

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 797 724**

51 Int. Cl.:

F03D 17/00 (2006.01)

G01M 5/00 (2006.01)

G01B 7/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.08.2015 PCT/EP2015/069604**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.03.2016 WO16037858**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.08.2015 E 15754238 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.04.2020 EP 3191791**

54 Título: **Método y dispositivo de control para medir una carga sobre una pala de rotor de una instalación de energía eólica**

30 Prioridad:

12.09.2014 DE 102014218266

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

03.12.2020

73 Titular/es:

**WEIDMÜLLER MONITORING SYSTEMS GMBH
(100.0%)
Else-Sander-Str. 8
01099 Dresden, DE**

72 Inventor/es:

**BUCHTALA, BORIS y
HESS, FELIX**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 797 724 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

Método y dispositivo de control para medir una carga sobre una pala de rotor de una instalación de energía eólica

5 La presente invención se refiere a un método para la detección de una carga sobre una pala de rotor de una instalación de energía eólica y en un aparato de control correspondiente.

En una instalación de energía eólica, el viento provoca una deformación de las palas de rotor debido a las fuerzas aerodinámicas. Para poder intervenir con una regulación se requiere detectar esta deformación.

10 Por el documento WO 2013/091638 A1 se conoce usar en la pala de rotor de un aerogenerador un sensor de flexión, que funciona como un sensor de sollicitación que trabaja de forma absoluta. En función de la señal del sensor de flexión se efectúa un ajuste de la pala de rotor (paso). El documento DE 10 2010 019 014 A1 describe un uso de un método de radiogoniometría para la determinación de la flexión de las palas de rotor. Según el documento
15 US 2013/0272874 A1 se usan sensores de medición de aceleración en las palas de rotor, a fin de determinar una sollicitación de una pala de rotor. De manera similar, en el documento WO 2013/097860 A1 se usa una galga de flexión o un medidor de aceleración como sensor de carga en la pala. Según el documento US 2011/0158806 A1 se miden las tensiones en los tornillos de fijación de las palas de rotor, a fin de determinar la sollicitación de una pala de rotor. El documento US 2006/0140761 A1 describe una medición de señales de aceleración en la plataforma del generador de un aerogenerador, de la que se infieren las sollicitaciones del rotor.

20 El documento US 2011/0285129 A1 describe un uso de dos sensores de aceleración en la pala de un aerogenerador, donde los dos sensores están espaciados radialmente de forma diferente del buje del aerogenerador. El uso de dos sensores de aceleración permite proporcionar de forma fiable y tolerante a fallos valores de aceleración, a partir de los que se pueden derivar de nuevo las situaciones de carga.

25 Por el documento US 2010/0140936 A1 se conoce un uso de dos tipos diferentes de sensores. Según este documento, para la determinación de datos de posición se usan los sensores de valor absoluto según el sistema de posicionamiento global (*Global Positioning System*, GPS). Adicionalmente se describe el uso de sensores de aceleración, que ponen a disposición valores de aceleración por separado de los datos GPS. El documento DE 10 2012 108 776 A1 describe el uso de galgas extensométricas en una raíz de pala de una pala de rotor y de sensores de aceleración a una cierta distancia de la raíz de pala de rotor, por ejemplo, en el centro de la pala. A partir de los sensores de aceleración se determinan los datos de posición mediante integración doble, donde por una comparación de los valores de
30 alargamiento medidos en la raíz de pala se determina una rigidez o elasticidad de la pala de rotor.

35 Ante estos antecedentes, con el enfoque aquí presentado se presenta un método para la detección de una carga sobre una pala de rotor de una instalación de energía eólica y un aparato de control, que usa este método, según las reivindicaciones principales. Configuraciones ventajosas se deducen de las respectivas reivindicaciones dependientes y de la descripción siguiente.

40 Debido al enfoque aquí presentado se puede medir la flexión de pala de las palas de rotor en una instalación de energía eólica. Para la medición se usan los sensores de aceleración. Estas mediciones se referencian mediante otra medición del valor absoluto. Para ello, por ejemplo, se usan galgas extensométricas o una medición óptica.

45 Para poder usar los modernos métodos de regulación, como regulación de paso individual, se requiere una unidad sensora fiable y económica. En los tests de campo a corto plazo esto no es tan importante. Así, las galgas extensométricas son muy apropiadas para la medición de sollicitaciones, pero no se consigue aquí una vida útil de 20 años. Dado que se debe contar con que un sensor semejante padecerá un defecto durante la vida útil del aerogenerador, es importante un reconocimiento seguro, en particular, cuando el sensor se usa para una regulación.
50 Debido al enfoque aquí presentado se propone un concepto sensor mejorado.

55 El núcleo de la invención es usar sensores económicos para la medición de sollicitaciones y reconocer los errores por redundancia. Además, mediante la combinación de distintos sensores se pueden conseguir mejores resultados de medición. Adicionalmente, así se pueden usar sensores que por sí solos no son apropiados para una medición de sollicitaciones y solo en combinación permiten la medición de sollicitaciones. Pero, de este modo también es posible recurrir a sensores a ser posible con vida útil mucho más larga.

60 Se presenta un método para la detección de una carga sobre una pala de rotor de una instalación de energía eólica, donde el método presenta las siguientes etapas:

derivación de una elongación de la pala de rotor a partir de un valor de aceleración, que representa una aceleración en la pala de rotor, donde el valor de aceleración se integra dos veces para obtener la elongación; determinación de una fracción de deriva de señal de la elongación usando un valor absoluto, que representa un valor de medición absoluto de un sensor absoluto en la pala de rotor; y

averiguación de la carga usando la fracción de deriva de señal y la elongación, así como valores característicos del material de la pala de rotor.

5 Bajo una instalación de energía eólica se puede entender un aerogenerador o una turbina eólica. A este respecto, un rotor de la instalación de energía eólica se hace rotar mediante energía eólica y gracias al rotor se acciona un generador eléctrico. Una carga puede ser una fuerza sobre una pala de rotor del rotor. Una elongación puede ser el valor de un recorrido, en el que se presiona la pala de rotor por la carga desde una posición de reposo. Una fracción de deriva de señal puede ser un valor base, en el que se desplaza un valor de la elongación. La fracción de deriva de señal se puede modificar con el tiempo. La fracción de deriva de señal resulta de la derivación de la elongación de la aceleración. Un valor de medición absoluto puede estar libre de deriva. Un valor característico del material puede ser, por ejemplo, una resistencia a flexión y/o una resistencia a torsión.

15 En una primera alternativa según la invención, la elongación se compara con un valor de alargamiento como valor absoluto, a fin de obtener la fracción de deriva de señal. El valor de alargamiento representa un alargamiento de la pala de rotor detectable por una galga extensiométrica en la pala de rotor. El alargamiento se provoca por la carga. El alargamiento está relacionado directamente con la carga a través de los valores característicos del material. Las galgas extensiométricas necesitan una conexión correcta con la pala de rotor. La medición del alargamiento se realiza sin deriva.

20 En una segunda alternativa según la invención, la elongación se compara con un valor de posición como valor absoluto, a fin de obtener la fracción de deriva de señal. El valor de posición representa una posición de la pala de rotor detectable por un sistema de cámaras en la pala de rotor. El sistema de cámaras puede detectar al menos parcialmente la pala de rotor. El sistema de cámaras puede estar dispuesto en el interior de la pala de rotor. La cámara puede estar orientada de forma fija. La pala de rotor se puede mover en una imagen de la cámara bajo la carga. La cámara puede presentar una baja resolución. La medición de posición se realiza igualmente libre de deriva.

Dado que el valor de aceleración se integra dos veces para obtener la elongación, la elevada sensibilidad y robustez del sensor de aceleración se puede usar para la medición del recorrido elongado.

30 La fracción de deriva de señal se extrae entonces según la invención de la elongación, a fin de obtener un valor de elongación estabilizado para la determinación de la carga. Por consiguiente, la elongación se puede conseguir libre de deriva.

35 La elongación y el valor absoluto se pueden comparar usando un filtro de Kalman, a fin de determinar la fracción de deriva de señal. A este respecto, el valor absoluto puede servir como magnitud de referencia. La elongación sigue a la magnitud de referencia. Un valor del seguimiento se proporciona como fracción de deriva de señal.

40 Además, en la etapa de la determinación se puede verificar la plausibilidad del valor absoluto usando la elongación. Cuando el sensor absoluto presenta un error, el error se puede encontrar así. Por consiguiente, se puede asegurar un funcionamiento seguro de la instalación de energía eólica.

45 El valor absoluto se puede definir como erróneo, cuando el valor absoluto se desvía en más de un rango de tolerancia de la elongación. Por consiguiente, se puede proporcionar un margen en el reconocimiento de un error del sensor. Entonces no se tienen en cuenta las fluctuaciones debido a las condiciones ambiente modificadas.

50 Además, el enfoque aquí presentado crea un aparato de control, que está configurado para realizar, excitar o implementar las etapas de una variante de un método aquí presentado en los dispositivos correspondientes. Gracias a esta variante de realización de la invención en forma de un aparato de control también se puede lograr de forma rápida y eficiente el objetivo que sirve de base a la invención.

55 Bajo un aparato de control se puede entender en cuestión un aparato eléctrico, que procesa las señales del sensor y en función de ello emite las señales de control y/o de datos. El aparato de control puede presentar una interfaz, que puede estar configurada en virtud del hardware y/o software. En una configuración en virtud del hardware, las interfaces pueden ser, por ejemplo, parte de un así denominado sistema ASIC, que contiene las más distintas funciones del aparato de control. No obstante, es posible que las interfaces sean circuitos integrados propios o se compongan al menos parcialmente de elementos constructivos discretos. En una configuración en virtud del software, las interfaces pueden ser módulos de software que están presentes, por ejemplo, en un microcontrolador junto a otros módulos de software.

60 La invención se explica más en detalle a modo de ejemplo a continuación mediante los dibujos adjuntos. Muestran:

La Figura 1, una representación de una instalación de energía eólica con un dispositivo para la detección de cargas sobre las palas de rotor de la instalación de energía eólica según un ejemplo de realización de la invención; y

la Figura 2, un diagrama de flujo de un método para la detección de una carga sobre una pala de rotor de una instalación de energía eólica según un ejemplo de realización de la invención.

Los elementos iguales o similares pueden estar provistos en las siguientes figuras de referencias iguales o similares. Además, las figuras de los dibujos, su descripción y las reivindicaciones contienen numerosas características en combinación. A este respecto, queda claro para un experto en la materia que estas características también se observan de forma individual o se pueden reunir formando otras combinaciones, no descritas aquí explícitamente.

La Figura 1 muestra una representación de una instalación de energía eólica 100 con un aparato de control 102 para la detección de cargas sobre las palas de rotor 104 de la instalación de energía eólica 100 según un ejemplo de realización de la invención. El aparato de control 102 presenta un dispositivo para la derivación 106, un dispositivo para la determinación 108 y un dispositivo para la averiguación 110. El aparato de control puede estar dispuesto, por ejemplo, en la góndola de la instalación de energía eólica 100. La instalación de energía eólica 100 presenta un sensor de aceleración 118. El sensor de aceleración 118 está conectado con la pala de rotor 104. El sensor de aceleración 118 está posicionado aquí aproximadamente en el centro de la pala de rotor 104. El sensor de aceleración 118 también puede estar posicionado además en la dirección de una punta de pala de la pala de rotor 104, dado que la aceleración detectable de la pala de rotor 104 aumenta hacia la punta de pala. El sensor de aceleración 118 está configurado para proporcionar un valor de aceleración 114, que representa una aceleración en la pala de rotor 104.

El dispositivo para la derivación 106 está configurado para derivar una elongación 112 de una pala de rotor 104 del valor de aceleración 114. Para ello, el valor de aceleración 114 se lee a través de una interfaz 116 del aparato de control 102 por un sensor de aceleración 118. El valor de aceleración 114 se integra dos veces según este ejemplo de realización, para obtener la elongación 112.

El dispositivo para la determinación 108 está configurado para determinar una fracción de deriva de señal 120 de la elongación 112 usando un valor absoluto 122. El valor absoluto 122 representa un valor de medición absoluto de un valor absoluto 124 en la pala de rotor 104. El valor de medición absoluto no presenta una fracción de deriva de señal. El valor absoluto 122 se lee a través de la interfaz 116 por el sensor absoluto 124. La elongación 112 y el valor absoluto 122 se comparan usando un filtro de Kalman, para determinar la fracción de deriva de señal 120.

El dispositivo 110 para la determinación está configurado para averiguar una carga sobre la pala de rotor 104 usando la fracción de deriva de señal 120 y la elongación 112, así como valores característicos del material de la pala de rotor 104 y reproducirlo en un valor de carga 126 que representa la carga. A este respecto, la fracción de deriva de señal 120 se extrae de la elongación 112, a fin de obtener un valor de elongación estabilizado para la determinación de la carga. La carga se deduce de una curva característica de carga de la pala de rotor 104. La línea característica de carga describe una relación entre la elongación real 112 de la pala de rotor y la carga sobre la pala de rotor 104.

En el ejemplo de realización, el valor absoluto 122 es un valor de alargamiento 122, que se compara con la elongación 112, a fin de obtener la fracción de deriva de señal 120. El valor de alargamiento 122 representa un alargamiento de la pala de rotor 104 detectable por una galga extensiométrica 124 en la pala de rotor 104. La galga extensiométrica 124 o las galgas extensiométricas 124 están colocadas en un pie de pala de la pala de rotor 104, dado que aquí es máximo el alargamiento.

En otro ejemplo de realización, el valor absoluto 122 es un valor de posición 122, que se compara con la elongación 112, para obtener la fracción de deriva de señal 120. El valor de posición 122 representa una posición de la pala de rotor 104 detectable por un sistema de cámaras 124 en la pala de rotor 104. El sistema de cámaras 124 detecta como características la pala de rotor 104, partes de la pala de rotor 104 y/o determinadas marcas sobre o en la pala de rotor 104 de modo óptico. La posición de la pala de rotor 104 se averigua a partir de las coordenadas de los píxeles en los que están reproducidas las características. Una exactitud de detección del sistema de cámaras 124 se deduce de una resolución de ángulo por píxel.

En instalaciones de energía eólica 100 con eje horizontal y tres palas de rotor, mediante la regulación síncrona de los ángulos de pala se regula la velocidad de giro por encima de la velocidad del viento nominal, de modo que mediante la modificación del ángulo de ataque se modifica la fuerza ascensional aerodinámica y por consiguiente el momento de accionamiento, de tal manera que la instalación 100 se puede mantener en el rango de velocidad de giro nominal. Además, en el caso de velocidades del viento por encima de la velocidad de desconexión se usa este mecanismo de regulación de pala como freno, en tanto que las palas de rotor 104 se pone con la nariz al viento, de modo que la pala de rotor ya no proporciona momentos de accionamiento mencionables.

En el caso de esta regulación de pala colectiva, debido a las cargas aerodinámicas asimétricas se producen momentos de cabeceo y guiñada sobre la góndola. Las cargas asimétricas se originan, p. ej. debido a cizallamientos por viento en la dirección vertical (capas límite), errores de ángulo de guiñada, ráfagas y turbulencias, contención del flujo en la torre, etc.

Estas cargas aerodinámicas asimétricas se pueden reducir en tanto que el ángulo de ataque de las palas 104 se regula individualmente, (en inglés: Individual Pitch Control, IPC). A este respecto, los sensores 124 se colocan en o sobre las palas de rotor 104, a fin de medir los momentos de flexión a impacto. Estos sirven entonces como magnitudes de regulación para la regulación de pala individual.

5 Para la monitorización de condiciones de las palas de rotor 104 se usan los sensores de aceleración 118 en las palas de rotor 104. Por consiguiente, se pueden medir las frecuencias naturales de la pala de rotor 104. Se pueden detectar los daños en la pala de rotor 104 dado que entonces se desplacen las frecuencias naturales. Una medición de solicitaciones no es posible solo con los sensores de aceleración 118, dado que solo se miden aceleraciones, pero no las cargas de pala.

El enfoque aquí planteado describe una monitorización de condiciones mejorada. A este respecto, se detecta la información 114, 122 de las cargas experimentadas de una pala de rotor 104.

15 Para la monitorización de condiciones se usan los sensores de aceleración 118 en las palas de rotor 104. Estos solo son inapropiados para una medición de solicitaciones, dado que para el cálculo de la elongación de pala se debe integrar dos veces la señal de sensor 114 en el lugar del sensor 118. Pero una integración doble semejante tiene una deriva temporal 120, que conduce a que el valor emitido 112 ya no concuerda con la elongación de pala real tras un corto período de tiempo. En el caso del enfoque aquí presentado, la señal de sensor 112 del sensor de aceleración 118 se libera de la deriva 120, por lo que se puede utilizar la elevada resolución del sensor de aceleración 118.

25 En este ejemplo de realización, el sensor de aceleración 118 está combinado con una galga extensiométrica 124. La galga extensiométrica 124 está colocada en la raíz de pala y detecta la solicitación de pala. En el aparato de control 102 se verifica si el alargamiento medido 122 y los valores 112 calculados a partir de la medición de aceleración coinciden entre sí. Esta correlación se puede realizar por un observador, por ejemplo, un filtro de Kalman. Si se constata que los valores de sensor medidos no coinciden entre sí, entonces la regulación IPC se puede desactivar y se puede dar salida a una notificación para el cambio del sensor 118, 124. En este ejemplo de realización, las mediciones no se usan prioritariamente para la prolongación de la vida útil, sino para la detección segura de errores.

30 En este ejemplo de realización, el sensor de aceleración 118 está combinado con una unidad sensora de elongación basada en cámaras 124. En este caso, el sensor de aceleración 118 se combina con una medición basada en cámaras de la elongación. A este respecto, se coloca una cámara 124 en la raíz de pala de la pala de rotor 104. Esta mira en el interior de la pala de rotor 104. Por la cámara 124 se mide el desplazamiento de los marcadores colocados en la pala de rotor 104. Los marcadores pueden ser reflectantes y reflejar la luz emitida por la cámara 124, o iluminar incluso activamente, por ejemplo, irradiar por LEDs o la luz conducida por fibras de vidrio.

35 En el enfoque aquí presentado se puede usar una cámara económica 124 con baja resolución. A este respecto, la resolución de medición no es suficientemente grande, para detectar la carga sobre la pala de rotor 104 solo usando la cámara 124. Pero, en combinación con un sensor de aceleración 118 en las palas de rotor 104 se pueden conseguir la exactitud de medición requerida mediante la fusión aquí presentada de los datos de sensor en un filtro de Kalman.

40 Mediante el sistema aquí presentado se puede medir la elongación de pala u otra magnitud equivalente, como el momento de flexión de pala de rotor. A este respecto, la medición se basa en la combinación de diferentes sensores 118, 124.

45 Debido al enfoque aquí presentado se pueden medir los momentos de flexión de la raíz de pala de forma económica y con larga vida útil. Para el objetivo de medición descrito se puede usar una combinación de varios sensores.

50 La Figura 2 muestra un diagrama de un método para la detección de una carga 200 sobre una pala de rotor de una instalación de energía eólica según un ejemplo de realización de la invención. El método 200 presenta una etapa de la derivación 202, una etapa de la determinación 204 y una etapa de la averiguación 206. En la etapa de la derivación 202 se deriva una elongación de la pala de rotor a partir de un valor de aceleración. El valor de aceleración representa una aceleración en la pala de rotor. En la etapa de la determinación 204 se determina una fracción de deriva de señal de la elongación usando un valor absoluto. El valor absoluto representa un valor de medición absoluto de un sensor absoluto en la pala de rotor. En la etapa de la averiguación 206 se averigua la carga usando la fracción de deriva de señal y la señal, así como valores característicos del material de la pala de rotor.

55 Además, en el ejemplo de realización, en la etapa de la determinación 204 se verifica la plausibilidad del valor absoluto usando la elongación. A este respecto, se define el valor absoluto como erróneo, cuando el valor absoluto se desvía en más de un rango de tolerancia de la elongación.

60 En otras palabras, el enfoque aquí presentado describe una combinación de sensores para la medición de las solicitaciones de una pala de rotor.

65 Los ejemplos de realización mostrados están seleccionados solo a modo de ejemplo y se pueden combinar entre sí.

Lista de referencias

	100	Instalación de energía eólica
	102	Aparato de control
5	104	Pala de rotor
	106	Dispositivo para la derivación
	108	Dispositivo para la determinación
	110	Dispositivo para la averiguación
	112	Elongación
10	114	Valor de aceleración
	116	Interfaz
	118	Sensor de aceleración
	120	Fracción de deriva de señal
	122	Valor absoluto
15	124	Sensor absoluto
	126	Valor de carga
	200	Método para la detección de una carga
	202	Etapa de la derivación
	204	Etapa de la determinación
20	206	Etapa de la averiguación

REIVINDICACIONES

1. Método para la detección de una carga (200) sobre una pala de rotor (104) de una instalación de energía eólica (100), donde el método (200) presenta las siguientes etapas:
- 5 derivación (202) de una elongación (112) de la pala de rotor (104) a partir de un valor de aceleración (114), que representa una aceleración en la pala de rotor (104), donde el valor de aceleración (114) se integra dos veces para obtener la elongación (112);
- 10 determinación (204) de una fracción de deriva de señal (120) de la elongación (112) usando un valor absoluto (122), que representa un valor absoluto de un sensor absoluto (124) en la pala de rotor (104), en tanto que la elongación (112) se compara con un valor de alargamiento (122) como valor absoluto (122), a fin de obtener una fracción de deriva de señal (120), donde el valor de alargamiento (122) representa un alargamiento de la pala de rotor (104) detectable por una galga extensiométrica (124) en la pala de rotor (104), o en tanto que la elongación (112) se compara con un valor de posición (122) como valor absoluto (122), a fin de obtener
- 15 la fracción de deriva de señal (120), donde el valor de posición (122) representa una posición de la pala de rotor (104) detectable por un sistema de cámaras (124) en la pala de rotor (104), y
- 20 averiguación (206) de la carga usando la fracción de deriva de señal (120) y la elongación (112), así como valores característicos del material de la pala de rotor (104), en tanto que la fracción de deriva de señal (120) se extrae de la elongación (112), a fin de obtener un valor de elongación estabilizado para la averiguación de la carga.
2. Método (200) según la reivindicación 1, en el que en la etapa de la determinación (204) se comparan la elongación (112) y el valor absoluto (122) usando un filtro de Kalman, a fin de determinar la fracción de deriva de señal (120).
- 25 3. Método (200) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que además en la etapa de la determinación (204) se verifica la plausibilidad del valor absoluto (122) usando la elongación (112).
4. Método (200) según la reivindicación 3, en el que en la etapa de la determinación (204) se define el valor absoluto (124) como erróneo cuando el valor absoluto (124) se desvía en más de un rango de tolerancia de la elongación (112).
- 30 5. Aparato de control (102) para la detección de una carga sobre una pala de rotor (104) de una instalación de energía eólica (100), que presenta un dispositivo para la derivación (106) de una elongación (112) de la pala de rotor (104), un dispositivo para la determinación (108) de una fracción de deriva de señal (120) de la elongación (112) y un dispositivo (110) para la determinación de la carga sobre la pala de rotor (104), donde el aparato de control (102) está configurado
- 35 para realizar todas las etapas del método (200) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

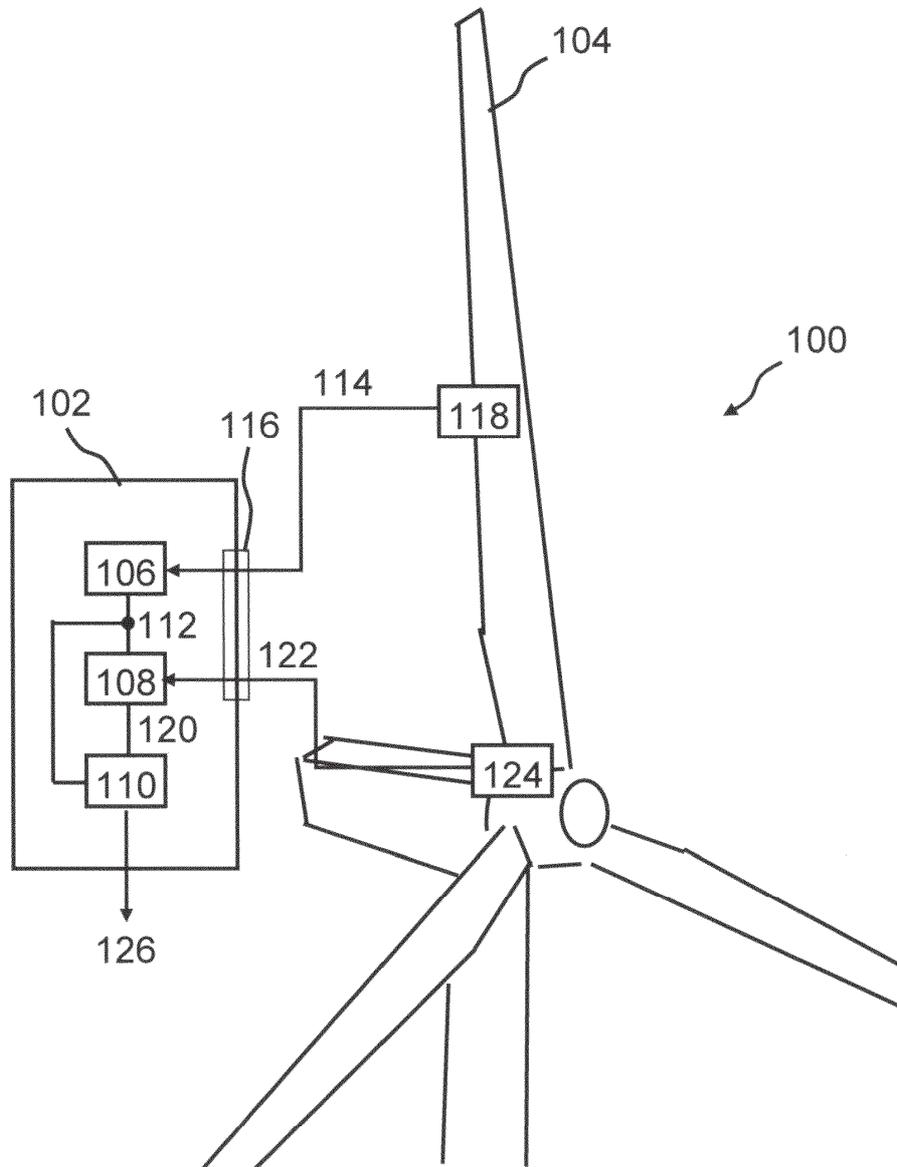


FIG 1

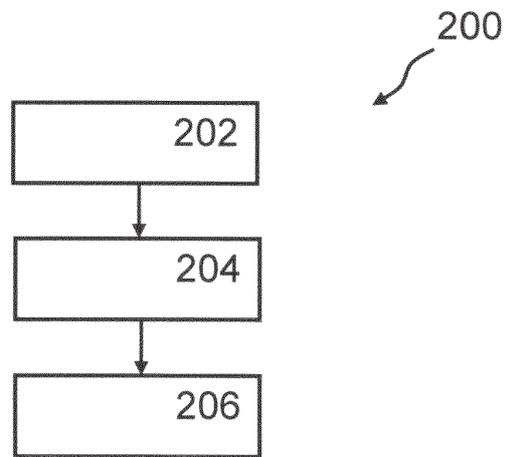


FIG 2