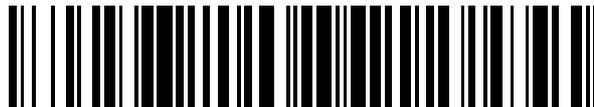


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 562 606**

51 Int. Cl.:

F03D 7/00 (2006.01)

F03D 11/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.05.2009 E 09007072 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.11.2015 EP 2131037**

54 Título: **Vigilancia de funcionamiento de una instalación de energía eólica mediante análisis sonoro**

30 Prioridad:

05.06.2008 DE 102008026842

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

07.03.2016

73 Titular/es:

**SENVION GMBH (100.0%)
Überseering 10
22297 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:

DICKE, DANIEL

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 562 606 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

Vigilancia de funcionamiento de una instalación de energía eólica mediante análisis sonoro.

5 La invención concierne a un procedimiento y una disposición para vigilar el funcionamiento de una instalación de energía eólica, comprendiendo esta instalación de energía eólica un rotor con una pluralidad de palas de rotor. En el procedimiento se ha previsto registrar el sonido aéreo generado por el movimiento del rotor. La disposición comprende a este fin un sensor de sonido que no gira con el rotor.

10 La góndola y la torre de una instalación de energía eólica tienen ya que absorber durante el funcionamiento normal unas considerables fuerzas ejercidas por el rotor al girar. Los componentes de la instalación de energía eólica están diseñados para aguantar estas fuerzas durante la vida útil prevista de la instalación de energía eólica. Sin embargo, las fuerzas transmitidas desde el rotor a la góndola y la torre son superiores a lo que está previsto para el funcionamiento normal, y así se acorta considerablemente la vida útil de los componentes de la instalación de energía eólica.

15 Las fuerzas ejercidas por el rotor resultan ser considerablemente superiores a lo previsto para el funcionamiento normal cuando las distintas palas del rotor no están correctamente equilibradas entre ellas. El equilibrio se puede perder debido a que se dañe una de las palas del rotor, por ejemplo por un rayo, el impacto de aves o la erosión. Se puede tener una acción comparable cuando se acumula hielo sobre una de las palas del rotor o cuando una de las palas del rotor tiene un ángulo de ataque diferente. En todos los casos, el estado del rotor es defectuoso y la instalación de energía eólica se expone a cargas que van considerablemente más allá de la medida usual durante el funcionamiento normal. Si se reconoce tempranamente el defecto, se puede reducir entonces el número de revoluciones o se puede poner la instalación de energía eólica fuera de servicio para aminorar la carga. Aparte de una elevada carga, un daño o avería de una pala de rotor conduce también a un menor rendimiento energético de la instalación de energía eólica. Atendiendo también a este criterio, es deseable reconocer tempranamente un defecto del rotor.

25 Se conoce por el documento DE 100 65 314 A1 el recurso de disponer sensores en las distintas palas del rotor y deducir de los valores de medida de los sensores un defecto del rotor. Sin embargo, la instalación de los sensores en las palas del rotor es costosa. Asimismo, se conoce por el documento WO 01/25631 A1 el recurso de registrar el sonido emitido por una instalación de energía eólica y comparar la captación de sonido con un espectro de referencia previamente establecido. Se parte de que se puede deducir de una desviación entre la captación de sonido y el espectro de referencia un estado de funcionamiento defectuoso de la instalación de energía eólica. Dado que el sonido de funcionamiento normal varía, entre otros factores, en función del número de revoluciones, se tienen que mantener disponibles un gran número de espectros de referencia. Asimismo, se conoce por el documento "Acoustic Array Measurement on a Full Scale Wind Turbine", S. Oerleman et al, 11th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, Monterey, California, USA, 23 de mayo de 2005, el recurso de comparar el sonido aéreo de una pala de rotor con el sonido aéreo de otra pala de rotor.

35 Partiendo del estado de la técnica citado al principio, la invención se basa en el problema de presentar un procedimiento y una disposición que permitan de manera fiable y barata detectar un defecto del rotor. El problema se resuelve con las características de las reivindicaciones independientes. En las reivindicaciones subordinadas se encuentran formas de realización ventajosas.

40 En el procedimiento según la invención se establece una asociación entre segmentos del sonido registrado y el sonido aéreo generado por palas de rotor individuales y se compara el sonido aéreo de una pala del rotor con el sonido aéreo de otra pala del rotor. Se mide una magnitud ambiente que puede favorecer un defecto del rotor y se combina una información sobre la magnitud ambiente con una información derivada de la captación de sonido. La disposición según la invención comprende una unidad de evaluación y un módulo lógico que están diseñados para realizar estos pasos del procedimiento.

45 En primer lugar, se explican algunos términos. El sonido aéreo se produce debido a la interacción entre una pala del rotor y el aire que circula por una pala del rotor. El sonido aéreo se transmite por el aire hasta el sensor de sonido. Hay que distinguir de éste el sonido estructural que se propaga en el material de la pala del rotor.

50 El sonido aéreo que parte de las palas del rotor se registra de tal manera que, durante una revolución del rotor, varíe en la captación de sonido la intensidad del sonido recogido de cada pala de rotor individual. Esto puede conseguirse, por ejemplo, haciendo que el sensor de sonido esté dispuesto a cierta distancia del eje del rotor, de modo que la distancia entre el sensor de sonido y cada pala de rotor individual varíe continuamente mientras está girando el rotor. El sonido registrado cubre al menos una revolución completa del rotor, pero preferiblemente se extiende sobre varias revoluciones completas del rotor.

55 La idea de la invención puede materializarse registrando una captación de sonido continua que se extiende sobre una revolución completa del rotor. En tal captación de sonido se obtiene para cada pala del rotor un segmento en el que el sonido de esta pala de rotor tiene una intensidad mayor que la del sonido de las demás palas del rotor. Por

tanto, la captación de sonido puede subdividirse en una pluralidad de segmentos, estando en primer plano en cada segmento el sonido de otra pala del rotor. No es necesario que la suma de los segmentos corresponda íntegramente a la captación de sonido. Por el contrario, los segmentos pueden corresponder a partes pequeñas de la captación de sonido en las que el sonido de una pala de rotor es justo especialmente intenso en comparación con el sonido de las demás palas del rotor. En el caso de una captación de sonido que se extienda sobre varias revoluciones del rotor, se asignan varios segmentos a la misma pala del rotor. Para la asignación que se debe realizar según la invención es suficiente que los segmentos pertenezcan a una misma pala del rotor, y no tiene que indicarse a cuál de las palas del rotor pertenecen los segmentos.

Como alternativa, es posible registrar el sonido aéreo de antemano solamente en los segmentos parciales de una revolución del rotor en los que el sonido aéreo de una pala de rotor individual incide con alta intensidad sobre el sensor de sonido. Así, se puede detectar, por ejemplo con ayuda de la posición angular del rotor, que una pala de rotor determinada pasa por el sensor de sonido en un momento determinado. Se registra entonces una captación de sonido que comienza poco antes del momento en cuestión y termina poco después del momento en cuestión. Durante una revolución del rotor se registra de esta manera una captación de sonido para cada pala del rotor. Las distintas captaciones de sonido son entonces segmentos del sonido registrado en su totalidad y la información sobre la asignación entre los segmentos y el sonido aéreo de las distintas palas del rotor se ha alimentado ya durante el registro del sonido.

Si los segmentos del sonido registrado están asignados a las palas del rotor, el experto puede verificar entonces con métodos corrientes para él si el sonido aéreo de una pala del rotor diverge del sonido aéreo de otra pala del rotor.

El procedimiento según la invención tiene la ventaja de que las informaciones necesarias para el reconocimiento de un defecto de la pala del rotor pueden extraerse todas ellas del sonido registrado. Si las palas del rotor están libres de defectos, todas las palas del rotor emiten entonces el mismo sonido aéreo. Si se modifica ahora el estado de funcionamiento de la instalación de energía eólica, por ejemplo aumentando o disminuyendo el número de revoluciones del rotor, se modifica entonces ciertamente el sonido aéreo de las palas del rotor, pero la variación no conduce a que el sonido aéreo de una pala de rotor diverja del sonido aéreo de otras palas del rotor. Por tanto, la captación de sonido registrada en palas de rotor libres de defectos reproduce en cualquier momento el estado nominal del sonido aéreo de las palas del rotor. Si un defecto de una pala del rotor conduce ahora a que el sonido aéreo de esta pala del rotor diverja del sonido aéreo de otras palas del rotor, se puede detectar entonces sin dificultades esta divergencia. Por tanto, el procedimiento puede descubrir un defecto de una pala del rotor sin que tengan que alimentarse más informaciones desde fuera.

El sonido registrado se almacena en general primeramente en forma de una serie temporal. Algunas informaciones, como, por ejemplo, la intensidad total del sonido, pueden derivarse directamente de la serie temporal. Sin embargo, resulta posible una evaluación de mayor fuerza expresiva cuando la serie temporal se transforma en un espectro de frecuencia. Si la serie temporal se presenta en forma digital, ésta puede ser transformada entonces mediante una transformada de Fourier discreta en un espectro de frecuencia. Mediante la transformación se hace accesible la información referente a qué frecuencias del sonido se presentan en que intensidad. En el espectro de frecuencia puede estar contenido un desplazamiento de frecuencia que se produce debido a que se capta el sonido aéreo en una parte mientras la pala del rotor se aproxima al sensor del sonido, y en otra parte mientras la pala del rotor se aleja del sensor de sonido (efecto Doppler). Las repercusiones del efecto Doppler pueden calcularse y extraerse de la captación de sonido con medios conocidos para el experto.

El sensor de sonido está dispuesto preferiblemente de modo que, en primer lugar, se capte el sonido que parte de la zona exterior de las palas del rotor y de las puntas de las palas. Esta zona determina en una parte importante la acción aerodinámica del rotor. Esto se consigue cuando el sensor de sonido está dispuesto de modo que tenga con respecto al eje del rotor una distancia que esté comprendida entre un 50% y un 150% del radio del rotor. El sensor de sonido puede estar configurado como un micrófono direccional. El empleo de un micrófono direccional puede ser útil especialmente cuando la distancia entre el sensor de sonido y el eje del rotor no está dentro de los límites anteriormente indicados. A pesar de una gran distancia entre el sensor de sonido y las puntas de las palas, se registra entonces, en primer lugar, el sonido aéreo que parte de las palas del rotor. En dirección axial, la distancia entre el sensor de sonido y el rotor es preferiblemente inferior a un 50% y más preferiblemente inferior a un 30% del radio del rotor. Esto se consigue, por ejemplo, cuando el sensor de sonido está dispuesto a una altura correspondiente en la torre. Como alternativa, el sensor de sonido puede estar dispuesto también en el cimiento o por separado de la instalación de energía eólica. En estos casos, el sensor de sonido está regularmente en una posición estacionaria. Si el sensor de sonido está montado en la góndola de instalación de energía eólica, se modifica entonces su posición cuando varía la orientación del eje del rotor. La calidad de la captación de sonido puede mejorarse eventualmente mediante el empleo de una pluralidad de sensores de sonido.

Un sensor de sonido que registra el sonido aéreo que parte de las palas del rotor capta necesariamente también otro sonido que sea generado durante el funcionamiento de la instalación de energía eólica o que incida sobre el sensor de sonido desde el ambiente. El sonido que no parte de las palas del rotor se denomina sonido secundario. Preferiblemente, se registra el sonido de modo que el sonido aéreo que parte de las palas del rotor tenga una

intensidad netamente más alta que la del sonido secundario. La fuerza expresiva de la captación de sonido puede aumentarse aún más filtrando el sonido secundario para extraerlo de la captación de sonido. Pueden filtrarse y extraerse de la captación de sonido, sin dificultades, aquellas frecuencias que no genera una pala de rotor en ninguna circunstancia. Es más difícil filtrar y separar los constituyentes del sonido secundario que están en un dominio de frecuencia semejante al del sonido aéreo que parte de las palas del rotor. Si se registra el sonido secundario por separado, está disponible entonces la información referente a qué sonido no parte de las palas del rotor. El sonido secundario puede ser entonces filtrado y extraído de la captación de sonido.

El sonido secundario puede provenir de fuentes de sonido de la instalación de energía eólica, tales como, por ejemplo, el generador, el engranaje, los grupos hidráulicos o el accionamiento del sistema de seguimiento del viento, pero pertenecen también al sonido secundario las reflexiones del sonido en el suelo. Puede estar previsto un sensor de sonido secundario que esté diseñado para captar justamente el sonido que no parte de las palas del rotor. El sensor de sonido secundario puede estar configurado como un micrófono direccional que está orientado en dirección a una fuente conocida del sonido secundario. Para que el sonido registrado por el sensor de sonido secundario corresponda lo más exactamente posible al sonido secundario contenido en la captación de sonido, el sensor de sonido secundario deberá estar dispuesto cerca del sensor de sonido.

Como alternativa, el sonido secundario puede eliminarse también comunicando a la unidad de cálculo solamente la aparición de un evento de sonido secundario. Por ejemplo, puede ser conocido por un dimensionamiento de prototipos que un evento determinado durante el funcionamiento de una instalación de energía eólica, tal como, por ejemplo, una actividad del sistema de seguimiento del viento o un grupo hidráulico, proporciona siempre la misma contribución al sonido secundario. Para hacer que esta aportación sea calculada y extraída del sonido secundario, tienen que ser conocidos solamente el principio y el final del evento en cuestión.

Si se registra continuamente el sonido, se tiene entonces que, con una disposición adecuada del sensor de sonido, la respectiva intensidad del sonido aumenta cuando una pala del rotor se aproxima al sensor de sonido, alcanza un máximo cuando la pala del rotor pasa por el sensor de sonido, y disminuye seguidamente de nuevo. Por tanto, es evidente por la propia captación de sonido qué segmentos de la captación de sonido han de asignarse a una pala de rotor individual. Se puede facilitar la asignación cuando se alimenta adicionalmente una información sobre el tiempo de duración de una revolución del rotor. En efecto, durante una revolución cada pala del rotor pasa exactamente una vez por el sensor de sonido. Como alternativa o adicionalmente, si se alimenta una información sobre la posición angular del rotor, entonces resulta posible asignar los segmentos de la captación de sonido a palas de rotor determinadas.

Si el sonido que parte de una pala de rotor diverge de un sonido de otra pala de rotor, esto constituye entonces un fuerte indicio de que algo no marcha bien con la pala del rotor. No obstante, no existe forzosamente un defecto de la pala del rotor, sino que son imaginables también otras causas de la variación del sonido. Así, el sonido que parte de una pala de rotor puede variar, por ejemplo, a consecuencia de ataque de flujo oblicuo, turbulencia, fuerte gradiente del viento o lluvia. Por este motivo, para verificar si existe realmente un defecto de una pala del rotor, puede ser conveniente aprovechar otros indicadores. Por ejemplo, es posible medir determinadas magnitudes ambiente que traigan consigo con alguna probabilidad un defecto de una pala del rotor. Así, en el caso de una combinación determinada de humedad del aire y temperatura, se tiene que contar con que se fije hielo sobre las palas del rotor. Si se han producido rayos en las proximidades de la instalación de energía eólica, puede haber sido dañada entonces una de las palas del rotor por la caída de un rayo. Si una magnitud ambiente de esta clase denota un defecto de una pala del rotor y al mismo tiempo el sonido que parte de una pala del rotor diverge del sonido de otras palas del rotor, existe entonces con alta probabilidad un defecto de la pala del rotor. Como indicador adicional pueden aprovecharse también otros criterios tales como solicitaciones o esfuerzos de componentes de la instalación de energía eólica. Si, por ejemplo, el número de revoluciones del rotor fluctúa periódicamente con la frecuencia de giro del rotor, esto constituye entonces un fuerte indicador de un desequilibrio del rotor.

Preferiblemente, se cuantifica la divergencia detectada al comparar el sonido aéreo de las palas del rotor determinando un valor diferencia que represente la divergencia. Si el sonido que parte de varias palas del rotor es idéntico, el valor diferencia tiene entonces el valor cero. El valor diferencia es tanto mayor cuanto más fuerte sea la divergencia. Si el valor diferencia sobrepasa un valor límite prefijado, se puede producir entonces una reacción, tal como, por ejemplo, el envío de un aviso a un puesto de mando o una variación del estado de funcionamiento de la instalación de energía eólica. Preferiblemente, se emite un aviso al sobrepasarse un primer valor límite, se reduce el número de revoluciones al sobrepasarse seguidamente un segundo valor límite más alto y se pone la instalación de energía eólica fuera de servicio al sobrepasarse un tercer valor límite aún más alto.

El motivo de la divergencia del sonido aéreo de una pala de rotor respecto del sonido aéreo de otras palas del rotor puede residir también en circunstancias que no hacen necesaria ninguna intervención o que se solventan de nuevo por sí solas. Así, por ejemplo, los ensuciamientos, la deposición de hielo o la humedad pueden conducir únicamente a variaciones de corta duración del sonido aéreo que parte de una pala del rotor. Para impedir que tales circunstancias conduzcan al envío de un aviso o a una variación del estado de funcionamiento, puede estar previsto que se produzca una reacción ante una divergencia del sonido aéreo de una pala del rotor únicamente cuando el

valor diferencia sobrepase el valor límite para más de un intervalo de tiempo predeterminado. El intervalo de tiempo puede tener, por ejemplo, una duración de 10 minutos o de 30 minutos.

Es posible también el caso de que en todas las palas del rotor se produzca al mismo tiempo un defecto. Si, por ejemplo, reina la combinación correspondiente de temperatura y humedad del aire, entonces se puede formar al mismo tiempo una capa de hielo sobre todas las palas del rotor. Este defecto no puede ser descubierto sin dificultades con el procedimiento conforme a la invención, puesto que falta una divergencia del sonido aéreo de una pala del rotor respecto del sonido aéreo de otras palas del rotor. Para poder descubrir también defectos que se presentan al mismo tiempo en todas las palas del rotor, puede estar previsto que la captación de sonido se compare adicionalmente con un espectro de referencia. En el espectro de referencia está contenida la información referente a cómo deberá estar constituida la captación de sonido en un estado de funcionamiento determinado. Por tanto, están almacenados espectros de referencia para diferentes combinaciones de condiciones ambiente y estados de funcionamiento de la instalación de energía eólica. Las condiciones ambiente pueden afectar, por ejemplo, a la velocidad del viento, la dirección del viento, la turbulencia, las precipitaciones atmosféricas y similares. Los diferentes estados de funcionamiento de la instalación de energía eólica pueden estar definidos por parámetros tales como número de revoluciones, potencia y ángulo de pala.

Una comparación con un espectro de referencia puede ser útil también cuando el rotor presenta solamente dos palas de rotor. En efecto, si se verifica en dos palas de rotor que el sonido aéreo de una pala de rotor diverge del sonido aéreo de la otra pala de rotor, entonces no está aún claro cuál de las dos palas del rotor es la defectuosa. Esta información puede obtenerse por comparación con un espectro de referencia que se ha registrado durante un funcionamiento sin perturbaciones en condiciones ambiente comparables.

La unidad de evaluación y el módulo lógico, así como eventualmente otros componentes de la disposición según la invención están diseñados para realizar todos los pasos del procedimiento según la invención.

Se describe seguidamente la invención a modo de ejemplo haciendo referencia a los dibujos adjuntos y ayudándose de una forma de realización ventajosa. Muestran:

La figura 1, una forma de realización de una disposición según la invención;

La figura 2, una representación esquemática de algunos componentes de la disposición de la figura 1;

La figura 3, una serie temporal de una captación de sonido;

La figura 4, un espectro de frecuencia de una captación de sonido;

La figura 5, un espectro de frecuencia de una captación de sonido secundario; y

La figura 6, un espectro diferencia obtenido a partir de los espectros de frecuencia de las figuras 4 y 5.

Una instalación de energía eólica 14 en la figura 1 comprende un rotor 10 con tres palas de rotor 11, 12, 13. En la torre 15 de la instalación de energía eólica 14 están dispuestos un sensor de sonido 16 y un sensor de sonido secundario 17. Durante el funcionamiento de la instalación de energía eólica 14 gira el rotor 10, y el sensor de sonido 16 registra el sonido aéreo que parte de las palas 11, 12, 13 del rotor. El sensor de sonido secundario 17 está diseñado para captar el sonido que no parte del rotor 10, es decir, el sonido secundario. La serie temporal de la captación de sonido registrada durante una revolución del rotor 10 con el sensor de sonido 16 puede tener, como representación de la intensidad I del sonido en función del tiempo t , una configuración igual a la indicada en la figura 3. Aparte de un ruido de fondo permanentemente existente, en la serie temporal de la figura 3 se muestran tres segmentos 31, 32, 33 en los cuales se ha incrementado netamente la intensidad I del sonido.

La serie temporal de la captación de sonido es conducida según la figura 2 desde el sensor de sonido 16 hasta una unidad de evaluación 18. La unidad de evaluación 18 recibe también de un codificador de posición 19 una información sobre la posición angular momentánea del rotor 10. Las informaciones se combinan en la unidad de evaluación 18 de modo que cada momento de la serie temporal lleve asignada una posición angular determinada del rotor 10. En el ejemplo de la serie temporal mostrada en la figura 3 la evaluación arroja el resultado de que en el segmento 31 la pala 11 del rotor ha pasado por el sensor de sonido 16, en el segmento 32 ha pasado por dicho rotor la pala 12 del rotor y en el segmento 33 ha pasado por dicho rotor la pala 13 del rotor. La unidad de evaluación 18 realiza una asignación correspondiente, extendiéndose la evaluación, a diferencia de lo que ocurre en la representación simplificada de la figura 3, sobre una pluralidad de revoluciones del rotor.

La serie temporal de la captación de sonido se retransmite a un módulo lógico 19 juntamente con la información sobre la asignación entre los segmentos 31, 32, 33 y las palas 11, 12, 13 del rotor. El módulo lógico 19 comprende una unidad de cálculo 20 que está diseñada para realizar transformadas de Fourier discretas. Con la unidad de cálculo 20 se calculan espectros de frecuencia de los segmentos 31, 32, 33 a partir de dichos segmentos 31, 32, 33 de la serie temporal. Para el segmento 31 está indicada en la figura 4 una posible configuración del espectro de

frecuencia en función de la frecuencia f . Las frecuencias f , que están contenidas de manera amplificada en el segmento 31, se muestran como máximos en el espectro de frecuencia de la figura 4.

5 Sin embargo, tanto en el segmento 31 como en el espectro de frecuencia de la figura 4 no está contenido exclusivamente el sonido aéreo que parte de la pala 11 del rotor, sino que está contenido también el sonido secundario que proviene de otras fuentes. El sensor de sonido secundario 17 configurado como micrófono direccional está orientado en dirección a la góndola 21 y registra el ruido de funcionamiento de la instalación de energía eólica 14 irradiado por la góndola 21. La serie temporal del sonido secundario se alimenta a una unidad de cálculo 22 que realiza una transformada de Fourier discreta y calcula el espectro de frecuencia del sonido secundario. En la figura 5 está indicada una posible configuración del espectro de frecuencia del sonido secundario. 10 En el espectro de frecuencia de la figura 5 se muestra un máximo 40 que se presenta también en el espectro de frecuencia del segmento 31 (figura 4). El espectro de frecuencia del sonido secundario se alimenta a la unidad de cálculo 20 y esta unidad de cálculo 20 calcula y extrae el sonido secundario de los espectros de frecuencia de la captación de sonido propiamente dicha mediante la formación de la diferencia entre dichos espectros de frecuencia. La configuración del espectro de frecuencia después del cálculo y la extracción del sonido secundario está indicada en la figura 6. Frente al espectro de frecuencia de la figura 4, falta el máximo 40 que proviene del ruido de funcionamiento de la góndola 21. 15

Los espectros de frecuencia de los segmentos 31, 32, 33 liberados del sonido secundario se retransmiten a un componente lógico 23 del módulo lógico 19 que compara los espectros de frecuencia uno con otro. La comparabilidad de los espectros de frecuencia puede mejorarse eventualmente mediante un filtrado pasabajos. El componente lógico 23 calcula cada vez el promedio de dos espectros de frecuencia e indica la divergencia del tercer espectro de frecuencia respecto del promedio en forma de un valor diferencia. El valor diferencia tiene el valor cero cuando no existe ninguna divergencia entre los espectros de frecuencia de los segmentos 31, 32, 33, y adopta valores tanto más grandes cuanto mayor sea la divergencia entre los espectros de frecuencia. El valor diferencia se transmite a una unidad de control 24 que compara el valor diferencia con valores límite prefijados. Si el valor diferencia durante más de un periodo de tiempo prefijado está por encima de uno o varios de los valores límite, se envía entonces un aviso a un puesto de mando o se aminora el número de revoluciones de la instalación de energía eólica 14. 20 25

El procedimiento que se acaba de describir representa una forma de realización sencilla para comparar el sonido aéreo de varias palas de rotor. Son conocidos del experto métodos mucho más complejos para hacer posible una comparación del sonido aéreo captado incluso en difíciles condiciones marginales. Únicamente a modo de ejemplo cabe citar el análisis de ordenación en el que se aplican señales de sonido sobre la señal de número de revoluciones para tener en cuenta la variación de la emisión de sonido con el número de revoluciones. Se pueden realizar procedimientos similares para otros parámetros de influencia tales como ángulo de pala, potencia de generador, velocidad del viento, dirección del viento, gradiente del viento, etc. a fin de obtener espectros de sonido lo más limpios posible en condiciones ambiente variables. 30 35

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para vigilar el funcionamiento de una instalación de energía eólica (14), presentando la instalación de energía eólica (14) un rotor (10) con una pluralidad de palas de rotor (11, 12, 13), con los pasos siguientes:
- 5 a. registro del sonido aéreo generado por el movimiento del rotor (10) y transformación del sonido registrado en función del tiempo en un espectro de frecuencia;
- b. establecimiento de una asignación entre segmentos (31, 32, 33) del sonido registrado y el sonido aéreo generado por palas de rotor individuales (11, 12, 13);
- 10 c. comparación del sonido aéreo de una pala (11, 12, 13) del rotor con el sonido aéreo de otra pala (11, 12, 13) del rotor;
- d. medición de una magnitud ambiente que puede favorecer un defecto del rotor (10),
- caracterizado** por que
- e. se combina una información sobre la magnitud ambiente con una información derivada de la captación de sonido.
- 15 2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** por que se filtra un sonido secundario y se le separa del sonido registrado.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado** por que se determinan la duración de una revolución y/o la posición angular del rotor (10) y por que la asignación en el paso b. se realiza sobre la base de la duración de la revolución y/o la posición angular del rotor (10).
- 20 4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** por que en el paso c. se calcula un valor diferencia que representa la divergencia entre el sonido aéreo de una pala (11, 12, 13) del rotor y el sonido aéreo de otra pala (11, 12, 13) del rotor.
5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado** por que el rebasamiento de un valor límite prefijado por el valor diferencia se aprovecha como condición según la cual se emite un aviso y/o se varía el estado de funcionamiento de la instalación de energía eólica (14).
- 25 6. Procedimiento según la reivindicación 5, **caracterizado** por que se emite un aviso y/o se varía el estado de funcionamiento de la instalación de energía eólica (14) únicamente cuando el valor diferencia está por encima del valor límite durante más de un periodo de tiempo predeterminado.
7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado** por que se compara la captación de sonido con un espectro de referencia.
- 30 8. Disposición para vigilar el funcionamiento de una instalación de energía eólica que comprende:
- a. una instalación de energía eólica (14) que presenta un rotor (10) con una pluralidad de palas de rotor (11, 12, 13);
- b. un sensor de sonido (16) que no gira con el rotor (10) y que registra el sonido aéreo generado por el movimiento del rotor (10);
- c. una unidad de evaluación (18) que establece una asignación entre unos segmentos (31, 32, 33) del sonido registrado y el sonido aéreo generado por palas individuales (11, 12, 13) del rotor;
- 35 d. un módulo lógico (19) que transforma el sonido registrado en función del tiempo en un espectro de frecuencia y que compara el sonido aéreo de una pala (11, 12, 13) del rotor con el sonido aéreo de otra pala (11, 12, 13) del rotor; y
- e. un sensor para medir una magnitud ambiente que puede favorecer un defecto del rotor (10);
- 40 **caracterizada** por que
- f. está previsto, además, combinar una información sobre la magnitud ambiente con una información derivada de la captación de sonido.
9. Disposición según la reivindicación 8, **caracterizada** por que el sensor de sonido (16) está configurado como un micrófono direccional.
- 45 10. Disposición según la reivindicación 8 o 9, **caracterizada** por que está previsto un sensor de sonido secundario

(17) y por que este sensor de sonido secundario (17) está dispuesto cerca del sensor de sonido (16).

11. Disposición según la reivindicación 10, **caracterizada** por que el sensor de sonido secundario (17) está configurado como un micrófono direccional.

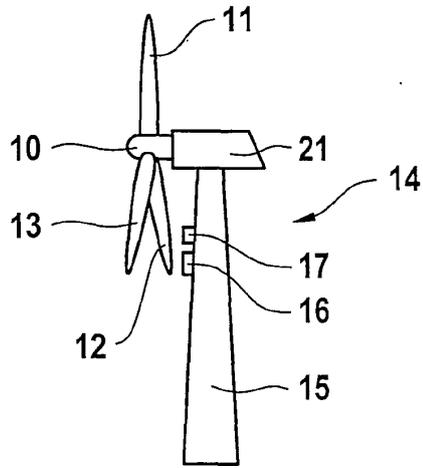


Fig. 1

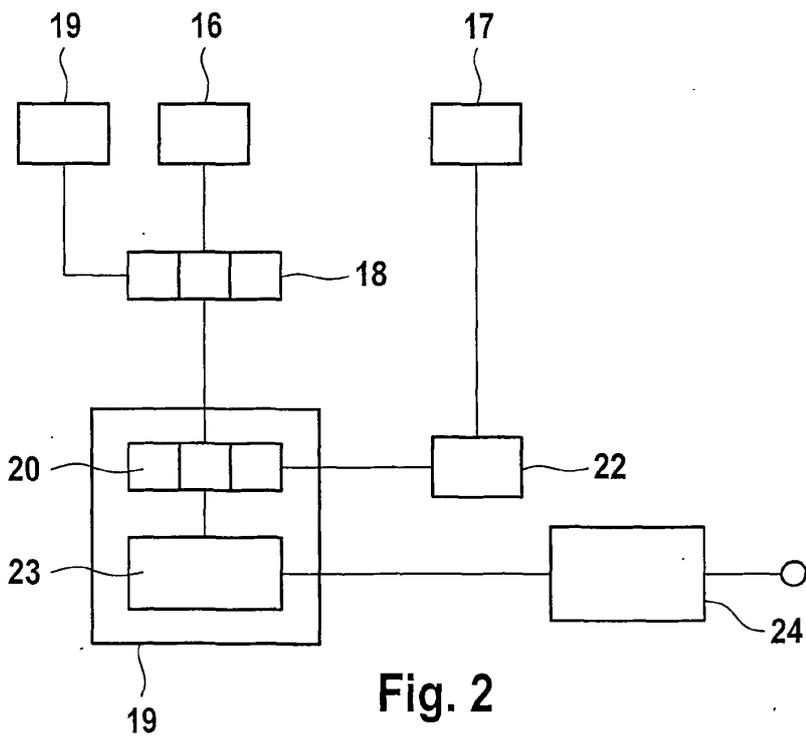


Fig. 2

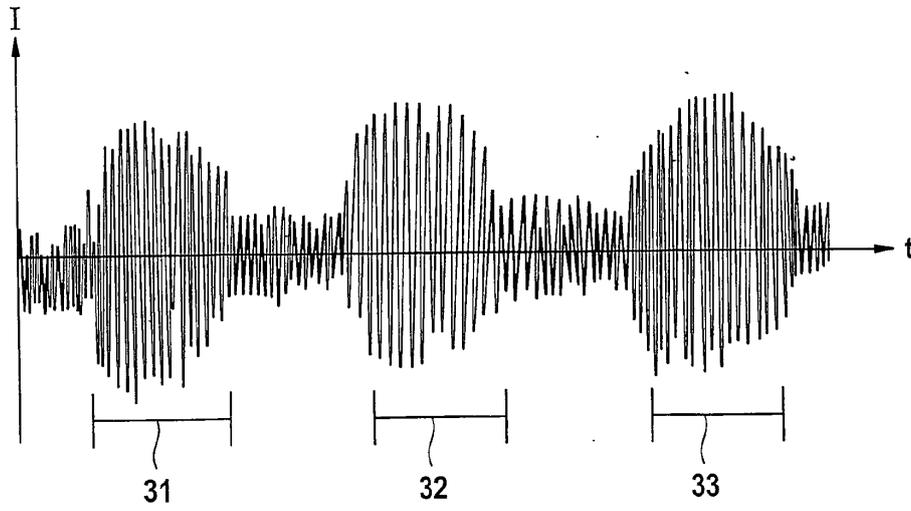


Fig. 3

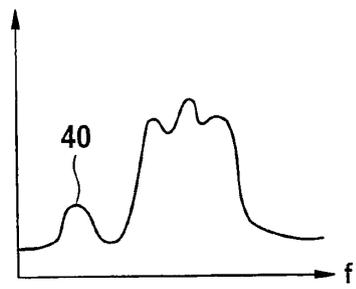


Fig. 4

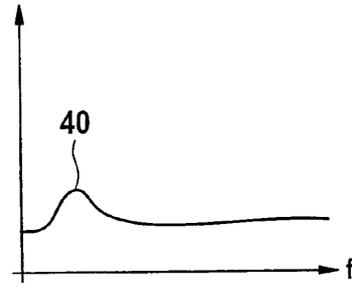


Fig. 5

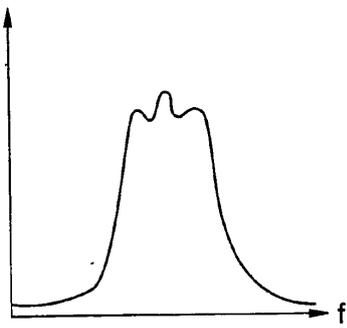


Fig. 6