

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 020 359**

51 Int. Cl.:

F03D 17/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.05.2022** E 22171926 (3)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.02.2025** EP 4273397

54 Título: **Procedimiento para identificar un fallo de sensor de un sensor de carga de una instalación de energía eólica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
22.05.2025

73 Titular/es:

**WOBBEN PROPERTIES GMBH (100.00%)
Borsigstraße 26
26607 Aurich, DE**

72 Inventor/es:

**FLÖGEL, MARTIN y
VON ASWEGE, ENNO**

74 Agente/Representante:

ERVITI ARBAIZA, Blanca María

ES 3 020 359 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para identificar un fallo de sensor de un sensor de carga de una instalación de energía eólica.

5 La invención se refiere a un procedimiento para reconocer o identificar un fallo de sensor de un sensor de carga de una instalación de energía eólica. La invención también se refiere a una instalación de energía eólica en la que se implementa dicho procedimiento.

10 Las instalaciones de energía eólica están configuradas para generar energía eléctrica a partir del viento. A causa del viento se ejercen enormes fuerzas sobre el rotor y las palas de rotor. Esto significa que las palas de rotor están expuestas a cargas extremas. Sobre las palas de rotor actúan también fuerzas adicionales debido a su propio peso.

15 Por lo tanto, una instalación de energía eólica, y en particular sus palas de rotor, deben estar configuradas para soportar estas cargas. En particular, las mediciones de las cargas que se producen pueden ser necesarias en el caso de instalaciones de energía eólica cuyas palas de rotor se pueden ajustar individualmente en su ángulo de ataque. En situaciones de viento que puedan generar cargas elevadas, se debe garantizar al menos que la instalación de energía eólica pueda funcionar de forma segura y, si es necesario, apagarse.

20 Por lo tanto, es necesario medir las cargas que actúan sobre las palas de rotor.

Normalmente, se pueden conectar sensores de carga a las palas de rotor para medir las cargas.

25 Sin embargo, puede darse el desafortunado caso de que al menos uno de los sensores o todos ellos fallen o presenten otro mal funcionamiento, por ejemplo, un bloqueo funcional. En este caso, el cálculo de la carga ya no está garantizado. Si el sensor se bloquea funcionalmente, es decir, emite señales constantes, existe el riesgo de que no se identifique el fallo del sensor, porque el hecho de que el valor de sensor no cambie durante un tiempo también podría corresponder a la situación real.

30 El problema podría evitarse, por ejemplo, instalando sensores redundantes adicionales en la pala de rotor. Las cargas que se producen podrían entonces determinarse de forma redundante y podría detectarse un error si hubiera alguna desviación. Sin embargo, esto tiene la desventaja crucial de ocasionar altos costos, especialmente cuando se deben instalar muchas instalaciones de energía eólica, como es común en un parque eólico, por ejemplo.

35 En el documento DE10219664 se describe que las señales de los sensores de diferentes palas de rotor se pueden comparar para identificar un fallo de sensor.

40 Por tanto, un objetivo de la invención es solucionar uno de los problemas mencionados y, en particular, detectar un fallo de sensor de un sensor de carga de forma rentable. Se debería proponer al menos una solución alternativa a las soluciones conocidas hasta ahora.

45 Según la invención se propone para este fin un procedimiento según la reivindicación 1. De este modo, se propone un procedimiento para identificar, o detectar, un fallo de sensor de un sensor de carga de una instalación de energía eólica con un rotor y al menos una pala de rotor. El sensor de carga está configurado para detectar una magnitud de carga de una de las palas de rotor.

50 El sensor de carga puede ser por tanto un dispositivo de medición o entenderse como un dispositivo de medición que detecta una magnitud de carga. Esta magnitud de carga puede ser una fuerza de tracción que actúa sobre la pala de rotor, por ejemplo, una fuerza de peso, o una deformación de la pala de rotor de la que se puede derivar la fuerza de tracción. Esto a su vez permite derivar una carga que actúa sobre la pala de rotor. Si se produce una gran fuerza de tracción, una gran deformación o si están presentes otras fuerzas y/o momentos, entonces hay una gran carga sobre la pala de rotor.

55 En particular, el sensor de carga puede ser un sensor de galgas extensométricas que mide el estiramiento o torsión de la pala de rotor.

60 El fallo del sensor consiste en que una señal de sensor del sensor de carga está funcionalmente bloqueada de modo que es constante en el tiempo. Por tanto, el sensor emite un valor de medición constante.

Un valor de medición o una señal de sensor casi nunca es completamente constante. Ligeras fluctuaciones son de esperar, por ejemplo, debido a interferencias de señal o ruidos, causados por la electrónica. El sensor,

o una unidad conectada para el procesamiento de señales, como un convertidor A/D, no emite un valor exacto, por ejemplo, cero, o un valor exactamente constante, aunque el sensor esté bloqueado.

5 De este modo, la señal de sensor del sensor de carga queda bloqueada funcionalmente cuando cambia la magnitud de carga que actúa físicamente sobre la pala de rotor, pero el sensor de carga no detecta este cambio; la señal del sensor no cambia con el tiempo, salvo algo de ruido, aunque fuera de esperar que se produjera un cambio.

10 Lo que es especialmente problemático es que la señal de sensor también puede ser casi constante sin que haya ningún fallo, porque en ese momento no se produce ningún cambio, o solo un cambio insignificante, en la magnitud de carga. Por lo tanto, no es trivial distinguir entre una señal de sensor verdaderamente constante, para la que no se espera ningún cambio físico, y una señal bloqueada con comportamiento de ruido.

15 Sin embargo, la señal de sensor del sensor de carga se registra y se comprueba si la señal de sensor es constante a lo largo del tiempo. Además, se estima al menos una magnitud de carga de la pala de rotor. En particular, se puede estimar una fuerza de empuje sobre la pala de rotor a partir de una velocidad del viento detectada, o una fuerza gravitacional a partir del peso conocido de la pala de rotor y su posición actual.

20 Si la señal del sensor es constante en el tiempo, se realiza una prueba de comparación. Durante la prueba de comparación, dependiendo de al menos una magnitud de carga estimado, se comprueba si es de esperar que la señal del sensor no sea constante. Dependiendo de la prueba de comparación, se identifica un fallo de sensor.

25 La prueba de comparación sirve, por tanto, para determinar si la señal de sensor constante en el tiempo no era de esperar. Entonces, si la señal de sensor es constante, aunque esto no se esperaba o era de esperar, esto indica un fallo de sensor.

30 De este modo, el fallo de sensor se puede identificar cuando la señal del sensor es constante, aunque debido a la prueba de comparación se espera un cambio.

35 Una magnitud de carga estimada es una carga que no se detecta directamente, sino que se deriva de otras cantidades o magnitudes. El primer paso es estimar qué carga actúa realmente sobre la pala de rotor. La magnitud de carga estimada no necesariamente tiene que corresponder exactamente a la señal de sensor esperada. Se trata simplemente de comprobar la funcionalidad general del sensor.

40 Por lo tanto, no es importante estimar la carga con precisión, sino más bien comprobar si hay algún cambio en la carga. Los sensores de medición que solo miden cargas en su dirección de medición pueden, sin embargo, medir una componente de carga en su dirección de medición de cargas con una dirección de carga que se desvía de la dirección de medición. Una componente de carga de este tipo puede ser suficiente para comprobar si existen cambios de carga sin conocer la dirección exacta de la carga.

45 Según un aspecto, el sensor de carga está diseñado como un sensor de galgas extensométricas. El sensor de carga está dispuesto en la pala de rotor para detectar una carga de pala a través de una deformación de la pala de rotor. En particular, el sensor de carga se puede montar en una superficie de pala.

50 El sensor de carga está conectado firmemente a la pala de rotor, especialmente en la zona de la raíz de la pala de rotor. Si la pala de rotor se dobla, esto también provoca que el sensor se deforme. El sensor de carga puede medir la flexión que se produce y registrar la carga aplicada. Se pueden utilizar sensores de galgas extensométricas comunes, que también pueden denominarse galgas extensométricas. Con el procedimiento propuesto se puede examinar incluso un sensor de galgas extensométricas convencional para detectar un fallo, en particular sin hardware adicional y, en particular, sin sensores adicionales.

55 Según un aspecto adicional, la al menos una magnitud de carga estimada es una carga gravitacional que actúa sobre la pala de rotor. Esto genera una carga de pala mediante una fuerza de peso que actúa sobre la pala de rotor. En particular, la carga gravitacional estimada se determina dependiendo de una posición de rotor del rotor.

60 Debido al propio peso de la pala de rotor se genera una fuerza de peso que actúa, lo que genera un momento de flexión en la pala de rotor, que se entiende como carga gravitacional. Sin embargo, a medida que cambia la posición de la pala de rotor, cambia el momento de flexión.

Por ejemplo, si la pala de rotor está en la posición de las 6 o de las 12 en punto, es decir, está en posición vertical, el momento de flexión, es decir, la carga gravitacional, es cero. Por otra parte, la carga gravitacional es máxima cuando la pala de rotor está en la posición de las 3 o las 9 en punto, es decir, cuando está horizontal.

5 La posición de rotor también puede denominarse ángulo de rotor. La posición de rotor indica así dónde se encuentra la pala de rotor en el plano de rotor y puede especificarse en forma de ángulo.

10 Normalmente, la curva de carga gravitacional estimada es una curva sinusoidal que depende del ángulo de rotor o de la posición de rotor. Para determinar la carga gravitacional con mayor precisión, también se puede tener en cuenta el ángulo de ataque de la pala de rotor. El ángulo de ataque influye en la dirección en la que la carga actúa sobre la pala de rotor, es decir, la dirección de carga. Al sensor de carga correspondiente se le asigna de forma permanente una dirección, que aquí puede denominarse dirección de sensor o dirección de medición. Si la dirección de carga cambia al ajustar ángulo de ataque, por ejemplo, alejándose de la dirección de sensor, la amplitud de la componente de carga que apunta en la dirección de medición disminuye. El sensor de carga detecta entonces una amplitud reducida.

15 También se puede tener en cuenta un ángulo de inclinación del plano de rotor con respecto a un plano vertical o un ángulo de inclinación de un eje de rotor con respecto a un eje horizontal. El ángulo de inclinación también influye en la dirección de carga.

20 Según un aspecto adicional, la al menos una magnitud de carga estimada es una carga de viento que depende de una velocidad del viento, que actúa sobre la pala de rotor.

25 Dependiendo de la velocidad de viento, el viento actúa sobre la pala de rotor. Cuanto mayor sea la velocidad de viento, más fuerte será el impacto del viento sobre la pala de rotor.

Por tanto, se entiende por carga de viento fuerzas, en particular fuerzas de empuje, y/o momentos, como momentos de flexión, que actúan sobre la pala de rotor debido al empuje ejercido por el viento.

30 En particular, la pala de rotor experimenta una sustentación debido al viento, que depende de la velocidad de viento. Las cargas causadas por la sustentación, como la fuerza de sustentación y/o los momentos de flexión, también se consideran cargas de viento en la pala de rotor. En este sentido, el viento actúa sobre la pala de rotor.

35 La carga de viento también depende de la dirección del viento. En particular, en el contexto de esta solicitud, se entiende por carga de viento una carga de viento en la dirección del viento.

40 Si la magnitud de carga estimada es una carga de viento, esto determina qué cargas actúan sobre la pala de rotor debido al viento en función de la velocidad de viento. Una carga de viento es una carga que está causada por el viento actuando sobre la pala de rotor. Puede producirse o registrarse como momento de flexión, es decir, como torque, en la zona de la raíz de pala. Este momento de flexión o torque puede formar esta magnitud de carga. Para ello se puede medir la velocidad del viento, por ejemplo, mediante una medición LiDAR y/o una medición con anemómetro. Las mediciones LiDAR o las mediciones con anemómetro proporcionan una forma sencilla de determinar la velocidad del viento. La magnitud de la carga, es decir, la carga de viento, se puede derivar de la velocidad del viento, teniendo en cuenta, si es necesario, el ángulo de ataque de la pala de rotor y/o el ángulo de inclinación, así como la velocidad de rotación de rotor.

45 La carga de viento se determina preferiblemente en función de una variable de estado que depende de la velocidad de viento. En particular, dicha variable de estado incluye una potencia generada, una potencia de aceleración y/o un par de generador detectado. El ángulo de ataque también puede ser una variable de estado.

50 Para estimar la carga de viento, se utiliza al menos una variable de estado. La variable de estado en sí puede depender de la velocidad de viento.

55 La variable de estado puede ser una potencia generada y/o una potencia de aceleración. La potencia de aceleración del rotor se calcula teniendo en cuenta la velocidad de rotación de rotor, la aceleración de rotor y un momento de inercia del rotor y es representativa de la potencia absorbida del viento. En particular, se considera como variable de estado una potencia representativa de la velocidad de viento. Así, la potencia que absorbe el rotor en función de la velocidad de viento es representativa de la velocidad de viento. También se puede determinar, en particular estimar, la velocidad de viento y/o la magnitud de la carga teniendo en cuenta la potencia eléctrica generada y la aceleración de rotor. La carga de viento también se puede determinar o estimar directamente a partir de la potencia. Para estimar la carga de viento M y la potencia P como variable de estado, se puede suponer la siguiente relación:

$$M \propto \sqrt{P}.$$

- 5 La carga de viento M, por lo tanto, se modela como proporcional a la raíz cuadrada de la potencia P. A partir de la potencia registrada, en particular de la potencia de salida registrada de la instalación de energía eólica, se puede determinar directamente la magnitud de carga mediante un factor de proporcionalidad, que se puede conocer a partir de mediciones o valores empíricos.
- 10 Según otro aspecto, durante la prueba de comparación se comprueba en función de al menos dos magnitudes de carga estimadas si está presente el fallo de sensor existe. La primera magnitud de carga es la carga gravitacional estimada. La segunda magnitud de carga es la carga de viento estimada.
- 15 Es especialmente ventajoso tener en cuenta tanto la carga de viento estimada en la dirección del viento como la carga gravitacional estimada. Estas dos magnitudes de carga son perpendiculares entre sí, de modo que para cada ángulo de ataque de la pala de rotor se puede estimar al menos una carga en la dirección de medición. Si solo se estiman las magnitudes de carga en una dirección, en algunas situaciones, dependiendo del ángulo de ataque y del sensor, es posible que no se pueda comprobar si una magnitud de sensor variable es esperable o no.
- 20 Al tener en cuenta tanto la carga gravitacional como la carga de viento, se garantiza que, independientemente del ángulo de ataque de la pala de rotor, al menos una componente de carga en la dirección de medición del sensor de carga esté presente en todo momento y pueda tenerse en cuenta si existe una carga correspondiente.
- 25 Durante la prueba de comparación se tiene en cuenta cada magnitud de carga, en particular el cambio en cada una de las magnitudes de carga. Es suficiente que, en base a una magnitud de carga, se determine que la señal del sensor no es constante, es decir, que un cambio en la señal del sensor sea de esperar o sea esperable.
- 30 Según otro aspecto, una magnitud de carga proyectada se determina como la magnitud de carga estimada proyectada sobre una dirección de medición del sensor de carga. La magnitud de carga proyectada es, por tanto, la magnitud de carga estimada proyectada sobre una dirección de medición del sensor de carga.
- 35 El sensor de carga mide fuerzas, u otras cantidades de medición, que actúan en su dirección de medición. Si la carga no está dirigida exactamente en su dirección de medición, solo se puede medir una parte de ella, es decir, la parte proyectada, es decir, la carga proyectada.
- 40 Debido a la dirección de medición, las cargas que se producen solo se pueden medir proporcionalmente. Para evaluar si está presente un fallo de sensor, resulta ventajoso proyectar la magnitud de carga estimada sobre la dirección de medición del sensor de carga. Por lo tanto, la magnitud de carga proyectada es la carga que debe medir el sensor de carga.
- 45 La magnitud de carga proyectada puede ser una carga de viento estimada proyectada sobre la dirección de medición del sensor de carga o una carga gravitacional estimada proyectada sobre una dirección de medición del sensor de carga.
- 50 La dirección de medición de un sensor de carga puede corresponder, por ejemplo, a una dirección de giro y la de otro sensor de carga a una dirección de aleteo de la pala de rotor, al menos cuando el ángulo de ataque es de 0°. Esta disposición es especialmente útil cuando sólo se utilizan dos sensores de carga o dos pares de sensores de carga. Para este fin, los sensores de carga suelen estar dispuestos en la superficie de pala, en la zona de la raíz de pala, en la dirección longitudinal de pala, pero desplazados 90° entre sí alrededor de la raíz de pala. Sin embargo, el posicionamiento exacto no es importante. El procedimiento también permite detectar un fallo de sensor de un sensor de carga con una disposición de sensores diferente. Esto se puede tener en cuenta en la proyección correspondiente.
- 55 Durante la prueba de comparación, dependiendo de la magnitud de carga proyectada, se comprueba si era de esperar que la señal de sensor fuera constante o si era de esperar que no fuera constante.
- 60 En particular, durante la prueba de comparación se tiene en cuenta el cambio en la magnitud de carga proyectada. Si la señal de sensor es constante, esto también puede deberse a que el sensor de carga no detecta ningún componente de la magnitud de carga debido a su dirección de medición. El factor decisivo en la comprobación de si la señal del sensor debería haber cambiado es la proporción de la magnitud de carga estimada en la dirección de medición, es decir, la magnitud de carga proyectada. En particular, en la prueba

de comparación se comprueba, en función de ambas magnitudes de carga proyectadas, si era de esperar que la señal del sensor no sea constante.

5 Dependiendo de la dirección de medición y de la proyección, es posible que en un sensor no se note una primera magnitud de carga. Por tanto, la primera magnitud de carga estimada llevaría a esperar una señal constante. Sin embargo, una segunda magnitud de carga se hace notar en el mismo sensor, y por lo tanto también cualquier cambio de carga. Si esta segunda magnitud de carga cambia, sería de esperar que la señal de sensor no sea constante, lo que indicaría un sensor bloqueado. Por tanto, depende de si era de esperar que la señal de sensor no sea constante. Al comprobar si era de esperar que la señal de sensor sea constante, se comprueba también, de forma indirecta, si era de esperar la señal de sensor no sea constante.

10 Al menos dos sensores de carga están conectados con la pala de rotor. Los sensores de carga tienen diferentes direcciones de medición. Los sensores de carga están dispuestos especialmente en la superficie de pala de rotor, en la zona de la raíz de pala, y miden un estiramiento o una compresión en la dirección longitudinal de la pala de rotor. Este estiramiento o compresión se atribuye a un momento de flexión, o se determina un momento de flexión a partir de él.

20 Es especialmente posible utilizar los sensores de carga por pares, de modo que dos sensores de carga de un par estén dispuestos alrededor de la pala de rotor en un ángulo de 180° entre sí. Básicamente están dispuestos uno frente al otro. En pocas palabras, un sensor está en la parte superior, otro en la parte inferior, o uno en la parte delantera y otro en la trasera. En esta disposición por pares, el momento de flexión se puede derivar de la diferencia entre las deformaciones de los sensores del mismo par, consideradas con el signo correcto. Con dos pares de sensores se registran dos momentos de flexión, cada uno de los cuales tiene un eje de flexión alrededor del cual se dirige la flexión. Estos dos ejes de flexión son idealmente perpendiculares entre sí. En este sentido, las direcciones de flexión y, por tanto, las direcciones de medición son perpendiculares entre sí.

Por lo tanto, es especialmente ventajoso que las direcciones de medición de los sensores de carga sean perpendiculares entre sí.

30 Según un aspecto adicional, si se ha detectado que la señal del sensor es constante en el tiempo, en la prueba de comparación se determina en función de la al menos una magnitud de carga estimada, en particular en función de la al menos una magnitud de carga proyectada, si era de esperar que la señal de sensor no sea constante en el tiempo. Dependiendo de si era de esperar que la señal de sensor no sea constante en el tiempo, se identifica el fallo de sensor. Como precaución, se advierte que una magnitud de carga real nunca es exactamente constante, sino que puede presentar fluctuaciones, que sean tan pequeñas, que se sitúen por debajo de un valor límite, que sea tan pequeño, que los valores por debajo de éste puedan considerarse constantes. Esto es lo que se entiende por constante aquí.

40 En primer lugar, se comprueba si la señal de sensor es constante en el tiempo. Si no es así, es evidente que el sensor no está bloqueado. Sin embargo, si se detecta que la señal del sensor es constante a lo largo del tiempo, se comprueba si era de esperar que la señal del sensor no sea constante, es decir, si era de esperar un cambio. Para este propósito, en la prueba de comparación se considera la magnitud de carga estimada. Si esta también es constante en el tiempo, se puede explicar la señal del sensor constante en el tiempo. De lo contrario, se puede suponer que el sensor está bloqueado.

45 Es especialmente ventajoso tener en cuenta la magnitud de carga proyectada para evaluar si era de esperar que la señal del sensor no sea constante a lo largo del tiempo, es decir, si era esperable que cambiara. Dado que la señal de sensor solo mide cargas proporcionalmente debido a la dirección de medición, es ventajoso proyectar la magnitud de carga estimada en esta dirección de medición, es decir, utilizar la magnitud de carga proyectada.

50 Si la señal del sensor es constante en el tiempo, y en función de la magnitud de carga estimada una señal del sensor constante en el tiempo es de esperar, no se identifica ningún fallo de sensor. Por el contrario, un fallo del sensor se identifica cuando la señal del sensor es constante en el tiempo, pero la magnitud de carga estimada y proyectada no lo es. Es posible que la magnitud de carga no sea constante, pero su variación después de la proyección en la dirección de medición tenga una amplitud tan pequeña que una señal de sensor constante en el tiempo sea no obstante plausible y, por lo tanto, sea esperable. Este es el caso, por ejemplo, si la dirección de medición del sensor de carga es aproximadamente perpendicular a la carga y la proporción que el sensor de carga puede medir es insignificante.

60 El hecho de si era de esperar que la señal de sensor no sea constante en el tiempo también puede depender tanto de la carga de viento estimada como de la carga gravitacional estimada.

Si, por ejemplo, no existe ninguna carga de viento que produzca un momento de flexión con una dirección que no corresponde a la dirección de medición de un sensor de carga, este dispositivo de medición aún puede detectar parte de la carga de viento siempre que la carga de viento no sea perpendicular a la dirección de medición del sensor de carga. Sin embargo, si este sensor de carga no puede detectar la carga de viento o solo puede detectarla muy débilmente porque generalmente es pequeña y/o completamente o casi perpendicular a la dirección de medición, aún se puede reconocer que la señal de sensor debería haber cambiado si se esperara un cambio debido a cargas gravitacionales cambiantes. Estas cargas gravitacionales son esencialmente perpendiculares a la carga de viento en la dirección del viento y, por lo tanto, al menos una de estas dos cargas, es decir, la carga de viento o la carga gravitacional, será detectada por el sensor de carga en cuestión debido a su dirección.

En particular, las cargas gravitacionales se pueden estimar con precisión, de modo que las cargas gravitacionales estimadas sean preferidas para la evaluación, siempre que sean adecuadas en términos de su dirección y amplitud.

Según otro aspecto, durante la prueba de comparación para evaluar si era de esperar que la señal de sensor no sea constante en el tiempo se genera una desviación de prueba. La desviación de prueba representa una diferencia entre la magnitud de carga proyectada en un punto actual en el tiempo y la magnitud de carga proyectada en un punto en el tiempo en el que por última vez la señal del sensor no se detectó como constante en el tiempo.

La desviación de prueba se compara con un valor límite predeterminado. Si la desviación de prueba no supera el valor límite, es decir, si hay como máximo una variación muy pequeña, se puede esperar que la señal del sensor sea constante en el tiempo o al menos dentro de una tolerancia. En particular, se especifican diferentes valores límite para las diferentes magnitudes de carga que se tienen en cuenta. En particular, se especifica un valor límite diferente para la desviación de prueba para la carga gravitacional y para la desviación de prueba para la carga de viento.

De este modo, la magnitud de carga proyectada se determina y almacena repetidamente, por ejemplo, en pasos de tiempo discretos. Tan pronto como se detecta que la señal de sensor es constante en el tiempo, la magnitud de carga proyectada ya no se almacena. La desviación de prueba representa la diferencia entre la magnitud de carga proyectada en el momento actual y la última magnitud de carga proyectada guardada. Por lo tanto, la desviación de prueba representa el cambio esperado, pero aún no ocurrido, en la señal del sensor.

Siempre que la desviación de prueba no supere un valor límite especificado, no es de esperar una variación en la señal de sensor. Como resultado, una señal de sensor constante no identifica un fallo de sensor. Por lo tanto, la desviación de prueba permanece dentro de un rango de tolerancia especificado.

Al especificar diferentes valores límite para la desviación de prueba para diferentes cargas consideradas, se tiene en cuenta que cuanto menor sea el valor límite especificado, con mayor precisión se puede estimar una carga.

Según un aspecto adicional, si la señal de sensor se identifica como constante en el tiempo, pero después de realizar la prueba de comparación no era de esperar que fuera constante en el tiempo, se avanza o incrementa un contador. Cuando el contador alcanza un valor umbral predeterminado, se identifica el fallo de sensor.

Esta comprobación de si la señal del sensor se ha identificado como constante en el tiempo, el incremento dependiente del contador y la comprobación de si se ha alcanzado el valor umbral predeterminado se repiten sucesivamente, en particular de forma constante.

La ventaja de un contador de este tipo es que se puede establecer con qué sensibilidad se debe identificar un fallo de sensor. Una señal de sensor constante en el tiempo, que no era esperable, inicialmente solo provoca un incremento del contador. Esto puede evitar que valores atípicos individuales en la estimación provoquen la detección falsa de un sensor bloqueado, sin tener que establecer el valor límite para la desviación de prueba tan alto que los errores permanezcan sin identificar.

Según un aspecto adicional, el contador se reinicia si durante la prueba de comparación se identifica que la señal del sensor ha cambiado. De este modo, el contador se pone a cero si una señal de sensor que inicialmente se identificó como constante se identifica posteriormente como no constante. El contador se pone de nuevo al valor inicial, en particular a cero.

ES 3 020 359 T3

La idea detrás de esto es que incluso un solo cambio en la señal de sensor demuestra que el sensor no está bloqueado. De esta forma, el contador y, por tanto, la rutina de prueba en su conjunto, se pueden reiniciar por completo.

5 Sin embargo, si se detecta que la señal de sensor es constante a lo largo del tiempo y también se espera que la señal del sensor sea constante al mismo tiempo, el contador se mantiene en su lectura actual.

En ambos casos, el primer paso es comprobar si la señal de sensor ha cambiado. Si la señal de sensor ha cambiado, el contador se reinicia porque en este caso el sensor obviamente no está bloqueado.

10 Si la señal del sensor no ha cambiado y se identifica como constante en el tiempo, la prueba de comparación verifica si la señal de sensor debería haber cambiado.

15 Si no se espera un cambio en la señal de sensor, el contador se deja en el conteo o lectura actual, porque de esto no se deriva si el sensor está bloqueado o no.

20 Si se identifica, que a pesar de un comportamiento constante se espera que la señal del sensor debería haber tenido que variar, por ejemplo, debido a que la desviación de prueba excede el valor límite, el contador se incrementa, ya que esto es una señal de que el sensor está bloqueado. Por tanto, este criterio de incremento del contador, descrito anteriormente, seguirá aplicándose.

25 Así, de acuerdo a los aspectos que utilizan el contador, éste se evalúa en pasos de tiempo sucesivos. Para ello se especifica un valor umbral para el contador. El fallo de sensor se detecta o el fallo de sensor se identifica cuando el contador ha alcanzado o superado el valor umbral.

La evaluación del contador se repite sucesivamente. Por lo tanto, la prueba de comparación se utiliza para verificar repetidamente si la señal de sensor no es constante en el tiempo. En particular, la comprobación se repite mientras que el contador no alcance el valor umbral.

30 El contador se evalúa así iterativamente. Para este fin, se pueden especificar pasos de tiempo fijos en los que se lleva a cabo la evaluación. Por ejemplo, el contador se puede evaluar cada 10 ms. Sólo cuando el contador alcanza o supera el valor umbral se identifica el fallo de sensor. Sin embargo, si la señal de sensor cambia prematuramente, el contador se reinicia y no se identifica ningún fallo de sensor.

35 El procedimiento comienza de nuevo, en concreto con el contador puesto a cero, tan pronto como se detecta nuevamente una señal de sensor constante en el tiempo.

40 Según otro aspecto, en la prueba de comparación, si la señal del sensor es constante, se realiza una comparación de carga gravitacional como una comparación basada en una carga de gravedad estimada, y se realiza una comparación de carga de viento como una comparación basada en una carga de viento estimada. En cada comprobación, se avanza o incrementa un contador idéntico en un valor incremental si se establece que es de esperar que la señal de sensor no sea constante. Se considera que hay un fallo de sensor cuando el contador ha alcanzado un, o el, valor umbral predeterminado. Para la comparación de carga gravitacional se utiliza preferiblemente un valor incremental diferente al utilizado para la comparación de carga de viento.

45 Por lo tanto, la prueba de comparación se lleva a cabo utilizando tanto una carga gravitacional estimada como una carga de viento estimada. Para comprobar si es de esperar que la señal de sensor no sea constante, se puede utilizar su respectiva magnitud de carga proyectada.

50 Para este propósito, se puede formar la desviación de prueba tanto para la comparación de carga gravitacional como para la comparación de carga de viento para determinar si la señal del sensor debería haber cambiado.

55 La comparación de carga gravitacional y la comparación de carga de viento se realizan independientemente una de otra. Como resultado, el mismo contador siempre se incrementa, preferiblemente con diferentes valores incrementales. Si se espera una variación debido a una prueba de comparación, el contador no se incrementa en uno en general, sino en el valor incremental, es decir, una constante especificada de forma variable. Por lo tanto, es suficiente que una de las pruebas de comparación conduzca al resultado de que la señal del sensor debería haber cambiado para provocar un aumento en el contador.

60 Si, en base a una magnitud de carga estimada, por ejemplo, la carga gravitacional, la prueba de comparación lleva a que se espere una señal de sensor constante, el contador se dejaría inicialmente en su conteo o lectura actual. Sin embargo, si la otra prueba de comparación, en este ejemplo la comparación de carga de viento, da como resultado que se espera un cambio en la señal de sensor, el contador aumenta con el valor incremental

asociado con la carga de viento o la comparación de carga de viento. Por lo tanto, es suficiente que una magnitud de carga sea adecuada para la prueba, especialmente si es adecuada debido a su dirección en relación con la dirección de medición del sensor.

5 Sin embargo, si ambas cargas son adecuadas para la comprobación, el contador se puede incrementar más rápidamente para que se pueda identificar un fallo más rápidamente. Tener en cuenta un único contador tiene además la ventaja de que se puede identificar con especial rapidez un fallo de sensor.

10 El valor incremental en sí puede depender de un punto de funcionamiento de la instalación de energía eólica para cada prueba de comparación. En particular, se propone fijar el valor incremental en función de la velocidad de rotación (del rotor y/o del generador) y/o de la potencia de la instalación de energía eólica, que pueden caracterizar cada una o conjuntamente el punto de funcionamiento. En particular, el valor incremental de las cargas gravitacionales se puede seleccionar en función de la velocidad de rotación, es decir, en función de la
15 velocidad de rotación de la instalación de energía eólica, es decir, del rotor y/o del generador de la instalación de energía eólica. Entonces, el contador aumenta más rápido en la comparación de carga gravitacional cuanto mayor sea la velocidad.

El valor incremental se puede seleccionar de tal manera que se determine con qué rapidez se detectará a más tardar el fallo de sensor. "Con qué rapidez" puede referirse a un tiempo específico, a un evento o
20 comportamiento comparativo.

Para la comparación de carga gravitacional, esto puede ser, por ejemplo, una rotación del rotor en un ángulo determinado. El valor incremental se puede seleccionar de tal manera que después de una rotación del rotor de, por ejemplo, 90°, se alcanzaría el valor umbral, si el contador no se incrementara también mediante la
25 comparación de carga de viento, en cuyo caso iría aún más rápido.

Sin embargo, en la comparación de carga de viento, el valor incremental se selecciona de tal manera que el valor umbral se alcance como máximo después de un período de tiempo predeterminado, por ejemplo, después de 4 s. Por tanto, si la señal de sensor es constante durante 4 s, mientras que la comparación de la carga de
30 viento no permite esperar un valor constante de forma permanente, el contador alcanza el umbral y se identifica el fallo del sensor, si el contador no se incrementa también por la comparación de carga gravitacional, en cuyo caso iría aún más rápido.

Al elegir los valores incrementales, se puede especificar la rapidez con la que se identifica el fallo de sensor, si es que este ocurre. Esto tiene la ventaja de que los errores en la prueba de comparación no conducen
35 inmediatamente a la identificación de un fallo de sensor, evitándose así identificaciones erróneas.

Si se producen varias cargas, los diferentes valores incrementales hacen que el mismo contador cuente hacia arriba, con lo que el valor umbral se alcanza con especial rapidez y el fallo del sensor se identifica rápidamente.
40

Según otro aspecto, se asume que la señal de sensor es ruidosa. La señal del sensor se identifica como constante en el tiempo cuando la señal del sensor fluctúa o varía alrededor de un valor de señal y no se excede cuantitativamente una amplitud de fluctuación predeterminable o una amplitud de fluctuación predeterminable.

45 Aquí se reconoció una señal exactamente constante no es esperable, incluso si el sensor está bloqueado, Por lo tanto, una variación solo se identifica como una variación si la señal del sensor cambia en más de un umbral. La amplitud de fluctuación o amplitud de variación forma dicho umbral. Para poder detectar si la señal de sensor está bloqueada, se permite una amplitud de fluctuación o amplitud de variación; ambas también pueden denominarse amplitud de ruido admisible. Esto significa que se permite una fluctuación alrededor de un valor
50 de señal, en la que todavía se supone que es una señal de sensor constante en el tiempo. También se puede especificar el umbral. Si la señal de sensor cambia dentro de un paso de tiempo en un valor menor que el umbral especificado, se detecta una señal constante.

Según la invención se propone además una instalación de energía eólica con un sensor de carga, un rotor y al menos una pala de rotor. La instalación de energía eólica está configurada para llevar a cabo un procedimiento para detectar un fallo de sensor de acuerdo con uno de los aspectos anteriores. En particular, la instalación de energía eólica dispone de un dispositivo de medición y control en el que se implementa el procedimiento para
55 detectar el fallo del sensor.

60 La presente invención se explicará con más detalle a continuación mediante ejemplos con referencia a las figuras. Los mismos símbolos de referencia representan elementos iguales o similares.

Figura 1 muestra una instalación de energía eólica en vista en perspectiva.

Figura 2 muestra dos sensores de carga conectados a una pala de rotor.

Figura 3 muestra el procedimiento según la invención.

Figura 4 muestra un diagrama para determinar la desviación de prueba.

Figura 5 muestra el incremento de un contador debido a una carga gravitacional esperada.

Figura 6 muestra el incremento de un contador debido a una carga de viento esperada.

Figura 7 muestra diagramas de tiempo para ilustrar el incremento de un contador.

La figura 1 muestra una representación esquemática de una instalación de energía eólica según la invención. La instalación de energía eólica 100 tiene una torre 102 y una góndola 104 en la torre 102. En la góndola 104 se dispone un rotor aerodinámico 106 con tres palas de rotor 108 y un spinner 110. Durante el funcionamiento de la instalación de energía eólica, el rotor aerodinámico 106 se pone en movimiento giratorio por acción del viento y, de este modo, también hace girar un rotor electrodinámico o rodete de un generador, que está acoplado directa o indirectamente al rotor aerodinámico 106. El generador eléctrico está situado en la góndola 104 y genera energía eléctrica. Los ángulos de paso de las palas de rotor 108 se pueden modificar mediante motores de paso en las raíces de las palas de rotor 109 de las respectivas palas de rotor 108.

Un sensor de carga está conectado a al menos una de las palas de rotor 108. En particular, cada pala de rotor 108 tiene al menos dos, en particular dos pares de sensores de carga.

La figura 2 muestra una pala de rotor 108 a la que están unidos un primer y un segundo sensor de carga 112, 114. Los sensores de carga están dispuestos de forma que estén desplazados 90° alrededor de la pala de rotor.

Si la pala de rotor se flexiona, los sensores de carga 112, 114 miden una deformación. La deformación medida por el primer sensor de carga 112 se transforma en un primer momento de flexión 132, y la deformación medida por el segundo sensor de carga 114 se transforma en un segundo momento de flexión 134. Para ello se define un primer eje de flexión 122 para el primer sensor de carga 112 y para el segundo sensor de carga 114 se define un segundo eje de flexión 124, alrededor del cual se calcula el momento de flexión 132 o 134.

Ambos ejes de flexión 122, 124 son perpendiculares entre sí y, con ello, también los momentos de flexión, es decir, en el sentido de que los momentos de flexión 132, 134, que se deben determinar con los dos sensores de carga, tienen ejes de flexión 122, 124 que son perpendiculares entre sí. Las direcciones en las que apuntan los momentos de flexión pueden considerarse como direcciones de medición, de modo que en este sentido las direcciones de medición también son perpendiculares entre sí. Esto se debe a la disposición desplazada de los sensores de carga 112, 114 en un ángulo de 90°. Por lo tanto, el primer sensor de carga 112 está montado en una primera dirección de deformación 142 a lo largo de la dirección longitudinal de la pala de rotor, el segundo sensor de carga 114 está montado en una segunda dirección de deformación 144, también a lo largo de la dirección longitudinal de la pala de rotor.

La figura 3 muestra el procedimiento según la invención.

En primer lugar, se registra una señal de sensor del sensor de carga.

En un paso de prueba de constancia 210, se comprueba a continuación si la señal de sensor es constante en el tiempo, es decir, si la señal del sensor está bloqueada funcionalmente. También se consideran como constantes en el tiempo las fluctuaciones provocadas, por ejemplo, por la electrónica de evaluación.

Si en el paso de prueba de constancia 210 se detecta que la señal de sensor es constante en el tiempo, se lleva a cabo un paso de expectativa 220. En el paso de expectativa 220 se realiza luego la prueba de comparación. Por lo tanto, se comprueba además si era de esperar que la señal del sensor fuera constante en el tiempo o si era de esperar que la señal de sensor no fuera constante. Esto se realiza en función de al menos una magnitud de carga estimada de la pala de rotor.

Si en el paso de expectativa se determina que no es de esperar un comportamiento constante en el tiempo, se incrementa un contador en un paso incremental 240.

ES 3 020 359 T3

De lo contrario, si en el paso de expectativa 220 se determina que era esperable la señal de sensor constante en el tiempo, el contador se deja en la lectura o conteo actual.

5 A continuación, se produce un paso de evaluación 250, que se lleva a cabo, en cualquier caso, incluso si el contador se incrementó en el paso incremental 240.

Si, en cambio, ya se ha determinado en el paso de prueba de constancia 210 que la señal del sensor no es constante en el tiempo o que la señal del sensor ha cambiado, se lleva a cabo un paso de reinicio 230. En el paso de reinicio 230, el contador se reinicia, es decir, se pone a cero.

10 Después del paso de reinicio 230, también se lleva a cabo el paso de evaluación 250.

En el paso de evaluación 250 se evalúa el contador. Dependiendo de la lectura del contador, se identifica un fallo de sensor.

15 En cuanto se identifica que está presente un fallo de sensor, se genera un mensaje de advertencia. Si es necesario, la instalación de energía eólica se apagará o se pondrá en funcionamiento seguro.

20 Si debido a la lectura del contador en el paso de evaluación 250 no se identifica un fallo de sensor, el procedimiento se inicia de nuevo en el siguiente paso de tiempo, donde se detecta de nuevo una señal de sensor del sensor de carga y en el paso de prueba de constancia 210 se comprueba si la señal de sensor es constante en el tiempo. Por lo tanto, el proceso se repite constantemente.

25 Por tanto, el procedimiento se basa en gran medida en el resultado del paso de expectativa 220.

Para ello se estima una magnitud de carga de la pala de rotor en el paso de expectativa. Se distingue entre carga gravitacional y carga de viento. En el paso de expectativa 220, se estiman una carga gravitacional y una carga de viento.

30 Tanto la carga gravitacional estimada como la carga de viento estimada se proyectan en la dirección de medición del sensor de carga. Se determina una desviación de prueba para ambas magnitudes de carga proyectadas. La desviación de prueba es la diferencia entre la magnitud de carga proyectada en un punto actual en el tiempo y la magnitud de carga proyectada en el punto en el tiempo en el que la señal de sensor se identificó como constante en el tiempo.

35 Cualquier desviación de prueba que supere un valor límite predeterminado, ya sea para la carga gravitacional estimada o para la carga de viento estimada, conduce a un aumento del contador en el paso incremental 240. Sin embargo, se pueden asignar diferentes valores incrementales a las diferentes magnitudes de carga, por las que luego se incrementa el contador.

40 La figura 4 ilustra la determinación de la desviación de prueba de una magnitud de carga proyectada. Se muestra el sistema de coordenadas 300, en el que en la ordenada se representa la magnitud de carga L frente al tiempo t en la abscisa.

45 La señal de sensor medida 310 se muestra como una línea continua. También se muestra, en línea discontinua, a partir del instante t_1 , la magnitud de carga proyectada 320, es decir, la magnitud de carga esperada proyectada sobre la dirección de medición del sensor de carga.

50 En el rango desde el instante t_0 hasta el instante t_1 la señal de sensor varía aún con una amplitud significativa. En el instante t_1 la señal de sensor se identifica como constante en el tiempo. El instante t_1 es por tanto el momento de la última variación de señal.

55 En el instante t_1 , es decir, en el instante de la última variación de señal suficientemente grande, la magnitud de carga proyectada 320 tiene el valor P_1 en. En los siguientes pasos de tiempo, la desviación de prueba ahora se determina como la diferencia entre la magnitud de carga proyectada actual y la magnitud de carga proyectada P_1 en el momento o instante de la última variación de señal t_1 . Mientras que la desviación de prueba no supere un valor límite G en magnitud, se espera que la señal de sensor sea constante en el tiempo.

60 En el instante t_2 la magnitud de carga proyectada 320 alcanza el rango de tolerancia y tiene un valor de aproximadamente $P_2 = P_1 + G$. Para valores mayores de t , la magnitud de carga proyectada está fuera del rango de tolerancia. En consecuencia, la desviación de prueba a partir del instante t_2 es mayor en magnitud que el valor límite G .

A partir del instante t_2 se espera por tanto un cambio en la señal del sensor. Como resultado, en el siguiente paso de expectativa 220 se identifica que no es esperable una señal de sensor constante y se ejecuta el paso de conteo progresivo 240. Entre t_1 y t_2 puede haber cualquier número de pasos de tiempo. El instante t_2 puede teóricamente también ser el paso de tiempo inmediatamente siguiente, que sigue al instante t_1 .

5

Este ejemplo también muestra una alta concordancia absoluta entre la señal de sensor y la magnitud de carga proyectada. Sin embargo, dado que solo se considera la presencia de cambios por encima de los umbrales, esto no es necesario. El mismo resultado se obtendría también si la señal del sensor 310 y la magnitud de carga proyectada 320 se desplazaran entre sí en la dirección de la ordenada.

10

La figura 5 muestra un ejemplo del avance del contador cuando solo actúan cargas gravitacionales sobre la pala de rotor, o al menos solo estas varían. En el sistema de coordenadas 400, la desviación de prueba para la carga gravitacional ΔP_G se muestra en la ordenada en función del tiempo t en la abscisa.

15

La desviación de prueba determinada 410 se muestra como una curva temporal, al igual que un valor límite 420 con el valor G_G , más allá del cual se espera una variación en la señal de sensor debida a las cargas gravitacionales que se producen.

20

En el instante t_2 la desviación de prueba 410 supera el valor límite 420, por lo que se espera una variación en la señal de sensor.

25

El sistema de coordenadas 400 también tiene otra ordenada para el cambio en la posición de rotor $\Delta\phi$. A partir del instante t_2 se determina la variación en la posición de rotor, es decir, por cuántos grados continúa girando la pala de rotor. La curva 450 muestra un ejemplo de variación en la posición de rotor. Se permite una variación de señal hasta que el rotor haya girado un valor predeterminado, por ejemplo 90° . En el ejemplo, esto se alcanza en el instante t_3 .

30

El avance o incremento del contador Z se muestra con el mismo eje de tiempo debajo de la curva de desviación de prueba. El contador o el valor incremental seleccionado junto con el valor umbral están dimensionados de tal manera que se permite una variación de señal para un giro de rotor de 90° antes de que se identifique un fallo de sensor. En el instante t_3 la desviación de prueba 410 ha estado por encima del límite 420 durante el tiempo que ha sido necesario desde el instante t_2 para un giro de rotor de 90° .

35

El sistema de coordenadas 470 muestra la lectura del contador Z respecto al mismo eje de tiempo t . El contador 480 está normalizado de tal manera que cuando se alcanza el valor 1 se identifica el fallo del sensor.

40

A partir del instante t_2 la desviación de prueba 410 está por encima del valor límite 420, por lo que el contador 480 se incrementa. El valor incremental con el que se incrementa el contador 480 es proporcional a la variación en la posición de rotor y está dimensionado de tal manera que el contador 480 se incrementa justo después de un giro de rotor de 90° , es decir, en el tiempo t_3 se alcanza el valor umbral 1 y se identifica el fallo de sensor.

45

La figura 6 muestra un caso en el que sólo actúan cargas de viento sobre la pala de rotor, o al menos sólo éstas cambian. En el diagrama 500, la desviación de prueba ΔP_W , que resulta de las cargas de viento estimadas, se muestra como una curva 510 en función del tiempo t .

50

La desviación de prueba determinada 510 se muestra como una curva, al igual que un valor límite asociado 520 con el valor G_W que, a partir de ser rebasado por la desviación de prueba 510 se espera una variación de sensor. En el instante t_2 la desviación de prueba 510 excede el valor límite 520, por lo que se espera una variación en la señal de sensor.

55

El incremento del contador en el valor incremental debido a las cargas de viento está dimensionado de tal manera que se permite un cambio de sensor esperado pero fallido durante una duración de 4 s, lo que se indica mediante la diferencia de tiempo 550. En el instante t_3 la desviación de prueba 510 había sido superior al valor límite 520 durante un período de 4 s, por lo que se identificó el fallo del sensor.

60

Además, también se muestra una lectura del contador Z en el sistema de coordenadas 570 en función del tiempo t . El contador 580 está a su vez normalizado de manera que el fallo de sensor se identifica cuando se alcanza el valor umbral 1. En el instante t_2 la desviación de prueba 510 excede el valor límite 520, lo que hace que el contador 580 se incremente. El valor incremental con el que se incrementa el contador 580 debido a las cargas de viento que se producen es tal que el contador 580 alcanza el valor umbral 1 después de 4 s y se identifica el fallo del sensor.

ES 3 020 359 T3

La figura 7 ilustra el avance de un contador, en particular el contador 580 mostrado en la figura 6, y la identificación del fallo de sensor en función de ambas cantidades de carga estimadas, es decir, la carga gravitacional y la carga de viento, con lo que la simulación se basa en una situación real.

- 5 Para este propósito, la Figura 7 muestra tres sistemas de coordenadas 600, 602, 604 para el mismo tiempo, que se representa en la abscisa de los sistemas de coordenadas 600, 602, 604.

10 En el sistema de coordenadas superior 600, la señal de sensor detectada 610 se muestra con una línea continua. También se muestran las magnitudes de carga esperadas de la carga de viento 620 como línea discontinua y la carga gravitacional 630 como línea de puntos. La unidad de carga es kNm.

15 En el instante t_2 se identifica una señal de sensor constante 610. Como resultado, se determina o evalúa la desviación de prueba para la carga gravitacional. Si la desviación de prueba para la carga gravitacional está por debajo del valor límite y, por lo tanto, no provoca un incremento del contador, se determina o evalúa en su lugar la desviación de prueba de la carga de viento, es decir, en la dirección del viento. Para ello, la carga gravitacional esperada y la carga de viento esperada se proyectan en la dirección de medición del sensor de carga y se forma la respectiva diferencia de la magnitud de carga proyectada con respecto al instante t_2 , la última variación de señal.

20 El sistema de coordenadas central 602 muestra la desviación de prueba determinada ΔP en kNm para la carga de viento 622 (discontinua) así como para la desviación de prueba de la carga gravitacional 632 (punteada). Si la desviación de prueba no es superior al valor límite correspondiente, es decir, si no provoca el avance del contador, la desviación de prueba se establece en cero. Sin embargo, esto es sólo para fines ilustrativos, para mostrar cuándo cada criterio lleva al avance del contador.

25 El sistema de coordenadas 602 muestra así únicamente la desviación de prueba relacionada con el tiempo que se encuentra por encima del valor límite correspondiente y que hace que el contador avance debido al punto de funcionamiento.

30 Para la carga gravitacional y la carga de viento se aplican criterios diferentes o interpretaciones diferentes. Para la carga gravitacional, el contador avanza en una cantidad que es proporcional a la rotación del rotor, es decir, la cantidad en la que la pala de rotor ha girado desde el momento de la última variación de señal. El valor incremental se selecciona de tal forma que un fallo de sensor se identifique a más tardar después de una rotación de 90° , si continuamente la carga gravitacional lleva a esperar una variación.

35 La aparición de cargas de viento hace que el contador avance en otro valor incremental. Esto se selecciona de tal manera que sin que se produzcan cargas gravitacionales, es decir, sin que cambien las cargas gravitacionales, el fallo del sensor se detecte como máximo después de 4 s.

40 Dado que ambos mecanismos dan como resultado el incremento del mismo contador, puede conducir a una identificación más rápida de un fallo de sensor cuando ocurren simultáneamente variaciones en las cargas de viento y cargas de gravedad.

45 En el sistema de coordenadas inferior 604, la lectura del contador Z se representa gráficamente en función del tiempo t. El contador 680 está normalizado de tal forma que un valor de 1 lleva a la identificación de un fallo de sensor y al apagado de la instalación de energía eólica.

50 Por tanto, desde instante t_2 hasta el instante t_3 la desviación de prueba 622 debido a las cargas de viento lleva a avanzar el contador 680 y entre t_3 y t_4 la desviación de prueba 632 debido a las cargas gravitacionales lleva a avanzar el contador 680.

55 También en el instante t_1 se identificó durante un breve período de tiempo una señal de sensor constante, pero, debido a la desviación de prueba 622 se esperaba una variación. Esto provocó que el contador 680 aumentara. Sin embargo, no se alcanzó el umbral y no se identificó ningún fallo de sensor. Después de eso, la señal de sensor varió nuevamente, por lo que el contador se puso a cero y, por lo tanto, hasta el momento t_2 se mantuvo a cero.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para identificar un fallo de sensor de un sensor de carga de una instalación de energía eólica (100) con un rotor (106) y al menos una pala de rotor (108), donde:
 - 5 - el sensor de carga (112, 114) está configurado para detectar una magnitud de carga de una de las palas de rotor (108), y
 - el fallo de sensor es tal que una señal de sensor (310, 610) del sensor de carga (112, 114) está funcionalmente bloqueada, de modo que es constante en el tiempo, donde:
 - se estima al menos una magnitud de carga (620, 630) de la pala de rotor,
 - 10 - si la señal de sensor (310, 610) es constante en el tiempo, se ejecuta una prueba de comparación en la que, en función de la al menos una magnitud de carga estimada (620, 630), se comprueba si es de esperar, que la señal de sensor (310, 610) no sea constante, y
 - se identifica un fallo de sensor en función de la prueba de comparación.

- 15 2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que el sensor de carga (112, 114) está configurado como sensor de galgas extensométricas y está dispuesto sobre la pala de rotor (108) para permitir la detección de una carga de pala en función de la deformación de la pala de rotor (108).

- 20 3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que la al menos una magnitud de carga estimada (630) es una carga gravitacional que actúa sobre la pala de rotor, por la que se genera una carga de pala mediante una fuerza de peso que actúa sobre la pala de rotor, donde, en particular:
 - la carga gravitacional estimada se determina en función de una posición de rotor del rotor.

- 25 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la al menos una magnitud de carga estimada (620) es una carga de viento que depende de la velocidad de viento, que actúa sobre la pala de rotor, y
 - la carga de viento se determina en función de una velocidad de viento medida, y la medición de la velocidad de viento comprende en particular:
 - una medición LiDAR, y/o
 - 30 - una medición con anemómetro, o
 - la carga de viento se determina en función de una variable de estado que depende de la velocidad de viento, y la variable de estado comprende en particular:
 - una potencia generada,
 - una potencia de aceleración del rotor, y/o
 - 35 - un par de generador detectado.

- 40 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que, en la prueba de comparación se comprueba si está presente un fallo de sensor en función de al menos dos magnitudes de carga estimadas (620, 630), donde:
 - la primera magnitud de carga es una, o la, carga gravitacional estimada (630), y
 - la segunda magnitud de carga es una, o la, carga de viento estimada (620).

- 45 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que se determina una magnitud de carga proyectada (320) como la magnitud de carga estimada (620, 630) proyectada sobre una dirección de medición del sensor de carga (112, 114), y
 - en la prueba de comparación se comprueba en función de la magnitud de carga proyectada (320), si es de esperar que la señal de sensor no sea constante (310, 610).

- 50 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que:
 - si se ha detectado que la señal del sensor (310, 610) es constante en el tiempo,
 - en la prueba de comparación se comprueba, en función de la al menos una magnitud de carga estimada (620, 630), en particular en función de una, o la, al menos una magnitud de carga proyectada (320), si era de esperar que la señal de sensor (310, 610) no sea constante en el tiempo, y
 - dependiendo de si era de esperar que la señal de sensor (310, 610) no sea constante en el tiempo, se identifica
 - 55 un fallo de sensor.

- 60 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que, en la prueba de comparación para decidir si era de esperar que la señal de sensor (310, 610) no sea constante en el tiempo,
 - se genera una desviación de prueba (410, 510, 622, 632) como diferencia entre una, o la, magnitud de carga proyectada (320) en un punto de tiempo actual, y una, o la, magnitud de carga proyectada (320) para un punto de tiempo en el que por última vez la señal del sensor (310, 610) no se detectó como constante en el tiempo,
 - y
 - la desviación de prueba (410, 510, 622, 632) se compara con un valor límite especificado (G , G_G , G_W), y

- si la desviación de prueba no supera el valor límite (G , G_G , G_W), es de esperar, que la señal del sensor (310, 610) sea constante en el tiempo, donde, en particular:
 - para las diferentes magnitudes de carga (620, 630) consideradas se especifican diferentes valores límite (G_G , G_W), donde, en particular:
- 5 - para la desviación de prueba con respecto a la carga gravitacional (510, 632) y para la desviación de prueba con respecto a la carga de viento (410, 622) se especifica en cada caso un valor límite diferente (G , G_G , G_W).
- 9. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que
 - si la señal del sensor (310, 610) se ha detectado como constante en el tiempo,
 - 10 - pero tras la realización de una prueba de comparación no era de esperar que la señal sea constante en el tiempo,
 - se avanza un contador (480, 580, 680), donde
 - se identifica un fallo de sensor cuando el contador (480, 580, 680) ha alcanzado un valor umbral predeterminado.
- 15 10. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que
 - si durante la prueba de comparación se identifica que la señal del sensor (310, 610) ha cambiado y, por lo tanto, no se ha detectado como constante, se reinicia un, o el, contador (480, 580, 680), o
 - 20 - si la señal de sensor (310, 610) se ha detectado como constante, y era de esperar que la señal de sensor (310, 610) sea constante, el contador (480, 580, 680) se mantiene en su lectura actual.
- 11. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que
 - en la prueba de comparación, si la señal del sensor (310, 610) es constante,
 - 25 - se realiza una comparación de carga gravitacional, como comparación con una carga gravitacional estimada (630), y
 - una comparación de carga de viento, como comparación con una carga de viento estimada (620), en donde
 - en cada comprobación, un contador idéntico, o el mismo, (480, 580, 680) se avanza respectivamente
 - 30 en un valor incremental, si se establece que es de esperar que la señal de sensor (310, 610) no sea constante, y donde se supone un fallo de sensor, si el contador (480, 580, 680) ha alcanzado un, o el, valor umbral predeterminado, donde, en particular
 - en la comparación de carga gravitacional, se aplica un valor incremental diferente al empleado en la comparación de carga de viento.
- 35 12. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que se asume que la señal de sensor (310, 610) es ruidosa y
 - la señal del sensor (310, 610) se identifica como constante en el tiempo, cuando la señal del sensor (310, 610) fluctúa o varía alrededor de un valor de señal, donde no se excede cuantitativamente una amplitud de fluctuación o una amplitud de variación predeterminable.
- 40 13. Instalación de energía eólica (100) con un sensor de carga (112, 114), un rotor (106) y al menos una pala de rotor (108), caracterizado por que
 - la instalación de energía eólica (100) está configurada para ejecutar un procedimiento para identificar un fallo de sensor, según una de las reivindicaciones anteriores, y
 - 45 - la instalación de energía eólica (100) en particular comprende un dispositivo de medición y control, en el que se implementa el procedimiento para identificar el fallo de sensor.

DIBUJOS

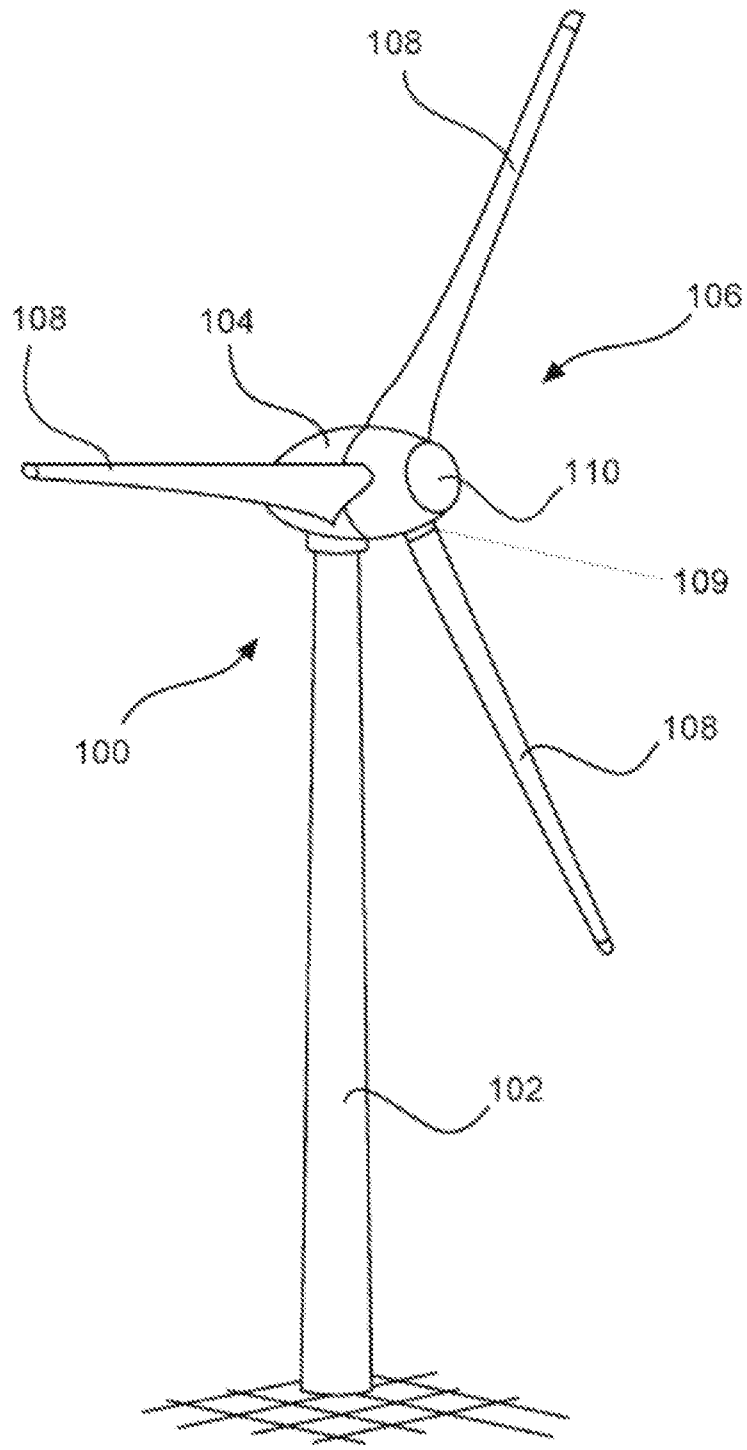


Fig. 1

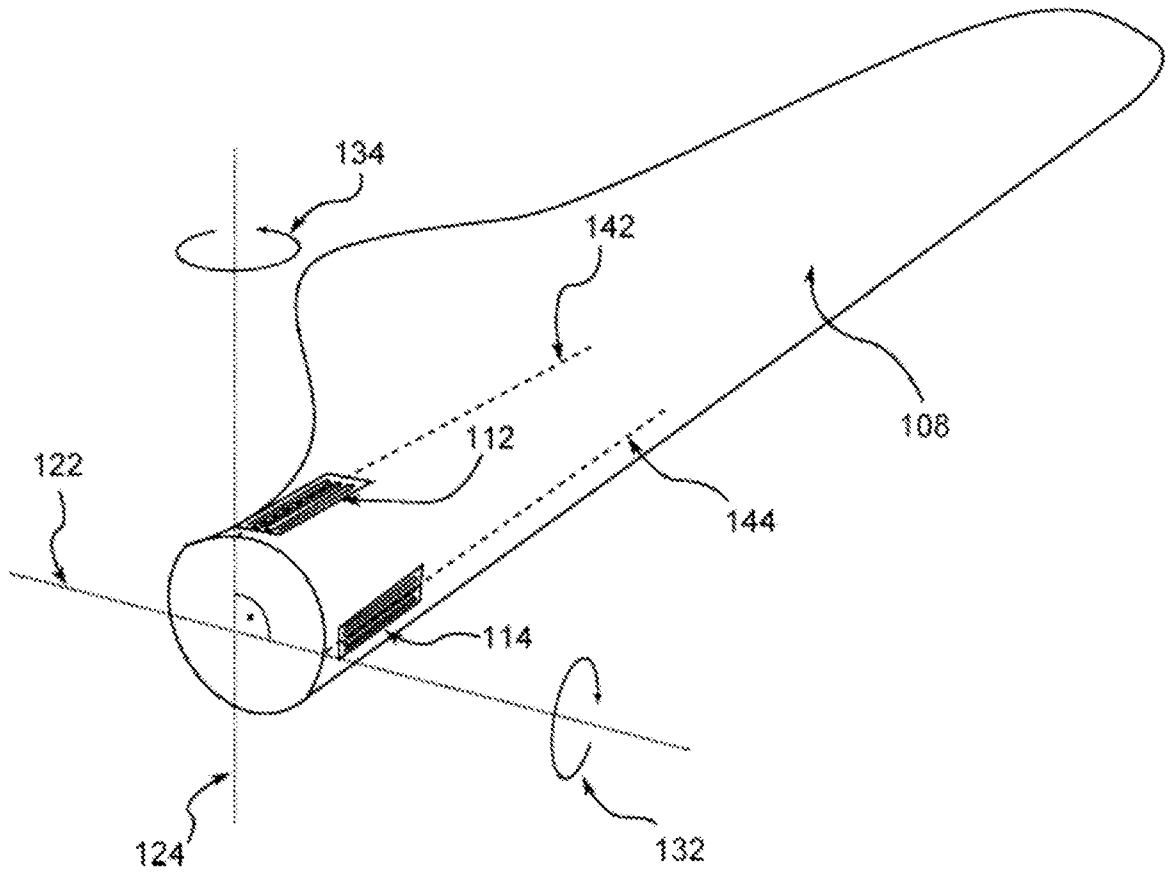


Fig. 2

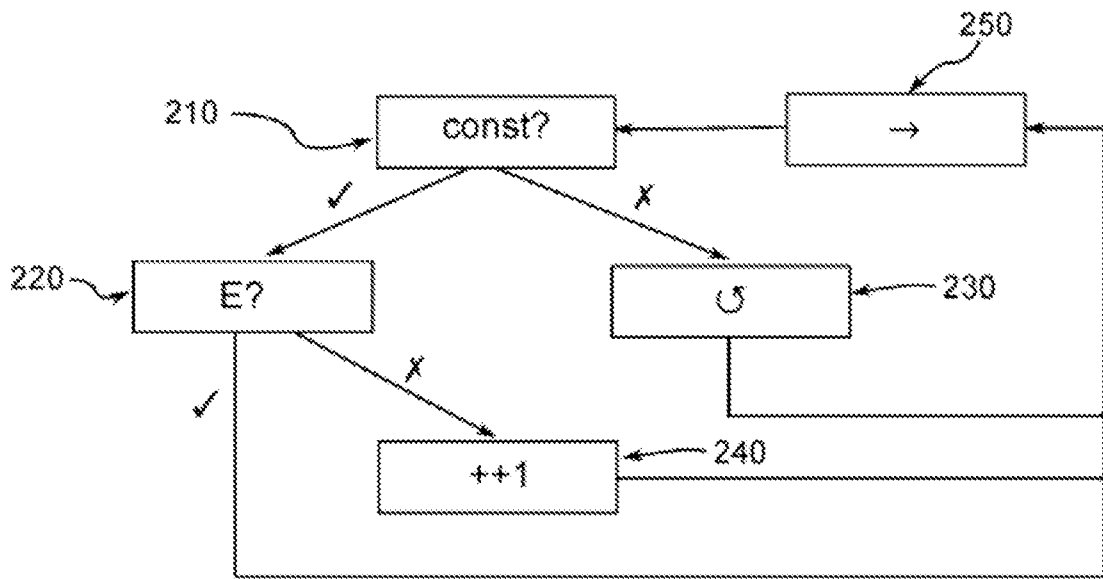


Fig. 3

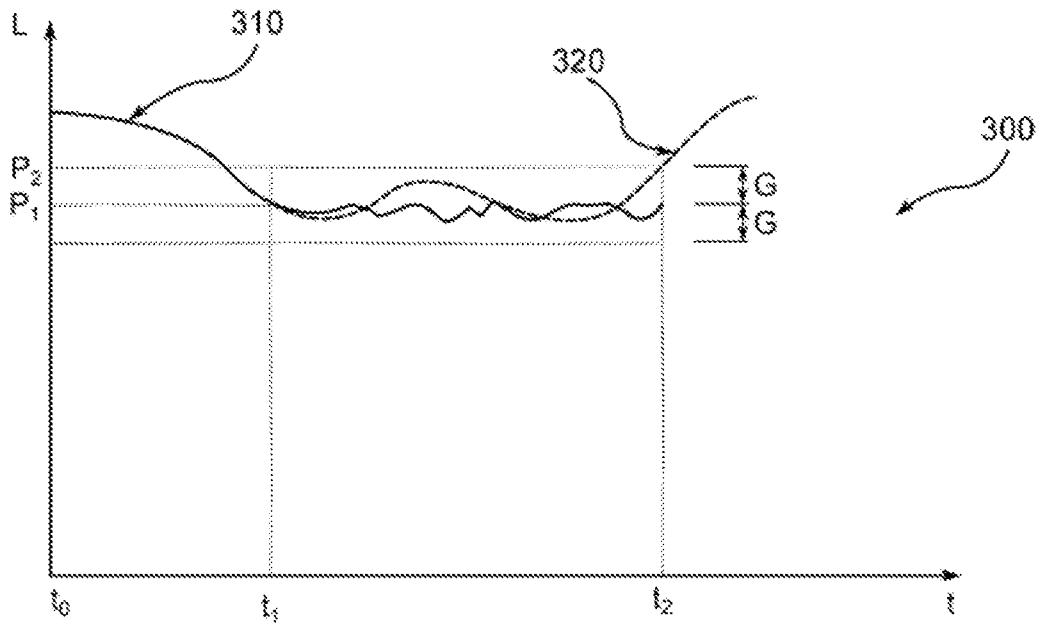


Fig. 4

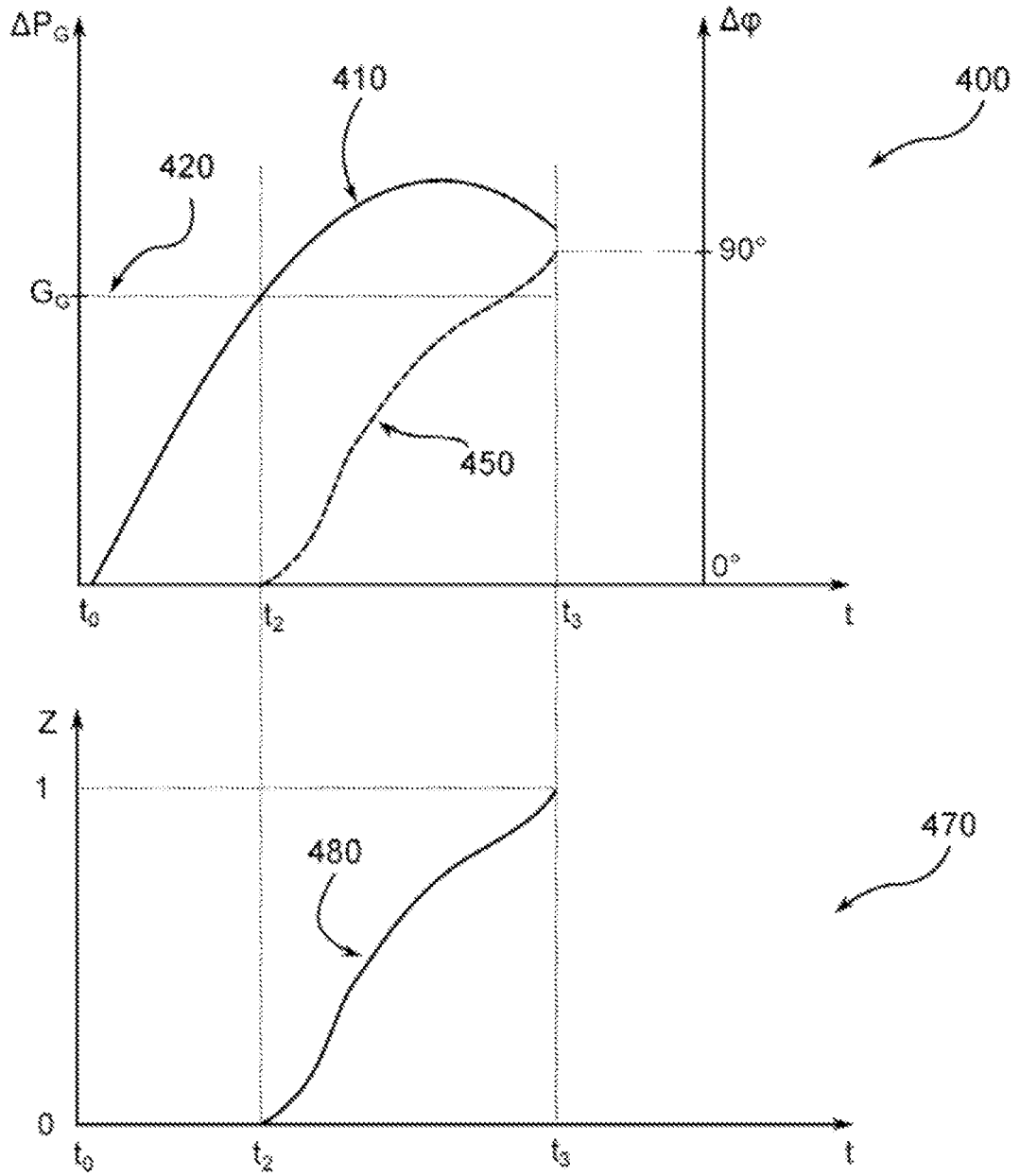


Fig. 5

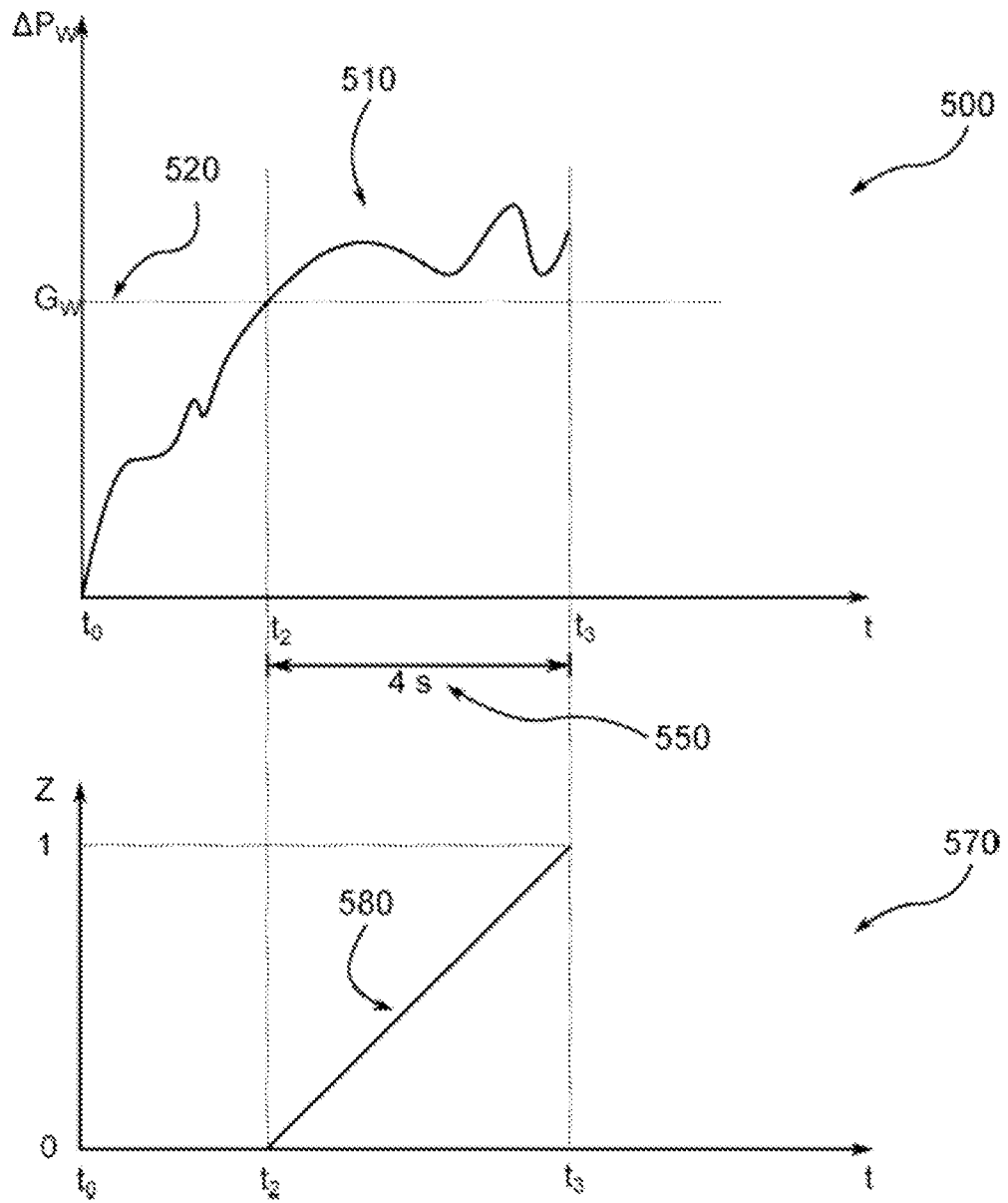


Fig. 6

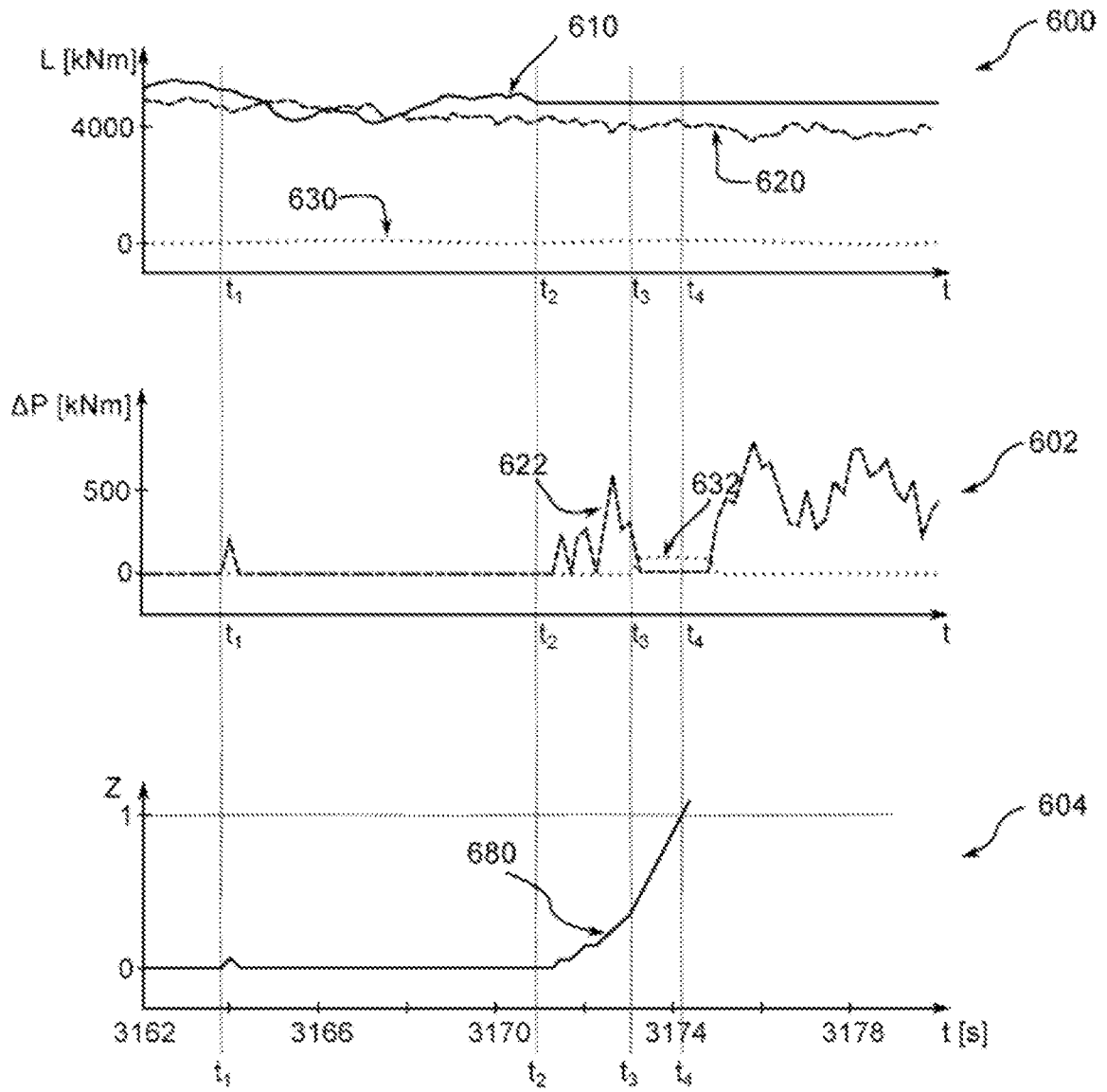


Fig. 7