

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 617 903**

51 Int. Cl.:

F03D 80/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.09.2013 PCT/EP2013/068705**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.03.2014 WO2014044575**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.09.2013 E 13763023 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.12.2016 EP 2898216**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para monitorizar estados de funcionamiento de palas de rotor**

30 Prioridad:

18.09.2012 DE 102012108776

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

20.06.2017

73 Titular/es:

**TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN (100.0%)
Arcisstrasse 21
80333 München, DE**

72 Inventor/es:

**MÜLLER, MATHIAS;
WOJTECH, ROLF y
BUCK, THORBJÖRN**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 617 903 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y dispositivo para monitorizar estados de funcionamiento de palas de rotor

Campo técnico

5 La presente invención se refiere en general a una monitorización de la operación de aerogeneradores, en particular a la monitorización del estado de una pala de rotor de aerogeneradores. La invención se refiere en particular a una disposición de sensores de fibra óptica para la determinación del estado de una pala de rotor de una instalación de energía eólica.

Estado de la técnica

10 Para la monitorización de instalaciones de energía eólica cobran importancia sistemas que califican el estado. El estado de una pala de rotor, es decir, por ejemplo desgaste, fatiga del material y otras modificaciones que pueden originarse debido al envejecimiento o al uso, es objeto de la monitorización del estado de instalaciones de energía eólica. Mediante el conocimiento del estado pueden planificarse trabajos de mantenimiento, estimarse el valor presente de la instalación y cumplirse los requisitos de seguridad de las autoridades legislativas y los clientes.

15 En las instalaciones existentes se estima el estado, por ejemplo, durante ciclos de carga, detectándose el número de ciclos de extensión, rotaciones de pala, es decir, ciclos de carga de gravitación o ráfagas de viento. Los ciclos pueden establecerse en intervalos de tiempo, por ejemplo de 10 min mediante los valores de carga máximos, y el estado se calcula a través del número de los ciclos con una carga determinada.

20 Por ejemplo, la Figura 1 muestra la curva 13: esta ilustra la rigidez de una pala de rotor, aplicada a lo largo del eje 11, como función del número de los ciclos de carga o como función del tiempo sobre el eje 12. En un periodo de tiempo relativamente corto después de la puesta en marcha disminuye la rigidez, en primer lugar, para permanecer después aproximadamente constante para el estado de operación regular, en el marco de la dependencia de otros parámetros tales como temperatura y humedad atmosférica. Si el estado de la pala de rotor ha alcanzado un valor crítico, es decir, si está presente un excesivo envejecimiento, carga o similar, la rigidez disminuye, pudiendo originarse poco después una falla de material. El estado de la disminución de rigidez está representado en la zona entre la línea auxiliar 20 y 22, pudiendo originarse a partir de la línea auxiliar 22 una falla de material.

25 El documento US 2009/180875 A1 describe un procedimiento para la determinación del esfuerzo de fatiga de una turbina eólica y para el control del esfuerzo de fatiga así como turbinas eólicas correspondientes. El procedimiento para la determinación del esfuerzo de fatiga de una turbina eólica que se encuentra en operación comprende una facilitación de una función de transmisión que relaciona un valor de medición de un primer sensor con un valor de medición de un segundo sensor. El primer y el segundo valor de medición se obtienen usando una turbina eólica de referencia, en la que están colocados primeros y segundos sensores. Un tercer sensor está colocado en la turbina eólica que se encuentra en operación y se corresponde por el tipo y el lugar de colocación con el primer sensor. Al usar la función de transmisión se calcula un valor de función de transmisión que se corresponde con un valor de medición obtenido por el tercer sensor. A continuación se calcula el esfuerzo de fatiga de la turbina eólica que se encuentra en operación basándose en el valor de función de transmisión calculado.

Sumario de la invención

La presente invención facilita un procedimiento para monitorizar el estado de una pala de rotor de acuerdo con la reivindicación 1. Además, la presente invención facilita un dispositivo adaptado para monitorizar el estado de una pala de rotor de un aerogenerador de acuerdo con la reivindicación 8.

40 De acuerdo con una forma de realización se pone a disposición un procedimiento para monitorizar el estado de una pala de rotor de un aerogenerador. El procedimiento contiene: medir una aceleración de la pala de rotor con una primera señal, midiéndose la aceleración en una primera posición radial a una distancia predeterminada con respecto a la raíz de pala de rotor en al menos una dirección que contiene un primer componente de dirección en perpendicular al eje de la pala de rotor, medir una extensión de la pala de rotor con una segunda señal, midiéndose la extensión dispuesta en una segunda posición radial en la zona de la primera posición radial con respecto a la raíz de pala de rotor, determinar un primer cambio de posición en la primera posición radial mediante la aceleración, determinar un primer valor que se corresponde con la rigidez de pala de rotor o con la elasticidad de pala de rotor por cálculo mediante el primer cambio de posición y la extensión, y establecer el estado de pala de rotor a partir del primer valor.

50 De acuerdo con una forma de realización adicional se pone a disposición un dispositivo adaptado para monitorizar el estado de una pala de rotor de un aerogenerador. El dispositivo contiene: al menos un sensor de aceleración adaptado para la medición de una aceleración de la pala de rotor, midiéndose la aceleración en al menos una dirección que contiene un primer componente de dirección en perpendicular al eje de la pala de rotor, al menos un sensor de extensión adaptado para la medición de una extensión de la pala de rotor con una segunda señal, midiéndose la extensión dispuesta en una segunda posición radial en la zona de una primera posición radial del sensor de aceleración hasta la raíz de pala de rotor, y una unidad de evaluación, que está unida con el al menos un

5 sensor de aceleración para la recepción de una primera señal desde el sensor de aceleración y que está unida con el al menos un sensor de extensión para la recepción de una segunda señal desde el sensor de extensión, y efectuándose la recepción de la primera señal desde la primera posición radial a una distancia predeterminada con respecto a la raíz de pala de rotor, estando adaptada la unidad de evaluación para determinar un primer cambio de posición en la primera posición radial mediante la primera señal del sensor de aceleración, y estando adaptada la unidad de evaluación para determinar un primer valor que se corresponde con la rigidez de pala de rotor o con la elasticidad de pala de rotor por cálculo mediante el primer cambio de posición y de la segunda señal.

Breve descripción de los dibujos

10 Están representados ejemplos de realización en los dibujos y explicados en más detalle en la siguiente descripción. En los dibujos muestran:

- las Figuras 1 y 2 muestran curvas para ilustrar la dependencia de la rigidez o un tamaño análogo o un valor correspondiente del estado de una pala de rotor y otros parámetros, así como explicar la información usada para formas de realización de la invención;
- 15 la Figura 3 muestra esquemáticamente una pala de rotor con una disposición o un dispositivo adaptado para monitorizar el estado de una pala de rotor de un aerogenerador de acuerdo con formas de realización descritas en este caso;
- las Figuras 4 y 5 muestran un aerogenerador y un rotor para la explicación de las transformaciones de señales y valores usadas para formas de realización;
- la Figura 6 muestra esquemáticamente un desarrollo ejemplar de una señal de aceleración;
- 20 la Figura 7 muestra esquemáticamente una evaluación correspondiente de la señal de la Figura 6;
- la Figura 8 muestra esquemáticamente una evaluación adicional de la señal de la Figura 6;
- las Figuras 9A y 9B muestran esquemáticamente sensores de aceleración para el uso en formas de realización descritas en este documento y
- 25 la Figura 10 muestra un diagrama de desarrollo de un procedimiento para monitorizar el estado de una pala de rotor de un aerogenerador de acuerdo con formas de realización de la invención.

En los dibujos, las mismas referencias denominan componentes o etapas iguales o con función igual.

Modos de realización de la invención

A continuación se hace referencia detallada a distintas formas de realización de la invención, estando ilustrados uno o varios ejemplos en los dibujos.

30 De acuerdo con formas de realización de la invención, para la monitorización o determinación de un estado de una pala de rotor se usa un sensor de extensión, en particular un sensor de extensión atermal, en combinación con uno o varios sensores de aceleración. De acuerdo con formas de realización típicas se usan sensores de aceleración de fibra óptica y sensores de fibra óptica.

35 Uno o varios sensores de aceleración pueden colocarse, por ejemplo, aproximadamente sobre la mitad del radio por la longitud de la pala de rotor. Mediante la señal de aceleración del sensor puede calcularse el desplazamiento o la flexión de la pala mediante integración. Pueden colocarse sensores de extensión en la raíz de pala. A partir de las señales de los sensores de extensión puede calcularse el momento de flexión que actúa sobre la pala. El cociente del momento de flexión con el desplazamiento es proporcional a la rigidez de la pala de rotor. La rigidez del material de la pala de rotor puede verse como medida para el estado o la resistencia del material del rotor. A este respecto, la resistencia disminuye cuando se desgarran fibras individuales en un material compuesto de fibras o la unión delamina las fibras. Por tanto, puede llevarse a cabo una medición *in situ* del estado de pala con las disposiciones o procedimientos descritos. A este respecto, la medición *in situ* posibilita un reconocimiento mejorado de envejecimiento, fatiga de material o similares estados críticos en comparación con una estimación sobre el número de los ciclos de carga.

45 La Figura 1 muestra un gráfico 10. En la curva 13 está aplicada sobre el eje 11 la rigidez como función del tiempo o del número de los ciclos de carga. A este respecto, el eje 12 se corresponde con el tiempo o el número de los ciclos de carga. La curva 13 muestra que al comenzar a usar una pala de rotor disminuye la rigidez en primer lugar para permanecer después aproximadamente constante durante un periodo de tiempo más largo. Este valor constante está marcado por la línea auxiliar 20. Al final de la vida útil de una pala de rotor, la rigidez disminuye de manera relativamente intensa. Como se describió anteriormente, esto puede ser causado por el desgarramiento de fibras individuales en el material compuesto de fibras o por la delaminación de la unión y de las fibras. La disminución de la rigidez de aproximadamente el 10 % al 20 %, lo que se representa por la línea auxiliar 22, induce típicamente la rotura de la pala de rotor. Esto tiene que reconocerse de manera temprana para posibilitar la operación segura de un

aerogenerador.

La disposición de medición y el procedimiento de medición con sensores, típicamente sensores de fibra óptica, de acuerdo con formas de realización de la presente invención posibilita una exactitud de medición en el intervalo del 1 %, lo que es suficiente para reconocer el descenso al final del ciclo de vida. No obstante, también influjos como la temperatura y la humedad conducen a oscilaciones en el intervalo del 1 %. Esto se representa en la Figura 2, mostrando el gráfico 32 la rigidez como función de la temperatura muestra. La temperatura está representada en este caso a modo de ejemplo y una dependencia similar puede representarse también para la humedad u otros influjos. De acuerdo con realizaciones típicas de la presente invención se establece durante los procedimientos de medición en una fase de aprendizaje la dependencia de temperatura, humedad y/u otros parámetros. Esta fase de aprendizaje se denomina en la Figura 1 mediante la zona 30. Mediante la fase de aprendizaje al comienzo del uso de la pala de rotor puede determinarse el influjo de los parámetros tales como temperatura, humedad, etc. Así puede tenerse en cuenta el influjo de estas magnitudes en la medición posterior, de modo que las oscilaciones de la rigidez basándose en estos tamaños no conducen a una seguridad en cuanto a medición.

De acuerdo con formas de realización adicionales, que pueden combinarse con otras formas de realización descritas en este documento, puede efectuarse una media de los valores de medición durante varias horas hasta varios días, ya que el estado de una pala de rotor de un aerogenerador se modifica muy lentamente. Puede efectuarse una promediación, por ejemplo, durante 1 hora hasta 5 días, en particular 12 horas hasta 3 días.

La Figura 3 muestra una pala de rotor 50 de un aerogenerador. La pala de rotor 50 tiene un eje 52 y un sistema de coordenadas orientado con respecto al mismo, es decir, un sistema de coordenadas de pala fija, que está representado en la Figura 3 de manera ejemplar mediante el eje y el eje z. La pala de rotor 50 de la Figura 3 está equipada con una disposición 300 para monitorizar el estado de la pala de rotor. La disposición 300 de la Figura 3 contiene 3 sensores de extensión 302 y un sensor de aceleración 312. Los sensores de extensión y el sensor de aceleración están unidos con una unidad de evaluación 322. Los sensores de extensión 302 están colocados en la raíz de pala 54 de la pala de rotor 50. El sensor de aceleración 312 está colocado en una posición 56, que está aproximadamente sobre la mitad de la longitud de la pala de rotor 50. De acuerdo con formas de realización típicas pueden estar colocados el o los sensores de extensión con una distancia axial con respecto a la raíz de pala de 5 m o menos. De acuerdo con formas de realización típicas adicionales, que pueden combinarse con otras formas de realización descritas en este documento, el o los sensores de aceleración pueden estar colocados en un intervalo de ± 5 m en dirección axial con respecto al centro de la pala. En este caso, la distancia axial o dirección axial se refiere al eje longitudinal 52 de la pala de rotor 50. De acuerdo con aún otras formas de realización puede estar colocado el o los sensores de aceleración en una zona desde el centro de la pala de rotor hacia la punta de la pala de rotor.

Por medio de los sensores de extensión 302 puede establecerse el momento de flexión que actúa sobre la pala. De acuerdo con formas de realización de la presente invención se puede usar al menos un sensor de extensión 302, de modo que el momento de flexión puede establecerse en una dirección. De acuerdo con formas de realización típicas adicionales, pueden usarse al menos 3 sensores de extensión 302 o al menos 4 sensores de extensión 302 para establecer un momento de flexión en el plano y-z del sistema de coordenadas representado en la Figura 3. En la disposición adecuada de 2 sensores de extensión, por ejemplo en coordenadas angulares diferentes de la raíz de pala, pueden medirse los momentos de flexión en 2 direcciones, típicamente 2 direcciones ortogonales, que actúan sobre la pala de rotor también con 2 sensores. Para ello deberían estar colocados los 2 sensores típicamente con coordenadas angulares giradas 90° , o no deberían estar colocados con coordenadas angulares giradas 180° .

El sensor de aceleración 312, que se explica en más detalle en las Figuras 9A y 9B, contiene una masa de ensayo cuya aceleración se mide en el sensor. De acuerdo con formas de realización típicas, los sensores de extensión usados y/o sensores de aceleración usados pueden ser sensores de fibra óptica. En este caso se mide ópticamente la extensión o la aceleración de la masa de ensayo mediante red de Bragg en fibra en una fibra. Mediante el uso de estos sensores puede ponerse a disposición la exactitud de medición descrita anteriormente. Además, estos sensores ofrecen propiedades ventajosas para su uso en aerogeneradores.

El uso de los sensores 302 y 312 o su disposición unos con respecto a otros y la cooperación de la unidad de evaluación 322 para la monitorización de un estado de una pala de rotor se explica en más detalle con referencia a las Figuras 4 y 5 o con referencia a las señales y valores que están representados en las Figuras 6 y 7. La Figura 4 muestra una parte de un aerogenerador 400. Sobre una torre 42 está dispuesta una góndola 44. En un buje de rotor 46 están dispuestas palas de rotor 50, de modo que el rotor (con el buje de rotor y las palas de rotor) rota en un plano representado por la línea 452. Típicamente este plano está inclinado con respecto a la perpendicular 402. La Figura 5 muestra una vista delantera de las palas de rotor 50 y el buje de rotor 46 en dirección del eje de rotación, estando representadas las coordenadas x e y en el sistema de coordenadas de pala fija, la fuerza gravitatoria o aceleración gravitatoria g, así como el sensor 312.

En una rotación del rotor de la instalación de energía eólica, el sensor de aceleración 312 mide, entre otros, la aceleración gravitatoria g, que está representada en la Figura 6 por la curva 601. Esta aceleración gravitatoria se mide en el sistema de coordenadas de acuerdo con la Figura 5 en dirección y y en dirección x. Debido a la inclinación del rotor, que está representada en la Figura 4, en el sistema de coordenadas en la Figura 5 también en dirección z la aceleración gravitatoria estará superpuesta a una señal hasta una cierta medida. La señal de medición

612 representada en la Figura 6, que se mide típicamente en la dirección y trazada en la Figura 5, está superpuesta a la señal de gravitación. Al eliminar la señal de medición de la señal de gravitación se obtiene la señal 712 representada en la Figura 7.

5 Los controles de aerogeneradores modernos contienen típicamente una denominada regulación de pitch, girándose la pala de rotor alrededor del eje 52 representado en la Figura 3. Por ello se modifica en un sistema de coordenadas de pala fija la dirección representada en la Figura 5 y durante una rotación de la pala de rotor 50 alrededor del eje 52.

10 En la observación de la aceleración medida por un sensor de aceleración 312, que contiene el influjo de la aceleración gravitatoria sobre una masa de ensayo, se requiere para la valoración mejorada de las señales una observación de los distintos sistemas de coordenadas. Por un lado, existe un sistema de coordenadas de pala fija. Este está representado en la Figura 3. Durante una rotación de la pala de rotor alrededor del eje 52, rota el sistema de coordenadas así como los sensores 302 y el sensor 312. Además, existe un sistema de coordenadas que está fijo con respecto al buje de rotor 46. A este respecto se trata de un sistema de coordenadas rotativo que puede usarse independientemente de una regulación de pitch. Además, existe un sistema de coordenadas estacionario que está fijo con respecto a la instalación de energía eólica 400 y, por tanto, fijo con respecto a la fuerza gravitatoria o aceleración gravitatoria.

20 De acuerdo con formas de realización típicas, se lleva a cabo para una corrección de la señal o de las señales del sensor de aceleración y/o de los sensores de extensión, es decir, de una señal en la dirección x, y y z en el sistema de coordenadas de pala fija, una transformación en el sistema de coordenadas estacionario, teniéndose en cuenta la rotación del rotor, el ángulo de pitch de la pala de rotor así como la inclinación del rotor, que está representada por las líneas 452 y 402 en la Figura 4. En el sistema de coordenadas estacionario la señal puede eliminarse de la aceleración gravitatoria. A continuación puede llevarse a cabo una transformación de retorno en el sistema de coordenadas, que está fijo con respecto al buje de rotor. En este sistema de coordenadas, que está fijo con respecto al buje de rotor, se establece típicamente una aceleración esencialmente en paralelo a la dirección del viento o esencialmente en paralelo al eje de rotación del rotor, que se denomina a continuación \tilde{z} , y se establece una aceleración y que está en perpendicular a z, y que se corresponde en esencia con la velocidad tangencial de la pala de rotor. Una aceleración a lo largo de la dirección x representada en la Figura 5 o una dirección \tilde{x} es en muchos casos de aplicación relevantes insignificante para la evaluación.

30 De acuerdo con formas de realización típicas, la señal o las señales, que se corresponden con una aceleración, se integra o integran por el tiempo, en particular se integran por duplicado por el tiempo para determinar un desplazamiento, cambio de posición o cambio de lugar del sensor de aceleración y con ello del desplazamiento correspondiente o cambio de lugar de la posición de pala de rotor. En este caso se asigna al sensor de aceleración un lugar en la pala de rotor. El sensor mide la aceleración en este lugar de la pala de rotor. Esta aceleración se deriva de la aceleración gravitatoria, debido a la rotación del rotor, y debido a movimientos, es decir, deformaciones de la pala de rotor. Mediante la integración de la señal por el tiempo (por duplicado) se obtiene el desplazamiento de este lugar o el cambio de posición de este lugar. El desplazamiento de este lugar en el sentido de un desplazamiento del vector de la coordenada de lugar de este lugar o el cambio de posición de este lugar en el sentido de nuevas coordenadas de lugar x' , y' y z' por la relación $x'=x+\Delta x$, $y'=y+\Delta y$, y $z'=z+\Delta z$, indicando el vector $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ el cambio de posición, se usa en este caso a modo de sinónimo.

40 En una actuación de fuerza predeterminada o en la actuación de un momento determinado, la extensión, es decir, un desplazamiento o cambio de lugar, está unida de manera proporcional con este a través del módulo de elasticidad o la rigidez de flexión. Mediante los sensores de extensión 302 representados en la Figura 3 puede determinarse el momento de flexión aportado a la pala. Por tanto, puede determinarse mediante el valor del desplazamiento o cambio de posición y el valor del momento de flexión una medida para la rigidez o la elasticidad de la pala de rotor. En este caso, el cociente obtenido a partir del momento de flexión y del desplazamiento, es decir, los momentos de flexión debidos al desplazamiento, es proporcional a la rigidez. Este valor se usa de acuerdo con formas de realización de la presente invención, que pueden combinarse con otras formas de realización, de acuerdo con la relación representada en la Figura 1, para monitorizar el estado de una pala de rotor en una instalación de energía eólica.

50 De acuerdo con formas de realización de la invención se mide la aceleración en al menos una dirección, preferentemente en la dirección descrita anteriormente, que está esencialmente en paralelo a la velocidad tangencial de la pala de rotor. En el caso de un ángulo de pitch conocido previamente para la operación normal, es decir, una ubicación de pitch típica o cada vez más habitual, esto puede ponerse a disposición mediante el correspondiente montaje de un sensor de aceleración unidimensional en la pala de rotor, es decir, en el sistema de coordenadas de pala fija. Un momento de flexión en dirección respectiva o correspondiente, es decir, en dirección paralela, puede ponerse a disposición, asimismo, mediante el montaje adecuado de un sensor de extensión 302. Por tanto, puede efectuarse de acuerdo con formas de realización de la presente invención una monitorización de estado con un sensor de aceleración unidimensional y un sensor de extensión. De acuerdo con formas de realización típicas se mide una aceleración, no obstante, en 3 direcciones y se establece una extensión o un momento de flexión mediante al menos 2 sensores de extensión a lo largo de una orientación discrecional en el plano de la raíz de pala. En este sentido puede efectuarse una monitorización independientemente del ángulo de pitch o a lo largo de varias

coordenadas en un sistema de coordenadas discrecional. El cálculo a lo largo de varias coordenadas puede conducir a una monitorización de estado fiable. Además, en caso de que se conozcan orientaciones típicas de desgaste o rotura de palas de rotor pueden monitorizarse en particular estas direcciones.

5 La Figura 6 muestra un ejemplo típico para una señal del o de los sensores de aceleración en dirección y, es decir, en un sistema de coordenadas que está estacionario con respecto al buje de rotor. Tras la corrección del influjo de la gravitación (601 en la Figura 6) se obtiene un valor 712, tal como está representado en la Figura 7. Este desarrollo puede integrarse doblemente por el tiempo para medir el desplazamiento de la pala de rotor en la posición correspondiente que se corresponde con la posición del sensor de aceleración. El desarrollo sinusoidal representado por la línea de puntos en la Figura 7 se corresponde, a este respecto, con un cambio de lugar de la posición en la pala de rotor, que se causa por la aceleración gravitatoria que actúa sobre la masa de la pala de rotor. En otras palabras: la pala de rotor se flexiona bajo su propia carga.

15 Las señales del o de los sensores de aceleración en dirección x, es decir en paralelo al eje de rotación del rotor, muestran típicamente un comportamiento dinámico con elevados componentes de frecuencia, que se causan, por ejemplo, por ráfagas de viento. Típicamente pueden filtrarse las señales de aceleración según sus componentes de frecuencia, pudiendo usarse, por ejemplo, un filtro de paso bajo. La Figura 8 muestra una transformación de Fourier, aplicándose la rigidez k por la frecuencia f. La curva 812 muestra un desarrollo típico con una zona 821 en cierto modo estática y una frecuencia propia 822. A este respecto puede aplicarse de acuerdo con formas de realización típicas un filtro de paso bajo para frecuencias de 0,6 Hz o menos, típicamente de 0,4 Hz y menos, sobre las señales o los valores de los sensores. En el caso de una velocidad de giro de, por ejemplo, 0,2 Hz resulta esta filtración para la señal representada en la Figura 7 un desarrollo sinusoidal esencialmente liso.

20 De acuerdo con formas de realización típicas adicionales pueden usarse señales en el intervalo de la propia frecuencia 822. Esta se sitúa, por ejemplo, en el intervalo de 0,8 Hz a 1,2 Hz. En el intervalo de la propia frecuencia, la pala de rotor experimenta desplazamientos de posición mayores que pueden conducir a una exactitud de medición mejorada. No obstante, dado que la evaluación de las señales debido al comportamiento complejo de la pala de rotor es más difícil, puede llevarse a cabo de acuerdo con una forma de realización preferente una evaluación con un filtro de paso bajo y un filtro de paso de banda separados entre sí en las proximidades de la frecuencia propia. Debido a la evaluación en ambos intervalos de frecuencia, es decir, debido a una evaluación adicional en el intervalo de la propia frecuencia, pueden usarse, no obstante, informaciones adicionales y, por tanto, puede alcanzarse una exactitud de medición mejorada.

30 Los sensores de aceleración 312 usados en la disposición y procedimiento descritos en este documento se describen ahora con respecto a las Figuras 9A y 9B. La Figura 9A muestra un sensor de aceleración 312, estando colocada una masa de ensayo 912 en una fibra 922 óptica. Una carcasa 902 está configurada de tal modo que en una aceleración de la masa 912 se da una extensión, es decir, un cambio de longitud relativo (alargamiento o acortamiento) de la fibra 922 óptica. Mediante la extensión de la fibra 922 se modifica la red de Bragg en fibra 924. Esto conduce a una reflexión o transmisión modificada de la red de Bragg en fibra con respecto a las longitudes de onda reflejadas o transportadas. Este cambio puede usarse como medida para la extensión de la fibra y, por tanto, indirectamente como medida para la aceleración de la masa de ensayo 912. En la Figura 9B está representado un sensor de aceleración 312. Esta disposición combina 3 de los sensores mostrados en la Figura 9A, debiéndose representar la rotación de los sensores en la ilustración una disposición tridimensional, de modo que se miden 3 valores de aceleración en un sistema de coordenadas, tal como por ejemplo un sistema de coordenadas cartesiano.

45 La Figura 10 muestra un diagrama de desarrollo para procedimientos para monitorizar el estado de palas de rotor en un aerogenerador de acuerdo con formas de realización descritas en este documento. En la etapa 1002 se mide una aceleración de la pala de rotor mediante una primera señal. En este caso se mide al menos un componente de dirección en perpendicular al eje de la pala de rotor. En la etapa 1004 se mide una extensión con una segunda señal. A partir de la primera señal para la aceleración se determina en la etapa 1006 un cambio de posición del sensor de aceleración, que se corresponde con un cambio de posición de la posición de pala de rotor correspondiente. Mediante cálculos, para los que se usan el cambio de posición y la extensión, puede obtenerse en la etapa 1008 una medida de la rigidez de la pala de rotor o elasticidad de la pala de rotor. Esta medida se usa en la etapa 1010 para la monitorización del estado de la pala de rotor.

50 De acuerdo con formas de realización típicas, se usa para la determinación del cambio de posición en el lugar del sensor de aceleración una doble integración por el tiempo. Típicamente se mide la aceleración en 3 direcciones, por ejemplo direcciones de un sistema de coordenadas cartesiano y la extensión al menos en 2 direcciones, de modo que también en este caso puede establecerse una extensión con orientación discrecional en el plano de la raíz de pala. Para la monitorización de estado puede llevarse a cabo, además, una creación de valor medio durante un periodo de tiempo de 1 hora o más, en particular una creación de valor medio durante un periodo de tiempo de un día o más. En este sentido se aumenta la exactitud de medición y el estado de la pala de rotor puede reconocerse de manera suficiente, es decir, a su debido tiempo. De acuerdo con formas de realización típicas adicionales, que pueden combinarse con otras formas de realización descritas en este documento, para la medición de la aceleración o de la extensión se usan sensores de fibra óptica, pudiendo usarse en particular sensores, con una red de Bragg en fibra. Se usan, por ejemplo, sensores de fibra óptica de aceleración en combinación con sensores de fibra óptica de extensión. Típicamente se usan para formas de realización de las disposiciones y procedimientos descritos en este

documento un sensor de extensión sobre o en las proximidades de la raíz de pala y un sensor de aceleración con una distancia axial con respecto a la raíz de pala, que es al menos la mitad del radio de pala.

Aunque la presente invención se describió anteriormente mediante ejemplos de realización típicos, esta no está limitada a los mismos, sino que puede modificarse de múltiples maneras. La invención tampoco está limitada a las posibilidades de aplicación mencionadas.

5

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para monitorizar el estado de una pala de rotor de un aerogenerador, que comprende:
- 5 medir una aceleración de la pala de rotor (50) con una primera señal, midiéndose la aceleración en una primera posición radial a una distancia predeterminada con respecto a la raíz de pala de rotor (54) en al menos una dirección que contiene un primer componente de dirección perpendicular al eje (52) de la pala de rotor; medir una extensión de la pala de rotor (50) con una segunda señal, midiéndose la extensión dispuesta en una segunda posición radial en la zona de la primera posición radialmente con respecto a la raíz de pala de rotor (54);
- 10 determinar un primer cambio de posición mediante la aceleración; determinar un primer valor que se corresponde con la rigidez de pala de rotor por cálculo mediante el primer cambio de posición y la extensión y
- establecer el estado de pala de rotor a partir del primer valor.
- 15 2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, integrándose para la determinación del primer cambio de posición la señal de la aceleración por el tiempo.
3. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 2, midiéndose la aceleración en tres direcciones y midiéndose la extensión para medir momentos de flexión en dos direcciones normalmente ortogonales.
4. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, midiéndose para el establecimiento del estado de pala de rotor el primer valor, en particular durante un periodo de tiempo de 1 hora y más.
- 20 5. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, midiéndose la aceleración con un sensor de aceleración (312) de fibra óptica y/o midiéndose la extensión con un sensor de extensión (302) de fibra óptica.
6. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5, estando la primera posición radial aproximadamente en la mitad del radio de pala o entre la mitad del radio de pala y una punta de la pala de rotor (50) y/o estando la segunda posición radial a una distancia con respecto a la raíz de pala (54) de 5 m o menos.
- 25 7. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, efectuándose para la determinación del primer valor una transformación de coordenadas en un sistema de coordenadas del aerogenerador y/o en un sistema de coordenadas del buje de rotor (46).
8. Dispositivo adaptado para monitorizar el estado de una pala de rotor de un aerogenerador, que comprende:
- 30 al menos un sensor de aceleración (312) adaptado para la medición de una aceleración de la pala de rotor (50), midiéndose la aceleración en al menos una dirección que contiene un primer componente de dirección perpendicular al eje (52) de la pala de rotor (50); al menos un sensor de extensión (302) adaptado para la medición de una extensión de la pala de rotor (50) con una segunda señal, midiéndose la extensión dispuesta en una segunda posición radial en la zona de una primera posición radial del sensor de aceleración (312) hasta la raíz de pala de rotor (54);
- 35 una unidad de evaluación (322), que está unida al por lo menos un sensor de aceleración (312) para la recepción de una primera señal desde el sensor de aceleración (312) y que está unida al por lo menos un sensor de extensión (302) para la recepción de una segunda señal desde el sensor de extensión (302), y efectuándose la recepción de la primera señal desde la primera posición radial a una distancia predeterminada con respecto a la raíz de pala de rotor (54);
- 40 estando adaptada la unidad de evaluación (322) para determinar un primer cambio de posición en la primera posición radial mediante la primera señal del sensor de aceleración (312); estando adaptada la unidad de evaluación (322) para determinar un primer valor que se corresponde con la rigidez de pala de rotor por cálculo mediante el primer cambio de posición y de la segunda señal.
9. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 8, siendo el al menos un sensor de aceleración (312) un sensor de fibra óptica y/o siendo el al menos un sensor de extensión (302) un sensor de extensión de fibra óptica.
- 45 10. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 8 a 9, estando la primera posición radial en la zona de la mitad del radio de pala hasta la punta de pala y/o estando la segunda posición radial a una distancia con respecto a la raíz de pala (54) de 5 m o menos.

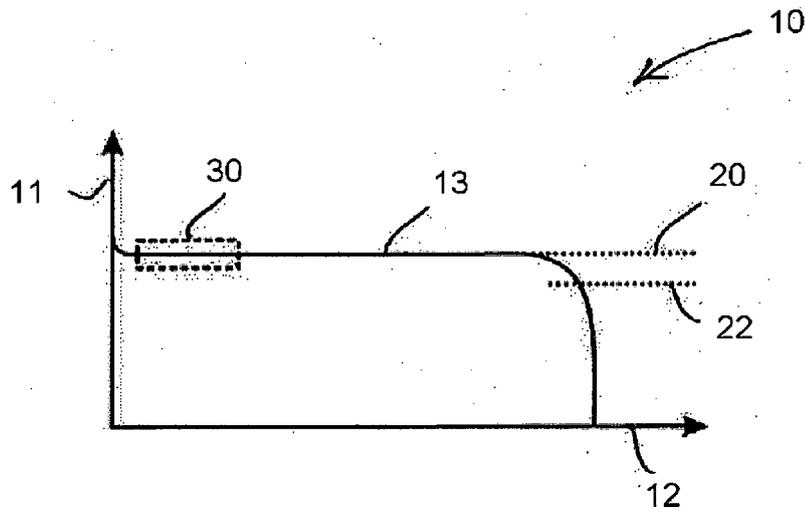


FIG. 1

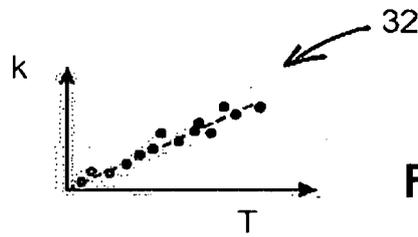


FIG. 2

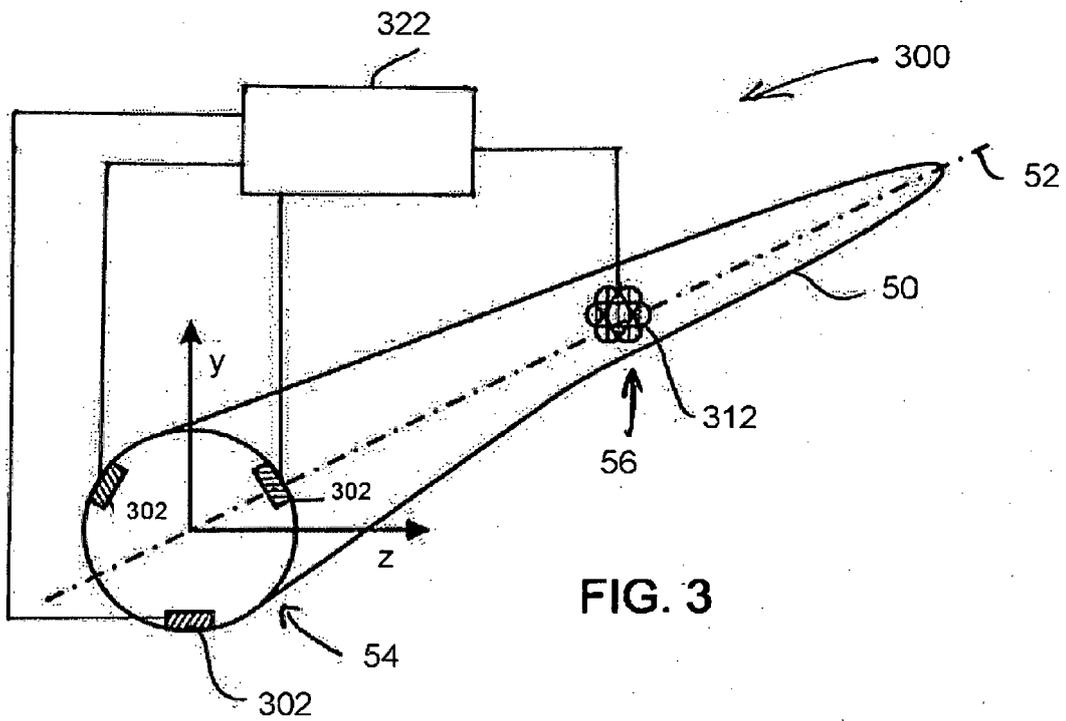
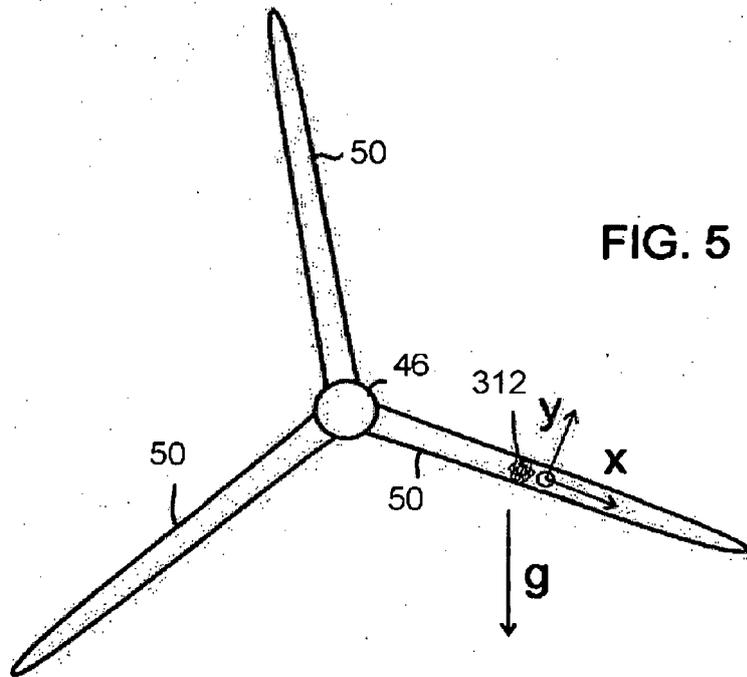
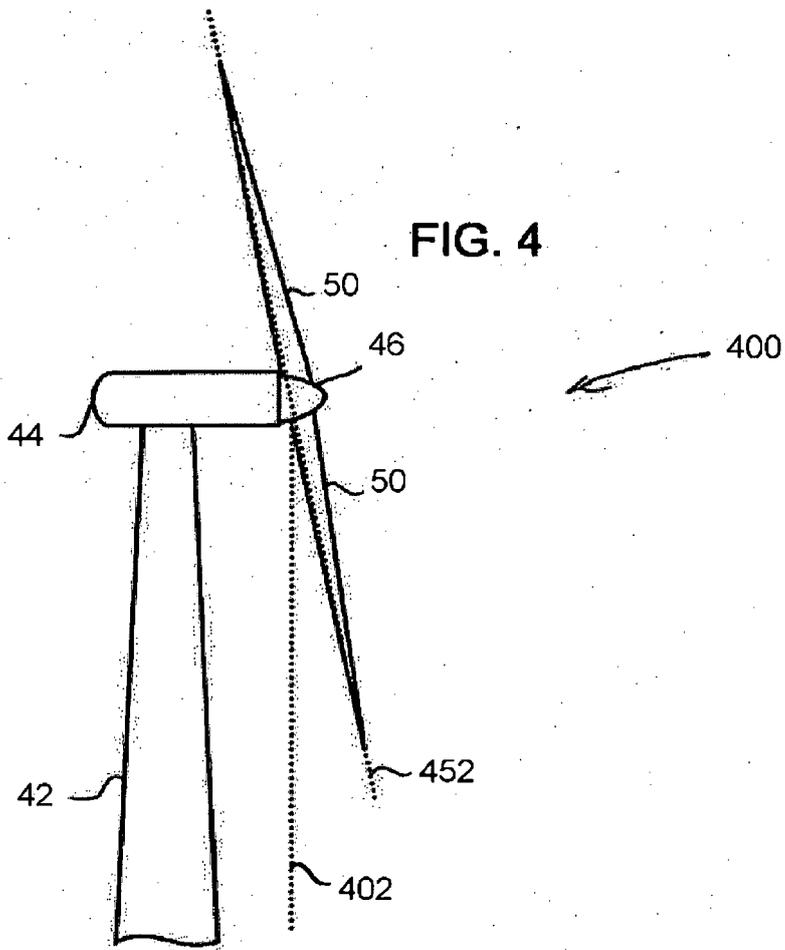
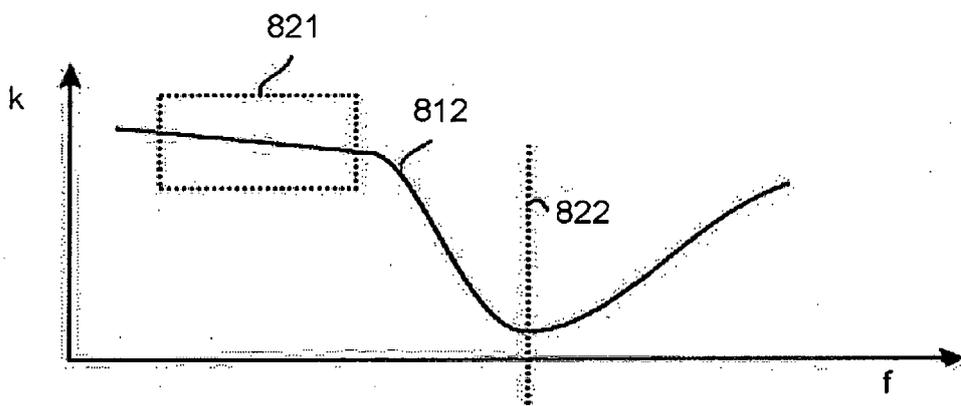
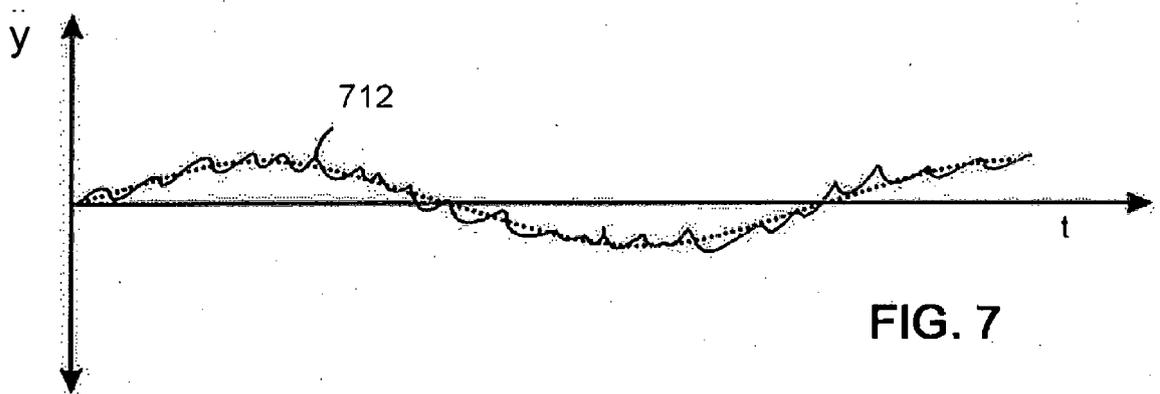
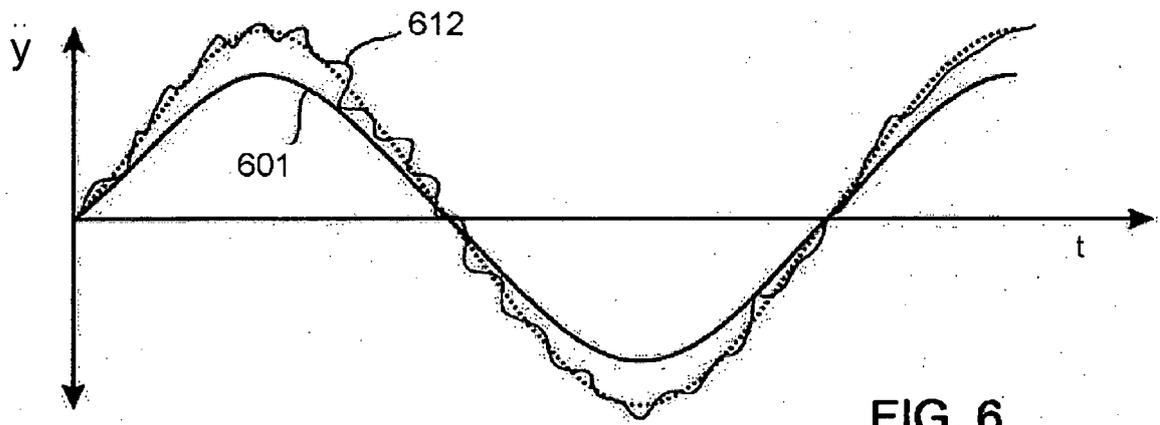


FIG. 3





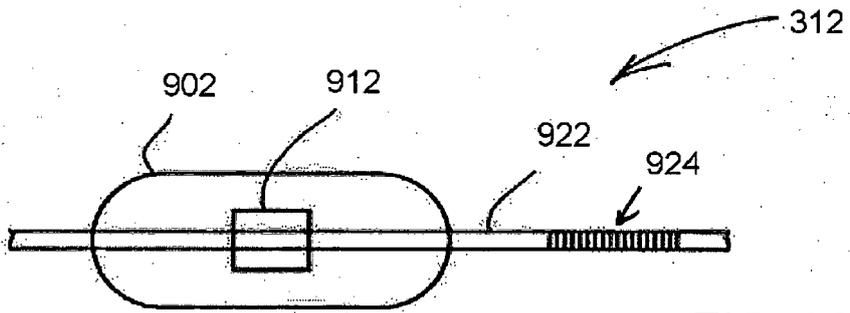


FIG. 9A

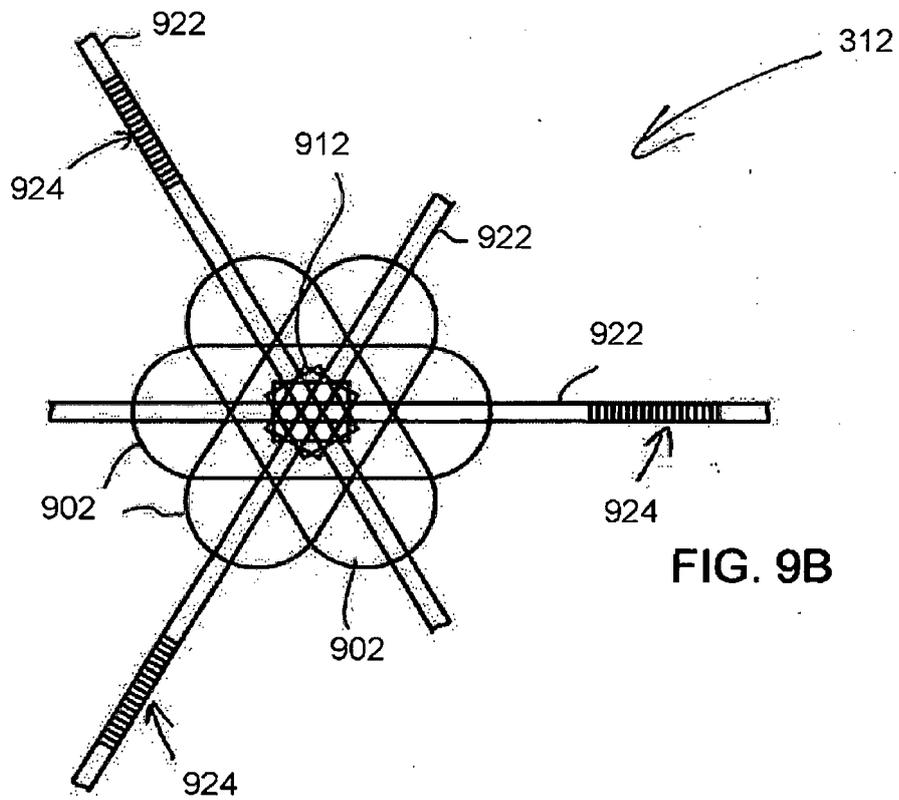


FIG. 9B

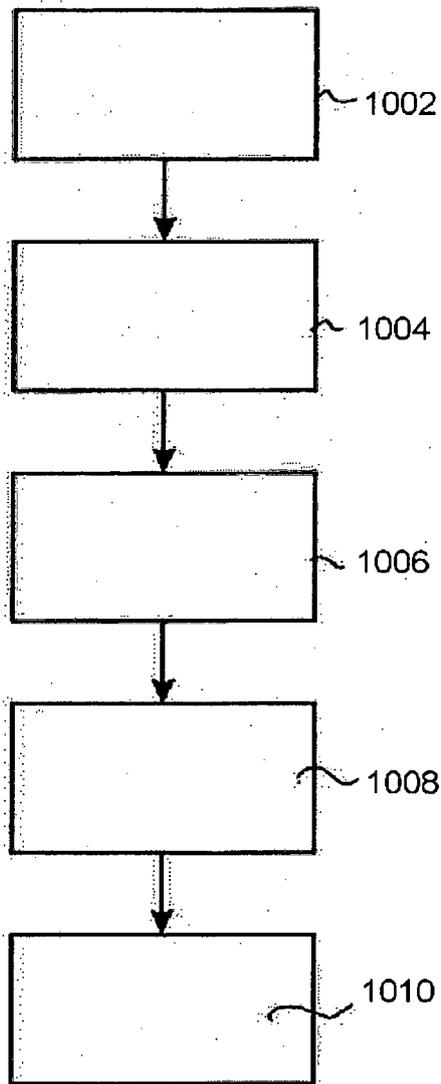


FIG. 10