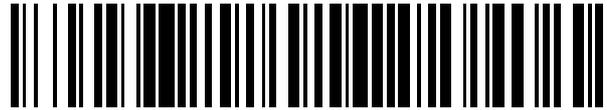


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 443 145**

51 Int. Cl.:

**F03D 9/00** (2006.01)

**G01H 1/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.03.2010 E 10712892 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.10.2013 EP 2404059**

54 Título: **Procedimiento para supervisar turbinas eólicas**

30 Prioridad:

**02.03.2009 EP 09002955**

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

**18.02.2014**

73 Titular/es:

**SUZLON ENERGY GMBH (100.0%)  
Kurt-Dunkelmann-Str. 5  
18057 Rostock, DE**

72 Inventor/es:

**WINKELMANN, JÖRG y  
HUHN, MARTIN**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

**ES 2 443 145 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 supervisar turbinas eólicas

5 El invento trata de un procedimiento para la supervisión de al menos una turbina eólica, un dispositivo y un sistema para supervisar al menos una turbina eólica.

10 Para la explotación económica de turbinas eólicas o parques eólicos, es importante poder determinar a la mayor brevedad posible, defectos y fracturas importantes en las palas de rotor de las turbinas eólicas. Solo a través de una detección oportuna de los defectos, es posible mantener bajos los costes de reparación, así como prevenir daños secundarios.

15 Una posibilidad de detectar defectos y grietas en las palas de rotor consiste en supervisar el estado de las palas de rotor mediante frecuentes controles visuales in situ.

20 Sin embargo, dichas inspecciones visuales son costosas y no deseadas por esta razón. Puesto que las palas de rotor defectuosas o rotas durante el funcionamiento producen vibraciones dentro de la pala de rotor, se conocen procedimientos a partir del estado de la técnica actual, mediante los cuales se puede comprobar automáticamente el estado de una pala de rotor.

Dichos procedimientos deben ser capaces de diferenciar las vibraciones cuya causa se debe a daños en las palas de rotor, de las vibraciones que proceden de ruidos en la transmisión, ruidos de paso y otras emisiones de ruidos que se originan en las turbinas eólicas.

25 Con el fin de lograr esto, se utilizan por lo general complicados algoritmos en los procedimientos conocidos a partir del estado de la técnica actual.

30 Por ejemplo, el documento DE 100 65 314 B4 describe un procedimiento para supervisar el estado de las palas de rotor de las turbinas eólicas. En este caso, en primer lugar se convierten los valores medidos en señales eléctricas, y después se someten a un análisis de espectro y a continuación se comparan con una biblioteca de espectros de una memoria masiva de datos. En el caso de coincidencia de tales patrones de espectros de la biblioteca de espectros, que identifican las palas de rotor defectuosas con el espectro de pala de rotor a supervisar, se emite una señal de daño.

35 Del mismo modo, el documento US 2010/00 21297 A1 da a conocer un procedimiento para la detección de daños en una pala de rotor, comparándose en este caso los valores medidos de una pala de rotor con otra pala de rotor de la misma turbina eólica, para poder detectar un posible daño en una pala de rotor con la ayuda de una diferencia de los valores medidos.

40 Puesto que los procedimientos conocidos a partir del estado de la técnica actual comprenden operaciones matemáticas complicadas, se requieren generalmente para su ejecución, ordenadores costosos y propensos a fallos. Además, con frecuencia se requiere una biblioteca de datos comparativos para poder realizar los algoritmos del procedimiento utilizado en el estado de la técnica actual.

45 El objetivo del invento consiste en proporcionar un procedimiento para la detección de daños en las palas de rotor, que se puede llevar a cabo en un dispositivo de hardware sencillo, económico y poco propenso a fallos. El objetivo consiste también en proporcionar un procedimiento adicional para la detección de daños en las palas de rotor. Este objetivo se consigue mediante un procedimiento que comprende las etapas de la reivindicación 1 de la solicitud de patente y mediante un dispositivo y un sistema para la supervisión de las turbinas eólicas, según las reivindicaciones 12 y 14, respectivamente.

50 Según el invento, el procedimiento para la detección de daños en las palas de rotor comprende en este caso etapas de análisis, que se llevan a cabo exclusivamente en el dominio de tiempo.

55 Para poder realizar una declaración acerca del estado de una pala de rotor se miden primeramente las vibraciones de al menos una pala de rotor por medio de al menos un sensor de aceleración a una frecuencia de exploración de preferentemente al menos 5 kHz, más preferentemente de 10 kHz y transferidos como valores medidos a la unidad de análisis. En la unidad de análisis se detectan primeramente intervalos de tiempo de un evento, en los que la amplitud de los valores medidos está constantemente por encima de un valor umbral predeterminado. Estos intervalos de tiempo de un evento se cuentan. En una etapa posterior se compara el número de estos intervalos de tiempo de un evento con al menos un valor umbral para el número de intervalos de tiempo de un evento en al menos un intervalo de tiempo de un evento predeterminado. En caso de que el número de intervalos de tiempo de un evento contados esté por encima del valor umbral de este intervalo de tiempo de análisis, se emite un aviso de fallo para la pala de rotor analizada.

Preferentemente los valores medidos antes del registro de intervalos de tiempo de un evento son conducidos a través de un filtro de paso bajo, para aplicar la posterior detección de los intervalos de tiempo de un evento sólo sobre los porcentajes de valor de medición de baja frecuencia. De manera particularmente preferente para este caso se utiliza un filtro de 400 Hz, más preferentemente de 180 Hz.

5 De acuerdo con un modelo de fabricación del invento, el valor umbral para el registro de los intervalos de tiempo de un evento se sitúa entre  $1,2 \text{ m/s}^2$  y  $1,6 \text{ m/s}^2$  y, preferentemente en  $1,4 \text{ m/s}^2$ . De acuerdo con un modelo de fabricación adicional del invento, en el valor umbral para el registro de intervalos de tiempo de un evento no se trata de un umbral fijo, sino de un umbral dinámico. Si se utiliza un valor umbral dinámico, este es preferentemente 5 veces el valor de los valores promedio de medición de vibración del intervalo de tiempo de análisis de un periodo de tiempo anterior de preferentemente 10 segundos, y más preferentemente 10 veces el valor de los valores promedio de vibración del período de tiempo anterior de preferentemente 10 segundos o 10 veces el valor de los valores promedio de medición de vibración del intervalo de tiempo de análisis anterior. Según un modelo de fabricación adicional, el valor umbral dinámico corresponde al valor múltiple de los valores promedio de vibración de un intervalo de tiempo anterior de preferentemente 10 segundos o del intervalo de tiempo de análisis anterior, tratándose de un factor predeterminado entre 5 y 10.

20 El intervalo de tiempo de análisis es preferentemente de entre tres y siete, más preferentemente entre 4 y 6 minutos. Según un modelo de fabricación adicional, se elige el valor umbral para el número de intervalos de tiempo de un evento contados, de tal manera que se sitúa entre 0,3 veces y 0,5 veces el valor de las rotaciones de la turbina eólica en el intervalo de tiempo de análisis, y corresponde preferentemente a 0,4 veces el valor de las rotaciones de la turbina eólica en el intervalo de tiempo de análisis.

25 Si por ejemplo, el intervalo de tiempo de análisis corresponde a 5 minutos, el valor umbral para el número de intervalos de tiempo de un evento contados corresponde preferentemente a 10, cuando la velocidad de rotación de la turbina eólica es de 5 revoluciones por minuto (r.p.m) .

30 Si correspondientemente dentro de un periodo de tiempo de análisis de 5 minutos en una velocidad de rotación de la turbina eólica de 5 r.p.m, se cuentan más de 10 intervalos de tiempo de un evento, se emite un aviso de fallo. Según otro modelo de fabricación del invento, se emite un aviso de fallo únicamente cuando el número de los intervalos de tiempo de análisis contados dentro de un intervalo de tiempo de un evento no sólo está por encima de dicho valor umbral, sino que al mismo tiempo también está por debajo de un segundo valor umbral superior. El valor umbral superior para el número de los intervalos de tiempo de un evento contados se selecciona preferentemente de manera que corresponda entre 2,5 veces y 3,5 veces el valor de las rotaciones de la turbina eólica en el intervalo de tiempo de análisis y de forma especialmente preferente que corresponda a 3 veces este valor.

40 Si el intervalo de tiempo de análisis corresponde, por ejemplo, a cinco minutos, el valor umbral para el número de intervalos de tiempo de un evento contados corresponde, preferentemente a 75, si la velocidad de rotación de la turbina eólica es de 5 r.p.m.

Según otra ejecución del invento, en el caso del valor umbral/valores umbral para el número de intervalos de tiempo de un evento contados en un intervalo de tiempo de análisis no se trata de valores fijos, sino de valores dinámicos, que es/son adaptados en función del número de rotaciones medido en el intervalo de tiempo de análisis.

45 Según otra configuración del invento se registran los lapsos de tiempo registrados entre los intervalos de tiempo de un evento en el intervalo de tiempo de análisis y se someten a un análisis adicional: si el lapso de tiempo entre dos intervalos de tiempo de un evento consecutivos es menor que el lapso de tiempo promedio de intervalos de tiempo de un evento consecutivos en el intervalo de tiempo de análisis y si una diferencia entre el intervalo de tiempo de dos intervalos de tiempo de un evento consecutivos y el lapso de tiempo promedio de intervalos de tiempo de un evento consecutivos tiene un valor mayor que un valor umbral predeterminado, no se cuentan estos intervalos de tiempo de un evento o el valor umbral para el número de intervalos de tiempo de un evento en el intervalo de tiempo de análisis, es ajustado al alza en torno a una unidad.

50 Según otra variante de fabricación, se registra la duración de un intervalo de tiempo de un evento y se compara con un valor umbral predeterminado para la duración de intervalos de tiempo de un evento. Si la duración de un intervalo de tiempo de un evento registrado está por debajo de este valor umbral, este intervalo de tiempo de un evento no se cuenta. Preferentemente, dicho valor umbral es de entre 0,1 y 0,3 segundos.

60 Sorprendentemente, se ha demostrado que las vibraciones que son causadas por un daño en la pala de rotor, se producen con mayor frecuencia cuando una pala de rotor ha pasado justo por la posición horaria 12. Por consiguiente, se cuentan preferentemente sólo aquellos intervalos de tiempo de un evento que se registran durante la posición de una pala de rotor entre la posición horaria 12:00 y la posición horaria 6:00

En este caso, sin embargo, los valores umbrales para el número del intervalo de tiempo de un evento registrado durante el intervalo de tiempo de análisis deben reducirse, ya que, si bien estadísticamente no tan frecuente, se producen vibraciones causadas por daños en una pala de rotor, también en una posición de la pala de rotor entre la posición horaria 06:00 y la posición horaria 12:00.

5 Se ha demostrado que el número promedio de las vibraciones registrables durante una rotación que son causadas por una pala de rotor dañada, dependen de la velocidad del viento por un lado, y del estado de funcionamiento de la turbina eólica por otro lado, "modo de ejecución libre" o "modo de generación de energía". Esto es debido a que se cierran parcialmente las roturas en las palas de rotor por la solicitación de la turbina eólica y, en particular, por la retro-flexión de las palas de rotor en la dirección del viento, por lo que no se puede registrar ninguna vibración característica.

10 Por consiguiente, el procedimiento para la detección de daños en las palas de rotor según una configuración adicional del invento, comprende etapas de procedimiento que hacen que la turbina eólica, cuyas palas de rotor deben ser inspeccionadas, sea puesta en marcha dentro del intervalo de tiempo de análisis, en un modo de análisis o bien en un modo de prueba. En este caso, la velocidad de rotación antes del inicio del intervalo de tiempo de análisis se lleva a una velocidad de rotación de análisis predeterminada, que es preferentemente de 4-6 r.p.m y más preferentemente de 5 r.p.m. Se admiten sólo mínimos rangos de variación de la velocidad de rotación para el modo de prueba. Para evitar cualquier ruido interferente por los impulsores de paso, se desactiva el modo automático de paso durante el intervalo de tiempo de análisis o bien se limita la velocidad de paso máxima a un valor mínimo de preferiblemente menos de 3° por segundo.

15 En el caso de que no se pueda mantener el modo de análisis deseado, el procedimiento para la detección de daños en la pala de rotor comprende en un momento más conveniente posteriormente, una etapa para interrumpir o finalizar el análisis y para retomar el procedimiento. El modo de análisis no se puede cumplir, por ejemplo, si la velocidad del viento medida es demasiado alta o demasiado baja.

20 En el caso de que no se pueda realizar un modo de análisis debido a que la velocidad del viento es demasiado alta, la turbina eólica se apaga preferentemente después de superar un tiempo de retardo predeterminado permisible. Preferentemente, se inicia entonces una prueba en un momento posterior cuando exista una velocidad de viento admisible de preferentemente menos de 18 m/s.

25 De acuerdo con una configuración adicional, el procedimiento comprende una función de arranque que hace que las etapas individuales del procedimiento no se ejecuten de manera continua, sino que se lleven a cabo preferentemente sólo una vez cada 1 ó 2 días, es decir, el modo de análisis sólo se inicia cada 1 ó 2 días. De acuerdo con una configuración adicional, la turbina se apaga al presentarse una señal de fallo y la señal de fallo es transmitida a un punto de mantenimiento remoto externo en el que se emitirá un aviso de fallo y/o valores medidos a través de una unidad de emisión. Preferiblemente, la turbina eólica se pone en marcha nuevamente después de una primera parada, ante la presencia de una señal de fallo se apaga de nuevo y luego no se reinicia automáticamente. La señal de fallo se reenvía de nuevo preferentemente a un punto de mantenimiento remoto.

30 En particular, si se prescinde de las etapas de procedimiento para la iniciación y el mantenimiento de un modo de análisis en el intervalo de tiempo de análisis, es útil, y, por lo tanto, está previsto de acuerdo con otras ejecuciones del invento, disponer antes de, además de o después de las etapas de procedimiento que se realizan en el dominio de tiempo, etapas de procedimiento que se realizan en el dominio de frecuencia, en el dominio de frecuencia-tiempo o en el dominio de probabilidad.

De acuerdo con otras configuraciones del invento, una o más de las siguientes etapas de análisis están previstas.

35 Preferentemente, se calcula la curtosis del flujo de los valores medidos en los intervalos de tiempo de un evento y se compara con valores umbral predeterminados para la curtosis. Preferentemente, en este caso no se utilizan los valores medidos filtrados, sino más bien los valores medidos no filtrados.

40 Preferentemente, no se cuenta un intervalo de tiempo de un evento cuando la curtosis del intervalo de tiempo de un evento es mayor que un valor predeterminado entre 10 y 25, asumiéndose la distribución normal de Gauss en una curtosis de 3. De acuerdo con una configuración adicional, se calcula la curtosis para un intervalo de entre 0,3 y 0,6 segundos, y preferentemente de 0,5 segundos después del inicio del intervalo de tiempo de un evento, independientemente de cual es realmente la magnitud del intervalo de tiempo de un evento.

45 De acuerdo con una configuración adicional, se determina la curtosis no sólo del intervalo de tiempo de un evento completo o un intervalo de tiempo entre 0.3 y 0.6 segundos, sino también la curtosis de períodos de tiempo predeterminada del intervalo de tiempo de un evento, estando el intervalo de tiempo de un evento, preferentemente subdividido en períodos de la misma magnitud, o siendo dicho período de 0,03 a 0,07, preferentemente de 0,05

segundos. Un intervalo de tiempo de un evento tampoco se cuenta preferentemente cuando la curtosis de uno o más de estos periodos está por encima de un valor umbral de 4 a 10.

5 Se ha evidenciado que la relación entre la curtosis de períodos individuales de intervalo de tiempo de un evento respecto a la curtosis de intervalo de tiempo de un evento global, o bien la relación de la curtosis promedio de los periodos del intervalo de tiempo de un evento respecto a la curtosis de todo el intervalo de tiempo de un evento presenta una dimensión característica en caso de palas de rotor dañadas. Consecuentemente, según una configuración no se cuenta un intervalo de tiempo de un evento, cuando la relación entre la curtosis de uno o más periodos del intervalo de tiempo de un evento respecto a la curtosis de todo el intervalo de tiempo de un evento o la relación de la curtosis promedio de los periodos del intervalo de tiempo de un evento respecto a la curtosis del intervalo de tiempo completo, o del intervalo de tiempo largo, está por encima de un valor umbral de entre 2,5 y 3,5. Debido a que estas etapas de análisis de curtosis permiten también un procedimiento eficaz para la detección de daños en las palas de rotor sin las etapas de análisis en el dominio del tiempo, estas etapas representan incluso sin las etapas de análisis en el dominio del tiempo, un concepto inventivo independiente.

15 De acuerdo con una configuración adicional, un procedimiento de sincronicidad de frecuencia está ejecutado anteriormente a las etapas de procedimiento realizadas en el dominio de tiempo.

20 Los valores medidos para este procedimiento son conducidos primeramente a través de un filtro de paso bajo y al mismo tiempo preferentemente a través de un filtro de paso alto de preferentemente 400 Hz. Si un intervalo de tiempo de un evento es registrado para los porcentajes del valor medido de baja frecuencia, se comprueba si al mismo tiempo también puede ser determinado un valor umbral predeterminado para los porcentajes del valor de medición de alta frecuencia. Puesto que se ha demostrado que las palas de rotor dañadas presentan fluctuaciones particularmente fuertes en el dominio de frecuencia de baja frecuencia, no se trata de una vibración que es causada por una pala de rotor dañada y, en consecuencia, el intervalo de tiempo de un evento correspondiente no se cuenta, o el valor umbral para el número de los intervalos de tiempo de un evento se ajusta al alza en torno a una unidad, si al mismo tiempo también se supera para los porcentajes del valor de medición de alta frecuencia, un valor umbral predeterminado de preferentemente 1,4 a 3 m/s<sup>2</sup>. Este valor umbral para los porcentajes del valor de medición de alta frecuencia es dinámico según una variante, siendo el valor umbral preferentemente mayor que el valor umbral para los porcentajes del valor de medición de baja a frecuencia, es decir, el factor con el cual se calcula el valor umbral dinámico basado en los valores medidos promedio de un periodo de tiempo precedente, debe ser mayor en los porcentajes del valor de medición de alta frecuencia que en los porcentajes del valor de medición de baja frecuencia.

35 Como otras magnitudes características, se ha establecido el valor cuadrático medio de la frecuencia ( RMS ). En este caso se calcula el valor medio de la frecuencia por medio del procedimiento-FFT ( Transformada rápida de Fourier) para el periodo de tiempo de un evento, o preferentemente para un periodo de 0,5 segundos después del inicio del intervalo de tiempo de un evento, utilizando todos y no sólo los porcentajes del valor de medición filtrados. Para los análisis del intervalo de tiempo de un evento-RMS, el intervalo de tiempo de un evento o el periodo de 0,5 segundos después del inicio del intervalo de tiempo de un evento, se subdivide preferentemente en al menos tres periodos iguales y se calcula para cada periodo del valor-RMS preferentemente todos los porcentajes de medición. Si cada uno de los periodos no presenta en orden cronológico un valor-RMS inferior al periodo anterior, no se trata de vibraciones que son causadas por un daño en la pala de rotor, en consecuencia no se cuenta un intervalo de tiempo de un evento de este tipo, o el valor umbral para el número de intervalos de tiempo se incrementa en una unidad.

50 Según otro modelo de fabricación, un procedimiento de sincronicidad de componentes se antepone a las etapas de procedimiento realizadas en el dominio de tiempo. Para este procedimiento, se aprovecha el hecho de que es muy poco probable que un daño en la pala de rotor se produzca simultáneamente en varias palas de rotor de una turbina eólica. En consecuencia, entonces, si se detecta un intervalo de tiempo de un evento simultáneamente en al menos dos palas de rotor, no se cuenta este intervalo de tiempo de un evento o se incrementa en torno a una unidad el valor umbral para el número de los intervalos de tiempo de un evento.

55 De acuerdo con una configuración adicional, se emite también una señal de fallo, incluso si se detecta un defecto en la unidad de evaluación. Se detecta un defecto preferentemente porque el número de intervalos de tiempo de un evento contados en un análisis de intervalo de tiempo es igual a cero o porque cae debajo de un valor umbral predeterminado.

60 Un aspecto adicional del invento presenta un dispositivo para la supervisión de los daños en las palas de rotor de turbinas eólicas, que tiene al menos un sensor de aceleración y una unidad de evaluación, estando dicha unidad de evaluación conformada primeramente para detectar intervalos de tiempo de un evento, en los que las amplitudes de los valores medidos están constantemente por encima de un valor umbral predeterminado, y también está conformada preferentemente para contar estos intervalos de tiempo de un evento y luego, si el número de dichos intervalos de tiempo de un evento está por encima de un valor umbral inferior para el número de intervalos de tiempo

de un evento y por debajo de un valor umbral superior para el número de intervalos de tiempo de un evento en un intervalo de tiempo de análisis, emitir un aviso de fallo para la pala de rotor analizada.

5 Otro aspecto del invento presenta un sistema para la supervisión de daños en las palas de rotor de las turbinas eólicas, que a través de dicho dispositivo dispone de una unidad de transmisión, una unidad de control, una unidad de cálculo, una unidad central de registro de datos y una unidad central de emisión de datos. En este caso, la unidad de transmisión está diseñada preferentemente como un anillo de deslizamiento o como un puente inalámbrico y conformado para retransmitir señales y/o valores medidos a la unidad de control y/o la unidad de cálculo y/o la unidad central de registro de datos y/o la unidad central de emisión de datos. Como unidad de  
10 transmisión también se puede utilizar según el invento, además del anillo de deslizamiento o puente inalámbrico, un bus rápido Bachmann y/u otro gestor de datos.

15 En este caso, la unidad de control está diseñada para controlar la turbina eólica. La unidad de cálculo está configurada en contraste con la unidad de evaluación para, junto a etapas de análisis en el dominio de tiempo, realizar también etapas de análisis en el dominio de frecuencia y/o etapas de análisis en el dominio de frecuencia-tiempo y/o etapas de análisis en el dominio de probabilidad.

20 La unidad central de registro de datos está configurada para almacenar los valores medidos y preferentemente también los mensajes de fallo. La unidad central de emisión de datos está configurada para emitir de forma centralizada un aviso de fallo para varias turbinas eólicas. Preferentemente, la unidad de emisión de datos comprende además una interfaz de entrada de datos, o está conectada a la misma. A través de la interfaz de entrada de datos, es preferentemente posible acceder directamente o indirectamente a parámetros de la unidad de cálculo y adaptarlos para procedimientos futuros.

25 Durante el funcionamiento, se inicia el modo de prueba para una turbina eólica preferentemente a través de la unidad de evaluación, y dentro de un intervalo de tiempo de análisis predeterminado, se miden las vibraciones de una respectiva pala de rotor, utilizando al menos un sensor, preferentemente una pluralidad de sensores de aceleración. La unidad de evaluación registra después de que los valores medidos se han filtrado preferentemente  
30 en primer lugar a través de un filtro de paso bajo de 180 Hz, intervalos de tiempo de un evento en los que los valores medidos están por encima de un valor umbral constante predeterminado de preferentemente  $1,4 \text{ m/s}^2$ . Sin embargo, si se registra un intervalo de tiempo de un evento, la unidad de evaluación no reenvía de manera preferente a la unidad de cálculo, los valores filtrados que están dentro del intervalo de tiempo de un evento, sino más bien el espectro completo. En la unidad de cálculo se realizan luego preferentemente al menos los análisis de curtosis descritos en detalle anteriormente, los análisis descritos anteriormente de la frecuencia media mediante procedimientos-FFT y los análisis-RMS descritos en detalle anteriormente. Se cuentan sólo los intervalos de tiempo  
35 de un evento que satisfacen estos análisis. Por último, se comprueba si los intervalos de tiempo de un evento contados se encuentran entre el valor umbral descrito anteriormente para el número de intervalos de un evento en un intervalo de tiempo de análisis. Si éste es el caso, se emite un aviso de fallo.

40 Otros detalles del invento se harán evidentes a partir de los dibujos en base a la descripción.

En los dibujos muestra la:

45 figura 1, un diagrama de flujo de una primera realización del procedimiento del invento con un análisis de dominio de tiempo,

figura 2, un diagrama de flujo de una segunda realización del procedimiento según el invento con análisis de probabilidad y un análisis de frecuencia, que están dispuestos antes del análisis de dominio de tiempo

50 figura 3, un diagrama de flujo de una tercera variante del procedimiento según el invento con un modo de análisis de la turbina eólica,

figura 4, un diagrama esquemático para implementar el procedimiento según la figura 1 en un dispositivo y un sistema para la supervisión de las turbinas eólicas,

55 figura 5, un diagrama esquemático para implementar el procedimiento según la figura 1 y/o 2 en un dispositivo y un sistema para la supervisión de las turbinas eólicas,

60 figura 6, un diagrama esquemático para una implementación del procedimiento según la figura 1 y/o 2 en un dispositivo y un sistema optimizado para la supervisión de las turbinas eólicas.

En la figura 1 se muestran las etapas esenciales del procedimiento según el invento para la supervisión de las turbinas eólicas 3. Para poder revisar cada pala de rotor individual de una turbina eólica 3 en busca de posibles daños en las palas de rotor, éstas están equipadas respectivamente con al menos un sensor de aceleración 10, que

## ES 2 443 145 T3

mide las vibraciones de las respectivas palas de rotor con una velocidad de exploración de al menos 10 kHz. Los resultados de las mediciones son luego conducidos a través de un filtro de paso bajo de 180 Hz.

5 Los intervalos de tiempo en los que los valores medidos son sistemáticamente mayores que  $1,4 \text{ m/s}^2$ , se registran como intervalos de tiempo de un evento. Dentro de un intervalo de tiempo de análisis de 5 minutos se cuentan los intervalos de tiempo de un evento. En el caso de corresponder el número de intervalos de un evento en el intervalo de tiempo de análisis, a un valor de entre 10 y 75, se emite una señal de fallo.

10 La figura 2 muestra una versión ampliada del procedimiento según el invento, que además de las etapas de análisis en el dominio de tiempo comprende otras etapas de análisis en el dominio de probabilidad y en el dominio de frecuencia-tiempo. Al igual que con el procedimiento mostrado en la figura 1, se medirán primeramente las vibraciones de una pala de rotor por medio de múltiples sensores de aceleración o mediante un sensor de aceleración. En contraste con el procedimiento ilustrado en la figura 1, los valores medidos se hacen pasar entonces a través de un filtro de paso bajo de 400 Hz. En consecuencia, en este modelo de ejecución se filtra menos que en  
15 en el caso de la variante del procedimiento según la figura 1. A continuación, los intervalos de tiempo en los que las vibraciones son superiores a  $1,4 \text{ m/s}^2$ , se registran como intervalos de tiempo de un evento.

20 Mediante un análisis de curtosis se detecta la desviación de los valores medidos en los intervalos de tiempo de un evento de la distribución Gaussiana. Sólo si la curtosis determinada tiene un valor inferior a 25, se cuenta el intervalo de tiempo de un evento registrado.

25 Al mismo tiempo, para 3 periodos de la misma magnitud de cada intervalo de tiempo de un evento se conforma y se verifica el valor cuadrático medio (RMS) formado por tres porciones iguales a través de las frecuencias, cuando el valor determinado del segundo o tercer periodo resulta menor que el valor del periodo cronológicamente anterior. Sólo si éste es el caso, se cuenta el correspondiente intervalo de tiempo de un evento.

30 A partir de entonces, la frecuencia media se calcula y se comprueba en el intervalo de tiempo de un evento mediante el procedimiento FFT, si el valor determinado se encuentra por debajo de un valor umbral predeterminado. Sólo si este es el caso, se cuenta el período de tiempo de un evento.

35 Posteriormente se realiza un análisis de la sincronicidad de frecuencia. Para ello es necesario que, además de un filtro de paso bajo, se conduzcan los valores medidos primeramente a través de un filtro de paso alto, puesto que en la sincronicidad de frecuencia se comprueba si en el momento de un intervalo de tiempo de un evento registrado, se da un valor umbral de  $3 \text{ m/s}^2$  para porcentajes de valores medidos de alta frecuencia. Si este es el caso, se puede suponer que las vibraciones no son aquellas que son causantes de los daños en las palas de rotor. Como resultado, no se cuenta un intervalo de tiempo de un evento de este tipo.

40 A continuación, se realiza un análisis de la sincronicidad de los componentes. Si, simultáneamente con el registro de un intervalo de tiempo de un evento en una pala de rotor, se debe registrar también en otra pala de rotor un intervalo de tiempo de un evento, entonces se puede suponer que no se trata de vibraciones, que se deban a una pala de rotor dañado. De acuerdo con ello tampoco se cuenta un intervalo de tiempo de un evento. Todos los otros intervalos de tiempo de un evento registrados se cuentan dentro del intervalo de tiempo de análisis de 5 minutos. Si el número determinado de intervalos de tiempo de un evento en el intervalo de tiempo de análisis es de entre 10 y  
45 75, se emite una señal de fallo.

50 La figura 3 muestra una variante adicional del procedimiento, que además de la variante mostrada en la figura 1 ó 2 dispone aún de etapas para el inicio de un modo de análisis y para mantener un modo de análisis durante el intervalo de tiempo de análisis. En esta variante se comprueba primeramente, cuándo se realizó la última prueba para verificar los daños en las palas de rotor de la turbina eólica. Si la última prueba se remonta a más de dos días, y si al mismo tiempo la velocidad de viento media durante 10 minutos fluctúa entre 18 m/s y 3,5 m/s, se inicia el modo de análisis. Esto significa que la turbina eólica es conducida a una velocidad de rotación de 5 r.p.m, y se mantiene una velocidad de paso de menos de  $3^\circ$  por segundo. La turbina eólica no produce energía en modo de análisis. Si debido a las condiciones climáticas, es necesaria una velocidad de paso de más de  $3^\circ$  por segundo, se cancela la prueba y se repite en una fecha posterior. Si se puede mantener el modo de análisis durante el intervalo  
55 de tiempo de análisis, se realizan los análisis de acuerdo con la figura 1 o la figura 2, y se emite un aviso de fallo si el número de intervalos de tiempo de un evento contados está entre 10 y 75. Si este es el caso, se apaga la turbina eólica primeramente, pero luego se la pone en marcha mediante un reinicio automático hasta que se emita un nuevo aviso de fallo. Si posteriormente se apaga la turbina eólica una segunda vez, entonces no se vuelve a poner en marcha mediante un reinicio automático.

60 La figura 4 muestra la implementación del procedimiento según la figura 1 en un dispositivo 1 y un sistema 2 para la supervisión de turbinas eólicas 3. En este caso, el dispositivo 1 comprende para cada pala de rotor, un sensor 10 y una unidad de evaluación 12. El sistema 2 para la supervisión de las turbinas eólicas 3 comprende el dispositivo 1, un anillo de deslizamiento 14, una unidad de control 16 para controlar una turbina eólica 3, y una unidad central de

emisión de datos 4. Tan pronto como la unidad de evaluación 12 detecte que la última prueba se remonta a más de dos días, envía a través del anillo de deslizamiento 14 diseñado para la transmisión de datos y señales, una señal a la unidad de control 16, después de lo cual esta última inicia un modo de análisis para la turbina eólica 3 correspondiente, manteniéndolo durante la duración del intervalo de tiempo de análisis.

5 Durante el intervalo de tiempo de análisis los sensores 10 miden las vibraciones de las respectivas palas de rotor y reenvían los valores medidos a la unidad de evaluación 12. A continuación, el proceso de análisis se lleva a cabo en la unidad de evaluación 12 de acuerdo con la figura 1. Si se emite una señal de fallo, la unidad de evaluación 12 transmite una señal de desconexión a través del anillo de deslizamiento 14 a la unidad de control 16, con lo que la turbina eólica se apaga, ya sea inmediatamente o después de un corto período de tiempo.

10 Al mismo tiempo, la señal de fallo, y preferiblemente también los valores medidos por los sensores 10 se renvía a la unidad central de emisión de datos 4. A través de la unidad de emisión de datos, los técnicos que se encargan de la supervisión de las turbinas eólicas serán alertados y pueden monitorear preferentemente la vibración actual y prevenir más preferentemente por medio de una señal de retorno pueden aún impedir el apagado de la turbina eólica 3. Si la turbina eólica 3 ha sido apagada debido a un fallo, la unidad de evaluación 12 emite una señal de reinicio automático a la unidad de control 16 a través del anillo de deslizamiento 14 para reiniciar la turbina eólica 3. Cuando se presenta y se registra nuevamente un fallo se apaga nuevamente la turbina eólica 3 y luego se debe reiniciar manualmente. No se produce un reinicio automático.

20 La figura 5 muestra un modelo de fabricación adicional del sistema 2 de acuerdo con el invento para la supervisión de turbinas eólicas 3. En contraste con el modelo de fabricación según la figura 4, las señales emitidas por la unidad de evaluación 12 y los valores medidos reenviados no se reenvía a través de un anillo de deslizamiento 14, sino a través de un puente inalámbrico 15 a la unidad de control 16 y a una unidad de cálculo 17. Dado que la unidad de cálculo 17 tiene una potencia de procesamiento más alta que la unidad de evaluación 12, pueden ser evaluados en ésta los valores medidos reenviados a través de la unidad de evaluación 12 y el puente inalámbrico 15, usando las etapas de análisis avanzadas de acuerdo con la figura 2. En este caso, la unidad de control 16 reacciona con respecto a las señales para apagar una turbina eólica 3, solamente a señales que son emitidas por la unidad de cálculo 17, ya que se basan en un análisis más detenido de los datos medidos. Sin embargo, las señales para el inicio y mantenimiento del modo de análisis, y el resto de señales, excepto la señal de fallo y la señal de apagado, continúan procediendo de la unidad de evaluación 12. Además, la unidad de evaluación comprende los intervalos de tiempo de un evento, y reenvía sólo los valores medidos, que se han medido dentro del intervalo de tiempo de un evento, en este caso no sólo los valores medidos, sino todo el espectro. Para este caso se examinan a continuación los intervalos de tiempo de un evento en la unidad de cálculo, para constatar si existen factores que muestran que un intervalo de tiempo de un evento detectado no es el resultado de un daño en la pala de rotor. Si este es el caso, este periodo de tiempo de un evento no se cuenta. Al final de todos los procedimientos de análisis, el número contado de los intervalos de tiempo de un evento contado es comparado con los valores umbral 10 y 75, siempre que se trate de un período de tiempo de análisis de 5 minutos a 5 r.p.m, y se emite una señal de fallo cuando los intervalos de tiempo de un evento contado están entre estos valores.

40 Si la unidad de cálculo 17 emite una señal de fallo, la turbina eólica se apaga 3. Simultáneamente, la señal de fallo y los valores medidos son reenviados a una unidad central de registro de datos 5 y se almacenan en el mismo.

45 La figura 6 muestra un modelo de fabricación adicional del sistema 2 según el invento para la supervisión de turbinas eólicas 3. En contraste con el modelo de fabricación de la figura 5, se pueden obtener en este caso tanto los valores medidos actuales como antiguos de la unidad de cálculo 17 y/o de la unidad de registro de datos 5 a través de la unidad de emisión de datos 4 y luego emitirlos con ayuda de la unidad de emisión de datos 4. A través de la interfaz de entrada de datos 18 también es posible acceder directa o indirectamente a los parámetros de la unidad de cálculo 17 y adaptarlos para pruebas futuras.

50 Los procedimientos descritos en los ejemplos de fabricación presentan combinaciones de características que no deben tener un efecto limitado sobre el invento, sino que también se deben poder combinar las características de los diferentes modelos de fabricación.

Lista de números de referencia:

- 1 Dispositivo para la supervisión de la turbina eólica
- 2 Sistema para la supervisión de la turbina eólica
- 3 Turbina (s) eólica (s)
- 4 Unidad de emisión
- 5 Unidad de registro de datos
- 10 Sensor (es)
- 12 Unidad de evaluación
- 14 Anillo de deslizamiento
- 15 Puente inalámbrico

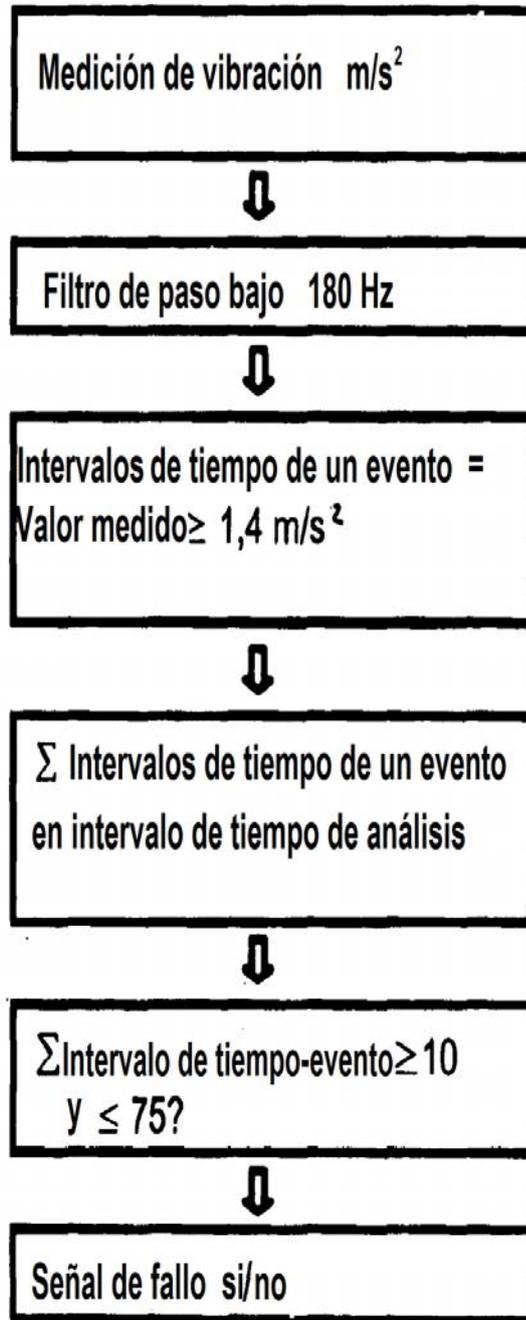
- 16 Unidad de control
- 17 Unidad de cálculo
- 18 Interfaz de entrada de datos

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Procedimiento para la determinación de daños en las palas de rotor de una turbina eólica, que comprende al menos las siguientes etapas de análisis de dominio de tiempo:
- medición de las vibraciones de una pala de rotor por medio de un sensor de aceleración,
  - registro de intervalos de tiempo de un evento en los que las amplitudes de los valores medidos exceden continuamente un valor de umbral,
  - 10 - registro del número de dichos intervalos de tiempo de un evento en al menos un intervalo de tiempo de análisis predeterminado,
  - 15 - envío de una señal de fallo cuando el número determinado de intervalos de tiempo de un evento está por encima de un valor umbral predeterminado para un intervalo de tiempo de análisis predeterminado.
2. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1, caracterizado porque una señal de fallo sólo se envía si el número determinado de intervalos de tiempo de un evento también está por debajo de un valor umbral superior predeterminado para intervalo de tiempo de análisis predeterminado.
- 20 3. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque la turbina eólica se pone en marcha durante el intervalo de tiempo de análisis en un modo de prueba, en el que la turbina eólica se encuentra en un modo de funcionamiento libre y en el que se mantiene la velocidad de rotación en un rango de fluctuación no mantenido durante el funcionamiento normal, y manteniéndose la velocidad de paso por debajo de un valor máximo no mantenido durante el funcionamiento normal.
- 25 4. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado porque sólo las vibraciones de menos de 400 Hz, preferentemente menos de 180 Hz, se utilizan para el registro de los intervalos de tiempo de un evento.
- 30 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el valor umbral para el registro del respectivo intervalo de tiempo de un evento, es un valor entre 1,2 y 1,6 m/s<sup>2</sup>, preferentemente entre 1,3 y 1,5 m/s<sup>2</sup>.
- 35 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque el valor umbral para el registro de los respectivos intervalos de tiempo de un evento se trata de un valor umbral dinámico que corresponde a un valor entre 5 y 15 veces de los valores medidos de vibración promedio de un intervalo de tiempo predeterminado anterior.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque un intervalo de tiempo de un evento no se cuenta, si su longitud de tiempo está por debajo de un valor umbral predeterminado.
- 40 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque las etapas de análisis de dominio de frecuencia y/o etapas de análisis de dominio de tiempo de frecuencia y/o etapas de análisis de dominio de probabilidad están dispuestas antes de, además de, y después de las etapas de análisis de dominio de tiempo.
- 45 9. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque un intervalo de tiempo de un evento no se cuenta, si la curtosis de la curva de los valores medidos en el intervalo de tiempo de un evento está por encima de un valor umbral predeterminado.
- 50 10. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque un intervalo de tiempo de un evento no se cuenta si los valores-RMS de una pluralidad de periodos de tiempo consecutivos de un intervalo de tiempo de un evento no disminuyen continuamente en orden cronológico.
- 55 11. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque un intervalo de tiempo de un evento no está incluido, si al mismo tiempo se registra un intervalo de tiempo de un evento en la segunda pala de rotor de la turbina eólica.
12. Dispositivo (1) para la supervisión de daños en las palas de rotor de la turbina eólica (3) con al menos un sensor de aceleración (10) y una unidad de evaluación (12), estando la unidad de evaluación (12) configurada para llevar a cabo un procedimiento según la reivindicación 1.
- 60 13. Dispositivo (1) para la supervisión de daños en las palas de rotor de la turbina eólica (3) según la reivindicación 12, caracterizado porque la unidad de evaluación (12) está dispuesta para realizar una rutina con el fin de iniciar un modo de prueba y emitir una señal correspondiente a una unidad de control (16) de la turbina eólica (3).

5 14. Sistema (2) para la supervisión de daños en las palas de rotor de la turbina eólica (3) con al menos un dispositivo (1) según la reivindicación 12, una unidad de transferencia (14, 15), una unidad de control (16) para controlar una turbina eólica (3), una unidad de cálculo (17) que está conformada para llevar a cabo un procedimiento según la reivindicación 8, una unidad central de registro de datos (5) que está diseñada para almacenar los valores medidos y los avisos de fallo y una unidad central de emisión de datos (4).

10 15. Sistema (2) para la supervisión de daños en las palas de rotor de la turbina eólica (3) según la reivindicación 14, caracterizado porque la unidad de emisión de datos (4) está conectada a una interfaz de entrada de datos (18), a través de la cual es posible el acceso, directa o indirectamente a los parámetros de la unidad de cálculo (17) y adaptarlos a los procedimientos futuros.



**Fig. 1**

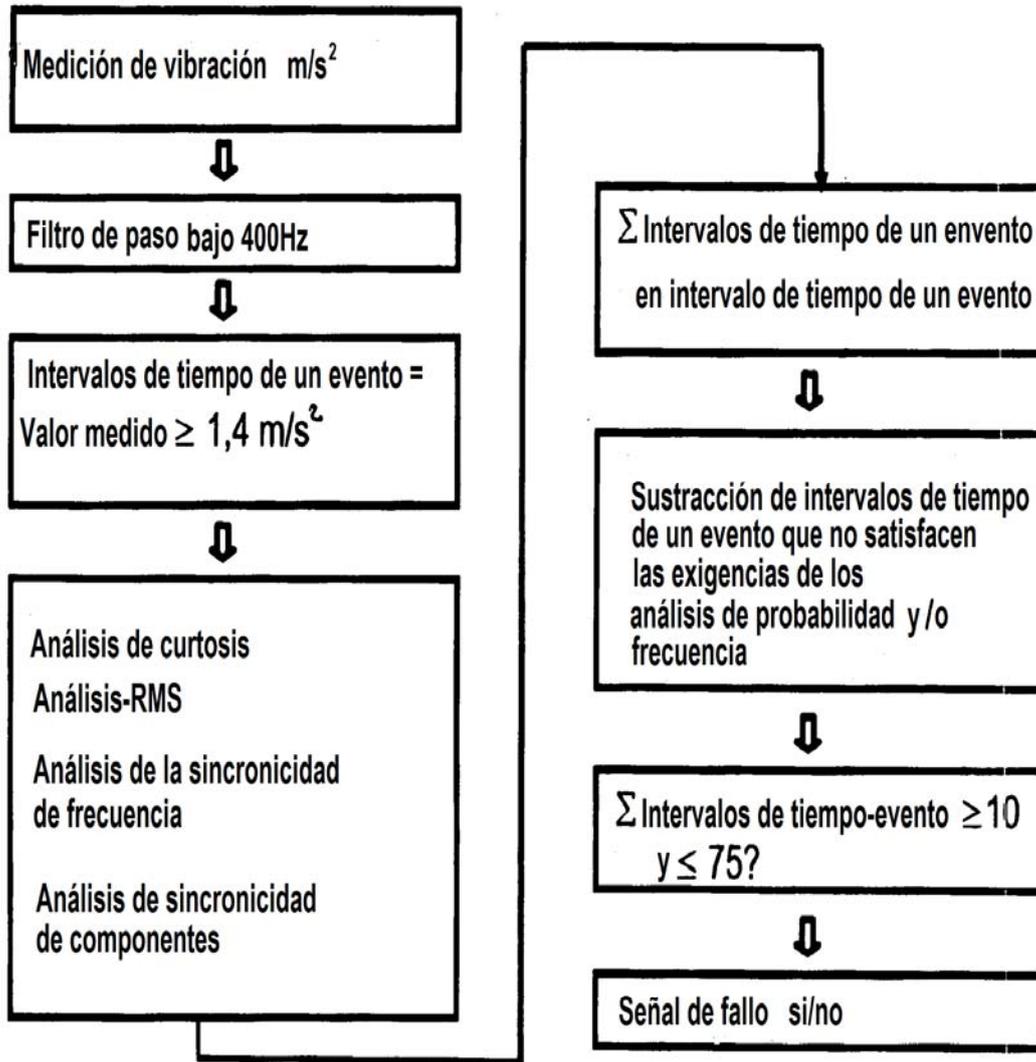
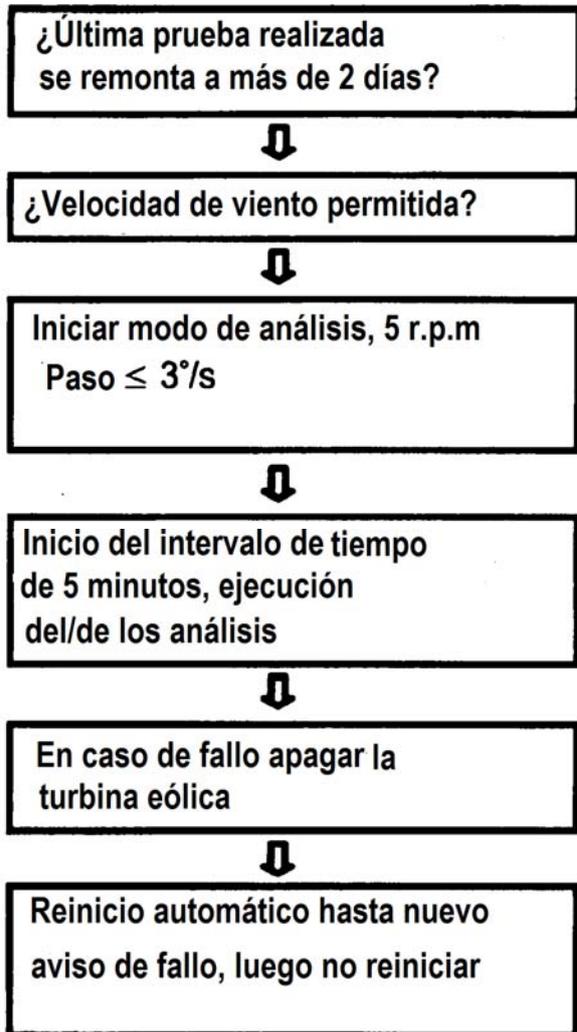
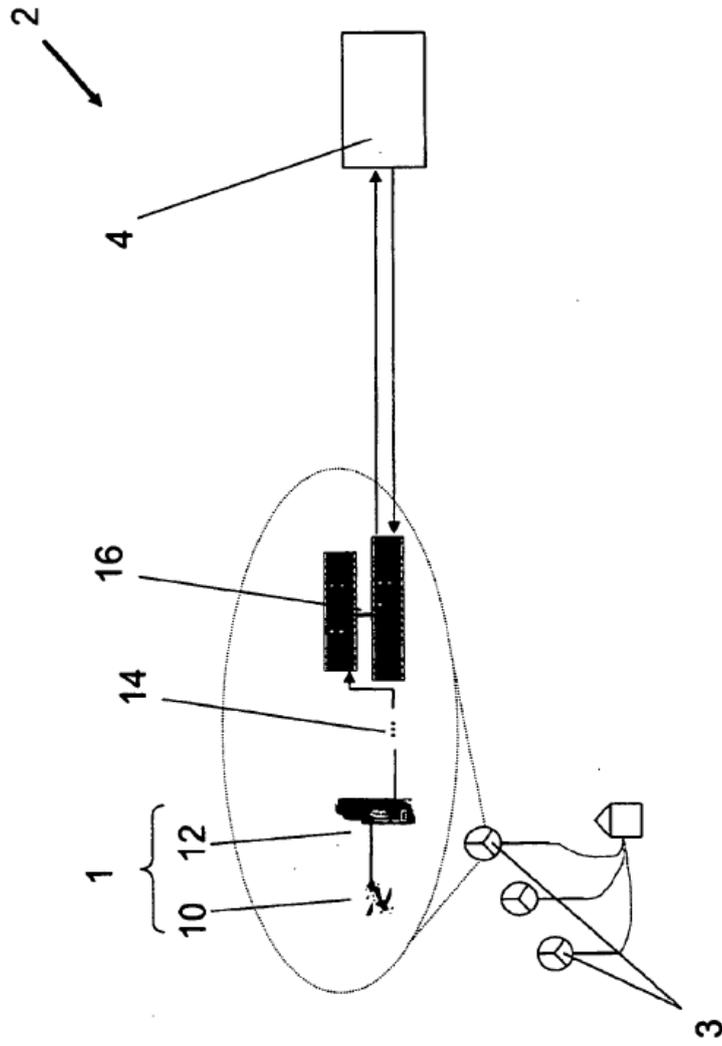


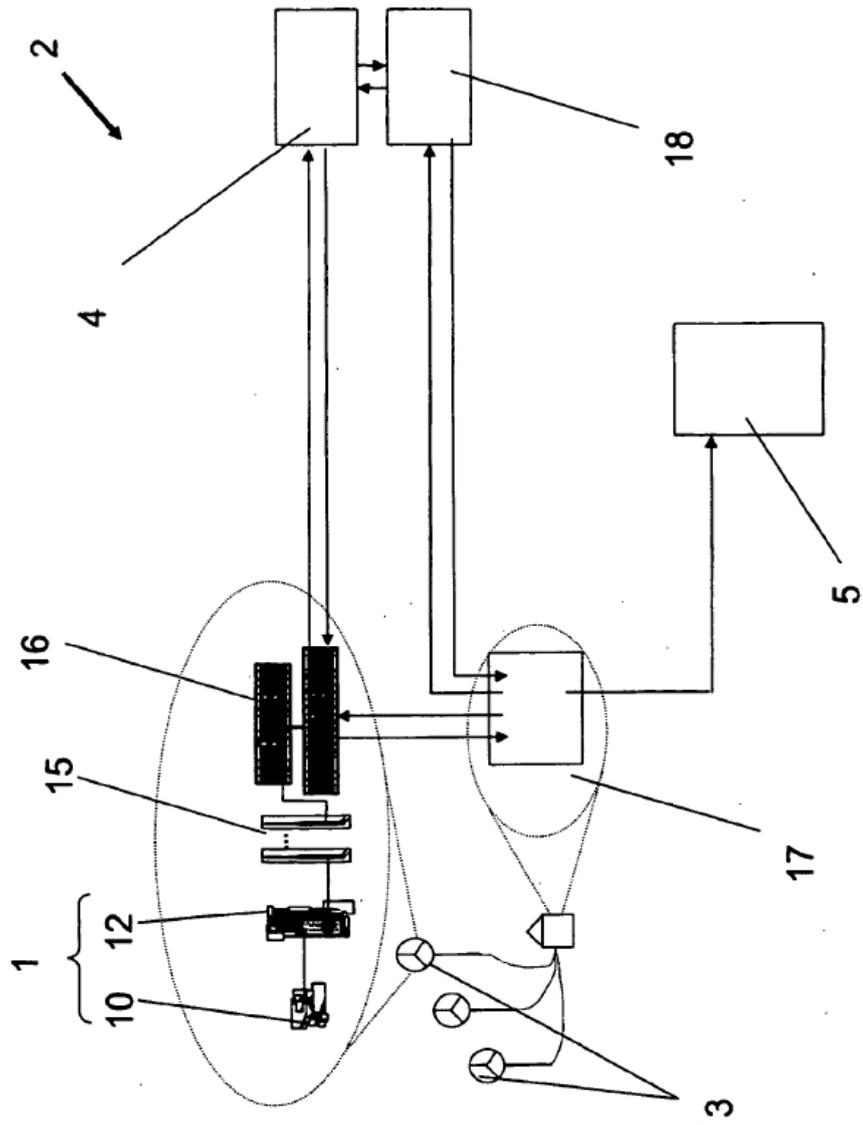
Fig. 2



**Fig. 3**



**Fig. 4**



1,7

**Fig. 5**

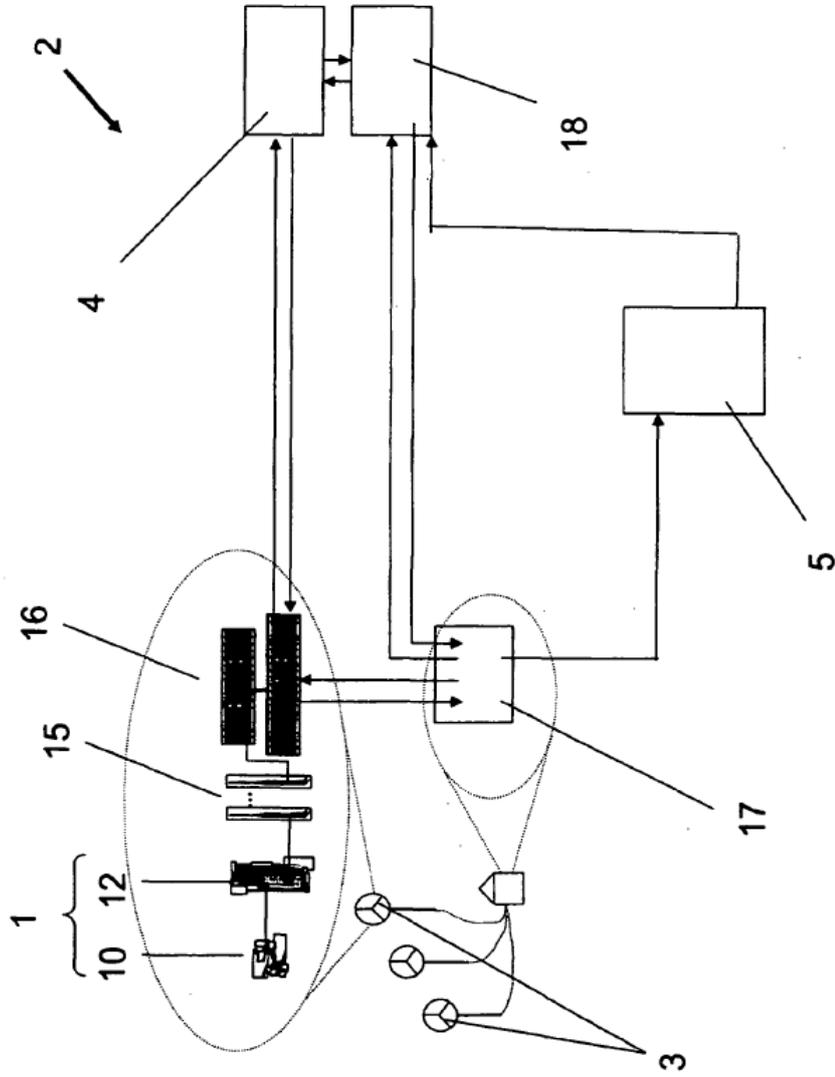


Fig. 6