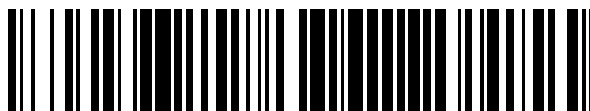


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 763 907**

51 Int. Cl.:

F03D 80/00 (2006.01)

F03D 17/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.06.2011 PCT/DK2011/050239**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.01.2012 WO12000505**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.06.2011 E 11738593 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.12.2019 EP 2588755**

54 Título: **Calibración de sensor de turbina eólica**

30 Prioridad:

29.06.2010 US 359617 P
29.06.2010 DK 201070296

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
01.06.2020

73 Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)
Hedeager 42
8200 Aarhus N , DK

72 Inventor/es:

MIRANDA, ERIK, CARL, LEHNSKOV

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 763 907 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

Calibración de sensor de turbina eólica

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un método para calibrar un sensor de turbina eólica colocado sobre un componente de una turbina eólica, comprendiendo la turbina eólica un rotor con al menos una pala de turbina eólica de paso regulable. La invención se refiere además a un sistema de control para una turbina eólica y una turbina eólica que comprende tal sistema de control configurado para calibrar un sensor de turbina eólica.

Antecedentes

Las turbinas eólicas más modernas se controlan y regulan de manera continua con el propósito de garantizar una extracción de potencia máxima del viento según el viento y clima actuales, mientras que al mismo tiempo garantizar que las cargas sobre los diferentes componentes de la turbina eólica se mantienen en todo momento dentro de límites aceptables. De manera deseable, la turbina eólica también puede controlarse para tener en cuenta variaciones locales rápidas en la velocidad del viento, las denominadas ráfagas de viento, y tener en cuenta los cambios dinámicos en las cargas sobre las palas individuales debido a, por ejemplo, la pala que pasa de la torre o la velocidad del viento real que varía con la distancia con respecto al suelo (el perfil de viento).

Para este propósito, las turbinas eólicas más modernas comprenden varios sensores colocados sobre diferentes componentes de turbina eólica tales como, por ejemplo, sobre las palas, la góndola, el buje, la cimentación o sobre la torre. Los parámetros medidos mediante estos sensores se recogen y monitorizan por los controladores de turbina eólica y siguiendo alguna estrategia de control se determinan los parámetros de control óptimos de la turbina con el fin de rendir de manera óptima en las condiciones dadas. Los métodos de controlar el rendimiento actual, y de ese modo la producción de potencia y la situación de carga de la turbina eólica, incluyen, por ejemplo, regular el paso de las palas, ajustar cualquier otro de los dispositivos aerodinámicos activos para cambiar las superficies aerodinámicas de las palas tales como medios de generación de vórtice o aletas, ajustar la potencia y/o ajustar la velocidad rotacional del rotor. Los parámetros medidos por los diferentes sensores de turbina eólica pueden, por ejemplo, incluir la velocidad y dirección de viento actual, la cizalladura y turbulencia de viento, la velocidad rotacional del rotor o el generador, el ángulo de paso de cada pala, el ángulo de guiñada, aceleraciones, tensiones o vibraciones, y pueden medirse por sensores tales como acelerómetro, anemómetros, galgas extensiométricas, fibras ópticas, etc.

Ya que las mediciones de sensor tienen un papel importante en el control de las turbinas eólicas y de ese modo influyen de manera directa o indirecta en la carga sobre las diferentes partes de turbina eólica o, por ejemplo, la producción de energía, la precisión y rendimiento general de los sensores es importante de manera correspondiente. Sin embargo, muy a menudo no hay mantenimiento o calibración regular de los sensores. Además, la inspección y calibración manual pueden requerir un equipo de servicio de mantenimiento en el emplazamiento que es tanto muy caro, que requiere mucho tiempo, como difícil de administrar. El documento US2009/0263246 da a conocer un método de calibrar un sensor de una turbina eólica. En este proceso de calibración, un valor medido de un sensor de carga se compara con un valor umbral, cuando se detecta una desviación, se calibra dicho sensor.

Descripción de la invención

Por tanto, un objeto de realizaciones de la presente invención es superar o al menos reducir alguna o todas de las desventajas descritas anteriormente de la tecnología conocida proporcionando un método eficaz para la calibración de sensores de turbina eólica que no requiere inspección manual.

Un objeto adicional de realizaciones de la invención es proporcionar un método para la calibración de sensores de turbina eólica que puede realizarse de manera automática.

Según la invención esto se obtiene mediante un método para calibrar un sensor de turbina eólica colocado sobre un componente de una turbina eólica, teniendo la turbina eólica un rotor con al menos una de pala de turbina eólica de paso regulable, comprendiendo el método las etapas de regular el paso en intervalos de tiempo de la al menos una pala según un movimiento de paso predeterminado y detectar en intervalos de tiempo una señal de respuesta del sensor de turbina eólica provocada al menos parcialmente por dicho movimiento de paso predeterminado. Además, el método comprende determinar un valor de respuesta de sensor característico en función de la al menos una señal de respuesta detectada y determinar la diferencia entre el valor de respuesta de sensor característico y un parámetro de calibración de sensor predeterminado. El sensor de turbina eólica se calibra según el valor de respuesta de sensor característico determinado en caso de que la diferencia esté por encima de un parámetro de tolerancia predefinido.

Por la presente se obtiene un método para detectar si la calibración de un sensor de turbina eólica es necesaria y para realizar la calibración de una manera simple pero eficaz y muy precisa. El método es ventajoso porque puede realizarse de manera automática y puede reducir o eliminar la necesidad de calibración regular y servicio de mantenimiento del sensor de turbina eólica. Ya que, de lo contrario, la calibración de sensor convencional normalmente implica una parte

determinada de calibración manual que requiere un equipo de servicio de mantenimiento en el emplazamiento y detención de la turbina, el método de calibración según la presente invención puede reducir los costes de mantenimiento de la turbina eólica de manera considerable.

5 Además, por la presente se obtiene un método para la calibración y detección de fallos críticos en un sensor de turbina eólica tal como un acelerómetro en la vida total de la turbina.

10 El método es simple y rápido de aplicar y, sin embargo, eficaz. Además, el método según la invención puede implementarse sobre una turbina eólica existente. Ya que el método de calibración puede implementarse mediante implementación de software pura, no es necesario hardware adicional sobre la turbina eólica que hace que el método sea más económicamente ventajoso.

15 El sensor de turbina eólica es un acelerómetro. Los sensores de turbina eólica pueden colocarse sobre cualquiera o más de los componentes de turbina eólica tales como sobre una o más de las palas (por ejemplo, en la raíz de pala o en la punta de pala), la torre, la cimentación, sobre el árbol principal, en la góndola, el buje o en los engranajes.

20 Las palas pueden regularse en paso de manera colectiva o de manera individual, o como una combinación de las mismas. El movimiento de paso predeterminado puede comprender cambiar el ángulo de paso de pala de la una o más palas según cualquier función de tiempo predeterminada tal como, por ejemplo, de manera lineal, por partes de manera lineal, de manera exponencial o sinusoidal. Las palas pueden regularse en paso según las mismas o diferentes funciones. El movimiento de paso puede comprender cambiar el paso de la una o más palas en una sola dirección o en ambas direcciones. El movimiento de paso puede realizarse en intervalos de tiempo regulares o irregulares.

25 En una realización, se predeterminan los intervalos de tiempo, de modo que el movimiento de paso puede realizarse, por ejemplo, cada día, cada semana, varias veces cada medio año, etc. Alternativa o adicionalmente, los intervalos de tiempo en los que se realiza el movimiento de paso pueden ser una función de o estar condicionados por otros parámetros, tales como, por ejemplo, la velocidad del viento, la producción de potencia, o la aceleración de torre medida, o puede realizarse bajo demanda.

30 El movimiento de paso puede ser de manera ventajosa idéntico o casi idéntico para cada detección de las señales de respuesta. Sin embargo, otras circunstancias tales como variaciones en las condiciones climáticas o desgaste en las válvulas o cojinetes de paso pueden provocar que el movimiento de paso resultante varíe ligeramente con respecto al movimiento de paso predeterminado. Tales variaciones pueden minimizarse utilizando movimientos de paso adicionales y señales de respuesta en la determinación del valor de respuesta de sensor característico.

35 En realizaciones de la invención, el valor de respuesta de sensor característico, sin embargo, puede determinarse a partir de una sola medición y un solo movimiento de paso.

40 El movimiento de paso provoca que la turbina eólica y sus componentes se deformen y se desvíen e induce vibración, esfuerzos y tensiones en, por ejemplo, las palas y la torre. La señal de respuesta del sensor de turbina eólica en consideración puede detectarse durante o al mismo tiempo que el movimiento de paso, durante un periodo de tiempo que cubre un periodo del movimiento de paso más largo o más corto o alternativa o adicionalmente durante un periodo de tiempo justo después o poco después del movimiento de paso.

45 A partir de esta o estas señales de respuesta se determina un valor de respuesta de sensor característico que es un parámetro característico con respecto a la señal de respuesta provocada por el movimiento de paso. El valor de respuesta de sensor característico puede, por ejemplo, ser o estar en función de la desviación estándar de la señal de sensor dentro de un periodo de tiempo determinado, la variación, la diferencia entre los valores máximos y mínimos alcanzados, o un valor promedio. La señal de respuesta puede filtrarse de manera ventajosa para obtener solo las frecuencias de excitación. Otros valores de respuesta de sensor característicos pueden elegirse dependiendo de la naturaleza del movimiento de paso y el tipo previsto de señal de respuesta.

50 El valor de respuesta de sensor característico determinado se compara entonces con el denominado parámetro de calibración de sensor que es el valor previsto o deseado del valor de respuesta de sensor característico para este movimiento de paso específico y como se ha determinado de antemano. Como se comenta en más detalle después, el parámetro de calibración de sensor puede determinarse, por ejemplo, a partir de simulaciones numéricas y/o a partir de mediciones de sensor iniciales realizadas sobre la misma u otra turbina eólica del mismo tipo.

60 La calibración del sensor de turbina eólica se realiza en caso de que el valor de respuesta de sensor característico se desvíe del parámetro de calibración de sensor predeterminado por más de un parámetro de tolerancia predeterminado. La calibración puede realizarse según el valor de respuesta de sensor característico determinado y puede realizarse de manera automática y meramente por medio de software.

65 En una realización de la invención, puede establecerse un parámetro de alerta si el valor de respuesta de sensor característico determinado está fuera de la banda de tolerancia por más de algún factor, y/o en caso de repetición de deriva por el sensor. Un parámetro de alerta activado o establecido puede utilizarse para atraer la atención a la

aparente necesidad de sustituir o reparar el sensor de turbina eólica de una manera automática minimizando la necesidad de inspección manual o control.

5 Además, manteniendo en cuenta el parámetro de alerta, el software de controlador puede supervisar cuantas veces se ha calibrado de manera automática un sensor de turbina eólica tal como, por ejemplo, un acelerómetro en vista de garantizar que no suceda demasiado a menudo o como medio de retroalimentación de calidad.

10 En una realización de la invención se utiliza el mismo movimiento de paso en la calibración de más de un sensor de los mismos o diferentes tipos.

15 En una realización de la invención, se determina el valor de respuesta de sensor característico en función de varias señales de respuesta detectadas a partir de varios movimientos de paso. De esta manera, puede determinarse la calibración potencial basándose en varias mediciones realizadas por el sensor de turbina eólica que pueden recogerse a lo largo de un periodo de tiempo más corto o más largo. Por tanto, puede determinarse el valor de respuesta de sensor característico con un grado de precisión más alto porque pueden minimizarse variaciones potenciales en las señales de respuesta debido a otros parámetros que al movimiento de paso predeterminado tales como variaciones en condiciones de viento, temperatura, etc. En una realización pueden descartarse algunas señales de respuesta y no utilizarse en la determinación del valor de respuesta de sensor característico, por ejemplo, basándose en la evaluación de que las señales de respuesta se desvían de manera significativa con respecto a las otras o si la señal de respuesta se origina de una medición realizada en condiciones inaceptables, es decir, a velocidades de viento demasiado altas, etc.

25 En una realización se determina el valor de respuesta de sensor característico en función de la desviación estándar y/o de la variación máxima de la al menos una señal de respuesta. Estos parámetros se han encontrado ventajosos en la determinación de una medida característica pero robusta para el sensor provocada por el movimiento de paso.

30 En una realización adicional de la invención se determina el valor de respuesta de sensor característico en función del valor promedio de las desviaciones estándar del número de señales de respuesta. Simulaciones numéricas y datos de prueba han mostrado que el valor promedio de la desviación estándar de las respuestas de sensor proporciona una característica de medida robusta para el sensor. Este valor de respuesta característico además se ha encontrado que solo depende de manera mínima de variaciones en la precisión del movimiento de paso, por ejemplo, de ligeras variaciones en el paso o la razón de paso durante el movimiento.

35 El valor de respuesta de sensor característico puede determinarse según una realización adicional en función de un intervalo de confianza del número de señales de respuesta, donde el intervalo de confianza da un intervalo estimado de valores que es probable que incluya el valor de sensor característico, y donde se calcula el intervalo estimado a partir de un conjunto de datos de sensor dado.

40 La determinación del valor de respuesta de sensor característico según cualquiera de las funciones mencionadas anteriormente es ventajosa porque estas medidas de calidad pueden cuantificar de una manera fiable si una calibración sugerida es significativa o en su lugar está provocada por variación estadística.

45 Según una realización de la invención, se determina el parámetro de calibración de sensor predeterminado al menos parcialmente a partir de simulaciones numéricas que pueden ser ventajosas porque el parámetro de calibración de sensor puede determinarse de antemano para cada serie de turbinas eólicas y sensores de turbina eólica antes de erigir la turbina eólica. Además, las simulaciones numéricas pueden ser ventajosas en la determinación de un movimiento de paso (por ejemplo, para el paso de lubricación de paso) que puede dar valores de respuesta de sensor característicos robustos pero precisos.

50 Alternativa o adicionalmente, puede determinarse el parámetro de calibración de sensor predeterminado al menos parcialmente a partir de un conjunto inicial de mediciones realizadas sobre la misma u otra turbina eólica. Por la presente, pueden obviarse simulaciones numéricas. Además, por la presente es posible determinar el parámetro de calibración de sensor en el sensor de turbina eólica real y en la turbina eólica real y de ese modo en las condiciones de emplazamiento reales tal como se asume que funciona el sensor.

55 En una realización de la invención, la etapa de detectar la señal de respuesta a partir del sensor de turbina eólica comprende medir una aceleración de la torre de turbina eólica a lo largo de un periodo de tiempo. Por la presente, el método de calibración dado a conocer puede utilizarse de manera ventajosa en la calibración de los acelerómetros en la turbina eólica. Las aceleraciones de, por ejemplo, la góndola o la torre son a menudo parámetros muy importantes en la determinación del control óptimo para la turbina eólica. Por tanto, la precisión y exactitud del acelerómetro también son importantes de manera correspondiente. Además, se ha establecido a través de simulaciones que el método de calibración dado a conocer puede proporcionar calibración muy precisa y fiable de acelerómetros. Específicamente, se ha demostrado una fuerte correlación entre la desviación estándar de señales de aceleración de torre medidas y el paso y la razón de paso de un movimiento de paso.

65 Según una realización de la invención, la calibración del sensor de turbina eólica puede realizarse durante el

funcionamiento de la turbina eólica. Por tanto, puede minimizarse el tiempo de no producción de la turbina eólica.

En una realización de la invención, la calibración del sensor de turbina eólica puede realizarse antes de conectar la turbina eólica a una red eléctrica, por ejemplo, durante la inactividad. Por la presente, el movimiento de paso utilizado para detectar las respuestas de sensor para la calibración puede no interferir con el control normal de la turbina eólica. Además, la producción de potencia puede no afectarse por el método de calibración.

En una realización de la invención, el movimiento de paso comprende un periodo inicial de un paso constante, tal como por ejemplo un paso nulo. En consecuencia, una oscilación de la torre de turbina eólica u otros de los componentes de turbina eólica puede reducirse o disminuirse mediante lo cual pueden minimizarse los efectos de cualquier regulación de paso y/o condiciones de viento anteriores. La señal de respuesta detectada a partir de este periodo inicial puede entonces no tenerse en cuenta de manera opcional y no utilizarse en la determinación del valor de respuesta de sensor característico.

Alternativa o adicionalmente, el movimiento de paso comprende regular el paso de la al menos una pala según una función sinusoidal en el tiempo y/o regular el paso de la al menos una pala un primer ángulo de rotación en un sentido seguido por un segundo ángulo de rotación en el otro sentido. Tales movimientos de paso han mostrado dar como resultado o provocar respuestas de sensor características correspondientes que pueden formar de manera ventajosa la base para determinar un valor de respuesta de sensor característico.

El primer ángulo de rotación puede comprender un ángulo dentro del intervalo de [-5; 0] grados y dentro del intervalo de [-3; 0] grados en una realización más específica. El segundo ángulo de rotación puede comprender un ángulo dentro del intervalo de [0; 10] grados y dentro del intervalo de [0; 5] grados en una realización más específica. Alternativamente, puede invertirse el orden de la rotación de paso.

En una realización de la invención, el movimiento de paso puede comprender un movimiento de lubricación de paso. Tal movimiento de lubricación de paso podría comprender como ejemplo los patrones de paso mencionados anteriormente de una sinusoidal y/o regular el paso de la al menos una pala un primer ángulo de rotación en un sentido seguido por un segundo ángulo de rotación en el otro sentido. La mayoría de las turbinas eólicas modernas regulan el paso de las palas según algún movimiento de lubricación de paso en tiempos de poca o ninguna otra regulación de paso para garantizar que permanezcan lubricados los sistemas de paso. Utilizando tal movimiento de lubricación de paso en la calibración del/de los sensor(es) de turbina eólica no es necesaria actividad de paso adicional ya que el algoritmo de lubricación de paso que ya está activado proporciona el movimiento de paso determinista necesario.

En una realización adicional de la invención, se establece un parámetro de alerta cuando el sensor se ha calibrado un número de veces predefinido. El parámetro de alerta puede, por ejemplo, desencadenar que se realice una monitorización o prueba adicional del sensor de turbina eólica en vista de determinar con un grado de certeza mayor si el sensor necesita mantenimiento o debe renovarse. Un parámetro de alerta puede establecerse de la misma manera en caso de que el valor de respuesta de sensor característico se desvíe más de un valor determinado con respecto al parámetro de calibración.

En una realización de la invención, la regulación de paso según el movimiento de paso predeterminado se realiza cuando la velocidad del viento es inferior a un nivel predefinido y/o cuando una aceleración medida de la góndola o torre es inferior al mismo u otro nivel predefinido. En consecuencia, se inicia el movimiento de paso en condiciones de viento en calma donde la torre de turbina eólica es lo más probable que solo oscile de manera mínima o de manera moderada. De esta manera, las mediciones obtenidas a partir de los sensores de turbina eólica pueden reflejar el movimiento de paso de manera más precisa.

Según otro aspecto, la invención se refiere a un sistema de control para una turbina eólica configurado para realizar el método de calibración descrito anteriormente y para una turbina eólica que comprende un rotor con al menos una pala de turbina eólica de paso regulable y un sensor de turbina eólica colocado sobre un componente de una turbina eólica. El sistema de control puede configurarse para realizar las etapas de regular el paso en intervalos de tiempo de la al menos una pala según un movimiento de paso predeterminado, detectar en intervalos de tiempo una señal de respuesta del sensor de turbina eólica provocada al menos parcialmente por el movimiento de paso predeterminado y determinar un valor de respuesta de sensor característico en función de la al menos una señal de respuesta detectada. El sistema de control se configura además para determinar la diferencia entre el valor de respuesta de sensor característico y un parámetro de calibración de sensor predeterminado y calibrar el sensor de turbina eólica según el valor de respuesta de sensor característico determinado en caso de que la diferencia esté por encima de un parámetro de tolerancia predefinido. Las ventajas del sistema de control son tal como se describió anteriormente en relación con el método de calibración.

Según aún otro aspecto, la invención se refiere a una turbina eólica que comprende tal sistema de control tal como anteriormente. La turbina eólica comprende un rotor con al menos una pala de turbina eólica de paso regulable y un controlador de paso para regular el paso en intervalos de tiempo de la al menos una pala según un movimiento de paso predeterminado. La turbina eólica comprende además un sensor de turbina eólica colocado sobre un componente de una turbina eólica, estando colocado el sensor tal como para medir en intervalos de tiempo una señal de respuesta

provocada al menos parcialmente por el movimiento de paso predeterminado. La turbina eólica comprende además un procesador para determinar un valor de respuesta de sensor característico en función de la al menos una señal de respuesta, determinar la diferencia entre el valor de respuesta de sensor característico y un parámetro de calibración de sensor predeterminado, y calibrar el sensor de turbina eólica según el valor de respuesta de sensor característico determinado en caso de que la diferencia esté por encima de un parámetro de tolerancia predefinido. Las ventajas de la misma son tal como se describió anteriormente en relación con el método de calibración.

Breve descripción de los dibujos

A continuación, realizaciones diferentes de la invención se describirán con referencia a los dibujos, en los que: la figura 1 ilustra de manera general una turbina eólica y un sistema de control general de una turbina eólica según la presente invención, la figura 2 ilustra un movimiento de paso de pala, la razón de paso y la aceleración de torre medida durante la lubricación de paso de una pala, la figura 3 ilustra la desviación estándar de la aceleración de torre en función de la razón de paso para un número de movimientos de paso independientes y agrupados, y la figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra una realización del método de control.

Descripción detallada de los dibujos

Tal como se muestra en la figura 1, una turbina eólica 100 comprende una torre 102, una góndola 104 en la parte superior de la torre, alojando la góndola componentes de máquina, tales como caja de engranajes, generador, etc. (no mostrados). En un extremo de la góndola, una sección de buje 106 soporta una pluralidad de palas de turbina eólica 110. El rotor de la turbina eólica incluye las palas y posiblemente otras partes rotatorias. Uno o más sensores 101 pueden proporcionarse en o sobre un componente de turbina eólica tal como, por ejemplo, la sección de buje 106, en o sobre la góndola 104, en una o más de las palas 110, en la torre 102, o sobre la cimentación de turbina eólica (no mostrada). El(los) sensor(es) 102 está(n) dispuesto(s) para medir uno o más parámetros de funcionamiento sobre el rotor de turbina eólica ejercidos por el viento, tal como una aceleración de un componente de la turbina eólica, una carga de un componente de la turbina eólica, una deformación de un componente de la turbina eólica, o una velocidad rotacional de un componente de la turbina eólica. La medición de carga puede ser, por ejemplo, una medición de par de fuerzas en el buje o una tensión en la raíz de pala y llevarse a cabo por medios adecuados, tales como galgas extensiométricas, fibras ópticas, etc. La medición de aceleración puede realizarse por medio de un acelerómetro dispuesto dentro de la sección de buje, sobre la góndola, sobre la torre, o sobre el árbol principal. La medición de deformación puede realizarse, por ejemplo, mediante un dispositivo de medición de ángulo. La medición de revoluciones por minuto puede realizarse de manera conveniente sobre el árbol principal de la turbina o sobre una parte rotatoria dentro de la sección de buje, para medir la velocidad rotacional del rotor. Alternativamente, puede realizarse mediante un instrumento, que es independiente del acceso al árbol principal de la turbina eólica.

La turbina eólica puede comprender uno o más controladores tales como, por ejemplo, un controlador alojado en góndola dentro de la góndola y un controlador de lado de buje y en comunicación entre sí a través de una interfaz entre las partes estacionarias y rotatorias. Los controladores reciben entrada a partir del conjunto de sensores o unidades de medida 101 colocadas sobre diferentes componentes de la turbina eólica tales como en la góndola, en las palas o la torre. Los sensores 101 pueden proporcionar datos de entrada al uno o más controladores para procesamiento adicional de datos. Los sensores 101 pueden proporcionarse para propósitos individuales, o alguno de ellos puede replicar otros. Por ejemplo, dos de los sensores 101 pueden proporcionarse para medir la carga de pala, por lo que se proporciona uno de los sensores 102 para tomar el control si el otro falla. El sistema de control comprende un controlador de paso para determinar el valor de referencia de paso y para controlar el paso de las palas 110 de manera colectiva o de manera individual según tal valor de referencia de paso o según cualquier movimiento de paso predeterminado. Las señales de respuesta de los sensores 101 se procesan en un procesador en uno o más de los controladores para dar el valor de respuesta de sensor característico de uno o más de los sensores y para comparar este con el parámetro de calibración de sensor predeterminado para este/estos sensor(es) respectivo(s). En caso de que el valor de respuesta de sensor característico determinado a partir de la señal de respuesta se desvíe demasiado del parámetro de calibración de sensor predeterminado el sensor se calibra entonces de manera correspondiente.

La figura 2 muestra una serie de tiempo medida para una turbina que realiza un movimiento de lubricación de paso. La curva superior 201 muestra el movimiento de paso que se ilustra por el ángulo de paso γ en función de tiempo t , 202. La curva media 202 muestra la razón de paso p resultante, mientras que la curva inferior 203 muestra la señal de respuesta detectada a partir de un sensor de turbina eólica, que en este caso es un acelerómetro sobre la torre de turbina eólica que mide la aceleración de la torre a 204 a favor del viento. El movimiento de lubricación de paso en este ejemplo específico comprende regular el paso de las palas de manera colectiva un primer ángulo de rotación γ_1 205 de aproximadamente $\gamma_1=0,5^\circ$ en un sentido seguido por la regulación de paso de las palas un segundo ángulo de rotación γ_2 206 de aproximadamente $\gamma_2=3,5^\circ$ en el otro sentido. Como se puede ver a partir de la figura, el movimiento

de paso provoca vibraciones en la torre. En una realización de la invención, la diferencia entre el valor de respuesta máximo y mínimo Δa 210 en la señal de respuesta 204 se toma como medida característica para el sensor y un valor de respuesta de sensor característico. En caso de que este valor de respuesta de sensor característico determinado se desvíe del parámetro de calibración de sensor predefinido más de un parámetro de tolerancia el sensor necesita calibración y se calibra según el valor de respuesta de sensor característico determinado.

En otra realización, se determina el valor de respuesta de sensor característico a partir de más mediciones y a partir de más de una señal de respuesta detectada basándose en el mismo o casi el mismo movimiento de paso. En la figura 3 se ilustra la desviación estándar de la aceleración de la torre a 301 en función de la razón de paso máx-mín ($máx p - mín p$) 302 durante el movimiento de lubricación de paso (PLM) tal como se muestra en la figura 2 y se muestra con los puntos 303 para casi 500 mediciones.

Las cruces 305 muestran los mismos resultados después de haber agrupado los datos que están en grupos de 20 secuencias de PLM. A partir de esto, está claro que la aceleración de torre a está fuertemente correlacionada con la razón de paso y de ese modo da un valor de respuesta de sensor característico para este movimiento de paso, véanse las cruces 305.

La turbina realiza normalmente un movimiento de lubricación de paso cada 20-30 minutos en condiciones de viento en calma, por ejemplo, cuando la velocidad del viento o la aceleración medida está por debajo de límites determinados. Por tanto, un número de mediciones tales como, por ejemplo, 10-30 pueden recogerse dentro de un par de días que es más que suficiente dado que la calibración de sensor puede estimarse de manera razonable para ser necesaria solo con intervalos de $\frac{1}{2}$ -1 año. De esta manera, incluso si la velocidad del viento aumenta, lo que significa que la turbina no realiza un movimiento de lubricación de paso hay mucho tiempo para esperar a una velocidad del viento menor para recoger más datos de PLM basándose en que el sensor puede calibrarse si es necesario.

A partir de la figura 3, se presenta que la señal de acelerómetro de torre debe mostrar $0,20 \text{ m/s}^2 \pm$ alguna tolerancia de, por ejemplo, 0,02. Si el valor de respuesta de sensor característico está ligeramente fuera de la banda de tolerancia, el sensor puede calibrarse fácilmente de manera automática mediante el software que añade de manera automática la diferencia a todos los valores de señal de sensor futuros. Si el valor característico está muy fuera de la banda de tolerancia o en repetición de deriva por el sensor, puede establecerse una alerta que atrae la atención a la aparente necesidad de sustituir o arreglar el sensor. De esta manera, el software de controlador puede supervisar cuántas veces se ha calibrado un sensor tal como el acelerómetro en el presente caso de manera automática para garantizar que no suceda demasiado a menudo.

De hecho, la respuesta de aceleración de la torre depende de qué estrategia de PLM se elija. Además, depende de la altura de la torre y tipo de turbina. La banda de respuesta de acelerómetro aceptable debe elegirse por tanto dependiendo de estos factores como todos los demás parámetros de supervisión y control.

La figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra una realización del método de control según la invención. En intervalos de tiempo, una o más de las palas de turbina eólica se regulan en paso según algún movimiento de paso predeterminado $\gamma(t)$ (paso en función de tiempo t) 401. Como se describió anteriormente el movimiento de paso puede ser, por ejemplo, un movimiento de lubricación de paso y/o una función sinusoidal en el tiempo. Se mide entonces una señal de respuesta de sensor 402 y resultante del movimiento de paso, tal como, por ejemplo, la aceleración de la torre a favor del viento $a(t)$ medida por un acelerómetro sobre la torre. Un número 403 de respuestas de sensor basado en un número correspondiente de movimientos de paso puede recogerse y procesarse antes de que se determine un valor de respuesta de sensor característico Car , 404. Alternativamente, el valor de respuesta de sensor característico puede determinarse a partir de un solo movimiento de paso y una sola señal de respuesta detectada. La respuesta de sensor detectada de la etapa 402 puede filtrarse para obtener las frecuencias de excitación o por un filtro de paso alto con el fin de derivar el contenido de alta frecuencia de la señal de sensor. El valor de respuesta de sensor característico puede, por ejemplo, ser o puede determinarse como el valor promedio de la desviación estándar o valores de variación de un grupo de señales de sensor detectadas. El valor de respuesta de sensor característico Car determinado está entonces en la etapa 407 comparado con el parámetro de calibración predeterminado del sensor Cal 405 que expresa lo que debería ser de manera deseable el valor de respuesta de sensor característico Car . En caso de que la diferencia entre dichos parámetros de sensor sea mayor que un parámetro de tolerancia predefinido determinado T 406, el sensor se calibra en consecuencia, 408. Por el contrario, no es necesaria calibración de sensor, 409.

Mientras que se han descrito realizaciones preferidas de la invención, debe entenderse que la invención no está limitada de ese modo y que pueden realizarse modificaciones sin alejarse de la invención. El alcance de la invención se define mediante las reivindicaciones adjuntas, y todos los dispositivos que entran dentro del significado de las reivindicaciones, tanto literalmente o por equivalencia, están destinados a abarcarse en el mismo.

REIVINDICACIONES

1. Un método para calibrar un sensor de turbina eólica (101) colocado sobre un componente de una turbina eólica (100), teniendo la turbina eólica (100) un rotor con al menos una pala de turbina eólica de paso regulable (110), comprendiendo el método las etapas de:
 - regular el paso en intervalos de tiempo de la al menos una pala según un movimiento de paso predeterminado (401), en el que el movimiento de paso predeterminado induce una vibración de la al menos una pala de turbina eólica;
 - detectar en intervalos de tiempo una señal de respuesta del sensor de turbina eólica provocada al menos parcialmente por dicho movimiento de paso predeterminado (402), en el que el sensor de turbina eólica es un acelerómetro que mide una aceleración del componente de la turbina eólica;
 - determinar un valor de respuesta de sensor característico en función de la al menos una señal de respuesta de aceleración detectada (404);
 - determinar la diferencia entre dicho valor de respuesta de sensor característico y un parámetro de calibración de sensor predeterminado (407); y
 - calibrar el sensor de turbina eólica según el valor de respuesta de sensor característico determinado en caso de que dicha diferencia esté por encima de un parámetro de tolerancia predefinido (408).
2. Un método según la reivindicación 1, en el que se determina el valor de respuesta de sensor característico (404) en función de varias señales de respuesta detectadas a partir de varios movimientos de paso.
3. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que se determina el valor de respuesta de sensor característico (404) en función de la desviación estándar de la al menos una señal de respuesta.
4. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que se determina el valor de respuesta de sensor característico (404) en función de la variación máxima de la al menos una señal de respuesta.
5. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 2-4, en el que se determina el valor de respuesta de sensor característico (404) en función del valor promedio de las desviaciones estándar del número de señales de respuesta.
6. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 2-5, en el que se determina el valor de respuesta de sensor característico (404) en función del intervalo de confianza del número de señales de respuesta.
7. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el parámetro de calibración de sensor predeterminado se determina al menos parcialmente a partir de simulaciones numéricas.
8. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el parámetro de calibración de sensor predeterminado se determina al menos parcialmente a partir de un conjunto inicial de mediciones realizadas sobre la misma u otra turbina eólica.
9. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa de detectar la señal de respuesta a partir del sensor de turbina eólica (402) comprende medir una aceleración de la torre de turbina eólica a lo largo de un periodo de tiempo.
10. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la calibración del sensor de turbina eólica (101) se realiza durante el funcionamiento de la turbina eólica (100).
11. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la calibración del sensor de turbina eólica (101) se realiza antes de conectar la turbina eólica (100) a una red eléctrica, por ejemplo, durante inactividad.
12. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el movimiento de paso (401) comprende un periodo inicial de un paso constante.
13. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el movimiento de paso (401) comprende regular el paso de la al menos una pala según una función sinusoidal en el tiempo.
14. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el movimiento de paso (401) comprende un movimiento de lubricación de paso.

15. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el movimiento de paso (401) comprende regular el paso de la al menos una pala un primer ángulo de rotación en un sentido seguido por un segundo ángulo de rotación en el otro sentido.
- 5 16. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que se establece un parámetro de alerta cuando el sensor se ha calibrado un número de veces predefinido.
- 10 17. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la regulación de paso según el movimiento de paso predeterminado (401) se realiza cuando la velocidad del viento está por debajo de un nivel predefinido.
- 15 18. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la regulación de paso según el movimiento de paso predeterminado (401) se realiza cuando una aceleración medida de la góndola o torre está por debajo de un nivel predefinido.
- 20 19. Un sistema de control para una turbina eólica (100) que tiene un rotor con al menos una pala de turbina eólica de paso regulable (110) y un sensor de turbina eólica (101) colocado sobre un componente de una turbina eólica, el sistema de control configurado para realizar las etapas de:
- regular el paso en intervalos de tiempo de la al menos una pala según un movimiento de paso predeterminado (401), en el que el movimiento de paso predeterminado induce una vibración de la al menos una pala de turbina eólica;
 - detectar en intervalos de tiempo una señal de respuesta del sensor de turbina eólica provocada al menos parcialmente por dicho movimiento de paso predeterminado (402), en el que el sensor de turbina eólica es un acelerómetro que mide una aceleración del componente de la turbina eólica;
 - determinar un valor de respuesta de sensor característico en función de la al menos una señal de respuesta de aceleración detectada (404);
 - determinar la diferencia entre dicho valor de respuesta de sensor característico y un parámetro de calibración de sensor predeterminado (407); y
 - calibrar el sensor de turbina eólica según el valor de respuesta de sensor característico determinado en caso de que dicha diferencia esté por encima de un parámetro de tolerancia predefinido (408).
- 25 30 35 40 45 50 20. Una turbina eólica (100) que tiene un rotor con al menos una pala de turbina eólica de paso regulable (110), comprendiendo la turbina eólica un controlador de paso para regular el paso en intervalos de tiempo de la al menos una pala según un movimiento de paso predeterminado (401), en la que el movimiento de paso predeterminado induce una vibración de la al menos una pala de turbina eólica (110), comprendiendo además la turbina eólica (100) un sensor de turbina eólica (101) colocado sobre un componente de una turbina eólica, estando colocado el sensor (101) tal como para medir en intervalos de tiempo una señal de respuesta provocada al menos parcialmente por dicho movimiento de paso predeterminado (402), en la que el sensor de turbina eólica es un acelerómetro que mide una aceleración del componente de la turbina eólica, comprendiendo además la turbina eólica (100) un procesador para determinar un valor de respuesta de sensor característico en función de la al menos una señal de respuesta de aceleración (404), que determina la diferencia entre dicho valor de respuesta de sensor característico y un parámetro de calibración de sensor predeterminado (407), y que calibra el sensor de turbina eólica según el valor de respuesta de sensor característico determinado en caso de que dicha diferencia esté por encima de un parámetro de tolerancia predefinido (408).

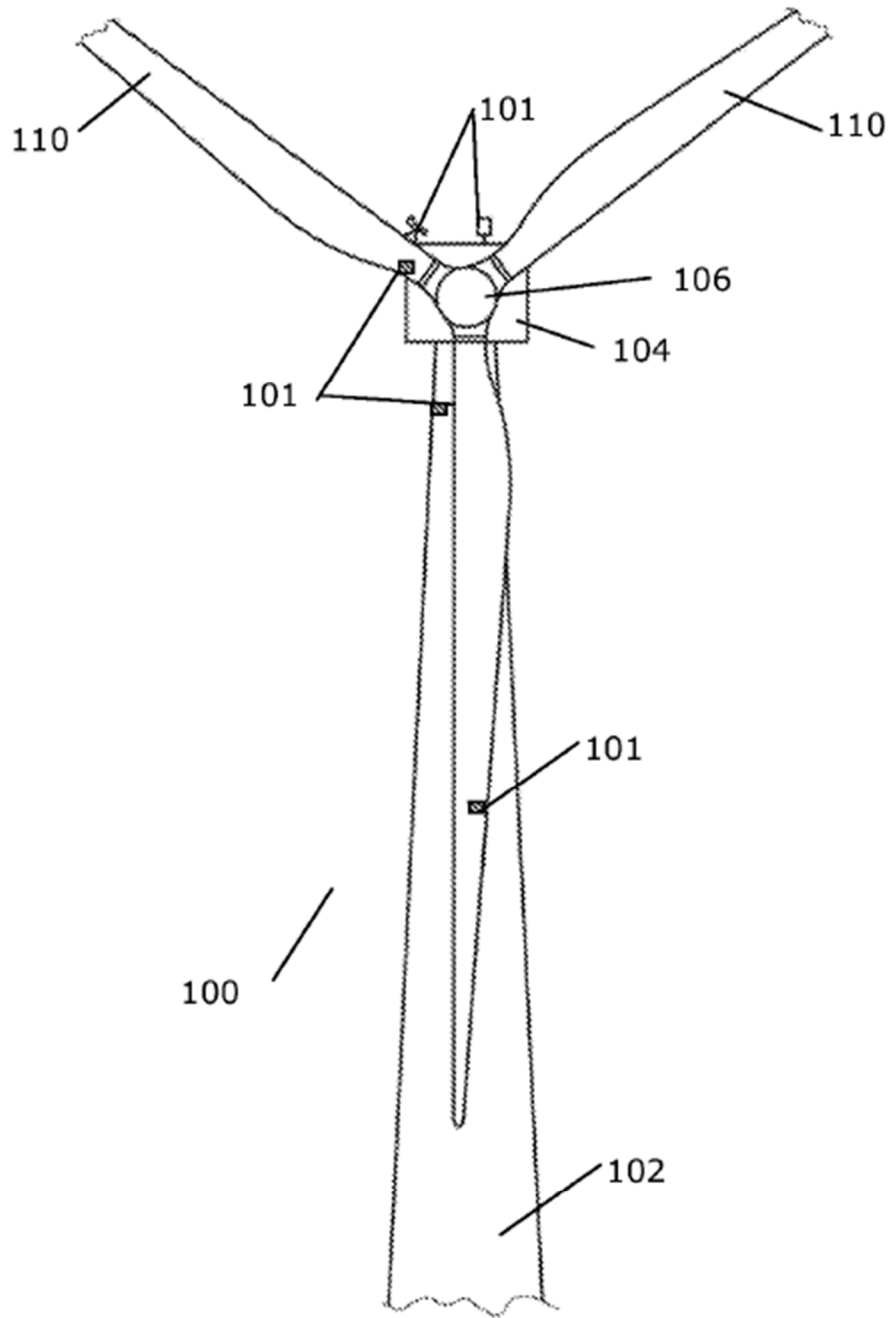


Fig. 1

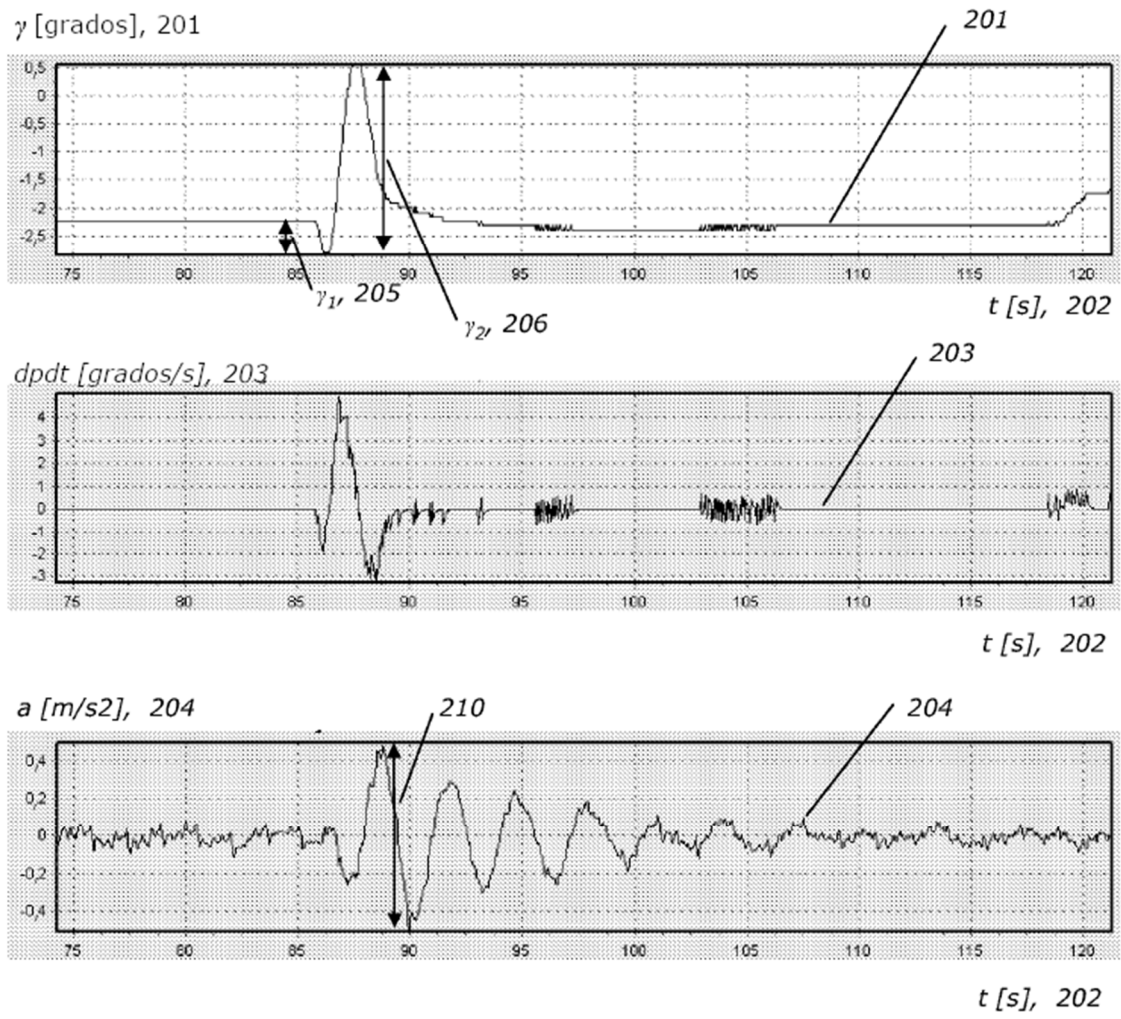


Fig. 2

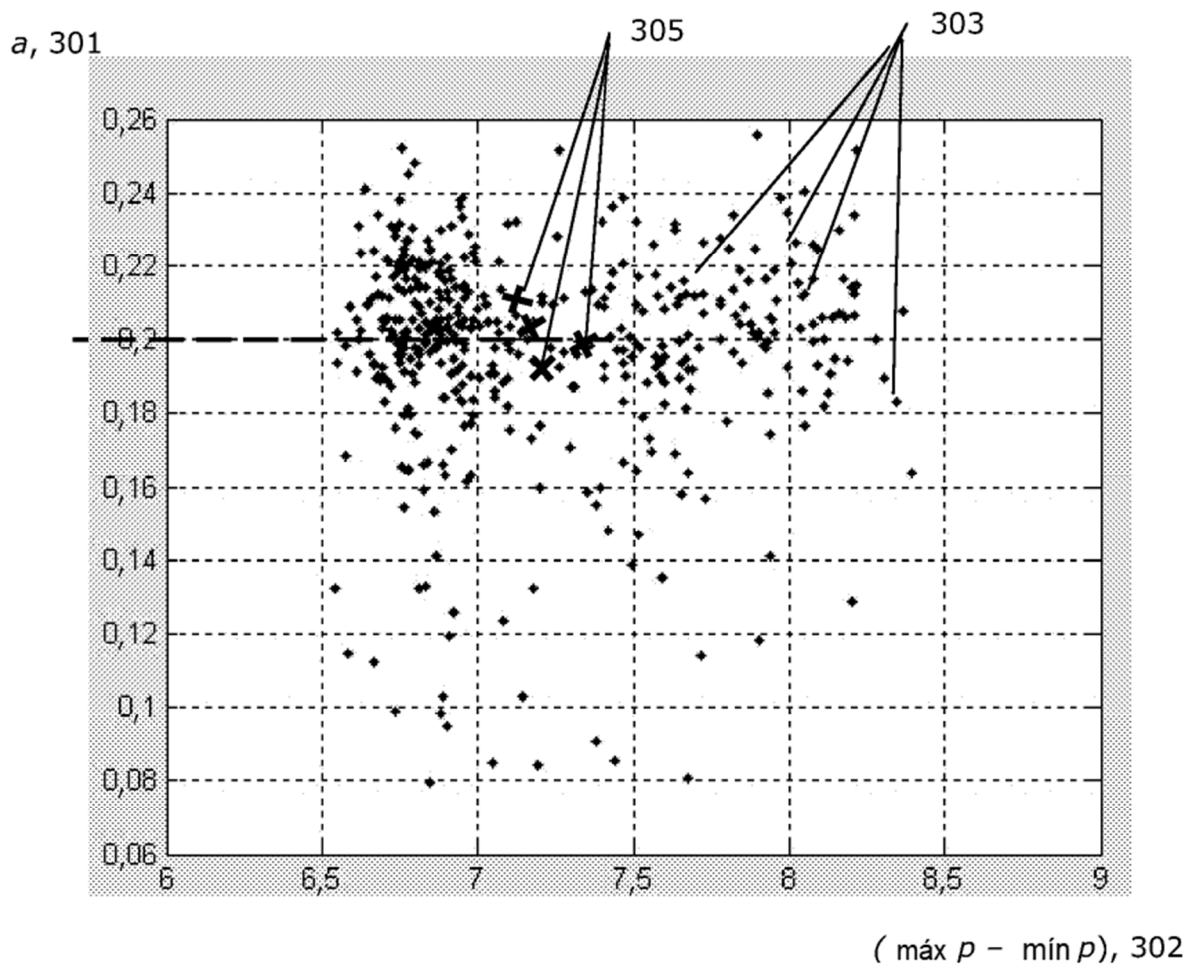


Fig. 3

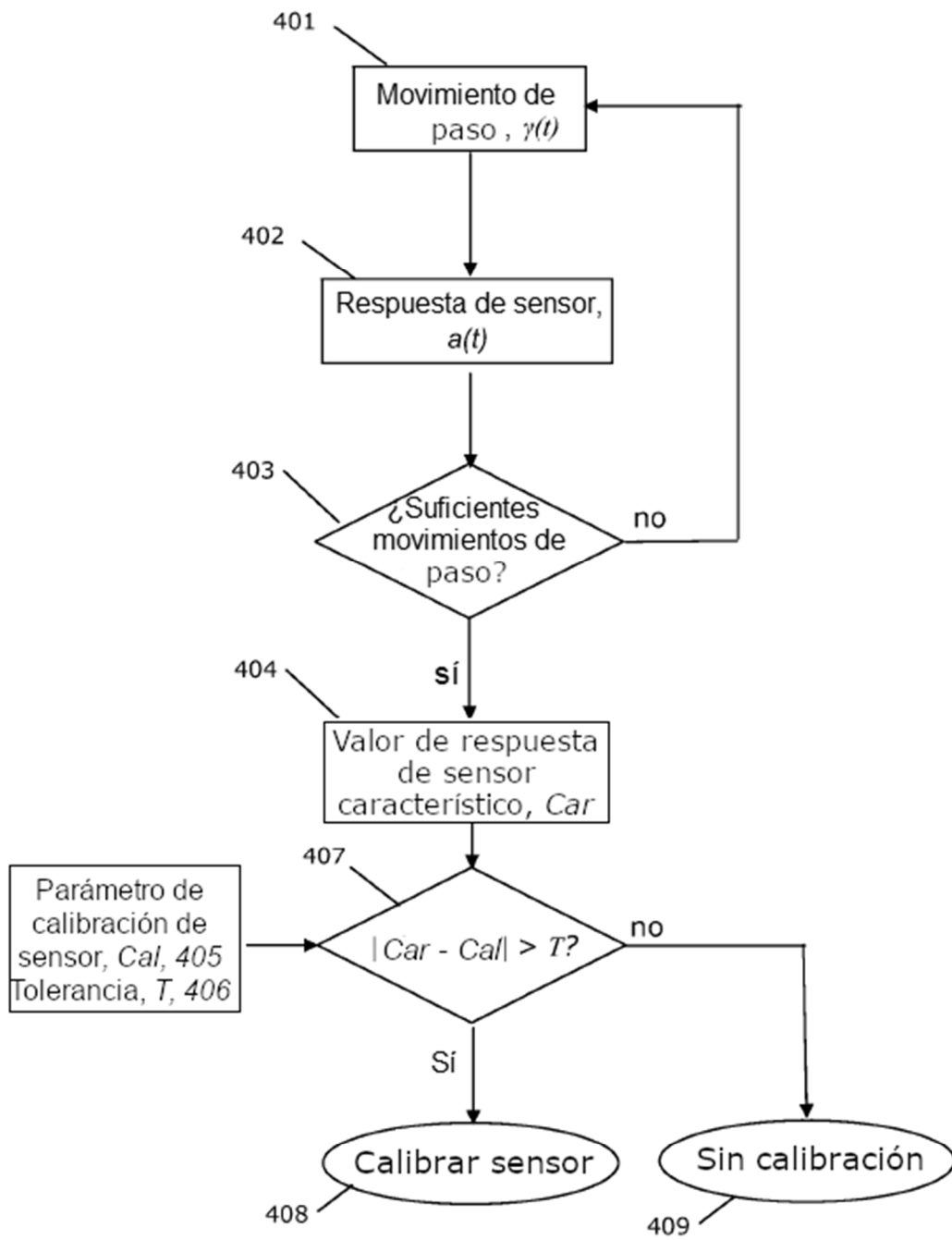


Fig. 4