

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 655 262**

51 Int. Cl.:

**F03D 17/00** (2006.01)  
**G01C 21/16** (2006.01)  
**G01M 5/00** (2006.01)  
**G01M 7/00** (2006.01)  
**G01P 13/00** (2006.01)  
**G01P 21/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.08.2014 PCT/EP2014/002345**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **05.03.2015 WO15028153**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.08.2014 E 14758294 (4)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.10.2017 EP 3042210**

54 Título: **Sistema y procedimiento para monitorizar movimientos y vibraciones de estructuras en movimiento**

30 Prioridad:

**02.09.2013 DE 102013014622**

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

**19.02.2018**

73 Titular/es:

**NORTHROP GRUMMAN LITEF GMBH (100.0%)  
Lörracher Strasse 18  
79115 Freiburg, DE**

72 Inventor/es:

**KRINGS, MANFRED**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

ES 2 655 262 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

Sistema y procedimiento para monitorizar movimientos y vibraciones de estructuras en movimiento

La invención se refiere a un sistema y a un procedimiento para monitorizar movimientos de una estructura.

5 Las estructuras móviles, como por ejemplo edificios o grandes máquinas pueden ponerse en movimiento o en vibración por ejemplo mediante influencias medioambientales o debido a un movimiento de funcionamiento propio, los cuales pueden dañar la estructura u obstaculizar el funcionamiento. Para prevenir daños, planificar un mantenimiento o para calcular un resto de vida útil, este tipo de movimientos puede observarse o monitorizarse.

10 Para monitorizar aerogeneradores se usan sensores conocidos, como por ejemplo sensores de aceleración de un eje con tecnología piezoeléctrica, tiras de medición de alargamiento, sistemas de fotometría o sistemas de medición mediante láser. Debido a ello pueden llevarse a cabo modificaciones de posición sencillas y análisis de frecuencia del ruido estructural, que permiten una detección de posibles daños en partes de la instalación, por ejemplo en cojinetes, partes de mecanismo transmisor o palas de rotor.

Es desventajoso en este caso que los valores medidos detectan un movimiento de la instalación solo en un eje y solo para puntos de medición seleccionados.

15 El documento WO 2012/049492 A1 divulga un sistema para la corrección de datos de navegación inerciales para la navegación. El sistema usa informaciones sobre edificios y/u otras características en el entorno para corregir un cambio en la emisión de sensores de inercia. El sistema usa en particular las cuatro paredes exteriores de un edificio para determinar la dirección de movimiento probable de un usuario del sistema, el cual se encuentra dentro del edificio. Estas informaciones se usan para corregir el cambio. El sistema comprende un filtro estocástico, en particular un filtro Kalman para procesar datos de inercia y para llevar a cabo correcciones en los datos de navegación de inercia. El filtro Kalman permite también la integración de otros datos de navegación, como por ejemplo datos GPS. El sistema puede usar también informaciones de imágenes aéreas, como por ejemplo mapas y datos fotográficos, mediante algoritmos para el reconocimiento de cantos y rectas.

25 El documento US 2009/326851 A1 divulga una unidad de medición de inercia con una base con una pluralidad de sectores separados físicamente, en los cuales hay dispuestos respectivamente tres grupos de sensores de velocidad de rotación alineados ortogonalmente. Tanto tres sensores de aceleración orientados ortogonalmente de alto G, como también tres sensores de aceleración orientados ortogonalmente de bajo G, están también dispuestos en la base. Un procesador en la base comprende software para la recepción de señales de los tres grupos de sensores de velocidad de rotación y de los tres sensores de aceleración de alto G y de los tres de bajo G. El software es adecuado para calcular también basándose en las señales recibidas una o varias de las siguientes: una modificación de la situación, una modificación de la posición, una modificación en la velocidad angular, una modificación de la velocidad y una modificación en la aceleración del dispositivo por una pluralidad de segmentos temporales finitos.

35 El documento WO 2013/110215 A1 divulga un procedimiento para la determinación de los parámetros de un aerogenerador. Las señales pueden ser recibidas por al menos una unidad de medición microinercial (Mimu), la cual está dispuesta en o dentro de un componente de la turbina eólica, y al menos un parámetro del aerogenerador puede determinarse basándose en las señales transmitidas por la al menos una Mimú.

40 El documento DE 10 2006 005 258 A1 divulga un procedimiento para la determinación de cargas de una estructura mecánica y/o de daños o estados de la estructura mecánica, que resultan de las cargas de la estructura mecánica. Para ello se miden rotaciones producidas por cargas/daños de la estructura mecánica, de una parte de la estructura mecánica a través de un sensor de rotación de fibra óptica, el cual está unido fijo mecánicamente con la parte de estructura, y a partir de las rotaciones medidas se concluyen las cargas/daños/estados de la estructura mecánica.

45 "Condition monitoring and fault detection of wind turbines and related algorithms: A review" por Z. Hameed et al. (Renewable and sustainable energy reviews, Elsevier Science, Nueva York, Vol. 13, Nº. 1, P. 1-39) describe diferentes técnicas para monitorizar turbinas eólicas y su rendimiento.

La invención se basa en la tarea de indicar un sistema y un procedimiento para monitorizar movimientos de una estructura, que permitan una monitorización efectiva y segura de la estructura y que den lugar a una base de medidas de reparación, planificación de mantenimiento y cálculos de la vida restante de partes de la estructura.

50 Esta tarea se soluciona mediante un sistema según la reivindicación 1 para monitorizar movimientos de una estructura y mediante un procedimiento indicado en una reivindicación secundaria para monitorizar movimientos de una estructura. De las reivindicaciones secundarias se desprenden perfeccionamientos.

Un sistema para la monitorización de movimientos de una estructura presenta al menos un dispositivo de medición inercial fijado en la estructura para la detección de velocidades de rotación y valores de aceleración en el sistema inercial fijo en tierra. El sistema presenta además de ello una unidad central para la determinación de un valor de monitorización

5 basándose en las velocidades de rotación y valores de aceleración mediante un algoritmo de navegación y una unidad de emisión para emitir el valor de monitorización.

10 La estructura puede ser un objeto cualquiera, el cual pueda ser puesto en movimiento y/o en vibración mediante influencias exteriores (influencias del entorno) o influencias internas (comportamiento de funcionamiento). Puede tratarse por ejemplo de un edificio, como por ejemplo un bloque de pisos o de una torre de difusión, o de una máquina, como por ejemplo una máquina de construcción, de una grúa o similar. Puede tratarse también de estructuras, las cuales están construidas a modo de un edificio o que funcionan a modo de una máquina, como por ejemplo una noria, una plataforma de perforación o un aerogenerador.

15 Este tipo de estructuras pueden por un lado ponerse en movimiento mediante influencias medioambientales, por ejemplo mediante el viento, la corriente marina, el impacto de las olas o movimientos de la superficie terrestre, por ejemplo en el caso de un terremoto. Por otro lado este tipo de estructuras pueden ponerse en movimiento también mediante movimientos de funcionamiento propios, por ejemplo mediante movimientos de trabajo de una parte de la estructura, vibraciones de accionamiento o de transmisión. Pueden existir además de ello interacciones entre las influencias del entorno y los movimientos internos de la estructura, que conducen a un comportamiento de movimiento complejo.

20 Este tipo de movimientos y vibraciones pueden dañar la estructura y conducir a una fatiga del material, por ejemplo a grietas o a roturas por fatiga. Pueden influir además de ello en un comportamiento de funcionamiento de la estructura y limitar en este caso la posibilidad de uso o la eficiencia de funcionamiento.

25 Es posible además de ello también que la estructura cambie con el paso del tiempo, por ejemplo, debido a envejecimiento, desgaste, daños estructurales, daños mecánicos o debido a influencias del entorno. En el caso de estructuras de movimiento complejo por ejemplo, como por ejemplo en el caso de aerogeneradores, puede darse formación de hielo en o acumulaciones de agua dentro de las palas de rotor. Mediante las cargas y la fatiga de material pueden cambiar las propiedades del material, pueden ablandarse partes de la estructura o aparecer grietas. Este tipo de modificaciones de la estructura se exteriorizan en comportamientos de movimiento de la estructura. Debido a ello pueden cambiar por ejemplo frecuencias o amplitudes de vibraciones o de movimientos. Las modificaciones pueden detectarse mediante las velocidades de rotación y los valores de aceleración medidos por el dispositivo de medición inercial. Esto posibilita la detección de la necesidad de medidas por ejemplo para el mantenimiento preventivo, el mantenimiento o para el funcionamiento y la puesta en práctica de las mismas, antes de que se den daños significativos.

35 Una monitorización de movimientos de la estructura se ofrece de esta manera tanto debido a motivos de seguridad de funcionamiento, como también debido a la eficiencia de funcionamiento.

40 Para monitorizar movimientos pueden fijarse en la estructura o en una parte de la estructura uno o varios dispositivos de medición inerciales, los cuales permiten detectar las velocidades de rotación y los valores de aceleración que hacen su aparición en los puntos de fijación en relación con el sistema inercial fijo en tierra. Para ello pueden usarse sistemas con sensores inerciales (sensores de aceleración y de velocidad angular) de los tipos MEMS (sistemas microelectromecánicos) y/o FOG IMU (unidades de medición inercial con giróscopos de fibra óptica).

Los valores de aceleración y las velocidades de rotación detectados pueden transmitirse a la unidad central, por ejemplo a través de una red inalámbrica o por cable para la comunicación unidireccional o bidireccional.

45 En la unidad central pueden determinarse basándose en las velocidades de rotación y en los valores de aceleración medidos mediante un algoritmo de navegación, por ejemplo mediante integración o suma continua de las velocidades de rotación y aceleraciones medidas, velocidades y velocidades angulares, así como una orientación y una posición del dispositivo de medición inercial en el espacio.

50 En este caso pueden usarse algoritmos de navegación clásicos, como se conocen por ejemplo del ámbito de la navegación de vehículos, barcos y/o aérea, por ejemplo con una compensación de Schuler de las velocidades de rotación y aceleraciones detectadas.

Basándose en las velocidades de rotación y valores de aceleración medidos, de las velocidades (angulares) calculadas, de la orientación y/o de la posición pueden detectarse y monitorizarse movimientos de la estructura. En particular pueden determinarse los movimientos, las vibraciones y los desvíos presentes en los puntos de medición.

Puede determinarse basándose en ello también el valor de monitorización. El valor de monitorización puede comprender por ejemplo la velocidad angular medida, el valor de aceleración medido, la velocidad (angular) calculada, la orientación y/o la posición, u otro valor determinado a partir de ello, como por ejemplo una frecuencia y/o una amplitud de movimiento, una torsión y/o un desvío.

5 El valor de monitorización puede transmitirse mediante comunicación inalámbrica o por cable a la unidad de emisión. La unidad de emisión puede comprender en el caso más sencillo una pantalla con indicación del valor de monitorización o de su desarrollo, pero también otros componentes, como por ejemplo una memoria de datos para reunir y documentar el desarrollo del valor de monitorización durante el tiempo. De manera alternativa o adicional la unidad de emisión puede presentar un sistema de advertencia y de alarma complejo.

10 Es posible además de ello acoplar la unidad de emisión a modo de un sistema de regulación con actuadores de la estructura. En este caso pueden transmitirse en dependencia del valor de monitorización informaciones de control, por ejemplo magnitudes de ajuste, a los actuadores. En el caso de la monitorización de un aerogenerador es posible por ejemplo regular en dependencia de un valor de monitorización, el cual permite conclusiones sobre una curvatura de las palas de rotor, una posición de las palas de rotor para evitar una carga excesiva de las palas de rotor.

15 Considerando como base el valor de monitorización así como otras informaciones de monitorización es posible concluir movimientos y vibraciones de la estructura y con ello por ejemplo concluir posibles funciones erróneas, fatigas o daños. Esto permite por ejemplo una estimación de la vida útil restante de la estructura o de sus componentes y puede usarse como base para la planificación del mantenimiento. Este tipo de estimaciones son de ayuda en particular en la monitorización de estructuras de difícil acceso (por ejemplo aerogeneradores marítimos) y en máquinas con una alta utilización (prensas de una gran planta de prensado), en cuyo caso cada despliegue de mantenimiento conlleva altos costes. Este tipo de valores característicos son de importancia además de ello en lo que se refiere a los requisitos de seguridad, dado que la monitorización continua se documenta regularmente y se indica sin dilación un requerimiento de mantenimiento.

25 En una forma de realización el dispositivo de medición inercial presenta tres sensores de velocidad de rotación con respectivamente ejes de recepción independientes linealmente entre sí y/u ortogonales entre sí, así como tres sensores de aceleración con direcciones de recepción respectivamente independientes linealmente entre sí y/u ortogonales entre sí.

30 Los sensores de velocidad de rotación pueden presentar por ejemplo tres ejes de recepción x, y y z ortogonales entre sí, que se corresponden con las direcciones de recepción de los sensores de aceleración. Con la ayuda de los sensores de velocidad de rotación (los sensores giroscópicos) puede calcularse el movimiento de rotación, mientras que con la ayuda de los sensores de aceleración (sensores de traslación) puede calcularse el movimiento traslacional. Como consecuencia de ello pueden determinarse cualesquiera movimientos del dispositivo de medición inercial según los seis grados de libertad.

35 En una forma de realización la unidad central está configurada para determinar y/o corregir un fallo de medición del dispositivo de medición inercial basándose en una condición marco predeterminada por la estructura.

La navegación inercial clásica está sujeta en particular, partiendo de una posición inicial predeterminada, a un aumento continuo del error de orientación o de posición, que resulta de la "integración" o de la suma de eventuales errores o inexactitudes de medición (por ejemplo, error de punto cero) de los sensores inerciales (sensores de velocidad de rotación y de aceleración). Este crecimiento se considera como cambio.

40 Para limitar o compensar un cambio de la posición y situación, y con ello también del valor de monitorización, pueden tenerse en consideración en el uso del algoritmo de navegación requisitos y condiciones estables, que se dan en la estructura. Estas condiciones pueden recogerse por ejemplo en forma de condiciones marco de la navegación. Como consecuencia de ello el algoritmo de navegación puede ser respaldado mediante estos requisitos y condiciones. Un fallo en el resultado del cálculo o un fallo del valor de monitorización pueden estimarse y/o compensarse basándose en ello.

45 La consideración de condiciones marco puede comprender en el caso más sencillo una comparación de la condición marco (por ejemplo una situación geográfica conocida de la estructura) con valores calculados (velocidad, velocidad angular, posición y orientación). Basándose en ello puede estimarse el fallo (por ejemplo, fallo de punto cero) del dispositivo de medición inercial (sensores de velocidad de rotación y de aceleración) y mejorarse de manera continua la exactitud de la medición. La consideración de por ejemplo varias o de condiciones marco complejas puede realizarse mediante un filtro Kalman en el algoritmo de navegación.

50 En otra forma de realización la unidad central puede estar configurada para determinar las condiciones marco, y en particular basándose en al menos una información de un grupo que comprende una posición de la estructura esencialmente estacionaria, una posición determinada basándose en una señal de posición respaldada por satélite

5 de al menos una parte de la estructura, una limitación de un grado de libertad de un movimiento de al menos una parte de la estructura, un ángulo de inclinación de al menos una parte de la estructura, un valor medio (por ejemplo predeterminado o que puede derivarse de valores de medición o de valores calculados) de un movimiento de al menos una parte de la estructura y/o del dispositivo de medición inercial, y de una velocidad del viento, dirección del viento, velocidad de corriente, dirección de corriente y/o dirección de impacto de las olas, que influyen en la estructura.

Como consecuencia de ello pueden usarse las circunstancias de la estructura y su disposición en el entorno, así como cualquier conocimiento sobre las condiciones del entorno relacionado para respaldar el algoritmo de navegación o para estimar o corregir el cambio de la posición y situación.

10 Este tipo de condiciones marco no se conocen de la navegación de vehículo clásica, dado que en general no existe en vehículos. No se usan por lo tanto en el marco de la navegación de vehículo clásica para la corrección de fallos o la evitación de cambios. En la monitorización de estructuras en movimiento, las cuales pueden estar dispuestas por ejemplo fijas en un lugar, pueden presentarse no obstante este tipo de condiciones y usarse para la corrección de fallos.

15 Una estimación de fallos y corrección de fallos mejorada por las condiciones marco posibilita indicar o calcular los valores determinados con una exactitud mayor, o alternativamente el uso de dispositivos de medición inerciales más económicos, más propensos a cambio, ya que los fallos que hacen su aparición pueden estimarse y corregirse.

20 En particular los edificios y/o grandes instalaciones, como por ejemplo aerogeneradores y plataformas de perforación son comparativamente a menudo estacionarios, es decir, se erigen en un punto fijo con sistema inercial fijo en tierra. Para estas instalaciones es posible un respaldo del algoritmo de navegación mediante las condiciones marco.

25 Un correspondiente respaldo es posible también en el caso de estructuras no fijas, cuando puede usarse una señal de posición para determinar la posición de la estructura. Puede usarse por ejemplo un receptor de un sistema de satélite de navegación global (GNSS) para recibir y evaluar una señal respaldada por satélite para la determinación de la posición, por ejemplo un receptor GPS, GLONASS, Compass o Galileo. De manera alternativa puede usarse también otra señal de posición óptica, por ejemplo, local, para la determinación de la posición, o un procedimiento de reconocimiento óptico, el cual analiza una imagen registrada por una cámara. La posición determinada de esta manera puede usarse para registrar y corregir un cambio de los sensores, un fallo de los valores de posición y orientación calculados o un fallo sistemático del valor de monitorización.

30 La condición marco puede estar predeterminada también por una limitación de un grado de libertad de un movimiento de al menos una parte de la estructura. En caso de un giro y/o una vibración de una pala de rotor, una posición a lo largo de la pala de rotor, y con ello por ejemplo una separación de un punto con respecto al núcleo de rodete, por ejemplo apenas cambiará. Como consecuencia los movimientos de este punto están sujetos debido a la fijación de la pala de rotor al núcleo de rodete, a una limitación del grado de libertad. Esta limitación puede usarse  
35 como condición marco para detectar o corregir por ejemplo un fallo de medición sistemático de los sensores.

40 Como condición marco puede determinarse además de ello también un ángulo de inclinación de al menos una parte de la estructura. Una inclinación de una torre de un aerogenerador puede conducir por ejemplo a un desplazamiento de la posición de un dispositivo de medición inercial dispuesto en una góndola del aerogenerador. Si se registra para el respaldo del algoritmo de navegación solo la posición estacionaria conocida de la estructura, entonces se interpreta el movimiento de traslación del dispositivo de medición inercial eventualmente como cambio de la posición y no se reconoce una inclinación de la torre posiblemente crítica. Teniéndose en consideración el ángulo de inclinación pueden no obstante reconocerse el cambio de posición y la inclinación y monitorizarse o corregirse por separado.

45 La condición marco puede determinarse además de ello basándose en un valor medio de un movimiento de al menos una parte de la estructura y/o del dispositivo de medición inercial. Es posible por ejemplo, que la parte de la estructura, en la cual está fijado el dispositivo de medición inercial, esté en vibración por ejemplo debido a la carga del viento o al impacto de las olas. La vibración modifica la posición del dispositivo de medición inercial y se registra como aceleración. Para poder reconocer a pesar de ello un fallo de punto cero o un cambio sistemático del dispositivo de medición inercial, puede fijarse un valor medio del movimiento por un periodo de tiempo  
50 predeterminado y usarse como condición marco para la determinación y la corrección del fallo de medición, por ejemplo basándose en un filtro Kalman.

55 La condición marco puede ser determinada además de ello también basándose en una influencia del entorno que influya en la estructura. En particular influencias del entorno, como por ejemplo la velocidad del viento, una dirección del viento, una velocidad de corriente, una dirección de corriente y/o una dirección de impacto de las olas pueden conducir por ejemplo en el caso de aerogeneradores marinos o plataformas de perforación a movimientos y/o

5 vibraciones del aerogenerador o plataforma de perforación, que se miden mediante la instalación de medición inercial fijada en éste. Este tipo de influencias del entorno influyen por lo tanto en la determinación de la posición y de la orientación de las estructuras y pueden confundirse con un fallo de punto cero, es decir un cambio sistemático del dispositivo de medición inercial. Si se tiene en consideración en el marco de la corrección de fallo sin embargo la condición marco determinada basándose en las influencias del entorno, es posible igualmente una corrección de fallo, así como un reconocimiento del desplazamiento de la posición u orientación de la disposición de medición inercial.

10 En otra forma de realización, el sistema presenta varios sistemas de medición inerciales fijados a la estructura, estando configurada la unidad central para determinar el valor de monitorización basándose en un movimiento relativo entre correspondientemente dos o más dispositivos de medición inerciales.

15 Mediante el uso de varios dispositivos de medición inerciales es posible medir movimientos o vibraciones de la estructura en varios puntos de medición (lugares de fijación de los sensores inerciales). Debido a ello es posible una detección exacta de movimientos relativos dentro de la estructura, la cual permite conclusiones sobre desvíos, torsiones y/o curvaturas entre puntos de medición. Este tipo de movimientos tienen una influencia directa sobre el material y ofrecen de esta manera informaciones importantes con respecto a la monitorización, para la determinación de intervalos de mantenimiento y/o para la estimación de la vida útil.

En una variante la estructura puede comprender varios componentes acoplados entre sí, habiendo dispuesto en al menos dos de los componentes correspondientemente una instalación de medición inercial.

20 La disposición de las instalaciones de medición inerciales en varios componentes permite monitorizar movimientos relativos de los componentes entre sí, debido a lo cual puede registrarse el movimiento de los componentes entre sí y con ello por ejemplo una carga de los dispositivos de acoplamiento entre los componentes.

Varios dispositivos de medición inerciales pueden usarse por ejemplo para monitorizar un aerogenerador con una torre, una góndola dispuesta sobre la torre y un rotor dispuesto en la góndola con palas de rotor para accionar un generador.

25 Al usarse varios dispositivos de medición inerciales dispuestos en una pala de rotor puede reconocerse por ejemplo una curvatura de la pala de rotor. Basándose en ello puede generarse un mensaje de alerta y/o puede regularse de manera activa en el viento una posición de la pala de rotor. De esta manera es posible reconocer y/o evitar daños.

30 Puede determinarse además de ello una orientación del dispositivo de medición inercial fijado a la góndola con respecto al dispositivo de medición inercial fijado a la torre. Basándose en ello puede evaluarse o corregirse por ejemplo, teniéndose en consideración una dirección de viento registrada, la orientación de la góndola.

El uso de varios dispositivos de medición inerciales en la estructura o en diferentes partes de la estructura permite como consecuencia de ello detectar y evaluar en modos más altos movimientos de la estructura y monitorizar de manera efectiva la estructura.

35 En otra variante la estructura es un aerogenerador y el dispositivo de medición inercial está dispuesto en una pala de rotor del aerogenerador. El dispositivo de medición inercial puede estar dispuesto en este caso de tal manera que una tangente de un recorrido de rotación del dispositivo de medición inercial no sea perpendicular y/o paralela a ninguna de las direcciones de detección de los sensores de velocidad de rotación (montaje de eje inclinado/ángulo inclinado). De manera adicional o alternativa la unidad central puede estar configurada para determinar la condición marco basándose en al menos una información del grupo que comprende: la velocidad terrestre que influye cíclicamente con un giro del rotor en el dispositivo de medición inercial, la rotación terrestre que influye cíclicamente con un giro del rotor en el dispositivo de medición inercial y una señal de partida de un generador de impulsos de giro del rotor.

45 El montaje en ángulo inclinado de los sensores en la pala de rotor asegura que los ejes o las direcciones de detección no están dispuestos de manera colinear con respecto a una tangente de rotación de la pala de rotor. Como consecuencia todos los ejes de medición se exponen en caso de un giro de la pala de rotor de igual manera a la aceleración o a la rotación.

50 Mediante la disposición del dispositivo de medición inercial en la pala de rotor se pone en rotación el dispositivo de medición inercial durante el funcionamiento del aerogenerador con la pala de rotor. En este caso la aceleración terrestre influye de +/-1g cíclicamente con el giro del rotor en el dispositivo de medición inercial. De igual manera actúa también la rotación terrestre cíclicamente con el giro del rotor sobre el dispositivo de medición inercial. Estas influencias se reflejan en las aceleraciones y velocidades de rotación detectadas por la disposición de medición inercial y con ello en la señal de salida del dispositivo de medición inercial.

5 La aceleración y rotación terrestre que actúa cíclicamente con el giro de rotor solapa la señal de salida y pueden detectarse y compensarse en la señal de salida. Puede usarse en particular como condición marco de la corrección de fallo que se ha descrito arriba. De esta manera es posible detectar, estimar o compensar fallos sistemáticos del dispositivo de medición inercial, en particular un fallo de factor de escala giroscópico del dispositivo de medición inercial. Debido a ello puede evitarse un aumento de los fallos debido al fallo de factor de escala giroscópico.

Una corrección de fallo de este tipo puede usarse en particular también en el calibrado de los sensores. El montaje de eje inclinado del dispositivo de medición inercial en la pala de rotor permite calibrar de esta manera todos los ejes de medición o los sensores correspondientes.

10 De manera alternativa o adicional puede usarse también la señal de salida del generador de impulsos de giro del rotor para detectar el giro del rotor y evaluar basándose en ello la influencia de la aceleración terrestre o de la rotación terrestre en el resultado de medición y calibrar el dispositivo de medición inercial.

En otra forma de realización la estructura es igualmente un aerogenerador. El dispositivo de medición inercial está dispuesto en una góndola del aerogenerador. La unidad central está configurada además de ello para determinar la condición marco basándose en un generador de ángulo de giro de la góndola.

15 El generador de ángulo de giro puede estar montado por ejemplo en el punto de acoplamiento de la torre con la góndola. La señal de salida del generador de ángulo de giro puede compararse con una señal de salida del dispositivo de medición inercial y usarse como condición marco para la estimación de fallo o calibración del dispositivo de medición inercial. Debido a ello puede detectarse o corregirse un factor de escala giroscópico del dispositivo de medición inercial. A continuación puede detectarse una orientación de la góndola en dirección acimut y adaptarse por ejemplo en lo que se refiere a una dirección del viento. Esto posibilita un aprovechamiento óptimo del aerogenerador.

20 En otra forma de realización la unidad central está configurada para determinar el valor de monitorización basándose en al menos una información del grupo que comprende: un valor de salida de un modelo de cálculo de la estructura, una información de estado de la estructura, un parámetro ambiental, una velocidad angular, una aceleración, una velocidad de ángulo, una velocidad, una orientación y/o una posición en un punto de la estructura diferente de un lugar de montaje del dispositivo de medición inercial, una amplitud de movimiento y/o una frecuencia de movimiento de una vibración de la estructura y una torsión entre dos diferentes puntos de la estructura.

25 Es posible en particular suministrar los valores de aceleración y de velocidad angular medidos por el dispositivo de medición inercial o por los dispositivos de medición inerciales, a un modelo de cálculo generado por ejemplo basándose en elementos finitos, que representa las condiciones corporales de la estructura, que puede estar memorizado en una memoria. La unidad central puede suministrar por ejemplo los valores de medición mediante el acceso a la memoria y calcular basándose en los valores de medición un comportamiento dinámico de la estructura de manera sucesiva. Debido a ello se estimula el modelo de cálculo y se simula el comportamiento dinámico (movimientos, vibraciones) de la estructura.

30 De manera alternativa o adicional pueden aprovecharse informaciones sobre el estado de la estructura, como por ejemplo un parámetro de funcionamiento como un ajuste de mecanismo transmisor y/o una energía generada de un aerogenerador, en la determinación del valor de monitorización. También estas informaciones pueden suministrarse al modelo de cálculo de la estructura, o compararse con el comportamiento dinámico simulado del modelo de cálculo. Pueden usarse de esta manera por un lado para la estimulación, por otro lado para la validación del modelo de cálculo.

35 Como parámetro del entorno para la determinación del valor de monitorización pueden tenerse en consideración por ejemplo señales de posición (respaldadas por satélite) con respecto a la posición de al menos una parte de la estructura, una orientación de la góndola, un ángulo de giro del rotor, un ángulo de ataque de las palas de rotor, una dirección del viento y una intensidad del viento, una dirección de las olas y una intensidad de las olas, una corriente, una temperatura y una descarga de potencia por ejemplo de un aerogenerador. Una información referente a una dirección del viento medida puede aprovecharse por ejemplo para evaluar o para corregir una orientación de la góndola en dirección de acimut.

40 La unidad central puede estar configurada además de ello para determinar movimientos en un punto de la estructura diferente del lugar de montaje de la instalación de medición inercial. Esto puede lograrse mediante el suministro de velocidades de rotación tridimensionales y aceleraciones en el modelo de cálculo, midiéndose las velocidades de rotación y aceleraciones mediante uno o varios dispositivos de medición inerciales con otros lugares de montaje diferentes del punto. Basándose en ello pueden calcularse movimientos también en otros puntos de la estructura. Pueden detectarse por ejemplo torsiones entre dos puntos diferentes de la estructura, por ejemplo entre dos puntos diferentes de una pala de rotor o torre, y de esta manera cargas mecánicas de la estructura. De esta manera pueden determinarse o calcularse movimientos con modos más altos. Esto permite un modelado efectivo y una

monitorización de movimientos y vibraciones del conjunto de la estructura.

5 El valor de monitorización puede determinarse además de ello basándose en una amplitud de movimiento y/o en una frecuencia de movimiento de una vibración de la estructura. En particular pueden detectarse debido a los valores de aceleración medidos, por ejemplo tridimensionales, vibraciones de la estructura o de sus partes y con ello el ruido estructural de la estructura. Esto posibilita una detección de daños mecánicos en la estructura, por ejemplo en el ramal de accionamiento de un aerogenerador (por ejemplo, grietas y desgaste en el mecanismo transmisor, en los dientes y/o en los cojinetes, los cuales conducen a una modificación del ruido estructural).

10 Con la ayuda de un análisis de ruido estructural basándose en dispositivos de medición inercial dispuestos en las palas de rotor pueden detectarse por ejemplo la formación de hielo y grietas en las palas de rotor y ponerse en práctica correspondientes medidas.

15 En otra variante la unidad central puede estar configurada para detectar valores límite del valor de monitorización y para transmitir en caso de superar al menos uno de los valores límite, una información a la unidad de emisión. Puede estar configurada además de ello para enviar a la unidad de emisión, basándose en el valor de monitorización, una propuesta para magnitudes de ajuste para ajustar actuadores en la estructura. De manera alternativa o adicional la unidad central puede estar configurada para enviar a los actuadores, basándose en el valor de monitorización, las magnitudes de ajuste a los actuadores.

Esta variante posibilita una anchura de banda de posibilidades de monitorización, desde una monitorización de valor límite y mensaje de superación a través de la determinación de propuestas de control hasta una regulación activa del comportamiento dinámico de la estructura.

20 De esta manera pueden detectarse y evitarse daños inminentes. En el marco del mantenimiento de aerogeneradores la detección y la indicación de formación de hielo, de desequilibrios del rotor o de daños en el mecanismo transmisor posibilitan un funcionamiento seguro y una detección de la necesidad de regulación y mantenimiento.

25 El personal de mantenimiento puede recibir respaldo además de ello mediante indicaciones en la unidad de indicación, por ejemplo en cuanto que se generan propuestas para la regulación del aerogenerador. Pueden proponerse por ejemplo una modificación de la posición de las palas de rotor o una modificación del ajuste de la transmisión. De esta manera pueden evitarse daños y puede lograrse un mejor rendimiento.

30 La unidad central puede transmitir además de ello, además de la emisión del valor de monitorización, magnitudes de ajuste a los actuadores de la estructura. Esto permite reaccionar rápidamente a un estado crítico detectado mediante el valor de monitorización y girar, por ejemplo tras un daño en la transmisión, rápida y activamente las palas de rotor del viento. Puede realizarse además de ello de esta manera un control conforme a la necesidad y al mismo tiempo respetuoso con el material, del rendimiento de la energía.

35 En dependencia de un nivel de criticidad del valor de monitorización determinado, la transmisión de los valores de ajuste a los actuadores puede hacerse dependiente por ejemplo de un accionamiento humano mediante el personal de mantenimiento.

Un procedimiento para monitorizar movimientos de una estructura presenta la detección de velocidades de rotación y de valores de aceleración en el sistema inercial fijo en tierra por parte de al menos un dispositivo de medición inercial fijado a la estructura, la determinación de un valor de monitorización basándose en las velocidades de rotación y valores de aceleración mediante un algoritmo de navegación, y una emisión del valor de monitorización.

40 El procedimiento puede llevarse a cabo por ejemplo en cualquier forma de realización del sistema que se ha descrito con anterioridad.

45 En una variante el procedimiento puede presentar un suministro de las velocidades de rotación y valores de aceleración al modelo de cálculo de la estructura, una validación del modelo de cálculo mediante una comparación del desarrollo de las velocidades de rotación y valores de aceleración medidos correspondientemente con velocidades de rotación y valores de aceleración calculados en el modelo y una determinación del valor de monitorización basándose en el modelo de cálculo.

50 Este procedimiento permite estimular el modelo de cálculo por ejemplo mediante los valores de medición y calcular basándose en la estimulación el comportamiento dinámico del modelo, por ejemplo por pasos durante un periodo de tiempo predeterminado. En paralelo a ello pueden detectarse durante el periodo de tiempo correspondiente en correspondencia con ello valores de medición de los sensores de aceleración y velocidad angular de los dispositivos de medición inerciales. Mediante una comparación de las velocidades de rotación detectadas y calculadas o de la velocidad angular calculada o que puede calcularse basándose en ello, la velocidad, la orientación o la posición,

puede validarse el modelo de cálculo.

El modelo de cálculo puede considerarse por ejemplo como adecuado cuando los desvíos se encuentran solo por debajo de un valor límite predeterminado. En caso contrario puede detectarse una necesidad de una adaptación del modelo de cálculo o del procedimiento de cálculo. Basándose en el modelo de cálculo validado puede determinarse y emitirse el valor de monitorización.

En otra variante del procedimiento la estructura puede presentar al menos una parte de un aerogenerador con un rotor con palas de rotor, estando dispuesto el dispositivo de medición inercial en una de las palas de rotor. El procedimiento puede comprender un calibrado del dispositivo de medición inercial basándose en una aceleración terrestre que influye cíclicamente con un giro del rotor en el dispositivo de medición inercial, basándose en una rotación terrestre que influye cíclicamente con un giro del rotor en el dispositivo de medición inercial y/o basándose en un generador de impulsos de giro del rotor (de la manera que se ha descrito anteriormente).

En el montaje en ángulo inclinado del/de los dispositivo(s) de medición inercial en una de las palas de rotor pueden estimarse y corregirse en el marco de una calibración el fallo de punto cero y el factor de escala giroscópico del dispositivo de medición inercial. Este procedimiento puede ser de ayuda en particular en la puesta en marcha de aerogenerador.

En otra variante la estructura comprende al menos una parte de un aerogenerador con un rotor con palas de rotor, estando dispuesto el dispositivo de medición inercial en el rotor. El procedimiento presenta una detección de un desequilibrio del rotor basándose en las velocidades de rotación y valores de aceleración registrados.

Este procedimiento puede usarse en particular en el equilibrado del rotor. Los desequilibrios pueden detectarse y corregirse, debido a lo cual se posibilita un funcionamiento efectivo y libre de fatiga del aerogenerador.

Éstas y otras características de la invención se explican a continuación con mayor detalle mediante ejemplos y la ayuda de las figuras que acompañan. Muestran:

La **Fig. 1** un sistema para la monitorización de un aerogenerador basándose en valores de medición de varios dispositivos de medición inerciales mediante el aprovechamiento de un algoritmo de navegación, y

La **Fig. 2** un diagrama de bloques de un sistema para la monitorización de un aerogenerador basándose en un modelo de cálculo.

La Fig. 1 muestra un sistema para la monitorización de movimientos de un aerogenerador 1 que sirve como estructura.

El aerogenerador 1 presenta una torre 2 construida sobre una base, en la cual hay dispuesta una góndola 3 con un rotor 4 previsto en ésta, con palas de rotor 4a, 4b y 4c. En el aerogenerador 1 o en sus componentes 2, 3, 4, 4a, 4b y 4c hay dispuestos correspondientemente uno o varios dispositivos de medición inerciales 5. Éstos están representados en el dibujo mediante pequeñas cajas y debido a motivos de claridad no se indican en detalle con referencias.

Los dispositivos de medición inerciales 5 presentan respectivamente tres sensores de velocidad de rotación con ejes de detección linealmente independientes entre sí y/u ortogonales entre sí, así como tres sensores de aceleración con correspondientemente direcciones de detección independientes linealmente entre sí y/u ortogonales entre sí. Su señal de salida puede usarse para determinar con la ayuda de un algoritmo de navegación conocido por ejemplo de la navegación de vehículos, de barcos o aérea, un cálculo de velocidades de ángulo y velocidades u orientaciones y posiciones de los correspondientes dispositivos de medición inerciales 5 en el sistema inercial fijo en tierra.

Como base para este tipo de cálculos una unidad de emisión 6 reúne los valores medidos por los dispositivos de medición inerciales 5, así como eventualmente parámetros ambientales medidos por otra unidad de sensor 7 e informaciones de estado del aerogenerador. Los parámetros ambientales pueden referirse por ejemplo a una dirección del viento, a una intensidad del viento, a una temperatura, a una dirección de las olas y/o intensidad de las olas (por ejemplo en el caso de instalaciones marítimas). Las informaciones de estado pueden referirse a un estado del aerogenerador, el cual comprende por ejemplo una orientación de la góndola 3, un ángulo de giro del rotor 4, un ángulo de ataque o una curvatura de las palas de rotor 4a, 4b, 4c y a un rendimiento de energía de la energía generada. La información de estado puede comprender además de ello también por ejemplo una señal de posición recibida por un satélite 8, la cual puede ser detectada por la unidad de sensor 7 y transmitida a la unidad de emisión 6.

5 Los datos reunidos pueden ser enviados por la unidad de emisión 6 por ejemplo mediante comunicación inalámbrica o por cable a un receptor 9 de un dispositivo de monitorización 10. El dispositivo de monitorización 10 puede encontrarse localmente en un entorno de aerogenerador 1, pero también alejado del aerogenerador 1. Una disposición local del dispositivo de monitorización 10 puede significar también una disposición dentro de o en el aerogenerador 1 o una disposición en el entorno próximo. El dispositivo de monitorización 10 puede estar dispuesto por ejemplo en una central de monitorización y control de un parque eólico, en el cual está dispuesto el aerogenerador 1. Una disposición alejada del aerogenerador 1 es útil por ejemplo en el caso de aerogeneradores marítimos.

10 El dispositivo de monitorización 10 puede presentar una unidad central 11 para determinar el valor de monitorización basándose en los datos transmitidos, en particular basándose en las velocidades de rotación y valores de aceleración medidos por los dispositivos de medición inerciales 5. La unidad central 11 puede llevar a cabo por ejemplo un algoritmo de navegación clásico con compensación Schuler.

15 De este modo puede determinarse para cada uno de los dispositivos de medición inercial una velocidad de ángulo y una velocidad de un movimiento y una posición y una orientación en el espacio. Pueden determinarse y evaluarse además de ello movimientos relativos de los dispositivos de medición inerciales entre sí. Basándose en ello puede determinarse un valor de monitorización, por ejemplo un ángulo de ataque de una pala de rotor 4c o una torsión de la torre 2 debidos a carga por viento.

20 El valor de monitorización puede enviarse a una unidad de emisión 12, la cual hace accesible o indica el valor de monitorización por ejemplo al personal usuario. El valor de monitorización también puede detectarse de manera alternativa en una memoria 13 y memorizarse por motivos de documentación.

Al usarse algoritmos de navegación clásicos para la monitorización del movimiento de estructuras existe la posibilidad de integrar requisitos y condiciones, que resultan de propiedades corporales de la estructura, en el algoritmo de navegación y en particular en una estimación de fallos o corrección de fallos.

25 En particular se solapan con los valores de medición de los dispositivos de medición inerciales 5 típicamente fallos que permiten concluir por ejemplo un fallo de punto cero o un fallo de factor de escala de los sensores de aceleración y de velocidad de rotación comprendidos. En el caso de una determinación de las velocidades de dirección y de ángulo o de la posición y de la orientación se integran los fallos y conducen a un cambio continuo.

30 En la monitorización de estructuras pueden tenerse en consideración condiciones espaciales de la estructura como condiciones marco del algoritmo de navegación y tenerse en cuenta en el marco de la corrección de fallos por ejemplo mediante un filtro Kalman. Este tipo de condiciones marco son por ejemplo una posición (geográfica) de la estructura, que en el caso de edificios o de instalaciones construidas sobre base firme, es en general fija. En el caso de instalaciones marítimas puede determinarse la posición por ejemplo mediante una señal de posición respaldada por satélite (GPS). Otras condiciones marco pueden determinarse, como se ha descrito anteriormente, también a partir de informaciones ambientales, o determinarse mediante otros sensores, por ejemplo mediante un sensor de inclinación de torre.

40 Las condiciones marco permiten estimar y corregir los errores sistemáticos de los valores de medición de los dispositivos de medición inerciales. Debido a ello es posible una determinación de la posición y de la orientación precisa, lo cual ofrece una base adecuada para la determinación del valor de monitorización. Otras condiciones marco, las cuales pueden conducir a una mejora de la estimación de fallos y de la corrección de fallos ya se han descrito arriba en la parte general y pueden aprovecharse en la forma de realización mostrada en la Fig. 1.

La unidad central 11 del dispositivo de monitorización 10 puede estar configurada además de ello para detectar valores límite del valor de monitorización y para emitir en caso de superar al menos uno de los valores límite una información a la unidad de emisión 12. La predeterminación de valores límite posibilita la detección y la indicación de daños inminentes, así como la necesidad de mantenimiento y regulación.

45 La unidad central 11 puede proponer basándose en el valor de monitorización también una propuesta para magnitudes de ajuste para ajustar actuadores en el aerogenerador 1. Este tipo de propuestas pueden indicarse al personal usuario por ejemplo en la unidad de emisión 12. Pueden comprender por ejemplo una alineación de la góndola 3 según una dirección del viento detectada, una alineación de las palas de rotor en lo que se refiere a un rendimiento a producir y/o una parada del aerogenerador por ejemplo en caso de daños inminentes o en caso de daño.

50 La unidad central 11 puede transmitir además de ello las magnitudes de ajuste a través de una unidad de emisión 14 a una unidad de recepción 15 del aerogenerador 1. En el aerogenerador 1 las magnitudes de ajuste recibidas pueden usarse para controlar de manera correspondiente actuadores del aerogenerador e iniciar por ejemplo un giro de la góndola 3 o una alineación de las palas de rotor 4a, 4b, 4c.

- 5 La unidad central 11 puede determinar además de ello el valor de monitorización por ejemplo basándose en un modelo de cálculo, el cual puede calcular un comportamiento dinámico del aerogenerador 1 y puede estar memorizado por ejemplo en la memoria 13. Las velocidades de rotación y aceleraciones medidas por el dispositivo de medición inercial 5 o las velocidades, velocidades de ángulo, posiciones y orientaciones determinadas a partir de ellas, pueden suministrarse al modelo de cálculo, el cual basándose en ello calcula, simula o representa dinámicamente el comportamiento dinámico del aerogenerador.
- También pueden usarse los datos adicionales medidos por la unidad de sensor 7 y transmitidos por la unidad de emisión 6, como parámetros ambientales e informaciones de estado, para la estimulación del modelo.
- 10 El comportamiento dinámico calculado puede, teniéndose en cuenta otros valores de medición de los dispositivos de medición inerciales 5 u otras informaciones de estado, comprobarse y evaluarse, de manera que estos valores posibilitan simultáneamente una estimulación y un respaldo del modelo de cálculo.
- El modelo de cálculo puede usarse por ejemplo para registrar y evaluar movimientos con modos más altos del aerogenerador 1, como por ejemplo torsiones de la torre 2 o curvaturas de las palas de rotor 4a, 4b, 4c.
- 15 Puede determinarse un grado de detalle de los pasos de cálculo del modelo de cálculo en lo que se refiere a la exactitud de cálculo requerida y al rendimiento de cálculo disponible. Siempre que el dispositivo de monitorización 10 y en particular la unidad central 11 dispongan de capacidad de cálculo suficiente, el cálculo y la evaluación pueden producirse esencialmente mediante condiciones en tiempo real o con una demora solo ligera.
- 20 Durante el funcionamiento operacional el sistema para la monitorización del aerogenerador o el procedimiento de monitorización puesto en práctica en éste puede usarse como sistema de monitorización de condiciones, en cuanto que se comparan los movimientos, las vibraciones, las frecuencias y/o las amplitudes que se han determinado con valores límite predeterminados. En el marco de la monitorización de condiciones pueden emitirse alertas al superarse los valores límite.
- 25 Los valores de medición y de cálculo pueden considerarse además de ello también magnitudes de regulación para posibilitar por un lado un ajuste óptimo del aerogenerador 1 en lo que se refiere a las fuerzas actuantes y por otro lado en lo que se refiere al rendimiento a producir. Esto permite un buen rendimiento con al mismo tiempo un funcionamiento respetuoso con el material.
- Una evaluación de cambios de carga y diferentes cargas durante un periodo de tiempo más largo permite la determinación de un resto de vida del aerogenerador 1 o de sus componentes, y/o la planificación de medidas de mantenimiento.
- 30 Como ya se ha descrito más arriba, los valores de medición y de cálculo pueden usarse también en el desarrollo y en las pruebas de instalaciones, así como en su puesta en marcha, por ejemplo para detectar y corregir cargas excesivas o desequilibrios.
- La Fig. 2 muestra un diagrama de bloques de una forma de realización de un sistema de monitorización, por ejemplo del sistema de monitorización de la Fig. 1.
- 35 En la sección superior se describen los sensores y su disposición. En correspondencia con ello, la torre 2, la góndola 3 y las palas de rotor 4a, 4b, 4c presentan correspondientemente n dispositivos de medición inercial (IMU - del inglés *inertial measurement unit*), los cuales están fijados respectivamente en diferentes posiciones del correspondiente componente.
- 40 Los dispositivos de medición inercial 5 envían sus datos a unidades de navegación representadas en la zona central de la Fig. 2, de los correspondientes componentes, en las cuales se llevan a cabo los cálculos de navegación basándose en el algoritmo de navegación. Aquí pueden determinarse por ejemplo las velocidades, las velocidades de ángulo, las posiciones y las orientaciones de los dispositivos de medición inerciales. La navegación está respaldada correspondientemente por datos adicionales adecuados o condiciones marco de la estructura, por ejemplo por una señal de GPS, una orientación de la góndola, un ángulo de giro del rotor y/o un ángulo de ataque de las palas de rotor. Estas informaciones pueden usarse, como se ha descrito anteriormente, por ejemplo para la estimación de fallos, la corrección de fallos y/o la calibración de sensor.
- 45 En la zona inferior de la Fig. 2 se presentan el filtrado respaldado por el modelo, de los datos, en el cual se introducen los resultados de los cálculos de navegación, así como otros parámetros ambientales (dirección del viento, fuerza del viento, temperatura, dirección de las olas, fuerza de las olas) e informaciones de estado (dirección de la góndola, ángulo de giro del rotor, ángulo de ataque de la pala de rotor, entrega de energía) del aerogenerador 1. Los datos pueden procesarse en este caso de manera continua y esencialmente en tiempo real. El filtrado respaldado por modelo puede corresponderse como consecuencia de ello con una simulación, la cual permite una
- 50

evaluación respaldada por modelo de los datos “en línea”, es decir, sin demora temporal, por ejemplo en correspondencia con requisitos de tiempo real posiblemente predeterminados.

5 En el marco del filtrado respaldado mediante modelo se aprovecha un modelo de cálculo del aerogenerador para calcular el comportamiento dinámico del aerogenerador 1. Como se ha descrito anteriormente, los datos de navegación pueden estimular, respaldar y validar el modelo. El filtrado respaldado mediante modelo ofrece como informaciones por ejemplo posiciones seleccionadas relativas al estado de movimiento, alertas en caso de una superación de valores límite predeterminados y/o valores característicos de vida útil. Estos resultados pueden enviarse por ejemplo a la unidad de emisión 12 para hacerlos accesibles al personal usuario, y en concreto en el marco de la monitorización de condiciones, de la planificación de mantenimiento y/o en el marco de una regulación activa del aerogenerador 1.

10 Como consecuencia de ello, el uso de sistemas de medición inerciales y de algoritmos de navegación clásicos en el ámbito de la monitorización de edificios y de instalaciones puede posibilitar una monitorización efectiva y una regulación de la correspondiente estructura. Las condiciones marco válidas para este tipo de edificios e instalaciones pueden usarse para estimar y compensar los fallos que hacen su aparición típicamente en el marco de la navegación inercial (punto cero y fallo de factor de escala). Basándose en ello puede lograrse un funcionamiento por un lado efectivo, por otro lado respetuoso con la instalación, por ejemplo de aerogeneradores, y una planificación de mantenimiento optimizada en costes.

**REIVINDICACIONES**

1. Sistema para monitorizar movimientos de una estructura (1) fija con
- al menos un dispositivo de medición inercial (5) fijado en la estructura para determinar velocidades de rotación y valores de aceleración en un sistema de referencia fijo en tierra,
- 5 - una unidad central (11) para determinar un valor de monitorización basándose en las velocidades de rotación y en los valores de aceleración mediante un algoritmo de navegación inercial, y
- una unidad de emisión (12) para emitir el valor de monitorización, estando configurada la unidad central (11) para determinar y/o para corregir un fallo de medición del dispositivo de medición inercial (5) basándose en una condición marco predeterminada por la estructura y para respaldar de esta manera el algoritmo de navegación, y
- 10 - estando configurada la unidad central (11) para determinar la condición marco basándose en al menos una información de un grupo comprendiendo
- + una posición esencialmente estacionaria de la estructura (1),
  - + una limitación de un grado de libertad de un movimiento de al menos una parte de la estructura (1),
  - + un ángulo de inclinación de al menos una parte de la estructura (1),
- 15 + un valor medio de un movimiento de al menos una parte de la estructura (1) y/o del dispositivo de medición inercial (5).
2. Sistema según la reivindicación 1, donde
- el dispositivo de medición inercial (5) presenta tres sensores de velocidad de rotación con respectivamente ejes de recepción independientes linealmente entre sí y/u ortogonales entre sí, así como tres sensores de aceleración con direcciones de recepción respectivamente independientes linealmente entre sí y/u ortogonales entre sí.
- 20
3. Sistema según una de las reivindicaciones anteriores, con
- varios dispositivos de medición inerciales (5) fijados a la estructura, donde
  - la unidad central (11) está configurada para determinar el valor de monitorización basándose en un movimiento relativo entre al menos correspondientemente dos de los varios dispositivos de medición inercial (5).
- 25
4. Sistema según una de las reivindicaciones anteriores, donde
- la estructura (1) comprende varios componentes (2, 3, 4, 4a, 4b, 4c) acoplados entre sí, y donde
  - en al menos dos de los componentes (2, 3, 4, 4a, 4b, 4c) hay dispuesto respectivamente un dispositivo de medición inercial.
5. Sistema según una de las reivindicaciones anteriores, donde
- 30 - la estructura es un aerogenerador (1) y el dispositivo de medición inercial (5) está dispuesto en una pala de rotor (4a, 4b, 4c) del aerogenerador (1), donde
- el dispositivo de medición inercial (5) está dispuesto de tal manera que una tangente de un recorrido de rotación del dispositivo de medición inercial (5) no es perpendicular y/o paralela a ninguna de las direcciones de detección de los sensores de velocidad de rotación, y/o
- 35 - la unidad central (11) está configurada para determinar la condición marco basándose en al menos una información del grupo comprendiendo
- + la aceleración terrestre que influye cíclicamente con un giro del rotor (4) en el dispositivo de medición inercial (5),
  - + la rotación terrestre que influye cíclicamente con un giro del rotor (4) en el dispositivo de medición inercial (5), y

- + una señal de partida de un generador de impulsos de giro del rotor (4).
- 6. Sistema según una de las reivindicaciones anteriores, donde
  - la estructura es un aerogenerador (1) y el dispositivo de medición inercial está dispuesto en una góndola (3) del aerogenerador (3), y
- 5 - la unidad central (11) está configurada para determinar la condición marco basándose en un generador de ángulos de giro de la góndola (3).
- 7. Sistema según una de las reivindicaciones anteriores, donde
  - la unidad central (11) está configurada para determinar el valor de monitorización basándose en al menos una información del grupo que comprende
- 10 + un valor de emisión de un modelo de cálculo de la estructura (1),
  - + una información de estado de la estructura (1),
  - + un parámetro de entorno,
  - + una velocidad de rotación, una aceleración, una velocidad de ángulo, una velocidad, una orientación y/o una posición en un punto de la estructura diferente del lugar de montaje de la unidad de medición inercial (5),
- 15 + una torsión entre dos puntos diferentes de la estructura, y
  - + una amplitud de movimiento y/o una frecuencia de movimiento de una vibración de la estructura.
- 8. Sistema según una de las reivindicaciones anteriores, donde
  - la unidad central (11) está configurada para
- 20 + detectar valores límite del valor de monitorización y en caso de superarse al menos uno de los valores límite enviar una información a la unidad de emisión (12),
  - + basándose en el valor de monitorización enviar una propuesta para magnitudes de ajuste para ajustar actuadores de la estructura (1), a la unidad de emisión (12), y/o
  - + basándose en el valor de monitorización enviar las magnitudes de ajuste a los actuadores.
- 9. Procedimiento para monitorizar movimientos de una estructura (1) fija con
- 25 - determinar velocidades de rotación y valores de aceleración en un sistema de referencia fijo en tierra de al menos un dispositivo de medición inercial (5) fijado en la estructura (1),
  - determinar un valor de monitorización basándose en las velocidades de rotación y valores de aceleración mediante un algoritmo de navegación inercial,
- 30 - determinar y/o corregir un fallo de medición de las velocidades de rotación y valores de aceleración detectados basándose en una condición marco predeterminada por la estructura (1),
  - emitir el valor de monitorización, donde
  - se determina y/o se corrige un fallo de medición del dispositivo de medición inercial (5) basándose en una condición marco predeterminada por la estructura y de esta manera se respalda el algoritmo de navegación, y
  - determinándose la condición marco basándose en al menos una información de un grupo que comprende
- 35 + una posición esencialmente estacionaria de la estructura (1),
  - + una limitación de un grado de libertad de un movimiento de al menos una parte de la estructura (1),

+ un ángulo de inclinación de al menos una parte de la estructura (1),

+ un valor medio de un movimiento de al menos una parte de la estructura (1) y/o del dispositivo de medición inercial (5).

10. Procedimiento según la reivindicación 9, con

5 - suministrar las velocidades de rotación y los valores de aceleración en un modelo de cálculo de la estructura,

- validar el modelo de cálculo mediante una comparación del desarrollo de las velocidades de rotación y valores de aceleración que se han medido correspondientemente con velocidades de rotación y valores de aceleración calculados en el modelo, y

- determinar el valor de monitorización basándose en el modelo de cálculo.

10 11. Procedimiento según la reivindicación 9 o 10, presentando la estructura al menos una parte de un aerogenerador (1) comprendiendo un rotor (4) con palas de rotor (4a, 4b, 4c), y estando dispuesto el dispositivo de medición inercial (5) en una de las palas de rotor (4a, 4b, 4c), con

15 - calibración del dispositivo de medición inercial (5) basándose en una aceleración terrestre que influye cíclicamente con un giro del rotor (4) en el dispositivo de medición inercial (5), basándose en una rotación terrestre que influye cíclicamente con un giro del rotor (4) en el dispositivo de medición inercial (5) y/o basándose en un generador de impulsos de giro del rotor (4).

12. Procedimiento según una de las reivindicaciones 9 a 11, presentando la estructura al menos una parte de un aerogenerador (1) comprendiendo un rotor (4), y estando dispuesto el dispositivo de medición inercial (4) en el rotor (4), con

20 - detectar un desequilibrio del rotor (4) basándose en las velocidades de rotación y valores de aceleración registrados.

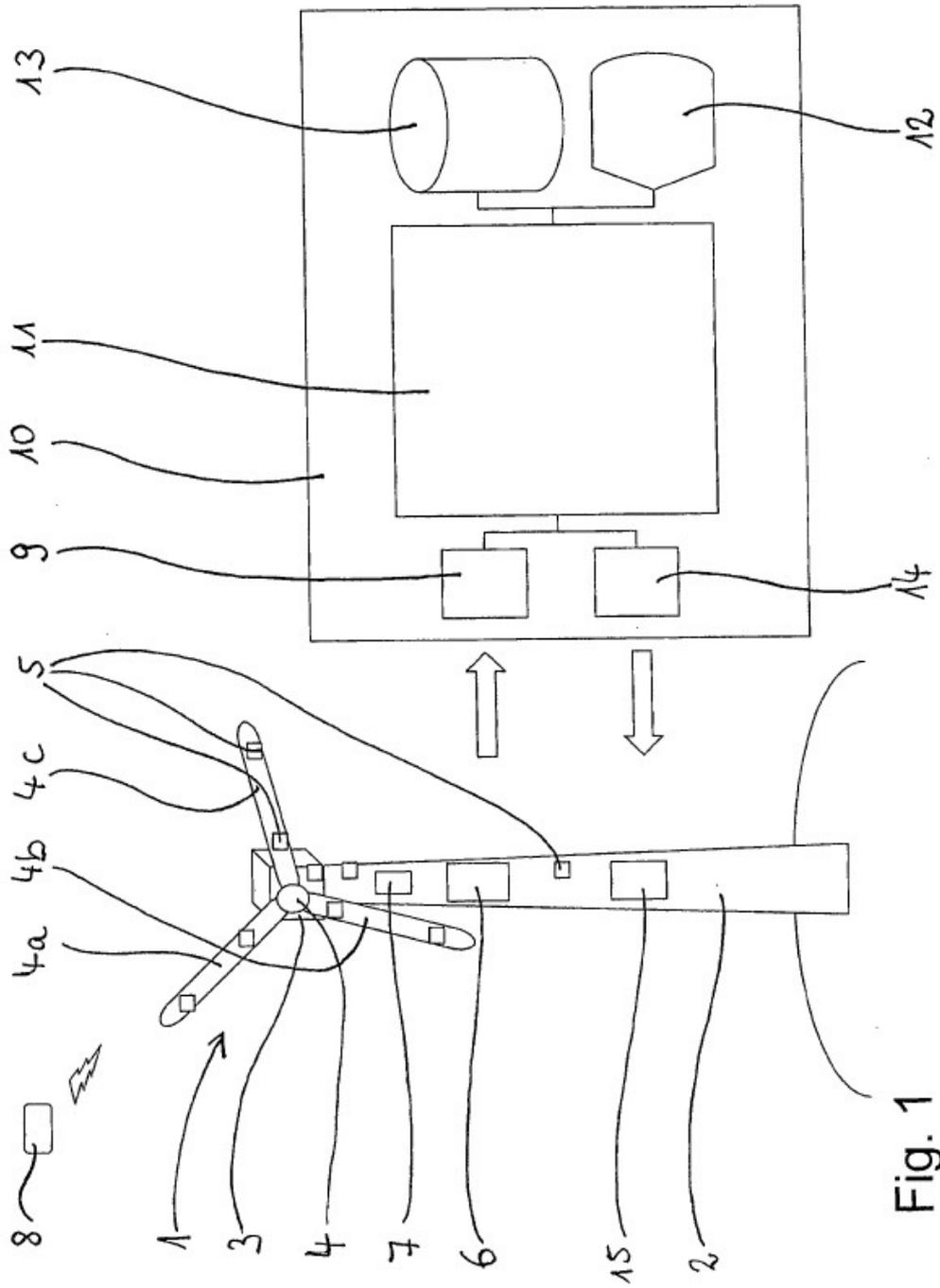


Fig. 1

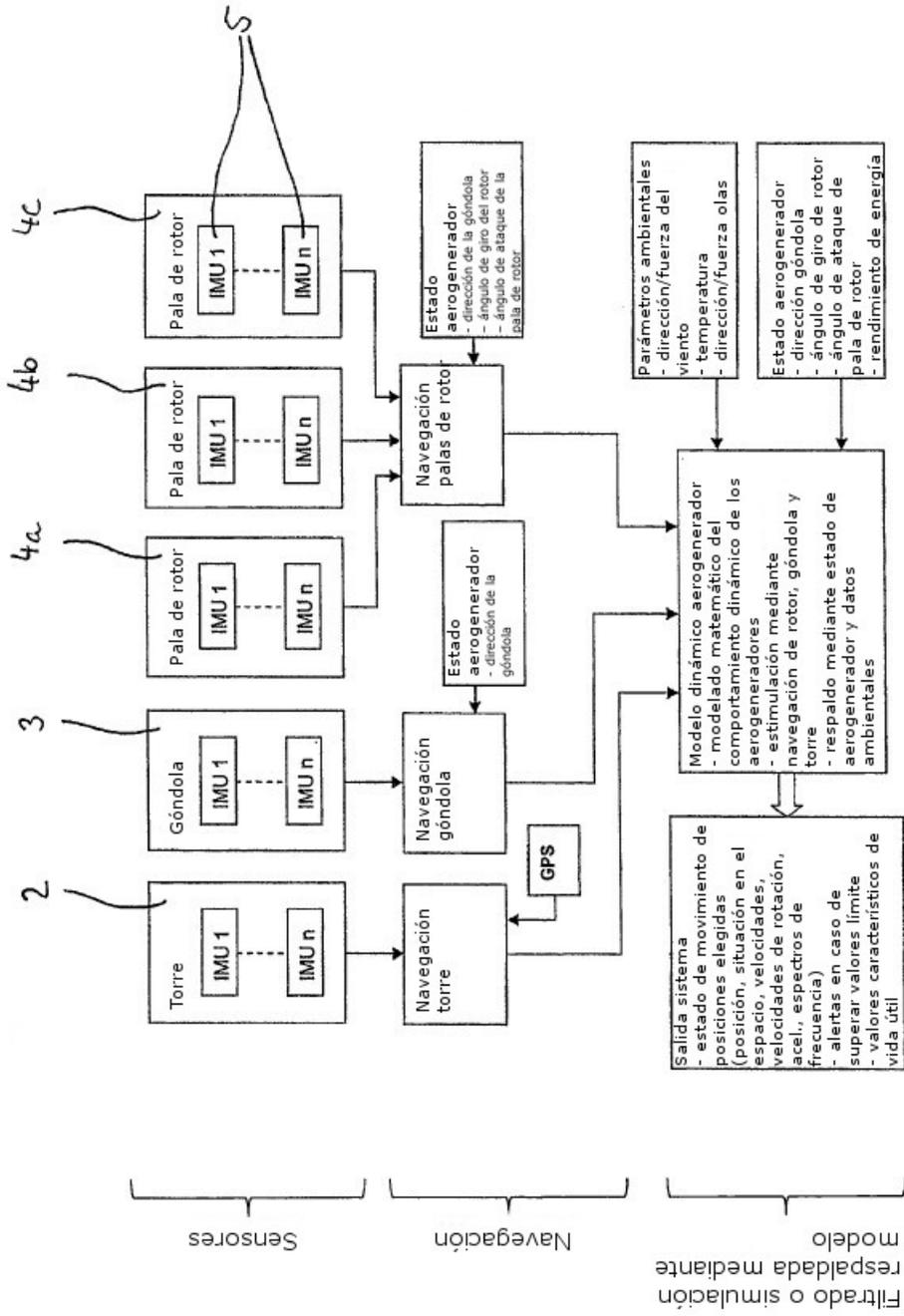


Fig. 2