

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 727 248**

51 Int. Cl.:

**G01H 1/00** (2006.01)

**F03D 17/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.08.2011** **E 11007069 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.02.2019** **EP 2565444**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para el monitoreo de estado de palas de rotor**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**15.10.2019**

73 Titular/es:

**WÖLFEL ENGINEERING GMBH + CO. KG**  
**(100.0%)**  
**Max-Planck-Str. 15**  
**97204 Höchberg, DE**

72 Inventor/es:

**EBERT, CARSTEN;**  
**KRAEMER, PETER;**  
**PANKOKE, STEFFEN y**  
**WÖLFEL, HORST PETER**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

**ES 2 727 248 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 y dispositivo para el monitoreo de estado de palas de rotor

- 5 La invención se refiere a un procedimiento para el monitoreo de estado de palas de rotor de aerogeneradores, evaluándose señales de al menos un sensor, monitoreándose los cambios de al menos una frecuencia natural, parámetros modales y/o propiedades mecánicas y/o acústicas.
- 10 Además, la invención se refiere a un dispositivo para el monitoreo de estado de palas de rotor de aerogeneradores, que presenta un sensor y una unidad de cálculo y es adecuado para la realización de este procedimiento.
- 15 Los aerogeneradores presentan por regla general al menos una, aunque a menudo varias palas de rotor, que están fijadas de manera giratoria a través de un cubo en una góndola, que está dispuesta sobre una torre. Las palas de rotor tienen que soportar a este respecto enormes fuerzas centrífugas, turbulencias y velocidades del viento cambiantes, diferencias de temperatura y cargas mecánicas, tales como por ejemplo lluvia y acumulación de hielo. En el diseño de palas de rotor se esperan mil millones de cambios de carga dentro de la vida útil prevista de 20 años. Con ello, las palas de rotor son uno de los componentes técnicos más intensamente cargados. Las sollicitaciones extremadamente altas pueden resultar, por ejemplo, de fuertes estímulos de viento, tales como fuertes ráfagas, o si no también de fenómenos de resonancia.
- 20 Las palas de rotor se fabrican con procedimientos predominantemente manuales, por lo que las palas de rotor están fabricadas con mayor frecuencia que el promedio de forma defectuosa. Durante el funcionamiento posterior en el aerogenerador resultan de tales defectos de fabricación defectos a menudo visibles que pueden ir en aumento y conducir a daños importantes.
- 25 La sustitución de palas de rotor y reparaciones frecuentes son muy costosas y causan largos períodos de inactividad. Además, las palas de rotor rara vez alcanzan su vida útil diseñada de 20 años.
- 30 Para poder detectar daños de manera temprana y poder emitir advertencias, el estado actual de la pala de rotor tiene que ser monitoreado continuamente, por ejemplo con ayuda de sistemas de monitoreo conocidos (sistemas de monitoreo). Esto hace posible tomar contramedidas de manera oportuna, tales como por ejemplo reparaciones, antes de que aparezcan daños mayores. En particular, pueden reducirse así pérdidas totales de palas de rotor que requieren un intercambio de toda la pala de rotor y, con ello, en particular en aerogeneradores de alta mar son muy caras.
- 35 El rendimiento de los aerogeneradores se influye también por la aerodinámica de las palas de rotor. Las influencias mecánicas, tales como por ejemplo una acumulación de hielo o suciedad, así como daños en la superficie de la pala de rotor, tales como grietas o desprendimientos, influyen negativamente en la geometría del perfil de la pala de rotor. Las influencias de este tipo deben reconocerse asimismo en un monitoreo de estado de palas de rotor.
- 40 El documento WO 2010/099928 A2 describe un procedimiento para constatar daños de palas de rotor de una turbina eólica. A este respecto se mide la vibración de palas de rotor con ayuda de sensores de aceleración. Si entonces el número de eventos de vibración fuertes supera un umbral predeterminado, se emite una señal de error. En el documento WO 2006/012827 A1 se describe un procedimiento y un dispositivo para monitorear el estado de
- 45 palas de rotor en aerogeneradores, estando dispuesto en las palas de rotor en cada caso al menos un sensor de movimiento para captar aceleraciones o vibraciones de la pala de rotor. A este respecto, los espectros de vibración de las palas de rotor se determinan y se comparan con espectros de referencia. Un desplazamiento de las frecuencias típicas en el espectro se efectúa a este respecto, por ejemplo, en caso de cambios de las propiedades del material, tales como un cambio del módulo de elasticidad o de la densidad, o por daños o cambios en la pala de
- 50 rotor.
- En el documento GB 2 459 726 A se propone captar por medio de sensores de tensión, que están dispuestos en las raíces de las palas de rotor, tensiones y, con ello, cargas de la pala de rotor.
- 55 En el documento DE 10 2005 016 524 A1 se propone monitorear variables físicas que están en relación con la masa de una o varias palas de rotor para poder concluir un desequilibrio de masa entre las palas de rotor. Como característica de una anomalía de la masa de la pala, por ejemplo, se observa una reducción de la frecuencia natural.
- 60 En estos procedimientos se realiza una evaluación basada en espectros de las vibraciones o aceleraciones medidas. Los espectros se calculan habitualmente mediante una transformación de Fourier. A este respecto se efectúa una comparación de los espectros determinados actualmente con espectros de referencia, que se registraron en la pala de rotor no dañada y se almacenaron en una memoria.
- 65 Para asegurar una alta sensibilidad, es decir, una detección de errores que no sean críticos, con al mismo tiempo una alta fiabilidad, es importante, por ejemplo, determinar las frecuencias naturales de manera muy precisa. Los

daños que acaban de empezar a desarrollarse o una acumulación de hielo que acaba de empezar conducen solo a un desplazamiento muy pequeño de la frecuencia natural. En consecuencia se requiere una resolución de frecuencia muy alta.

5 Cuando se calculan los espectros, la resolución de frecuencia de los espectros es igual al valor inverso de la duración de una medición individual. Cuando, por ejemplo, se requiere una resolución de frecuencia de 0,005 Hz, se necesita una duración de medición de 200 s. Para obtener declaraciones fiables a partir de espectros es necesaria una repetición múltiple de las mediciones, como también se menciona en el documento WO 2006/012827 A1. Habitualmente se llevan a cabo de 10 a 20 mediciones sucesivas y se promedian sus espectros individuales. Con  
10 ello se dan como resultando duraciones de medición totales muy largas de más de 30 minutos.

Es problemático a este respecto en particular que los parámetros operativos de la instalación, tales como por ejemplo las revoluciones o el ángulo de inclinación, es decir, el ángulo de flujo de las palas de rotor, no deban cambiar la duración total de medición para no falsear la asignación del espectro medido al estado operativo  
15 respectivo. El reconocimiento fiable y preciso de cambios de frecuencias naturales u otros parámetros modales se hace de este modo más difícil.

Otro problema consiste en que no se puede reconocer fácilmente a partir de un espectro medido si un pico que se muestra en el espectro se origina a partir de una frecuencia natural de la pala de rotor o pertenece a una vibración  
20 forzada por una excitación externa. Esto dificulta el reconocimiento de cambios de estado.

La invención se basa en el objetivo de mejorar el monitoreo de estado de palas de rotor.

Este objetivo se logra en un procedimiento del tipo mencionado al principio de acuerdo con la invención de tal modo que para el monitoreo y en particular para el reconocimiento de cambios de las propiedades de las palas de rotor a  
25 partir de las vibraciones medidas se usa un procedimiento de identificación de sistemas en el dominio del tiempo, captándose una temperatura de una o varias palas de rotor.

Por tanto, se lleva a cabo una identificación de sistemas en el dominio del tiempo. Con ello, entre otros, los desplazamientos de frecuencia naturales y cambios de otras propiedades modales de las palas de rotor, que indican cambios de estado, pueden detectarse de manera más exacta y más rápida que a través de procedimientos basados en espectros. Las frecuencias naturales y otros parámetros modales se pueden determinar directamente y, con ello, en un tiempo de medición claramente más corto. Incluso los estímulos extraños pueden ser fácilmente reconocidos y, con ello, filtrados. De este modo es posible que incluso los cambios menores, tal como por ejemplo una incipiente  
30 acumulación de hielo o daños menores de la pala de rotor, ya se reconozcan, incluso si esto solo conduce a un desplazamiento muy pequeño por ejemplo de la frecuencia natural. Dado que a este respecto no se requiere que los parámetros operativos de la instalación permanezcan constantes durante un período de tiempo relativamente largo se da como resultado una evaluación fiable incluso en condiciones cambiantes. Además, se capta una temperatura de una o varias palas de rotor. A este respecto puede determinarse, por ejemplo, la temperatura de la estructura de  
35 la pala de rotor. Los cambios de temperatura pueden causar, asimismo, un desplazamiento de las frecuencias naturales. Para que esto no se reconozca como estado defectuoso es favorable conocer la temperatura de la pala de rotor. Por tanto, la calidad del monitoreo puede mejorarse mediante la captación de la temperatura.

Como procedimientos de identificación de sistemas en el dominio del tiempo pueden usarse, por ejemplo, los siguientes procedimientos de identificación de sistemas y de reconocimiento de errores de manera individual o en combinación:  
45

- Identificación estocástica del subespacio
- Identificación de sistemas con modelos autorregresivos
- 50 - Gráfico de estabilidad
- Filtrado de Kalman
- Análisis automático y de correlación cruzada en el dominio del tiempo
- Análisis de componentes principales lineales y no lineales

55 Preferentemente se derivan indicadores de error que activan un mensaje de advertencia, en particular cuando se exceden valores límite. Los indicadores de error se derivan a este respecto de los datos determinados con ayuda del procedimiento de identificación de sistemas en el dominio del tiempo y son, por ejemplo, una medida de la desviación de la frecuencia natural determinada actualmente de una frecuencia natural almacenada como referencia. Dichos indicadores de error representan con ello una medida de un cambio que puede compararse de manera  
60 relativamente sencilla con un valor límite.

Preferentemente se efectúa una clasificación dependiente del estado operativo con procedimientos estadísticos. Con ello, las influencias del comportamiento operativo de cambios del estado de las palas de rotor están limitadas. Los cambios de estado defectuosos se pueden diferenciar de este modo de cambios de estado no defectuosos.  
65

Preferentemente se usa como sensor un sensor de vibración de medición multiaxial, se captan con las aceleraciones

en la pala de rotor, por ejemplo un sensor de medición biaxial o triaxial. A este respecto, al menos un sensor de este tipo puede estar dispuesto en cada pala de rotor. Con ayuda de un sensor de vibración de medición multiaxial de este tipo se pueden captar vibraciones en distintas direcciones y sus señales pueden usarse en el procedimiento de identificación de sistemas en el dominio del tiempo. De este modo es posible un análisis muy preciso del comportamiento de vibración natural de las palas de rotor, de modo que los cambios de las frecuencias naturales, parámetros modales y/o propiedades mecánicas pueden reconocerse de manera fiable.

Preferentemente se usa para captar vibraciones al menos un sensor de vibración, que está dispuesto en una góndola y/o en una torre del aerogenerador, y sus señales se usan en particular en caso de parada del aerogenerador para el monitoreo de frecuencias naturales y/o parámetros modales y/o propiedades mecánicas de las palas de rotor. Mediante la disposición del sensor en la góndola y/o en la torre es posible determinar las frecuencias naturales de las palas de rotor en caso de parada del aerogenerador. Esto resulta de cambios en las aceleraciones de la góndola o de la torre. A este respecto se captan con el sensor vibraciones estructurales de baja frecuencia y se evalúan con el procedimiento de identificación de sistemas en el dominio del tiempo. El sensor debería tener a este respecto una alta relación señal-ruido, es decir, una alta resolución. Con ayuda de este sensor se puede reconocer, por ejemplo, si una acumulación de hielo existente previamente en la pala de rotor ha retrocedido, dado que esto causa un desplazamiento correspondiente de las frecuencias naturales.

Preferentemente se usa como sensor adicional un micrófono, con el que se capta sonido en el aire en el interior de la pala de rotor. A este respecto pueden estar dispuestos también varios micrófonos en la pala de rotor y todas las palas de rotor presentan micrófonos. Un cambio del sonido en el aire, que se mide con ayuda del o de los micrófonos, se causa por un cambio de la aerodinámica de la pala de rotor. A este respecto reaccionan la aerodinámica y, con ello, el sonido en el aire de manera muy sensible a cambios de la superficie exterior de la pala de rotor. El cambio de la aerodinámica y, con ello, del sonido en el aire puede causarse, por ejemplo, por acumulación de hielo, pero también por daños en la superficie, grietas, desprendimientos y suciedad. Mediante el monitoreo del sonido en el aire se pueden notar incluso cambios menores.

Preferentemente se tienen en cuenta datos operativos y/o ambientales. Mediante la evaluación de estos datos se puede efectuar una verificación de plausibilidad del conocimiento alcanzado por el sistema de identificación en el dominio del tiempo.

Los datos operativos y/o ambientales se pueden transferir directamente desde un control de instalación a través de una interfaz de bus de campo.

Preferentemente se comparan los valores medidos con estados de referencia. Los valores medidos son, a este respecto, frecuencias naturales, parámetros modales u otros valores característicos de los procedimientos mencionados anteriormente. La comparación con uno o varios estados de referencia sirve entonces para constatar cambios. Los estados de referencia pueden, por ejemplo, haber sido captados directamente después de la puesta en funcionamiento o si no también pueden proceder de cálculos del modelo.

De manera ventajosa se comparan entre sí los datos de todas las palas de rotor. De este modo pueden filtrarse, por ejemplo, las perturbaciones que actúan desde el exterior y que tienen un efecto igual en todas las palas de rotor. Con ello se efectúa un control de plausibilidad.

Preferentemente se transmiten las señales del o de los sensores a través de buses de campo digitales, un sistema LAN o un sistema WLAN. A este respecto puede usarse para transmitir las señales entre el cubo giratorio con las palas de rotor y el sistema estacionario, que se forma por la góndola y la torre, por ejemplo el transformador de anillo deslizante existente.

Este objetivo se soluciona también mediante un dispositivo con las características de la reivindicación 9.

Las señales del o de los sensores no se someten entonces a una transformación de Fourier en la unidad de cálculo como de costumbre, y los espectros se determinan a partir de ellas, sino que se usa un procedimiento de identificación de sistemas en el dominio del tiempo, recurriéndose directamente a los datos en el curso del tiempo de las aceleraciones de vibración. De este modo se asegura una alta precisión, incluso si solo son posibles duraciones de medición bajas.

A este respecto se prefiere particularmente que en al menos una pala de rotor esté dispuesto al menos un sensor de vibración de medición multiaxial. A este respecto pueden estar dispuestos también en cada pala de rotor uno o varios sensores de vibración de medición multiaxial. De este modo es posible una medición segura de las aceleraciones en cada pala de rotor. Los cambios en las frecuencias naturales u otros parámetros modales se pueden captar de manera segura.

Preferentemente, el sensor de vibración está configurado como sensor MEMS. Un sensor MEMS (*micro electro mechanical system sensor* o sensor de sistema microelectromecánico) es un acelerómetro que está realizado como chip. El sensor de vibración puede prefabricarse con ello completamente y usarse como pieza de serie. A este

respecto es posible un intercambio relativamente sencillo del sensor de vibración en el caso de un defecto.

De manera ventajosa, el sensor de vibración forma una unidad estructural con un sensor de temperatura, que en particular está combinado sobre una placa de circuito impreso. La integración de esta unidad estructural en una pala de rotor es relativamente sencilla. La captación adicional de la temperatura mejora a este respecto el resultado del monitoreo, dado que, por ejemplo, se pueden captar cambios de temperatura que pueden conducir, asimismo, a un cambio de las frecuencias naturales.

Preferentemente el sensor está conectado a través de líneas ópticas de señal y/o de energía. Esto tiene la

ventaja de que en la pala de rotor no tienen que colocarse conductores metálicos con una gran extensión en paralelo al cable de alimentación. Con ello se consigue una protección contra rayos del sistema. Tanto el suministro de los sensores con energía operativa como una transferencia de datos se pueden realizar de manera óptica. Esto representa una posibilidad de transmisión de baja pérdida.

Preferentemente está dispuesto al menos un sensor configurado como micrófono en el interior de al menos una pala de rotor. De este modo pueden reconocerse de manera relativamente sencilla cambios superficiales que causan un cambio de la aerodinámica de la pala de rotor, dado que estos causan un cambio del sonido en el aire en el interior de la pala de rotor. Las señales del micrófono pueden evaluarse entonces asimismo con un procedimiento de identificación de sistemas en el dominio del tiempo, de modo que se garantiza una alta sensibilidad. Los cambios superficiales comprenden a este respecto, por ejemplo, también suciedades, acumulación de hielo y daños incipientes en la superficie de la pala de rotor, que tienen como consecuencia asimismo una influencia en la aerodinámica de la pala de rotor.

Preferentemente está dispuesto en una góndola del aerogenerador un sensor para determinar la frecuencia natural, parámetros modales y/o propiedades mecánicas de una pala de rotor. Con ayuda de este sensor, que está configurado, por ejemplo, como sensor de vibración o de aceleración, es posible determinar frecuencias naturales de la o las palas de rotor incluso en caso de parada del aerogenerador. De este modo es por ejemplo posible constatar si ha retrocedido de nuevo una acumulación de hielo, que ha conducido a la puesta en parada del aerogenerador. Los tiempos de parada se minimizan con ello.

La invención se describe en más detalle a continuación mediante ejemplos de realización preferentes en relación con los dibujos. En el presente documento muestran en vista esquemática:

la Figura 1 una parte superior de un aerogenerador y

la Figura 2 componentes individuales para el monitoreo de estado de palas de rotor.

En la Figura 1 se representa la parte superior de un aerogenerador 1, que presenta un rotor 2 con tres palas de rotor 3, 4, 5. Las palas de rotor 3, 4, 5 están fijadas a este respecto en un cubo 6, que está dispuesto de manera giratoria en una góndola 7 del aerogenerador 1, que está dispuesto en el extremo superior de una torre 8.

En la góndola 7 y, con ello, en la parte estacionaria del aerogenerador 1, está dispuesta una unidad de cálculo 9, que sirve para la captación de datos y la evaluación de señales que proceden de distintos sensores.

A modo de ejemplo se muestra solo en una pala de rotor 4 qué sensores pueden por ejemplo usarse. Las palas de rotor 3, 5 restantes pueden estar equipadas correspondientemente con sensores.

En la pala de rotor 4 está dispuesto un sensor de aceleración o de vibración 10, un sensor de temperatura 11, un micrófono 12 y un sensor de tensión 13. El sensor de tensión 13 se encuentra a este respecto en la zona de una raíz de la pala de rotor 4 para poder captar debido a las cargas de flexión las cargas que ya se producen en esta zona.

En la góndola 7 está dispuesto un sensor de aceleración o de vibración 14 adicional.

La evaluación de las señales de sensor se efectúa de acuerdo con la invención con un procedimiento de identificación de sistemas en el dominio del tiempo, es decir, directamente en el dominio del tiempo en la unidad de cálculo 9. No se requiere una transformación previa de Fourier. A este respecto no se comparan espectros entre sí, sino que se hace referencia directamente a datos del curso del tiempo o a funciones de correlación o de covarianza formadas a partir de ellos. Con ello, los desplazamientos de frecuencia natural, los cambios de parámetros modales y/o propiedades mecánicas pueden detectarse de manera esencialmente más precisa que a través de métodos basados en espectros.

En la Figura 2 se representan los componentes individuales para el monitoreo de estado de palas de rotor. El rotor 2 como sistema giratorio comprende las palas de rotor 3, 4, 5, que están dotadas en cada caso de sensores de vibración 10a, 10b, 10c, sensores de temperatura 11a, 11b, 11c, micrófonos 12a, 12b, 12c y sensores de tensión 13a, 13b, 13c. Los sensores 10, 11, 12, 13 están conectados a través de líneas ópticas y/o eléctricas 15 a un nodo

de red 16. Desde ahí se efectúa la transmisión de señal por ejemplo a través de un sistema WLAN 17. Para ello, el nodo de red 16 está dotado de un emisor 18.

No están representadas líneas para el suministro de energía de los sensores 10, 11, 12, 13, que también pueden estar configurados como líneas eléctricas y/u ópticas.

5 En la góndola 7 o la torre 8, es decir, en el sistema estacionario, está previsto un receptor 19, que está unido con la unidad de cálculo 9 y recibe las señales de los sensores 10, 11, 12, 13, que se transmiten a través del emisor 18, y las reenvía a la unidad de cálculo 9. En la unidad de cálculo 9 se efectúa una captación de datos de todos los sensores, de datos operativos y de datos ambientales. A este respecto se efectúa también la evaluación de estos  
10 datos, es decir, la aplicación de un procedimiento de identificación de sistemas en el dominio del tiempo.

Adicionalmente, el sensor de vibración 14 que está alojado en la góndola 7 está unido a través de un nodo de red 20 asimismo con la unidad de cálculo 9. A través del nodo de red 20 está unido también un control 21 del aerogenerador 1 con la unidad de cálculo 9, de modo que puede efectuarse una transmisión de información entre el  
15 control 21 y la unidad de cálculo 9.

Mediante la evaluación de las señales y la determinación de las frecuencias naturales, parámetros modales y/o propiedades mecánicas con un procedimiento de identificación de sistemas en el dominio del tiempo se pueden reconocer desviaciones muy pequeñas, por ejemplo pequeños desplazamientos de frecuencia natural. Con ello, los  
20 desplazamientos de frecuencia natural se pueden determinar esencialmente de manera más precisa que a través de métodos basados en espectros. A este respecto, para el control de plausibilidad adicionalmente los datos operativos y ambientales actuales del aerogenerador se captan y evalúan para excluir influencias del comportamiento operativo en el desplazamiento de frecuencia natural. Adicionalmente, las señales de medición o los resultados extraídos se clasifican dependiendo del estado operativo con procedimientos estadísticos.

25 La medición del ruido aéreo en al menos una pala de rotor posibilita el reconocimiento fiable de acumulación de hielo, contaminación y daños superficiales. Dado que por regla general todas las palas de rotor están sujetas a las mismas condiciones, puede considerarse suficiente por razones de costes prever solo una de las palas de rotor de un micrófono para la medición del sonido en el aire. No obstante, la captación de acumulación de hielo por medio del micrófono funciona solo en caso de rotor en movimiento, dado que el sonido en el aire que puede captarse con ayuda del micrófono depende de la aerodinámica. Para poder reconocer por ejemplo acumulación de hielo incluso  
30 cuando el rotor está parado y, con ello, garantizar un reinicio automático del aerogenerador, está dispuesto un sensor de vibración adicional en la góndola, usándose asimismo para el monitoreo un procedimiento de identificación de sistemas en el dominio del tiempo. Con ello es posible monitorear con ayuda de este sensor frecuencias naturales de las palas de rotor estacionarias y a partir de ello deducir si una acumulación de hielo está presente o no.

Con ayuda de un sensor de vibración de medición biaxial, que está dispuesto en las palas de rotor, se pueden captar a este respecto vibraciones de la pala de rotor o aceleraciones y a partir de ello se pueden hacer declaraciones seguras sobre la frecuencia natural y los parámetros modales. También se pueden usar otros sensores de medición multiaxial, por ejemplo sensores de medición triaxial. En casos sencillos es suficiente también un sensor de medición monoaxial.

40 Dado el caso puede efectuarse un procesamiento previo de las señales en las palas de rotor. No obstante, también es concebible transmitir las señales como datos sin procesar desde las palas de rotor a la unidad de cálculo.

45 De acuerdo con la invención se obtienen así un procedimiento y un dispositivo para el monitoreo de palas de rotor de aerogeneradores, que permite un reconocimiento de error muy fiable con una alta sensibilidad.

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para el monitoreo de estado de palas de rotor de aerogeneradores, evaluándose señales de al menos un sensor, monitoreándose los cambios de al menos una frecuencia natural, parámetros modales y/o propiedades mecánicas, **caracterizado por que** para el monitoreo se usa un procedimiento de identificación de sistemas en el dominio del tiempo, captándose una temperatura de una o varias palas de rotor (4).
- 10 2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado por que** se deriva un indicador de error, que activa un mensaje de advertencia en particular cuando se supera un valor límite.
- 15 3. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado por que** se realiza con procedimientos estadísticos una clasificación dependiente del estado operativo.
- 20 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado por que** como sensor se usa un sensor de vibración (10) de medición multiaxial, con el que se captan aceleraciones en la pala de rotor (4).
- 25 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por que** para captar vibraciones se usa como sensor al menos un sensor de vibración (10), que está dispuesto en una góndola (7) y/o en una torre (8) del aerogenerador (1), cuyas señales se usan en particular en caso de parada del aerogenerador (1) para el monitoreo de frecuencias naturales y/o parámetros modales y/o propiedades mecánicas de las palas de rotor (4).
- 30 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado por que** como sensor adicional se usa al menos un micrófono (12), con el que se capta el sonido del aire en el interior de la pala de rotor (4).
- 35 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado por que** se comparan entre sí los datos de medición de todas las palas de rotor (4).
- 40 8. Dispositivo para el monitoreo del estado de palas de rotor de aerogeneradores, que presenta al menos un sensor y una unidad de cálculo (9), para la realización del procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7.
- 45 9. Dispositivo según la reivindicación 8, **caracterizado por que** en al menos una pala de rotor (3, 4, 5) está dispuesto al menos un sensor de vibración (10) de medición multiaxial.
- 50 10. Dispositivo según la reivindicación 9, **caracterizado por que** el sensor de vibración (10) está configurado como sensor MEMS.
11. Dispositivo según las reivindicaciones 9 o 10, **caracterizado por que** el sensor de vibración (10) forma una unidad estructural con un sensor de temperatura (11), que en particular está combinado en una placa de circuito impreso.
12. Dispositivo según una de las reivindicaciones 8 a 11, **caracterizado por que** al menos un sensor configurado como micrófono (12) está dispuesto en el interior de al menos una pala de rotor (3, 4, 5).
13. Dispositivo según una de las reivindicaciones 8 a 12, **caracterizado por que** en una góndola (7) y/o en una torre del aerogenerador (1) está dispuesto al menos un sensor (14) para determinar la frecuencia natural, los parámetros modales y/o las propiedades mecánicas de una pala de rotor (3, 4, 5).
14. Dispositivo según una de las reivindicaciones 8 a 13, **caracterizado por que** el sensor (10, 11, 12, 13) está conectado a través de líneas ópticas (15) para la transmisión de datos y/o energía.

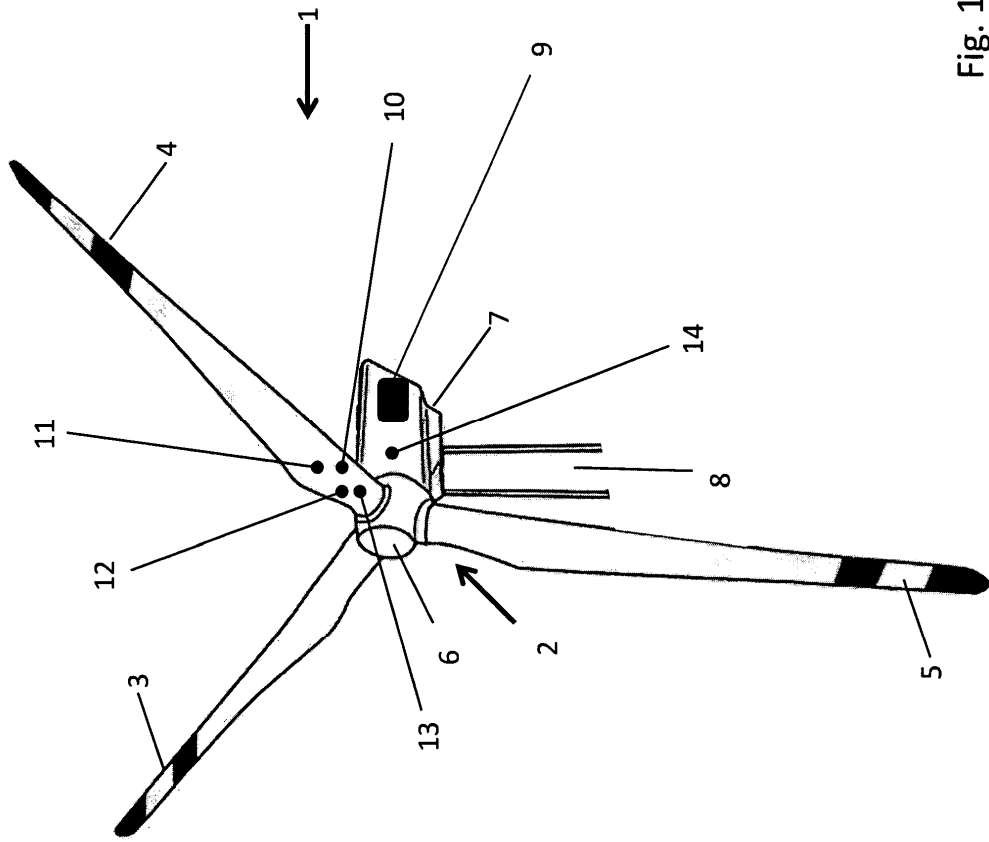


Fig. 1



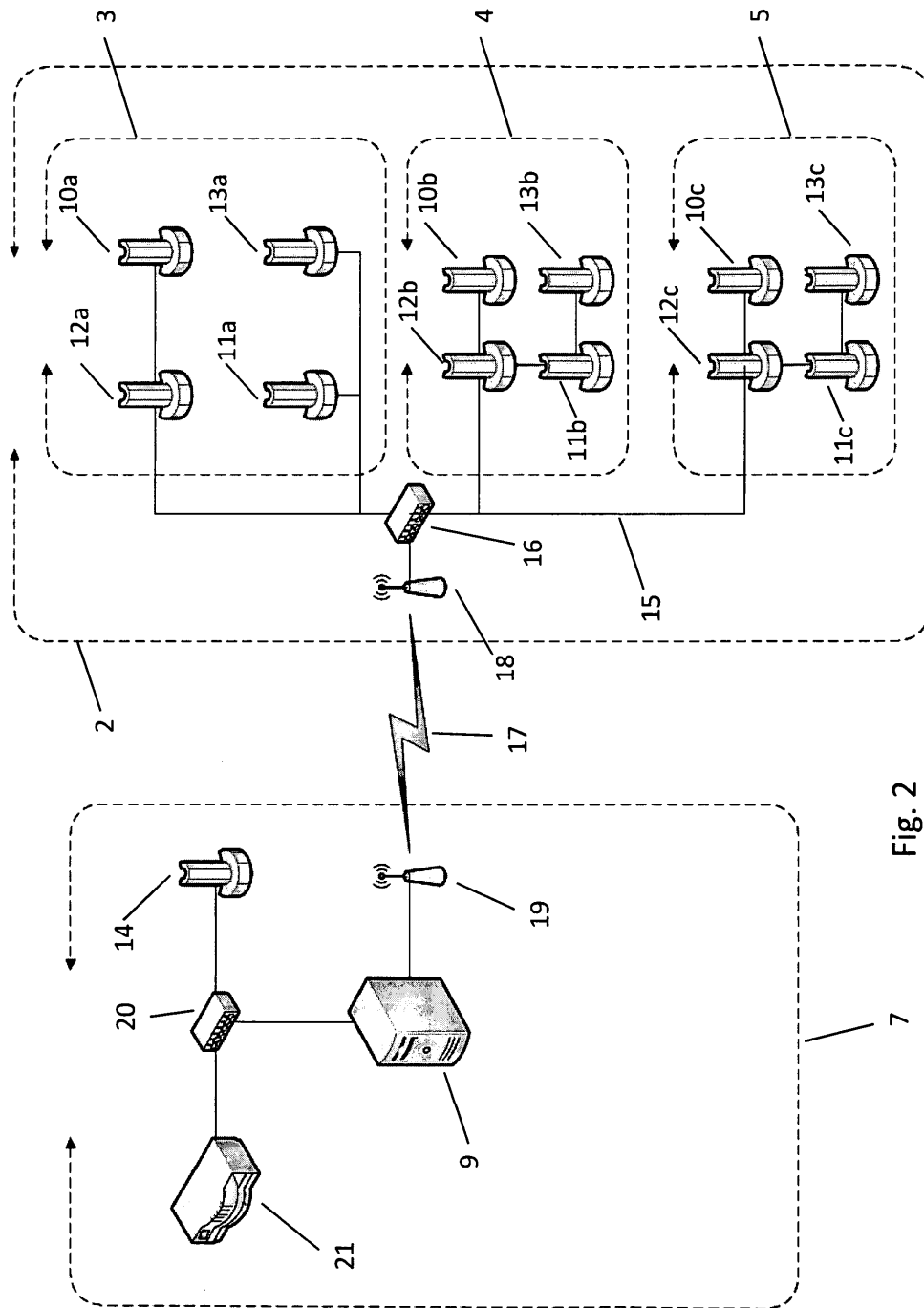


Fig. 2