

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 999 636**

51 Int. Cl.:

F03D 80/50 (2006.01)
F03D 17/00 (2006.01)
F03D 7/00 (2006.01)
G01M 13/02 (2009.01)
G01H 1/00 (2006.01)
G01M 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.12.2019** **PCT/CN2019/125611**
87 Fecha y número de publicación internacional: **24.06.2021** **WO21119909**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.12.2019** **E 19956647 (2)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.11.2024** **EP 4080046**

54 Título: **Procedimiento y sistema para monitorear el estado de salud del sujetador de la raíz de la pala**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.02.2025

73 Titular/es:
ENVISION ENERGY CO., LTD. (100.00%)
No. 3 Shenzhuang Road, Shengang Street
Jiangsu
Wuxi Jiangsu 214443, CN

72 Inventor/es:
JIANG, WENSHENG;
CHEN, LIN;
LI, MINGHUI y
WANG, KAI

74 Agente/Representante:
ISERN JARA, Jorge

ES 2 999 636 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y sistema para monitorear el estado de salud del sujetador de la raíz de la pala

5 Campo técnico

La presente invención se refiere en general al campo de la generación de energía eólica, en particular, a un procedimiento para monitorear el estado de salud del sujetador de la raíz de la pala. Además, la presente invención se refiere a un sistema para monitorizar el estado de salud del sujetador de la raíz de la pala.

10 Antecedentes

En los últimos años, con la mejora de la conciencia sobre la protección del medio ambiente y el apoyo político de varios países, el campo de la energía limpia ha mostrado una tendencia de desarrollo rápido. Como un nuevo tipo de energía, la energía limpia tiene las ventajas de una amplia distribución, ser energía renovable y generar menos contaminación ambiental en comparación con los combustibles fósiles tradicionales. Como representante de la energía limpia, la aplicación de aerogeneradores está aumentando día a día.

Las palas de los aerogeneradores son un componente importante para que el aerogenerador capture la energía eólica, y su funcionamiento normal está directamente relacionado con la seguridad del equipo y la eficiencia en la generación de energía. El funcionamiento adecuado de las palas e incluso de los aerogeneradores depende de la conexión firme de los sujetadores de la raíz, como los pernos de la raíz. El sujetador de la raíz de la pala es un componente importante para conectar las palas a los cubos. Si el sujetador de la raíz de la pala está roto o aflojado, afectará la actitud operativa de la pala y reducirá la eficiencia de generación de energía; en casos severos, causará accidentes de seguridad importantes, como el choque de la pala contra la torre o su caída. Por lo tanto, el monitoreo del estado de salud de los sujetadores de la raíz de la pala es de gran importancia para el funcionamiento eficiente y seguro de los aerogeneradores.

En la actualidad, los siguientes esquemas se utilizan principalmente para monitorear el estado de salud del sujetador de la raíz de la pala:

- (1) analizar y procesar varias señales recogidas por el sensor del aerogenerador en base al aprendizaje automático, y construyendo un modelo de percepción multicapa para predecir si el aerogenerador está en un estado de falla y si el perno de la raíz de la pala está sano. Este esquema es demasiado complicado, la fiabilidad necesita ser verificada, y el modelo depende de la configuración del aerogenerador, y la transferibilidad es deficiente.
- (2) escanear todos los pernos que se aproximan durante el proceso de lanzamiento mediante el sensor sin contacto para determinar si la cabeza del perno de la raíz de la pala se ha caído. Este esquema requiere la instalación de sensores de hardware, lo cual es costoso.
- (3) utilizar las señales recogidas por la sonda de monitoreo y el sensor de temperatura para calcular la fuerza de pretensado del perno para determinar si la fuerza de pretensado está en el rango normal y si el perno está dañado. Este esquema requiere la instalación de sensores de hardware, lo cual es costoso, y la carga previa no está directamente relacionada con la rotura del perno.
- (4) utilizar los cambios de presión entre los elementos de conexión del perno para determinar si los pernos están rotos o sueltos. Este esquema requiere sensores de hardware y es costoso.
- (5) deducir inversamente el cambio de frecuencia de las palas a través de la señal de vibración del sensor de aceleración de la góndola, y realizando la protección de apagado cuando la diferencia de frecuencia de las tres palas supera el umbral. En este esquema, la relación señal-ruido de la vibración natural de la pala en el espectro de señal de vibración de la góndola es baja.

A partir de las limitaciones de los esquemas anteriores, se puede conocer que actualmente existe una necesidad de un esquema de monitoreo de sujetadores de la raíz de la pala más simple y eficiente.

El documento US 2019/078557 A1 describe un procedimiento para monitorear el estado vibracional de un aerogenerador que comprende detectar una pluralidad de valores de aceleración que representan aceleraciones en el que un componente del aerogenerador está sujeto a diferentes puntos en el tiempo dentro de un intervalo de tiempo especificado, almacenar los valores de aceleración en un conjunto de datos de aceleración; generar una distribución de frecuencia acumulada sobre la base del conjunto de datos de aceleración, comparar un primer valor de frecuencia acumulada de la distribución de frecuencia acumulada con un segundo valor de frecuencia acumulada de una distribución de frecuencia acumulada umbral para al menos un valor de aceleración, y emitir una señal de advertencia si el segundo valor de frecuencia acumulada es mayor que el primer valor de frecuencia acumulada.

Resumen

Es un objeto de la presente invención proporcionar un procedimiento y un sistema para monitorear el estado de salud del sujetador de la raíz de la pala, mediante el cual el procedimiento y/o el sistema pueden determinar el

estado de salud del sujetador de la raíz de la pala con bajo costo y alta precisión, mejorando así la eficiencia operativa y la seguridad operativa del aerogenerador.

La presente invención se establece en el conjunto de reivindicaciones adjunto.

En un primer aspecto de la presente invención, este objeto se resuelve mediante un procedimiento para monitorear el estado de salud del sujetador de la raíz de la pala de acuerdo con la reivindicación 1, el procedimiento que comprende los siguientes pasos:

obtener una secuencia de señales de aceleración que representan la vibración lateral de la góndola y una secuencia de señales de velocidad de rotación que representan la velocidad de rotación del rotor; analizar la secuencia de señales de aceleración y la secuencia de señales de velocidad de rotación para determinar la amplitud de la góndola a 2 veces la frecuencia de la velocidad de rotación del rotor; y determinar el estado de salud del sujetador de la raíz de la pala en base a la amplitud.

En el contexto de la presente invención, el término "vibración lateral de la góndola" se refiere a la vibración de la góndola del aerogenerador en la dirección lateral perpendicular o transversal a la dirección vertical (por ejemplo, en un ángulo de 70° a 90° con respecto a la dirección vertical). El término "velocidad de rotación del rotor" se refiere a la velocidad de rotación del rotor del aerogenerador que consiste en las palas y el cubo. El término "2 veces la frecuencia de la velocidad de rotación del rotor" se refiere al doble de la frecuencia en hercio (es decir, veces por segundo) convertida a partir de la velocidad de rotación del rotor (por ejemplo, la velocidad de rotación del rotor en ciclos/minuto se convierte a la velocidad de rotación del rotor en ciclos/segundo y se multiplica por 2 para obtener la 2 veces la frecuencia de la velocidad de rotación del rotor). El término "secuencia de señales" se refiere a un conjunto de valores recopilados en múltiples puntos de tiempo para la señal.

En una realización extendida de la presente invención, el procedimiento además comprende los siguientes pasos: filtrar la amplitud en base a los datos de amplitud históricos para eliminar la influencia de datos anormales.

A través de esta realización extendida, se pueden eliminar los datos anormales y su influencia, mejorando así la precisión del monitoreo. Por ejemplo, se puede usar un filtro para filtrar puntos de frecuencia anormal o amplitud anormal. Un dato anormal puede definirse, por ejemplo, como una diferencia respecto a un valor promedio histórico o un valor estadístico bajo una condición específica (como una velocidad del viento específica) que excede, por ejemplo, un umbral predeterminado, como el 50 %, 60 %, 70 %, etc.

En una realización preferente de la presente invención, analizar la secuencia de señales de aceleración y la secuencia de señales de velocidad de rotación para determinar la amplitud de la góndola a 2 veces la frecuencia de la velocidad de rotación del rotor que comprende los siguientes pasos:

transformar la aceleración representada por la secuencia de señales de aceleración de la señal del dominio del tiempo a la señal del dominio angular del azimut del rotor de acuerdo con la velocidad de rotación del rotor representada por la secuencia de señales de velocidad de rotación; y realizar una FFT (Transformada Rápida de Fourier) en la señal del dominio angular y extrayendo la amplitud correspondiente a 2 veces la frecuencia de la velocidad de rotación del rotor como la amplitud de la góndola a 2 veces la frecuencia de la velocidad de rotación del rotor.

A través de esta realización preferente, la amplitud de la góndola a 2 veces la frecuencia de la velocidad de rotación del rotor puede ser determinada de manera precisa y rápida. En la presente memoria, al realizar la transformación del dominio del tiempo al dominio angular y realizar la transformada rápida de Fourier en la señal del dominio angular, se puede obtener fácilmente la señal del espectro de frecuencia de la vibración de la góndola, y así se puede obtener rápidamente la amplitud de la góndola a 2 veces la frecuencia de la velocidad de rotación del rotor eólico.

En una realización preferente de la presente invención, el procedimiento además comprende los siguientes pasos:

eliminar el ruido de fondo debido a la longitud de datos limitada de las señales del dominio angular después de la FFT; y/o corregir la amplitud correspondiente a 2 veces la frecuencia de la velocidad de rotación del rotor de acuerdo con la frecuencia y/o peso de la torre y la frecuencia y/o peso de la pala.

A través de esta realización preferente, se puede reducir o eliminar el ruido de fondo, o se puede mejorar la precisión de la amplitud de la góndola a una 2 veces la frecuencia de la velocidad de rotación del rotor. La eliminación del ruido de fondo se puede lograr, por ejemplo, pasando la señal transformada de Fourier rápida a través de un filtro con una frecuencia de corte adecuada, como un filtro de paso de banda.

En una realización extendida de la presente invención, el sujetador de la raíz de la pala comprende uno o más de los siguientes: el perno de la raíz de la pala, la tuerca de la raíz de la pala, el tornillo de la raíz de la pala y la porción de

adhesión de la raíz de la pala. Con esta realización extendida, se pueden detectar varios sujetadores de la raíz de la pala a bajo costo y con precisión, mejorando así la seguridad operativa del aerogenerador.

En una realización extendida de la presente invención, el procedimiento además comprende los siguientes pasos:
enviando la señal de alarma de forma remota al dispositivo móvil del usuario.

A través de esta realización extendida, se puede realizar el monitoreo remoto de los sujetadores de la raíz de la pala. Por ejemplo, un usuario puede instalar una aplicación de software de monitoreo en el dispositivo móvil del usuario, que puede comunicarse de forma remota con el aerogenerador (también conocida como "planta de energía eólica") en tiempo real, para que el usuario pueda ver el estado de salud de los sujetadores de la raíz de la pala en tiempo real.

En una realización extendida de la presente invención, determinar el estado de salud del sujetador de la raíz de la pala en base a la amplitud comprende los siguientes pasos:

emitir una señal de alarma que indica que se debe realizar mantenimiento cuando la amplitud excede el primer umbral; y
emitir una señal de alarma que indica que el aerogenerador debe ser apagada cuando la amplitud excede el segundo umbral.

A través de esta realización extendida, se pueden tomar diferentes contramedidas de acuerdo con diferentes condiciones de fallo. Por ejemplo, cuando la amplitud excede el primer umbral, pero es inferior al segundo umbral, significa que la caída o rotura del perno no afecta seriamente la seguridad del aerogenerador, como cuando solo se cae o se rompe un perno o un perno no crítico; y cuando la amplitud excede el segundo umbral, lo que indica que múltiples pernos críticos se han caído o roto, lo que requiere una parada inmediata para prevenir un accidente de seguridad. El segundo umbral es mayor que el primer umbral, y los dos umbrales pueden establecerse de acuerdo con datos estadísticos o empíricos.

En un segundo aspecto de la presente invención, el objeto anterior se resuelve mediante un sistema para monitorear el estado de salud del sujetador de la raíz de la pala de acuerdo con la reivindicación 8, el sistema que comprende:

un sensor, que está configurado para obtener una secuencia de señales de aceleración que representan la vibración lateral de la góndola y una secuencia de señales de velocidad de rotación que representan la velocidad de rotación del rotor; y
un controlador, que está configurado para llevar a cabo las siguientes acciones:

analizar la secuencia de señales de aceleración y la secuencia de señales de velocidad de rotación para determinar la amplitud de la góndola a 2 veces la frecuencia de la velocidad de rotación del rotor; y
determinar el estado de salud del sujetador de la raíz de la pala en base a la amplitud.

En una realización preferente de la presente invención, el sensor es un sensor de aceleración PCH. A través de esta realización preferente, la medición tanto de la aceleración como de la velocidad de rotación se puede lograr de manera conveniente a través del mismo sensor de aceleración PCH. Al mismo tiempo, dado que el sensor de aceleración PCH está instalado en la mayoría de los aerogeneradores, esta realización puede realizar la medición de la aceleración y la velocidad de rotación sin o con muy poco costo adicional de hardware.

En una realización extendida de la presente invención, el sistema además comprende:

un actuador de paso, que está configurado para realizar una operación de paso en base al estado de salud del sujetador de la raíz de la pala; y/o
un módulo de comunicación remota, que está configurado para transmitir de forma remota el estado de salud del sujetador de la raíz de la pala al dispositivo móvil del usuario.

Con esta expansión, se puede realizar el manejo de emergencia de condiciones de falla, como ajustar la actitud de la pala mediante operación de paso, o desacelerar o detener el rotor para evitar accidentes; alternatively, se puede implementar comunicación remota para que, por ejemplo, el usuario pueda ser notificado de forma remota. El módulo de comunicación remota puede implementar comunicación a larga distancia mediante, por ejemplo, una conexión Bluetooth, una conexión Wi-Fi, una conexión celular, etc. La comunicación láser o la comunicación por satélite también son concebibles. El dispositivo móvil del usuario puede ser, por ejemplo, un ordenador portátil, una tableta, un asistente digital personal (PDA), un teléfono inteligente, etc.

En una realización ampliada de la presente invención, el estado de salud comprende uno o más de los siguientes:

si el sujetador de la raíz de la pala se cae;
si el sujetador de la raíz de la pala está roto; y
si el sujetador de la raíz de la pala está suelto.

Con esta realización extendida, se pueden detectar varias situaciones de fallo de los sujetadores. También son concebibles otras condiciones de fallo de un sujetador bajo las enseñanzas de la presente invención, como el desgaste excesivo del sujetador, etc.

5 Además, la invención también se refiere a un aerogenerador con el sistema de acuerdo con la invención.

La presente invención tiene al menos los siguientes efectos beneficiosos: (1) A través de la presente invención, es posible determinar con precisión si ocurre una falla en el sujetador de la raíz de la pala, lo cual se basa en la siguiente percepción del inventor: el inventor descubrió a través de la investigación que fallas como la rotura y el aflojamiento del sujetador de la raíz de la pala causarán cambios anormales en la actitud de la pala, como una reducción en la frecuencia de vibración natural de la pala, lo que a su vez conducirá a una vibración lateral de la góndola. No solo eso, los inventores también han descubierto la especificidad de esta vibración lateral; específicamente, las diversas vibraciones laterales de la góndola no están todas asociadas con la falla de los sujetadores de la raíz de la pala, solo la vibración de la góndola a la 2 veces la frecuencia de la velocidad de rotación del rotor tiene una fuerte correlación con la falla del sujetador de la raíz de la pala. Es decir, la frecuencia de la vibración lateral de la góndola provocada por la falla del sujetador de la raíz de la pala es exactamente la misma que el doble de la frecuencia de la velocidad de rotación del rotor. Por lo tanto, al detectar la amplitud de la góndola a 2 veces la frecuencia de la velocidad de rotación del rotor, se puede juzgar con precisión si ha ocurrido la falla del sujetador de la raíz de la pala. (2) En comparación con el estado de la técnica, la presente invención tiene las características de un cálculo más simple, un menor costo de hardware, más practicidad, etc. Esto se debe a que la presente invención solo necesita detectar la aceleración y la velocidad de rotación, lo que se puede realizar mediante la aceleración PCH, y el proceso de cálculo es simple, por lo que el software y hardware de la presente invención son de bajo costo, de operación sencilla y de gran practicidad.

25 Breve descripción de las figuras

La presente invención se describe a continuación con referencia a los dibujos adjuntos en conjunto con realizaciones específicas.

30 La Figura 1 muestra un diagrama esquemático de un sistema de acuerdo con la invención;
La Figura 2 muestra el flujo del procedimiento de acuerdo con la invención; y
La Figura 3 muestra un ejemplo de un proceso de monitoreo de acuerdo con la presente invención.

35 Descripción detallada de la invención

Cabe señalar que varios componentes en las diversas figuras pueden mostrarse exagerados con fines de ilustración y no necesariamente a escala correcta. En las diversas figuras, los componentes idénticos o funcionalmente idénticos están provistos de los mismos números de referencia.

40 En la presente invención, a menos que se especifique lo contrario, "dispuesto sobre", "dispuesto encima" y "dispuesto sobre" no excluyen el caso en el que hay un intermedio entre los dos. Además, "dispuesto en o sobre" solo significa la relación posicional relativa entre dos componentes, y en ciertas circunstancias, como después de invertir la dirección del producto, también puede convertirse en "dispuesto bajo o debajo", y viceversa.

45 En la presente invención, cada realización solo tiene la intención de ilustrar la solución de la presente invención y no debe interpretarse como una limitación.

En la presente invención, a menos que se especifique lo contrario, los cuantificadores "un" y "una" no excluyen el escenario de múltiples elementos.

50 También debe señalarse aquí que, en las realizaciones de la presente invención, por razones de claridad y simplicidad, solo se puede mostrar una parte de los componentes o ensamblajes, pero aquellos con habilidades ordinarias en la técnica pueden entender que, bajo la enseñanza de la presente invención, se pueden añadir partes o componentes requeridos de acuerdo con escenarios específicos.

55 También se debe señalar que, dentro del ámbito de la presente invención, los términos "mismo", "igual" e "igual a" no significan que los dos valores sean absolutamente iguales, sino que permiten un cierto error razonable, es decir, las frases también abarcan "sustancialmente el mismo", "sustancialmente igual", "sustancialmente igual a". Por analogía, en la presente invención, los términos "perpendicular a", "paralelo a" y similares en la dirección de la tabla también abarcan los significados de "sustancialmente perpendicular a" y "sustancialmente paralelo a".

60 Además, la numeración de los pasos de cada procedimiento de la presente invención no limita el orden de ejecución de los pasos del procedimiento. Salvo que se indique lo contrario, los diversos pasos del procedimiento pueden realizarse en un orden diferente.

65

En la presente invención, el controlador puede ser implementado en software, hardware o firmware, o una combinación de los mismos. Un controlador puede existir solo o ser parte de un componente. Por ejemplo, el controlador puede ser implementado como un módulo de hardware discreto en el aerogenerador o como parte del sistema de paso; o el controlador puede ser implementado como software, como un módulo de software de un sistema de control del sistema de paso o en una computadora local, un servidor remoto o una aplicación de dispositivo móvil del usuario.

En vista de las limitaciones del esquema de monitoreo de sujetadores de la raíz de la pala existente, como la alta complejidad del monitoreo, el alto costo del hardware y la baja precisión de detección, la presente invención proporciona un nuevo procedimiento y sistema para monitorear el estado de salud del sujetador de la raíz de la pala, que puede determinar el estado de salud del sujetador de la raíz de la pala con bajo costo y alta precisión, aumentando así la eficiencia operativa y la seguridad operativa del aerogenerador. En particular, la idea en la que se basa la presente invención es que el inventor descubrió a través de la investigación que fallos como la rotura y el aflojamiento del sujetador de la raíz de la pala causarían cambios anormales en la actitud de la pala, como una reducción en la frecuencia natural de vibración de la pala, lo que a su vez llevará a vibraciones laterales de la góndola. No solo eso, los inventores también han descubierto la especificidad de esta vibración lateral; específicamente, las diversas vibraciones laterales de la góndola no están todas asociadas con la falla de los sujetadores de la raíz de la pala, solo la vibración de la góndola a la 2 veces la frecuencia de la velocidad de rotación del rotor tiene una fuerte correlación con la falla del sujetador de la raíz de la pala. Es decir, la frecuencia de la vibración lateral de la góndola causada por la falla del sujetador de la raíz de la pala es exactamente la misma que 2 veces la frecuencia de la velocidad de rotación del rotor. Por lo tanto, al detectar la amplitud de la góndola a 2 veces la frecuencia de la velocidad de rotación del rotor, se puede juzgar con precisión si ha ocurrido la falla del sujetador de la raíz de la pala. Además, la presente invención solo necesita detectar la aceleración y la velocidad de rotación, y la solución de cálculo es simple, por lo que los costos de hardware y software de la solución de detección de fallos del sujetador pueden reducirse mejor. Por ejemplo, la presente invención puede utilizar el sensor PCH que se instalará en el aerogenerador, no necesita instalar sensores de hardware adicionales, tiene un bajo costo y buena versatilidad. Además, la solución de la presente invención puede ser instalada en el circuito lógico programable PLC del aerogenerador en forma de una aplicación de software para realizar operación autónoma fuera de línea y llevar a cabo un monitoreo continuo. Una vez que se activa una advertencia de fallo, el aerogenerador se detendrá automáticamente para protección. La invención tiene un estricto soporte teórico detrás de ella y tiene una clara direccionalidad para la fractura del perno de la raíz de la pala.

La presente invención se describe a continuación con referencia a los dibujos adjuntos en conjunto con realizaciones específicas.

La Figura 1 muestra un diagrama esquemático de un sistema 100 de acuerdo con la invención.

Primero, se establece un entorno operativo ejemplar para el sistema 100. En esta realización, el sistema 100 para monitorear el estado de salud del sujetador de la raíz de la pala (o simplemente "sistema 100") determina el estado de salud del sujetador de la raíz de la pala a través de la medición de datos o adquisición de datos y procesamiento de datos, y envía el estado de salud de forma remota al dispositivo móvil del usuario 107 a través del dispositivo de relé opcional 105 y la red opcional 106, y luego el usuario puede ver el estado de salud de forma remota, por ejemplo, en la aplicación de monitoreo 108 instalada en el dispositivo móvil del usuario 107, y realiza operaciones remotas como el ajuste de la actitud de la pala o el apagado si es necesario. El dispositivo de relé 105 puede ser, por ejemplo, un receptor infrarrojo, un enrutador Wi-Fi, una estación base, un satélite de comunicación, etc. La red 106 puede ser Internet, una Intranet u otra red privada. En una realización preferente, el sistema 100 se comunica directamente con el dispositivo móvil del usuario 107 u otro terminal de control, en este caso, el sistema 100 tiene un transmisor de potencia correspondiente para que la señal del estado de salud pueda ser recibida por el dispositivo móvil del usuario 107 u otro terminal de control. En una realización preferente, también se proporciona un servidor remoto 109 para la autenticación del sistema 100 y el almacenamiento de datos históricos. Por ejemplo, el usuario debe primero ingresar las credenciales correctas en el servidor remoto 109 para acceder al sistema 100 (por ejemplo, por medio de una aplicación de monitoreo 108 instalada en el dispositivo móvil del usuario 107), obteniendo así el estado de salud correspondiente. El servidor remoto 109 también puede almacenar el estado de salud histórico del sistema 100 para la determinación estadística o de umbrales relacionados. Además, el servidor remoto 109 también puede encriptar y desencriptar datos entre el sistema 100 y el dispositivo móvil del usuario 107, aumentando así la seguridad.

En la presente invención, el sujetador de la raíz de la pala debe entenderse en un sentido amplio. Por ejemplo, la raíz de la pala comprende varios dispositivos de sujeción para conectar las raíces de las palas y los pernos, tales como pernos de la raíz de pala, tuercas de la raíz de la pala, tornillos de la raíz de la pala y porciones de adhesión de la raíz de la pala, etc. Las fallas como la rotura y el aflojamiento de estos sujetadores de la raíz de la pala llevarán a cambios en la actitud de la pala e incluso pueden provocar accidentes de seguridad en el aerogenerador.

Se establecen a continuación más detalles del sistema 100.

Como se muestra en la Figura 1, el sistema 100 para monitorear el estado de salud del sujetador de la raíz de la pala de acuerdo con la presente invención incluye los siguientes componentes (algunos de estos componentes son opcionales):

- 5 • el sensor, que está configurado para obtener la secuencia de señales de aceleración que representan la vibración lateral de la góndola y la secuencia de señales de velocidad de rotación que representan la velocidad de rotación del rotor. El sensor 101 puede ser, por ejemplo, un sensor de aceleración PCH instalado en la góndola, que puede ser utilizado para medir tanto la aceleración como la velocidad de rotación. También se conciben otros tipos de sensores 101 bajo las enseñanzas de la presente invención, tales como sensor de
10 velocidad de rotación y sensor de desplazamiento. En la presente memoria, el término "señales de aceleración que representan la vibración lateral de la góndola" se refiere a la medición de la aceleración en la góndola, ya que la aceleración es causada por la vibración de la góndola en dirección lateral. En la presente invención, la dirección lateral de la góndola se refiere a la dirección horizontal o a la dirección transversal a la dirección vertical (por ejemplo, en un ángulo de 70° a 90° con respecto a la dirección vertical).
- 15 • el controlador 102, que está configurado para realizar las siguientes acciones:
 - ◇ analizar la secuencia de señales de aceleración y la secuencia de señales de velocidad de rotación para determinar la amplitud de la góndola a 2 veces la frecuencia de la velocidad de rotación del rotor. Esto se puede lograr, por ejemplo, identificando la magnitud de una frecuencia particular en el espectro de vibración
20 lateral de la góndola. En la presente memoria, la secuencia de señales de aceleración y la secuencia de señales de velocidad de rotación pueden, por ejemplo, ser señales continuas dentro de un cierto período de tiempo, y las dos pueden estar relacionadas temporalmente. Por ejemplo, el tiempo de las dos señales puede ser registrado para asociarlas entre sí, o las dos señales pueden ser almacenadas en un arreglo en asociación entre sí. Por ejemplo, el controlador 102 puede recopilar continuamente los datos de vibración y colocarlos en la secuencia de datos. Cuando los datos recopilados alcanzan un cierto período de tiempo, se analiza la secuencia de señales para obtener la amplitud de la góndola a 2 veces la frecuencia de la
25 velocidad de rotación del rotor (2P). Después de completar un análisis, la cola de datos se vacía, y luego se repiten las operaciones de recopilación y análisis anteriores. En una realización preferente, la amplitud de la góndola a 2 veces la frecuencia de la velocidad de rotación del rotor se determina de la siguiente manera:
 - ◇ transformar la aceleración representada por la secuencia de señales de aceleración de la señal del dominio del tiempo a la señal del dominio angular del azimut del rotor de acuerdo con la velocidad de rotación del rotor representada por la secuencia de señales de velocidad de rotación. En la presente memoria, la conversión anterior se realiza mediante la relación entre el tiempo y el ángulo de azimut del
30 rotor. Es decir, en cada momento, el rotor tiene un ángulo de azimut correspondiente, de modo que la transformación anterior se completa mediante la sustitución de datos.
 - ◇ realizar una FFT en la señal del dominio angular y extraer la amplitud correspondiente a 2 veces la frecuencia de la velocidad de rotación del rotor como la amplitud de la góndola a 2 veces la frecuencia de la velocidad de rotación del rotor. A través de la transformada rápida de Fourier (FFT), la señal del dominio de ángulo puede ser fácilmente transformada en la señal del dominio de frecuencia, lo que es beneficioso para identificar la amplitud de la góndola a 2 veces la frecuencia de la velocidad de rotación del rotor. La transformada rápida de Fourier es un algoritmo bien conocido, por lo que no se describirá en la presente memoria. En una realización preferente, se elimina el ruido de fondo debido a la longitud de datos limitada de la señal del dominio angular después de la FFT. En otra realización preferente, la amplitud de la góndola a 2 veces la frecuencia de la velocidad de rotación del rotor se corrige de acuerdo con la frecuencia y/o el peso de la torre, y la frecuencia y/o el peso de las palas. La eliminación del ruido de fondo se puede lograr, por ejemplo, pasando la señal transformada de Fourier rápida a través de un filtro con una frecuencia de corte adecuada, como un filtro de paso de banda. Además, se pueden excluir los efectos de factores climáticos como los vientos fuertes.
40 A través del procedimiento de cálculo anterior, se puede determinar de manera precisa y rápida la amplitud de la góndola a 2 veces la frecuencia de la velocidad de rotación del rotor. Aquí, al realizar la transformación del dominio del tiempo al dominio angular y realizar la transformada rápida de Fourier en la señal del dominio angular, se puede obtener fácilmente la señal del espectro de frecuencia de la vibración de la góndola, de modo que se puede obtener rápidamente la amplitud de la góndola a 2 veces la frecuencia de la velocidad de rotación del rotor.
 - ◇ determinar el estado de salud del sujetador de la raíz de la pala en base a la amplitud. Por ejemplo, se debe emitir una señal de alarma que indique que se debe realizar mantenimiento cuando la amplitud exceda un primer umbral, y una señal de apagado que indique que se debe emitir un apagado cuando la amplitud exceda un segundo umbral. El primer umbral y el segundo umbral pueden ser determinados, por ejemplo, en base a datos históricos, tales como datos históricos del estado de salud o valores estadísticos o valores empíricos. Ambos de estos umbrales pueden ser determinados teóricamente. Por ejemplo, la relación entre el número de pernos rotos de cada pala de cada turbina y la amplitud de la góndola a 2
45 veces la frecuencia de la velocidad de rotación del rotor (2P) se puede obtener mediante cálculo, de modo

que el umbral de alarma de la amplitud final de 2P se puede determinar al establecer el número de pernos rotos en el momento de la alarma. Este proceso de determinación de umbrales también puede realizarse o mejorarse a través del aprendizaje automático. Por ejemplo, después de que se complete cada análisis de amplitud, la información de amplitud se almacena para operaciones posteriores de análisis estadístico o establecimiento de umbrales. La información de amplitud histórica también puede ser utilizada para filtrar la secuencia de señales adquiridas para evitar errores de juicio de datos causados por datos anormales. Por ejemplo, el primer umbral puede establecerse para superar el promedio histórico en un 50 %-100 %, y el segundo umbral puede establecerse para superar el promedio histórico en un 100 %-200 %.

El controlador 102 puede ser implementado como un módulo de hardware discreto en el aerogenerador o como parte del sistema de paso; el controlador 102 puede ser implementado como software, como un módulo de software de un sistema de control del sistema de paso, o un ordenador local o un servidor remoto o un programa de aplicación en un dispositivo móvil del usuario, etc. En el caso de la implementación de hardware, el controlador 102 puede incluir, por ejemplo, una matriz de puertas lógicas programable en campo (FPGA), un circuito integrado específico de aplicación (ASIC), un procesador de propósito especial, etc. En el caso de una implementación de software, el controlador 102 puede ser implementado como código de software almacenado en una memoria, que puede ser ejecutado por un procesador dedicado o de propósito general para realizar los pasos descritos.

- el módulo de comunicación remota opcional 104, que está configurado para transmitir de forma remota el estado de salud del sujetador de la raíz de la pala al dispositivo móvil del usuario. El módulo de comunicación remota 104 puede ser implementado, por ejemplo, como un módulo Wi-Fi, un módulo Bluetooth, un módulo de comunicación infrarroja, un módulo de comunicación celular, un transceptor, etc. En la presente memoria, a través del módulo de comunicación remota 104, el usuario puede comunicarse con el sistema 100 para obtener el estado de salud y emitir instrucciones de apagado o ajuste de actitud al sistema 100 cuando sea necesario. En esta realización, el módulo de comunicación remota 104 está conectado a la red 106 a través del dispositivo de retransmisión 105 y se comunica con el dispositivo móvil del usuario 107 a través de la red 106. Sin embargo, esto es meramente ejemplar, y en otras realizaciones, el sistema 100 puede comunicarse directamente con el dispositivo móvil del usuario 107 también. Además, el módulo de comunicación remota 104 puede tener una antena 110 para la comunicación inalámbrica con el dispositivo de relé 105.
- el actuador de paso 103, que está configurado para realizar una operación de paso en base al estado de salud del sujetador de la raíz de la pala. Por ejemplo, cuando la amplitud de la góndola excede el segundo umbral, se utiliza el actuador de paso 103 para ajustar la actitud de la pala o apagar el aerogenerador. En una realización preferente, el usuario puede instruir al actuador de paso 103 para realizar una operación de paso a través del dispositivo móvil del usuario 107.

La presente invención tiene al menos los siguientes efectos beneficiosos: (1) A través de la presente invención, es posible determinar con precisión si ocurre la falla del sujetador de la raíz de la pala, lo cual se basa en la siguiente percepción del inventor: el inventor descubrió a través de la investigación que fallas como la rotura y el aflojamiento del sujetador de la raíz de la pala causarán cambios anormales en la actitud de la pala, como una reducción en la frecuencia de vibración natural de la pala, lo que a su vez llevará a la vibración lateral de la góndola. No solo eso, los inventores también han descubierto la especificidad de esta vibración lateral; específicamente, las diversas vibraciones laterales de la góndola no están todas asociadas con la falla de los sujetadores de la raíz de la pala, solo la vibración de la góndola a la 2 veces la frecuencia de la velocidad de rotación del rotor tiene una fuerte correlación con la falla del sujetador de la raíz de la pala. Es decir, la frecuencia de la vibración lateral de la góndola causada por la falla del sujetador de la raíz de la pala es exactamente la misma que la frecuencia a 2 veces la frecuencia de la velocidad de rotación del rotor. Por lo tanto, al detectar la amplitud de la góndola a 2 veces la frecuencia de la velocidad de rotación del rotor, se puede juzgar con precisión si ha ocurrido la falla del sujetador de la raíz de la pala. (2) En comparación con el estado de la técnica, la presente invención se caracteriza porque tiene las características de un cálculo más simple, un costo de hardware más bajo, más practicidad, etc. Esto se debe a que la presente invención solo necesita detectar la aceleración y la velocidad de rotación, lo que se puede realizar mediante la aceleración PCH, y el proceso de cálculo es simple, por lo que el software y hardware de la presente invención son de bajo costo, de operación sencilla y de gran practicidad.

La Figura 2 muestra el flujo de un procedimiento 200 de acuerdo con la presente invención, en el que los cuadros discontinuos representan pasos opcionales.

En el paso 202, se obtiene la secuencia de señales de aceleración que representan la vibración lateral de la góndola y la secuencia de señales de velocidad de rotación que representan la velocidad de rotación del rotor.

En el paso opcional 204, la amplitud se filtra en base a datos de amplitud históricos para eliminar los efectos de datos anormales.

En el paso 206, se analizan la secuencia de señales de aceleración y la secuencia de señales de velocidad de rotación para determinar la amplitud de la góndola a 2 veces la frecuencia de la velocidad de rotación del rotor.

En el paso opcional 208, la amplitud correspondiente a 2 veces la frecuencia de la velocidad de rotación del rotor se corrige de acuerdo con la frecuencia y/o el peso de la torre y la frecuencia y/o el peso de la pala.

En el paso 210, se determina el estado de salud del sujetador de la raíz de la pala en base a la amplitud.

La Figura 3 muestra un ejemplo de un proceso de monitoreo de acuerdo con la presente invención.

Las curvas 301-304 representan la velocidad de rotación del rotor, la aceleración lateral de la góndola, la amplitud de la góndola a 2 veces la frecuencia de la velocidad de rotación del rotor y el nivel de señal de alarma, respectivamente. En este ejemplo, en el punto de tiempo 503, el sistema 100 detecta a través de las curvas 301-303 que ha ocurrido una o más roturas de pernos, y realiza automáticamente la protección de apagado. Al mismo tiempo, se envía un mensaje de advertencia anticipada a la estación, instando al personal de operación y mantenimiento a realizar el mantenimiento.

Si bien se han descrito algunas realizaciones de la invención en este documento, aquellos expertos en la técnica apreciarán que estas realizaciones se muestran únicamente a modo de ejemplo. Numerosas modificaciones, alternativas y mejoras ocurrirán a aquellos expertos en la técnica bajo las enseñanzas de la presente invención sin apartarse del ámbito de la presente invención. Se pretende que las reivindicaciones adjuntas definan el ámbito de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para monitorear el estado de salud de un sujetador de la raíz de la pala de un aerogenerador, que comprende los siguientes pasos:
5 obtener (202) una secuencia de señales de aceleración que representan la vibración lateral de una góndola de un aerogenerador, refiriéndose a la vibración de la góndola del aerogenerador en la dirección lateral perpendicular o transversal a la dirección vertical y una secuencia de señales de velocidad de rotación que representan una velocidad de rotación del rotor;
10 analizar (206) la secuencia de señales de aceleración y la secuencia de señales de velocidad de rotación para determinar la amplitud de la góndola a 2 veces la frecuencia de la velocidad de rotación del rotor, refiriéndose al doble de la frecuencia en hercio convertida de la velocidad de rotación del rotor; y
 determinar (210) el estado de salud del sujetador de la raíz de la pala en base a la amplitud.
- 15 2. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además los siguientes pasos:
 filtrar (204) la amplitud en base a datos de amplitud históricos para eliminar la influencia de datos anormales.
- 20 3. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que analizar (206) la secuencia de señales de aceleración y la secuencia de señales de velocidad de rotación para determinar la amplitud de la góndola a 2 veces la frecuencia de la velocidad de rotación del rotor comprende los siguientes pasos:
25 transformar la aceleración representada por la secuencia de señales de aceleración de la señal del dominio del tiempo a la señal del dominio angular del azimut del rotor de acuerdo con la velocidad de rotación del rotor representada por la secuencia de señales de velocidad de rotación; y
 realizar una Transformada Rápida de Fourier FFT en la señal del dominio angular y extraer la amplitud correspondiente a 2 veces la frecuencia de la velocidad de rotación del rotor como la amplitud de la góndola a 2 veces la frecuencia de la velocidad de rotación del rotor.
- 30 4. El procedimiento de la reivindicación 3, que comprende además los siguientes pasos:
 eliminar el ruido de fondo debido a la longitud de datos limitada de las señales del dominio angular después de la FFT; y/o
 corregir la amplitud correspondiente a 2 veces la frecuencia de la velocidad de rotación del rotor de acuerdo con la frecuencia y/o peso de la torre y la frecuencia y/o peso de la pala.
- 35 5. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el sujetador de la raíz de la pala comprende uno o más de los siguientes: perno de la raíz de la pala, tuerca de la raíz de la pala, tornillo de la raíz de la pala y porción de adhesión de la raíz de la pala.
- 40 6. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además el siguiente paso:
 enviar una señal de alarma de forma remota a un dispositivo móvil del usuario (107).
- 45 7. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que determinar el estado de salud del sujetador de la raíz de la pala en base a la amplitud comprende los siguientes pasos:
 emitir una señal de alarma que indica que se debe realizar mantenimiento cuando la amplitud excede un primer umbral; y
 emitir una señal de alarma que indica que debe apagarse cuando la amplitud excede un segundo umbral.
- 50 8. Un sistema (100) para monitorear el estado de salud de un sujetador de la raíz de la pala de un aerogenerador, caracterizado porque comprende:
55 un sensor (101), que está configurado para obtener (202) una secuencia de señales de aceleración que representan la vibración lateral de una góndola de un aerogenerador en referencia a la vibración de la góndola del aerogenerador en la dirección lateral perpendicular o transversal a la dirección vertical y una secuencia de señales de velocidad de rotación que representan la velocidad de rotación del rotor; y
 un controlador (102), que está configurado para realizar las siguientes acciones:
60 analizar (206) la secuencia de señales de aceleración y la secuencia de señales de velocidad de rotación para determinar la amplitud de la góndola a 2 veces la frecuencia de la velocidad de rotación del rotor, refiriéndose al doble de la frecuencia en hercio convertida de la velocidad de rotación del rotor; y
 determinar (210) el estado de salud del sujetador de la raíz de la pala en base a la amplitud.
- 65 9. El sistema (100) de la reivindicación 8, que comprende, además:

un actuador de paso (103), que está configurado para realizar una operación de paso en base al estado de salud del sujetador de la raíz de la pala; y/o
un módulo de comunicación remota (104), que está configurado para transmitir de manera remota el estado de salud del sujetador de la raíz de la pala a un dispositivo móvil del usuario (107).

5

10. El sistema (100) de la reivindicación 8, en el que el estado de salud comprende uno o más de lo siguiente:

si el sujetador de la raíz de la pala se cae;
si el sujetador de la raíz de la pala está roto; y
si el sujetador de la raíz de la pala está suelto.

10

11. Un aerogenerador, que comprende el sistema (100) de acuerdo con una de las reivindicaciones 8 a 10.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

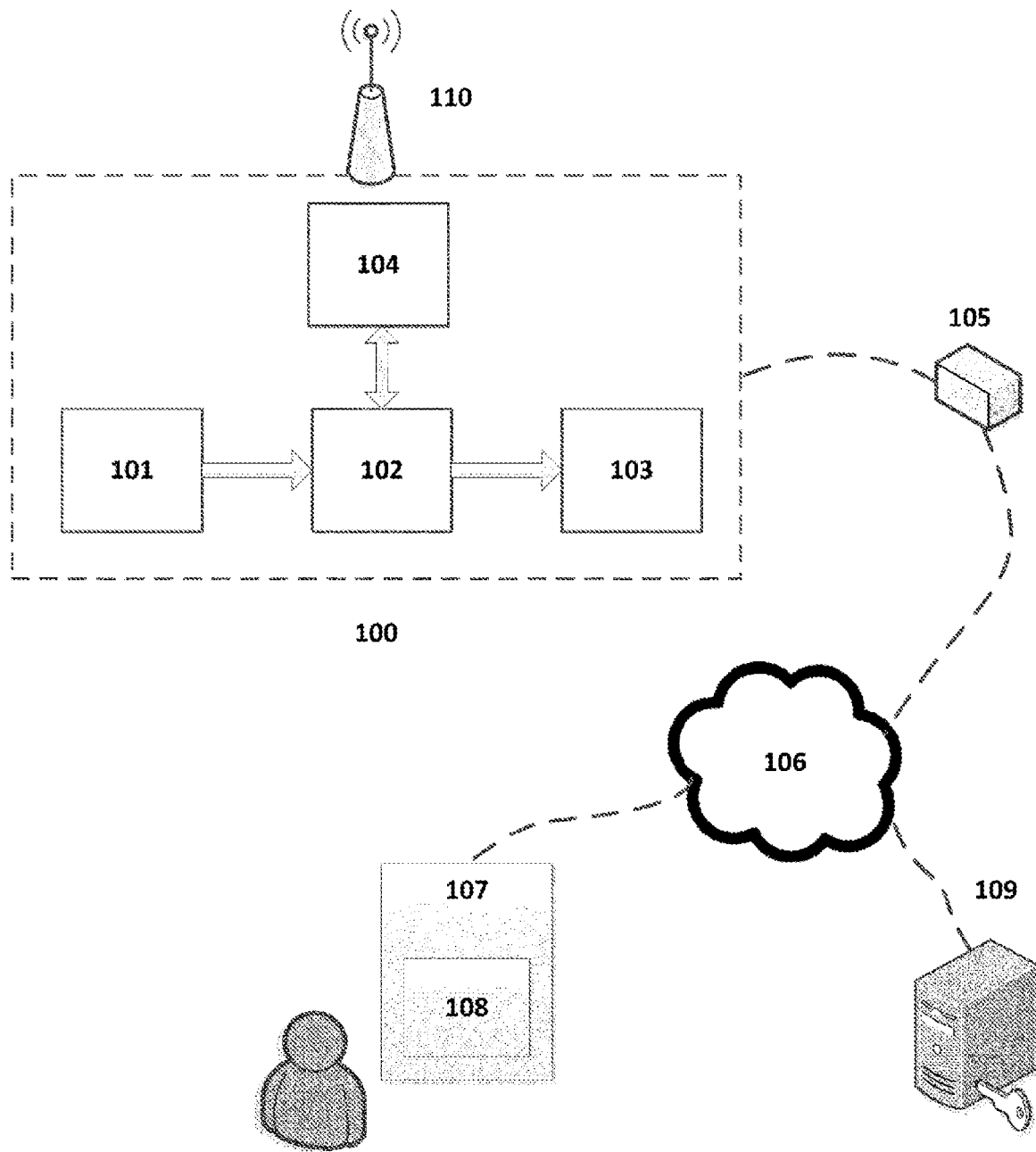


FIGURA 1

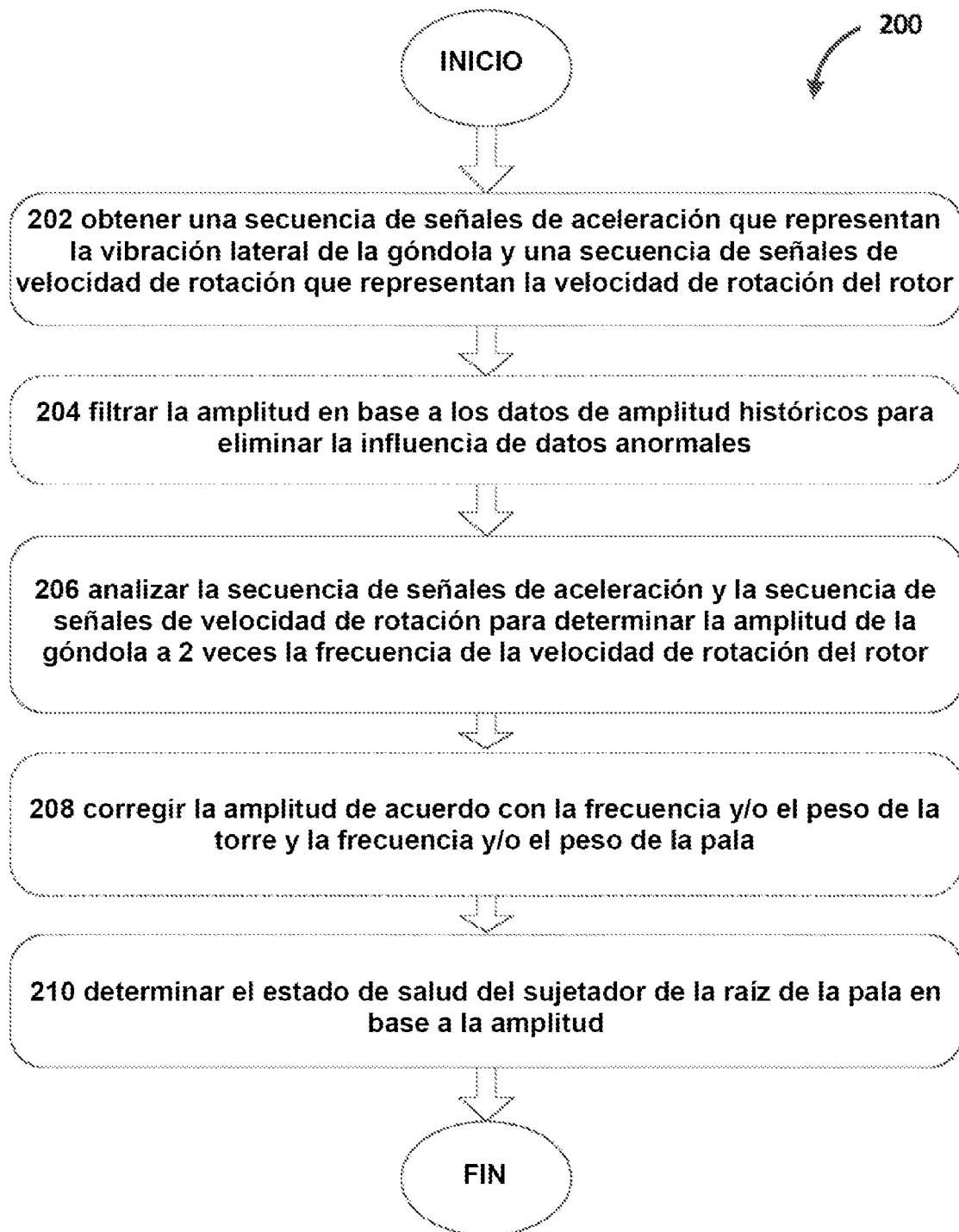


FIGURA 2

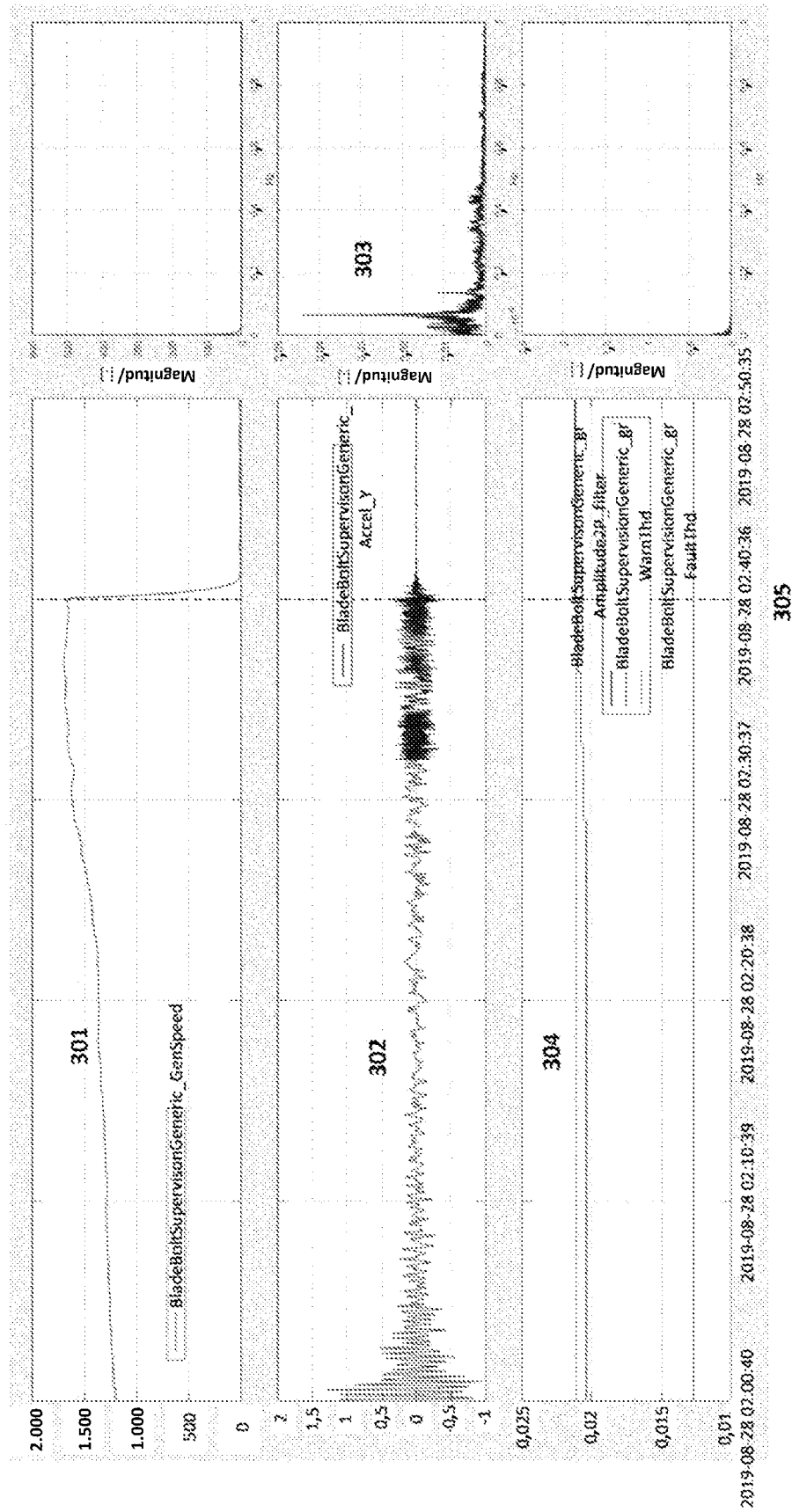


FIGURA 3