz pueden estar enfocadas o delimitadas también de tal modo que es posible detectar las dos intensidades luminosas de zonas de la superficie de pala separadas entre sí.

En estos casos se pueden detectar simultáneamente sin problemas las primeras y las segundas intensidades luminosas.

Según la invención se determina un peligro de congelación. El peligro de congelación es una medida de si se ha de contar con una congelación en la planta de energía eólica. El peligro de congelación puede ser una información simple de sí/no o una magnitud cuantitativa que corresponde a una probabilidad de congelación. En el último caso, las etapas asociadas a la determinación de un peligro de congelación, por ejemplo, la puesta en marcha de un sistema calefactor, pueden estar vinculadas a la superación de un valor de probabilidad específico.

La invención permite determinar de manera particularmente simple el peligro de congelación. En este sentido se incluye en la evaluación el comportamiento de las partes reflejadas de la intensidad luminosa "con y sin" pala de rotor. En particular, sobre la parte de la intensidad luminosa reflejada de manera independiente de la pala de rotor, o sea, la segunda intensidad luminosa, influyen decisivamente las condiciones meteorológicas, en particular la opacidad del aire, por ejemplo, a causa de las gotas de agua, los copos de nieve, etc. Mediante la consideración adicional de la primera intensidad luminosa, el análisis se aplica fácilmente a la situación en un entorno de la pala de rotor. Los valores de medición obtenidos son muy concluyentes debido a esta relación espacial directa con el lugar

del rotor.

A diferencia de los procedimientos LIDAR conocidos, el procedimiento de la invención se puede ejecutar con aparatos de medición relativamente simples. A esto contribuye el hecho de que solo se han de evaluar las intensidades luminosas y no los tiempos.

En una configuración, el rayo de iluminación está orientado hacia una zona de la superficie de rotor, dispuesta en menos de un cuarto del diámetro de rotor por debajo de un punto máximo de la superficie de rotor. La zona puede estar dispuesta también a una distancia vertical inferior a un octavo del diámetro de rotor o inferior a 5 m o inferior a 1 m por debajo del punto máximo. Esto permite determinar a tiempo un peligro de congelación por "in cloud-icing", porque se puede detectar de manera fiable un descenso del techo de nubes hasta la zona más alta de la superficie de rotor y se puede diferenciar de techos de nubes solo ligeramente más altos y, por tanto, menos críticos.

En una configuración, el rayo de iluminación emite luz solo en un intervalo espectral con una anchura de banda de 200 nm o menor y/o con longitudes de onda por fuera del intervalo visible y/o se detectan solo intensidades luminosas en un intervalo espectral con una anchura de banda de 200 nm o menor y/o con longitudes de onda por fuera del intervalo visible. La anchura de banda puede ser también de solo 100 nm o menor o de 50 nm o menor. La emisión y la detección se producen preferentemente en el mismo intervalo espectral. El intervalo espectral por fuera del intervalo visible puede estar situado, por ejemplo, en el intervalo UV o en el intervalo IR, en particular en el llamado intervalo seguro para la vista de aproximadamente 1,5 μm a 2 μm . Se pueden usar también al mismo tiempo varios intervalos espectrales, tanto para la emisión como para la detección de la luz. Para la emisión de la luz se pueden usar en particular fuentes luminosas, cuya emisión está limitada al respectivo intervalo espectral. Para la detección de la luz reflejada se considera también, además del uso de detectores de luz con sensibilidad espectral correspondiente, el uso de filtros, por ejemplo, filtros paso banda, filtros notch o filtros de borde. Con estas medidas se pueden reducir efectos perturbadores de otras fuentes luminosas. De esta manera además se pueden evitar también molestias en el entorno, por ejemplo, las personas no sufren deslumbramientos.

En una configuración, el rayo de iluminación es conforme. El cono puede presentar un ángulo de apertura de, por ejemplo, 10° o menor, 5° o menor, 1° o menor o 0,1° o menor. A tal efecto, la luz de una fuente luminosa cualquiera, en particular de un láser, se puede modificar, en particular desplegar en forma de abanico o enfocar, con una óptica que forma el rayo. Esto crea una zona de iluminación definida. Es posible asimismo el uso de una óptica o un colimador para detectar la luz reflejada, que concentra la zona de detección de un detector de luz esencialmente en la zona iluminada. Por ejemplo, puede ser adecuado limitar el ángulo de apertura de la zona de detección a 10° o menos, 5° o menos, 1° o menos o 0,1° o menos.

En una configuración, la primera intensidad luminosa se produce por retrodispersión y/o reflexión difusa de la luz del rayo de iluminación en una superficie de la al menos una pala de rotor, presentando la superficie propiedades ópticas que se diferencian de las superficies contiguas de la al menos una pala de rotor. Esto posibilita una configuración más fiable/robusta del procedimiento de medición, porque la primera intensidad luminosa se puede optimizar dentro de determinados límites del procedimiento de medición y es independiente de las propiedades ópticas generales de la superficie de la pala de rotor. Por ejemplo, la primera intensidad luminosa se puede aumentar esencialmente mediante un espejo. Asimismo, junto a la superficie o en la superficie se puede disponer o integrar una óptica de Fresnel. Mediante la variación local de la composición o del color de la superficie de la pala de rotor se pueden conseguir también propiedades ópticas diferentes, pudiendo permanecer esencialmente invariables las propiedades aerodinámicas de la pala de rotor. Es posible también una rugosidad de la superficie o una modificación de la geometría de la superficie de la pala de rotor en la zona de la superficie con las propiedades ópticas especiales.

En una configuración, la luz reflejada por la al menos una pala de rotor se produce por retrodispersión difusa del rayo de iluminación en una superficie de la al menos una pala de rotor. Se puede tratar aquí de una superficie que se diferencia de las superficies contiguas de la pala de rotor. En este caso no se requieren cambios en lados de la pala de rotor en comparación con una planta de energía eólica convencional. Alternativamente se puede tratar de una superficie modificada, en particular rugosa, para conseguir una retrodispersión más fuerte. En cualquier caso, una limitación a la retrodispersión difusa en la pala de rotor evita dificultades durante la orientación de la superficie respecto a la fuente luminosa y al detector de luz.

En una configuración, las intensidades luminosas se detectan continuamente y se dividen en una parte constante en el tiempo y una parte periódica para la evaluación. De este modo, la señal obtenida se puede evaluar con medios simples y alimentar a un control.

En una configuración, para la división en la parte constante en el tiempo y la parte periódica se tienen en cuenta una velocidad de giro del rotor y/o un ángulo de giro del rotor. Esto permite filtrar de manera eficaz la parte periódica en particular en un procedimiento lock-in en presencia también de señales muy ruidosas. La frecuencia a filtrar puede corresponder en particular a la velocidad de giro actual del rotor multiplicada por el número de palas de rotor del rotor. Si se considera alternativa o adicionalmente el ángulo de giro del rotor, se pueden filtrar también aquellas señales que presentan la posición de fase "correcta".

En una configuración, el peligro de congelación se determina sobre la base de la relación entre la amplitud de la parte periódica y el valor de la parte constante en el tiempo. Esta evaluación de la señal posibilita una determinación particular de un peligro de congelación. Mientras menor es la relación, mayor cantidad de luz se refleja de manera independiente de la pala de rotor, es decir, mayor es la opacidad del aire en particular debido a las gotas de agua o la nieve.

En una configuración se tienen en cuenta una temperatura del aire exterior, una temperatura de la superficie local de un componente de la planta de energía eólica, una temperatura dentro de la al menos una pala de rotor, una temperatura en una góndola de la planta de energía eólica, una temperatura en un buje de la planta de energía eólica, una temperatura en una torre de la planta de energía eólica, una humedad del aire, un punto de rocío, un punto de congelación, una visibilidad, una altura de nubes y/o una presión del aire para determinar el peligro de congelación de al menos una parte de la planta de energía eólica. Estas otras magnitudes en combinación con el procedimiento según la invención permiten determinar de una manera más exacta un peligro de congelación. En principio, una temperatura, que se considera para determinar el peligro de congelación, se puede medir también en un entorno de la planta de energía eólica, por ejemplo, en una estación meteorológica en el suelo o en una góndola de la planta de energía eólica. La detección de una temperatura local en la proximidad del componente, cuyo peligro de congelación se debe determinar, puede proporcionar resultados más exactos, en particular porque se tienen en cuenta cambios locales de temperatura debido al funcionamiento de la planta de energía eólica. Por ejemplo, el peligro de congelación de componentes cercanos a una sala de máquinas de la planta de energía eólica puede ser menor por la generación de calor del generador o del engranaje. En particular en la zona de las palas de rotor se producen en cambio, por lo general, temperaturas claramente menores que a una mayor distancia de las palas de rotor a causa de la formación de vacío por el flujo alrededor de las palas de rotor. Una medición de esta temperatura local considera este tipo de efectos. Otros datos meteorológicos considerados, por ejemplo, una humedad absoluta o relativa del aire o también la visibilidad, se pueden detectar en un lugar central. La temperatura superficial se puede detectar, por ejemplo, con un sensor de temperatura que está en contacto térmico directo con la superficie. En determinadas situaciones, la temperatura superficial local se puede diferenciar de la propia temperatura del aire en la proximidad inmediata de la superficie, por ejemplo, en caso de una fuerte radiación solar. Para una acumulación de hielo en la superficie es decisiva la temperatura superficial, de modo que su detección permite determinar de una manera particularmente precisa el peligro de congelación.

En una configuración se activa un dispositivo calefactor para un componente de la planta de energía eólica, si el peligro de congelación determinado supera una medida predefinida. Esto contrarresta una congelación. En el caso del dispositivo calefactor se puede tratar, por ejemplo, de un calefactor de pala de rotor. El dispositivo calefactor puede funcionar en particular con electricidad. Otra posibilidad para responder a un peligro de congelación consiste en desconectar la planta de energía eólica. Aunque esta simple medida produce pérdidas de rendimiento, impide daños en la instalación por congelación o la puesta en peligro de las personas situadas cerca de la instalación de energía por la caída de hielo. Esta solución resulta adecuada en particular en emplazamientos, en los que solo en muy pocas ocasiones existe un peligro de congelación.

El objetivo indicado arriba se consigue asimismo mediante la planta de energía eólica con las características de la reivindicación 12. En las reivindicaciones secundarias subsiguientes aparecen configuraciones ventajosas.

La planta de energía eólica tiene un rotor que presenta al menos una pala de rotor, que barre una superficie de rotor, y un dispositivo para determinar un peligro de congelación que presenta lo siguiente:

- una fuente luminosa dispuesta de manera que orienta un rayo de iluminación hacia la superficie de rotor,
- un detector de luz dispuesto de manera que detecta partes reflejadas del rayo de iluminación, y
- un control conectado al detector de luz y configurado para determinar un peligro de congelación sobre la base de las intensidades luminosas detectadas y tener en cuenta aquí al menos una primera intensidad luminosa y al menos una segunda intensidad luminosa, comprendiendo la primera intensidad luminosa la luz reflejada por la al menos una pala de rotor y no comprendiendo la segunda intensidad luminosa la luz reflejada por la al menos una pala de rotor.

Con el fin de explicar las características y ventajas de la planta de energía eólica se remite a las explicaciones anteriores del procedimiento, según la invención, que son válidas de manera correspondiente. La planta de energía eólica está prevista en particular para la ejecución del procedimiento según la invención. Mediante la detección de intensidades luminosas y el uso de señales correspondientes en un control durante la determinación del peligro de congelación se puede mejorar fácilmente la exactitud de la determinación del peligro de congelación. El detector de luz puede ser, por ejemplo, un detector semiconductor, por ejemplo, un CCD (charge coupled device, dispositivo de carga acoplada) o una célula fotoeléctrica. La fuente luminosa y el detector de luz están dispuestos generalmente en el mismo lado de la superficie de rotor.

En una configuración, la fuente luminosa es una fuente de luz láser. La luz láser es adecuada para un sistema de medición robusto, porque se puede suprimir fácilmente el ruido de fondo. Solo es necesario detectar una longitud de onda, específicamente la del láser, mediante el detector de luz. Otras frecuencias se pueden suprimir/no detectar o filtrar.

En una configuración, la fuente luminosa y/o el sensor de luz están dispuestos en la zona de una góndola de la planta de energía eólica. Esto permite de una manera particularmente simple instalar y darle mantenimiento a la disposición de medición o reequipar una planta de energía eólica existente

5 En una configuración, la planta de energía eólica para la ejecución del procedimiento está diseñada en una o varias de las configuraciones descritas arriba. Esto significa que el componente respectivo de la planta de energía eólica, en particular la pala de rotor, la fuente luminosa, el detector de luz y/o el control, está configurado como se explica en relación con las etapas de procedimiento correspondientes. Por ejemplo, la fuente luminosa puede estar dispuesta de manera que el rayo de iluminación queda orientado hacia la zona especial, mencionada arriba, de la superficie de rotor, o la fuente luminosa y/o el detector de luz pueden presentar uno de los intervalos espectrales mencionados arriba, y/o una sección superficial de la al menos una pala de rotor, sobre la que incide el rayo de iluminación, puede tener las propiedades ópticas especiales que se explicaron antes. En otra configuración, el control puede estar diseñado para ejecutar las etapas de evaluación explicadas arriba, etc.

15 La invención se explica detalladamente a continuación por medio de un ejemplo de realización representado en las figuras. Muestran:

Fig. 1 una planta de energía eólica, según la invención, en una representación esquemática;
 Fig. 2 detalles de la fuente luminosa y del detector de luz de la figura 1 en una representación esquemática; y
 20 Fig. 3 dos diagramas de las intensidades luminosas detectadas, a saber, en caso de una retrodispersión relativamente pequeña en la atmósfera (a) y en caso de una retrodispersión relativamente fuerte en la atmósfera (b).

La figura 1 muestra esquemáticamente de manera simplificada una planta de energía eólica 10, según la invención, que presenta una torre 12, una góndola 20 y un rotor 14 con eje esencialmente horizontal, tres palas de rotor 16 y un buje de rotor 18.

La planta de energía eólica 10 presenta además un dispositivo para determinar un peligro de congelación con una fuente luminosa 30, un detector de luz 32 y un control 22. La fuente luminosa 30 y el detector de luz 32 están conectados al control 22. El control 22 puede ser un control electrónico autónomo o puede formar parte de un sistema operativo central de la planta de energía eólica. La fuente luminosa 30 y el detector de luz 32 están dispuestos sobre la góndola 20, en el ejemplo representado en el tercio trasero de la góndola 20.

Las tres palas de rotor 16 barren una superficie de rotor circular, no mostrada, al rotar alrededor del eje de rotor. La fuente luminosa 30 está dispuesta de manera que un rayo de iluminación 34, emitida por la misma, ilumina una zona 38 dentro de la superficie de rotor. Ésta se encuentra en el ejemplo aproximadamente 1 m a 10 m por debajo de un punto máximo 40 de la superficie de rotor. El detector de luz 32 está dispuesto de manera que su zona de detección queda situada al menos parcialmente dentro de la zona iluminada 38 o, en el caso ideal, coincide en forma y tamaño esencialmente con la misma.

Si una de las palas de rotor 16 se encuentra dentro de la zona iluminada 38, una parte del rayo de iluminación 34 se refleja en la superficie de esta pala de rotor 16 en dirección al detector de luz 32. Independientemente de la posición del rotor 14, otra parte del rayo de iluminación 34 se refleja siempre en partículas en el aire, en particular en forma de gotas de agua o nieve. Si una pala de rotor 16 se encuentra precisamente en la zona iluminada 38, estas dos partes reflejadas del rayo de iluminación forman conjuntamente la parte reflejada 36. El detector de luz detecta una primera intensidad luminosa I_1 (véase figura 3).

Si una pala de rotor 16 no se encuentra en la zona iluminada 38, desaparece la parte del rayo de iluminación reflejada por la pala de rotor 16, y la parte reflejada 36 se deriva únicamente de la retrodispersión en el aire. Por consiguiente, el detector de luz 32 detecta una segunda intensidad luminosa I_2 (véase figura 3).

En la figura 2, la fuente luminosa 30 y el detector de luz 32 están representados a escala ampliada. La fuente luminosa 30 es un láser IR seguro para la vista, por ejemplo, un láser de estado sólido o un diodo láser. El detector de luz 32 puede ser un detector semiconductor, por ejemplo, un sensor CCD, o una celda fotoeléctrica. Éste detecta la luz emitida por la fuente luminosa 30 y reflejada a continuación mediante una carcasa 24 impermeable a la luz y una disposición de diafragmas de colimador 26 con un ángulo de apertura definido.

Para suprimir la luz diurna y/u otras fuentes perturbadoras, por ejemplo, la luz de una baliza de peligro, un filtro notch 28 está dispuesto entre los dos diafragmas de colimador 26. El filtro notch 28 deja pasar solo longitudes de ondas luminosas, sobre cuya base se han de detectar las intensidades luminosas, y está adaptado a la luz emitida por la fuente luminosa 30.

Las figuras 3a) y 3b) muestran a modo de ejemplo el desarrollo de las intensidades luminosas, detectadas por el sensor de luz, respecto al tiempo. La figura 3a) muestra dos picos de señal marcados con una primera intensidad luminosa I_1 . Estos picos de señal se producen con un período 46 y se generan durante el paso de las palas de rotor individuales 16 por la zona iluminada 38, cuando se refleja una parte máxima del rayo de iluminación 34. Entre los

picos de señal, ninguna de las palas de rotor 16 se encuentra en la zona iluminada 38 y se detecta la segunda intensidad luminosa I_2 , aproximadamente constante. En la figura está representada asimismo una división de las intensidades luminosas en una parte constante en el tiempo 44, que corresponde a la segunda intensidad luminosa I_2 , y una parte periódica con una amplitud 42 que corresponde a la diferencia de la primera intensidad luminosa I_1 y la segunda intensidad luminosa I_2 . Se puede observar que la intensidad luminosa I_1 es mayor en un múltiplo que la intensidad luminosa I_2 . Esto significa que la intensidad de la parte del rayo de iluminación 34, reflejada por el aire o las partículas contenidas en el mismo, es esencialmente menor que la intensidad de la parte reflejada por la pala de rotor 16. A partir de esto se puede deducir que incluso en la zona superior de la superficie de rotor no está presente una densidad significativa de las nubes o de la nieve y, por consiguiente, el peligro de congelación es bajo.

En la figura 3b), la relación entre la segunda intensidad luminosa I_2 y la primera intensidad luminosa I_1 es menor y los picos de señal son esencialmente más débiles. La amplitud 42 de la parte periódica de las intensidades luminosas asciende solo aproximadamente a un décimo del valor de la parte constante en el tiempo 44. La diferencia entre las dos intensidades luminosas I_2 y I_1 es también menor que en la situación de la figura 3a). Esta situación es típica de una alta densidad de las nubes o la nieve en la zona situada entre la pala de rotor y la disposición de medición compuesta de la fuente luminosa 30 y el detector de luz 32. En este caso, una gran parte del rayo de iluminación 34 es reflejado antes de llegar a la superficie de rotor, lo que da como resultado una segunda intensidad luminosa I_2 relativamente grande. La intensidad luminosa I_2 es, por lo general, mayor que en la situación representada en la figura 3a). Además, el rayo de iluminación 34, debilitado por la retrodispersión en el recorrido de la fuente luminosa 30 a la superficie de rotor, se sigue debilitando después de la retrodispersión o reflexión en la pala de rotor 16 en el recorrido de vuelta hacia el detector de luz 32. En presencia de condiciones de temperatura correspondientes existe un peligro de congelación mayor a causa de la alta densidad de las nubes o la nieve.

Lista de números de referencia

10	Planta de energía eólica
12	Torre
14	Rotor
16	Pala de rotor
18	Buje de rotor
20	Góndola
22	Control
24	Carcasa
26	Diafragma de colimador
28	Filtro notch
30	Fuente luminosa
32	Detector de luz
34	Rayo de iluminación
36	Luz reflejada
40	Punto máximo de la superficie de rotor
42	Parte periódica
44	Parte constante en el tiempo
46	Período
45	I_1 Primera intensidad luminosa
	I_2 Segunda intensidad luminosa

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para el funcionamiento de una planta de energía eólica (10) que presenta un rotor (10) con al menos una pala de rotor (16) que barre una superficie de rotor, con las etapas siguientes:
- orientar un rayo de iluminación (34) hacia la superficie de rotor,
 - detectar intensidades luminosas de partes reflejadas (36) del rayo de iluminación (34), comprendiendo una primera intensidad luminosa (I_1) la luz reflejada por la al menos una pala de rotor (16) y no comprendiendo una segunda intensidad luminosa (I_2) la luz reflejada por la al menos una pala de rotor (16), sino produciéndose por la retrodispersión del rayo de iluminación (34) en el aire, y
 - determinar un peligro de congelación sobre la base de las intensidades luminosas detectadas.
- 10 2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el rayo de iluminación (34) está orientado hacia una zona (38) de la superficie de pala, que está dispuesta en menos de un cuarto del diámetro de rotor por debajo de un punto máximo (40) de la superficie de rotor.
- 15 3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, **caracterizado por que** el rayo de iluminación (34) emite luz solo en un intervalo espectral con una anchura de banda de 200 nm o menor y/o con longitudes de onda por fuera del intervalo visible y/o por que se detectan solo intensidades luminosas en un intervalo espectral con una anchura de banda de 200 nm o menor y/o con longitudes de onda por fuera del intervalo visible.
- 20 4. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado por que** el rayo de iluminación (34) es coniforme.
- 25 5. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por que** la primera intensidad luminosa (I_1) se produce por retrodispersión y/o reflexión difusa de la luz del rayo de iluminación (34) en una superficie de la al menos una pala de rotor (16), presentando la superficie propiedades ópticas que se diferencian de las superficies contiguas de la al menos una pala de rotor (16).
- 30 6. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado por que** la luz reflejada por la al menos una pala de rotor (16) se produce por retrodispersión difusa del rayo de iluminación (34) en una superficie o en la superficie de la al menos una pala de rotor (16).
- 35 7. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado por que** las intensidades luminosas se detectan continuamente y se dividen en una parte constante en el tiempo (44) y una parte periódica (42) para la evaluación.
- 40 8. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 7, **caracterizado por que** para la división en la parte constante en el tiempo (44) y la parte periódica se tienen en cuenta una velocidad de giro del rotor y/o un ángulo de giro del rotor.
- 45 9. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 7 u 8, **caracterizado por que** el peligro de congelación se determina sobre la base de una diferencia o de una relación entre el valor de la amplitud (42) de la parte periódica y el valor de la parte constante en el tiempo (44).
- 50 10. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado por que** para determinar el peligro de congelación se tienen en cuenta una temperatura del aire exterior, una temperatura de la superficie local de un componente de la planta de energía eólica (10), una temperatura dentro de la al menos una pala de rotor (16), una temperatura en una góndola (20) de la planta de energía eólica (10), una temperatura en un buje (18) de la planta de energía eólica (10), una temperatura en una torre (12) de la planta de energía eólica (10), una humedad del aire, un punto de rocío, un punto de congelación, una visibilidad, una altura de nubes y/o una presión del aire.
- 55 11. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado por** la etapa adicional:
 - activar un dispositivo calefactor para un componente de la planta de energía eólica (10) si el peligro de congelación determinado supera una medida predefinida.
- 60 12. Planta de energía eólica (10) con un rotor (14) que presenta al menos una pala de rotor (16), que barre una superficie de rotor, y un dispositivo para determinar un peligro de congelación que presenta lo siguiente:
 - una fuente luminosa (30) que está dispuesta de manera que orienta un rayo de iluminación (34) hacia la superficie de rotor,
 - un detector de luz (32) que está dispuesto de manera que detecta partes reflejadas del rayo de iluminación (34), y
 - un control (22) que está conectado al detector de luz (32), **caracterizada por que**
 - el control está configurado para determinar un peligro de congelación sobre la base de las intensidades
- 65

luminosas detectadas y tener en cuenta aquí al menos una primera intensidad luminosa (I_1) y al menos una segunda intensidad luminosa (I_2), comprendiendo la primera intensidad luminosa (I_1) la luz (36) reflejada por la al menos una pala de rotor (16) y no comprendiendo la segunda intensidad luminosa (I_2) la luz reflejada por la al menos una pala de rotor (16), sino produciéndose por la retrodispersión del rayo de iluminación (34) en el aire.

5 13. Planta de energía eólica (10) de acuerdo con la reivindicación 12, **caracterizada por que** la fuente luminosa (30) es una fuente de luz láser.

10 14. Planta de energía eólica (10) de acuerdo con la reivindicación 12 o 13, **caracterizada por que** la fuente luminosa (30) y/o el detector de luz (32) están dispuestos en la zona de una góndola (20) de la planta de energía eólica (10).

15 15. Planta de energía eólica (10) de acuerdo con una de las reivindicaciones 12 a 14, **caracterizada por que** la planta de energía eólica (10) está configurada para la ejecución del procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 11.

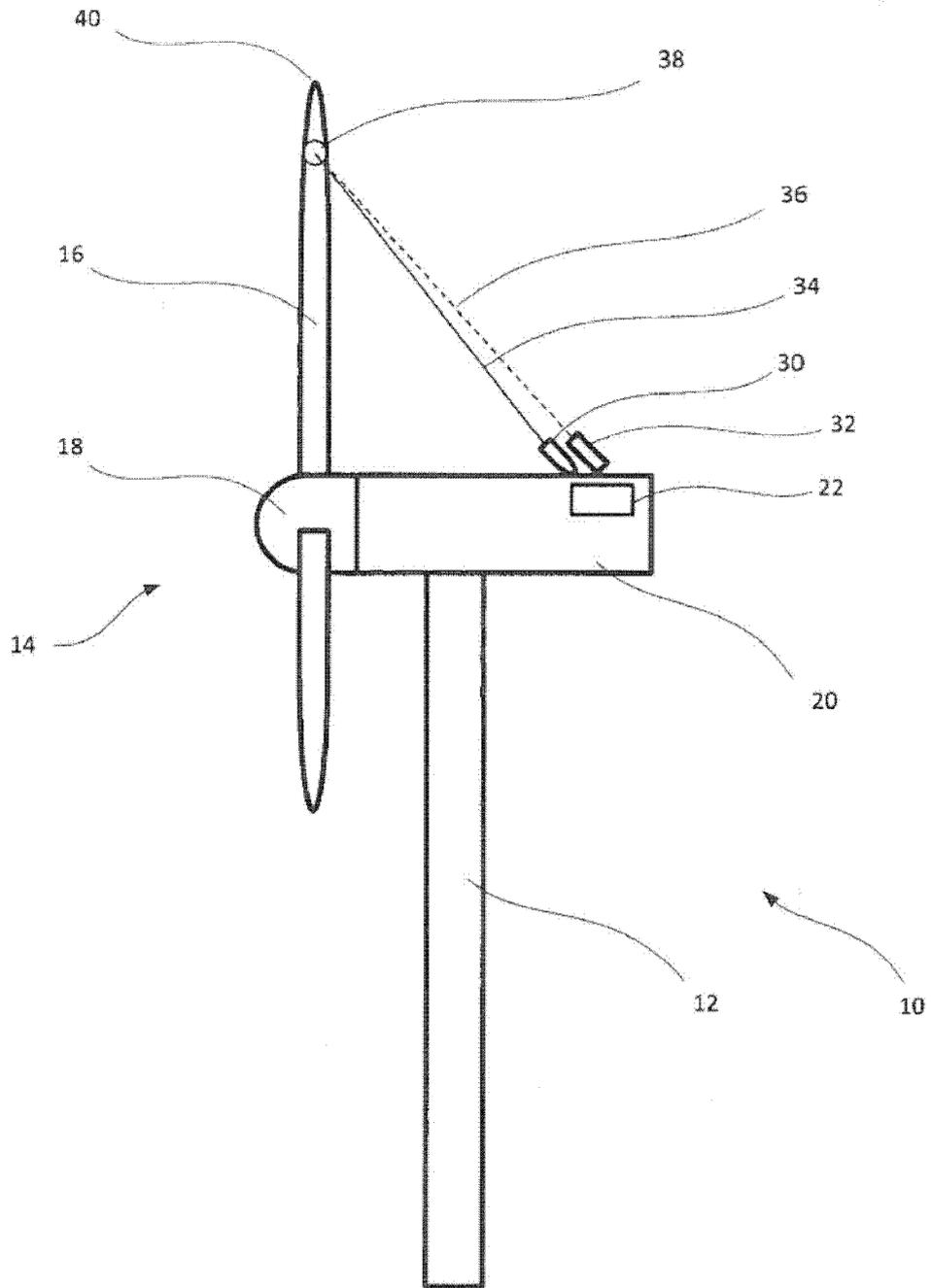


Fig. 1

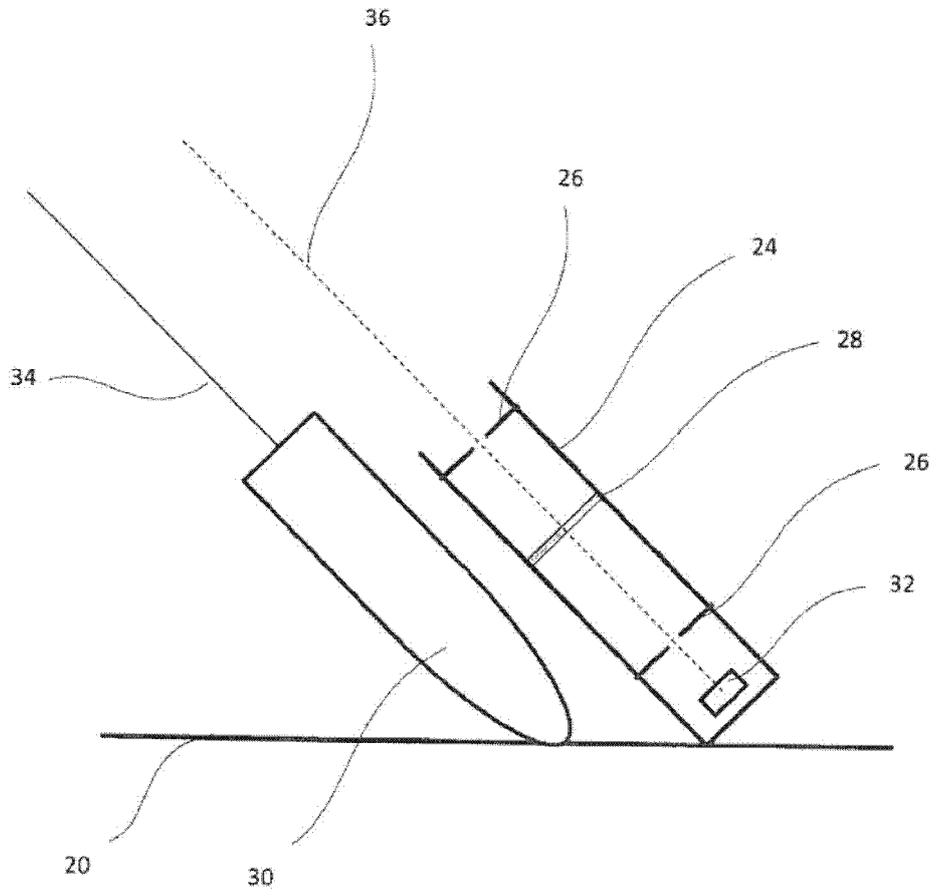


Fig. 2

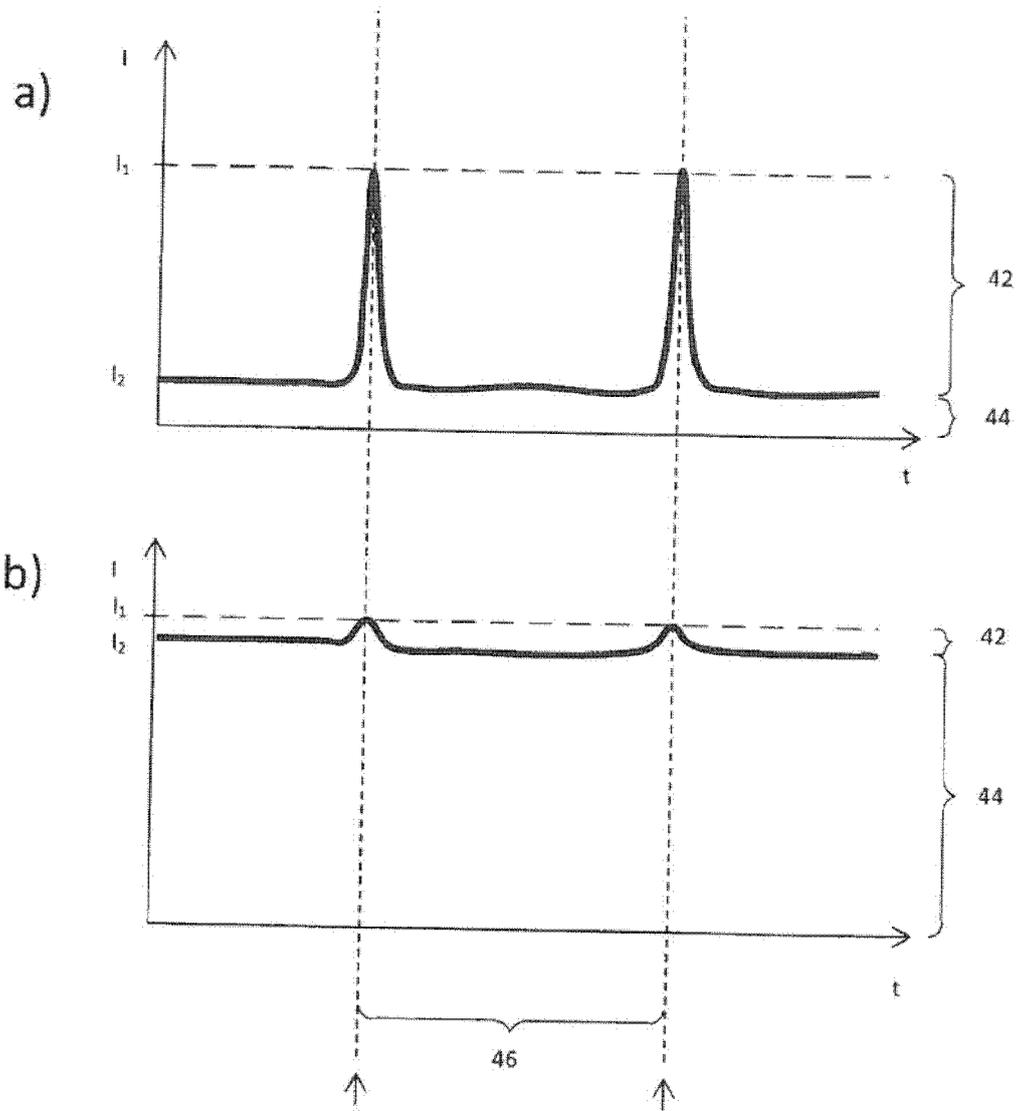


Fig. 3