

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 633 346**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.12.2012 PCT/DK2012/050464**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.06.2013 WO13091638**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.12.2012 E 12809098 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.06.2017 EP 2795109**

54 Título: **Método de control para una turbina eólica y turbina eólica**

30 Prioridad:

20.12.2011 DK 201170732

20.12.2011 US 201161577688 P

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

20.09.2017

73 Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)

Hedeager 42

8200 Aarhus N, DK

72 Inventor/es:

KRISTOFFERSEN, JACOB KROGH;

ANDERSEN, ASGER SVENNING;

SØRENSEN, SØREN y

RISAGER, LARS

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 633 346 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 de control para una turbina eólica y turbina eólica

Campo de la invención

5 Las realizaciones de la invención se refieren generalmente a un método de control para una turbina eólica, a una turbina eólica, a un sistema de control para una turbina eólica y a un producto de programa informático que está adaptado para permitir que un sistema informático realice el método de la invención.

Antecedentes

10 En los últimos años, ha aumentado la atención en cuanto a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero generados por la combustión de combustibles fósiles. Una solución para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero es desarrollar fuentes de energía renovables. Particularmente, la energía derivada del viento ha demostrado ser una fuente de energía fiable y segura desde el punto de vista medioambiental, que puede reducir la dependencia de los combustibles fósiles.

15 La energía del viento puede capturarse por una turbina eólica, que es una máquina rotatoria que convierte la energía cinética del viento en energía mecánica, y posteriormente la energía mecánica en energía eléctrica. Las turbinas eólicas de eje horizontal habituales incluyen una torre, una góndola ubicada en el ápice de la torre, y un rotor que está soportado en la góndola por medio de un árbol. El árbol acopla el rotor o bien directamente o bien indirectamente con un conjunto de rotor de un generador alojado en el interior de la góndola. Una pluralidad de generadores de turbina eólica pueden disponerse conjuntamente en un parque eólico o instalación eólica para generar la energía suficiente para soportar una red. El rotor comprende una o más palas unidas a un buje de rotor.
20 Cada una de las palas puede estar dispuesta para variar el paso en relación con el buje, a lo largo de un eje longitudinal de la pala.

25 La mayoría de las turbinas eólicas modernas se controlan y se regulan continuamente, la mayoría de las veces con el fin de garantizar la máxima extracción de energía del viento en las condiciones de viento y de tiempo actuales, mientras se garantiza al mismo tiempo que las cargas sobre los diferentes componentes de la turbina eólica se mantienen en todo momento dentro de límites aceptables. De manera deseable, la turbina eólica puede controlarse también para compensar cambios repentinos rápidos en la velocidad del viento (las denominadas ráfagas de viento), y tener en cuenta los cambios dinámicos en las cargas sobre las palas individuales debido a por ejemplo el cruce con la torre, o la velocidad de viento real que varía con la distancia al suelo (el perfil de viento o cizalladura).

30 Para este fin, se recogen y monitorizan varios parámetros en una turbina eólica por parte de los controladores, tales como por ejemplo la velocidad y dirección del viento actuales, la velocidad de rotación del rotor, el ángulo de paso de cada pala, el ángulo de guiñada, la información sobre el sistema de red, y los parámetros medidos (por ejemplo tensiones o vibraciones) por parte de unos sensores situados por ejemplo en las palas, en la góndola, o en la torre.

35 Basándose en estos y siguiendo alguna estrategia de control, se determinan los parámetros de control óptimos de la turbina con el fin de rendir de manera óptima en determinadas condiciones. El rendimiento actual, y de este modo la producción de energía y la situación de carga de la turbina eólica se controla principalmente controlando los ángulos de paso de las palas, pero puede incluir además ajustar por ejemplo cualquier dispositivo aerodinámico activo diferente para cambiar las superficies aerodinámicas de las palas tales como flaps o medios de generación de remolinos, ajustar la potencia, y/o ajustar la velocidad de rotación del rotor.

40 El documento US2007/057517 da a conocer un método para limitar las cargas en una turbina eólica usando las cargas o la velocidad del viento medidas para aumentar el ángulo de paso mínimo para periodos extendidos. Se permitirá atenuar el ángulo de paso mínimo al valor por defecto cuando se disminuyan los aumentos a la deriva de la carga. El método permitirá que las turbinas capturen más energía funcionando a velocidades de viento mayores y/o utilizando rotores mayores sin pérdida adicional de vida a la fatiga.

45 El documento DK201070273 da a conocer un método de control de una turbina eólica. En la divulgación, se mide a intervalos de tiempo un parámetro de funcionamiento que representa una carga sobre el rotor de turbina eólica. Se determina un parámetro de variación que refleja una variación del parámetro de funcionamiento a lo largo del tiempo y se usa en la determinación de un valor límite de paso mínimo del valor de referencia de paso.

Sumario de la invención

50 Las realizaciones de la invención se refieren generalmente a un método de control para una turbina eólica que permite una detección temprana y robusta de eventos de viento de gran empuje. Por tanto, el método de control de la invención permite una alta reducción de carga en las palas y la torre de la turbina eólica, con poco impacto en las cargas de paso y/o la producción de energía anual de la turbina eólica.

Breve descripción de los dibujos

Se explican realizaciones de la presente invención a modo de ejemplo y con referencia a los dibujos adjuntos. Debe

observarse que los dibujos adjuntos ilustran solo ejemplos de realizaciones de esta invención y por tanto no debe considerarse que limiten su alcance, ya que la invención puede admitir otras realizaciones igualmente eficaces.

La figura 1 ilustra una turbina eólica a modo de ejemplo según una realización de la invención.

La figura 2 ilustra una vista más detallada de una góndola según una realización de la invención.

5 La figura 3 es una ilustración esquemática de un sistema de control según una realización de la invención.

La figura 4 es un dibujo esquemático de un subsistema del sistema de control mostrado en la figura 3.

La figura 5 es un dibujo esquemático del componente de detección del subsistema detector de evento colectivo del sistema de control mostrado en la figura 4.

La figura 6 es un gráfico que ilustra un esquema de mantenimiento de detección de eventos.

10 La figura 7 es un dibujo esquemático del subsistema para el aprendizaje de contribución de paso de evento colectivo del sistema de control mostrado en la figura 3.

La figura 8 es un diagrama esquemático de una adaptación de la contribución de paso colectiva de la figura 7, y

La figura 9 muestra un diagrama de flujo de un ejemplo del método según la invención.

Descripción detallada

15 A continuación, se hace referencia a las realizaciones de la invención. Sin embargo, debe entenderse que la invención no se limita a las realizaciones descritas específicas. En su lugar, se contempla cualquier combinación de las siguientes características y elementos, ya hagan referencia a realizaciones diferentes o no, para implementar y poner en práctica la invención.

20 Además, en diversas realizaciones, la invención proporciona numerosas ventajas con respecto a la técnica anterior. Sin embargo, aunque las realizaciones de la invención pueden aportar ventajas sobre otras posibles soluciones y/o sobre la técnica anterior, el hecho de que se consiga o no una ventaja particular por una determinada realización no limita la invención. Por tanto, los siguientes aspectos, características, realizaciones y ventajas son puramente ilustrativos y no se consideran elementos o limitaciones de las reivindicaciones adjuntas excepto cuando se enumera de manera explícita en una(s) reivindicación(es). Del mismo modo, la referencia a "la invención" no debe interpretarse como una generalización de cualquier objeto de la invención dado a conocer en el presente documento y no debe considerarse que sea elemento o limitación de las reivindicaciones adjuntas excepto cuando se enumera de manera explícita en una(s) reivindicación(es).

30 Una realización de la invención proporciona un método de control de una turbina eólica que comprende una o más palas unidas a un buje de rotor, estando dispuestas la una o más palas para variar el paso en relación con el buje, comprendiendo el método las etapas de obtener una señal de carga de pala que comprende datos sobre una carga de pala absoluta sobre la una o más palas, procesar la señal de carga de pala para detectar un evento de viento de gran empuje, y generar una señal de control que comprende una contribución de paso para hacer que las palas varíen el paso respecto al viento en respuesta al evento de viento coherente detectado. El evento de viento de gran empuje detectado puede ser cualquier evento de viento que proporcione un gran empuje sobre el rotor de la turbina eólica aumentando la carga sobre dos o más palas de la turbina eólica. Ejemplos de un evento de viento de gran empuje de este tipo pueden ser una ráfaga de viento coherente o sustancialmente coherente, un viento extremo o cualquier otro evento de viento que proporciona un rápido aumento en la carga sobre una parte sustancial de o en todo el plano de rotor, es decir, sobre dos o más de las palas de la turbina eólica. Por el presente documento, se obtiene un método para detectar un evento de viento de gran empuje rápidamente debido a los sensores de carga absoluta, con respecto a los cuales se considera que permiten una detección más temprana y más robusta de eventos de viento en comparación con las mediciones realizadas con sensores de carga de pala no absoluta. Los conceptos de control que controlan las palas de una turbina eólica de manera individual pueden no estar diseñados para abordar suficientemente la reducción de carga sobre la turbina eólica y sus componentes en caso de eventos de viento de gran empuje que alcanzan a todas las palas de la turbina eólica. El método de control de la invención aborda la reducción del empuje de rotor y con ello las cargas de torre durante eventos de viento de gran empuje, debido a una correlación relativamente alta entre la carga de las palas y el empuje de rotor real y el momento flector de la parte inferior de la torre.

40 Preferiblemente, la etapa de obtener una señal de carga de pala comprende medir la carga de pala absoluta por medio de un sensor de carga de pala absoluta sobre la una o más palas. Alternativamente, la etapa de obtener una señal de carga de pala comprende estimar la carga de pala absoluta basándose en un sensor de carga en la una o más palas. Puede haber más de un sensor de carga de pala absoluta, por ejemplo la turbina eólica puede comprender tres palas, teniendo cada una un sensor de carga de pala absoluta. En este caso, es preferible que la distancia del buje al sensor de carga de pala absoluta en una pala es sustancialmente igual a la distancia del buje al sensor de carga absoluta en la otra(s) pala(s). En el caso de que más de una pala comprenda más de un sensor de

carga de pala absoluta, es ventajoso que la distancia del buje a los sensores sea sustancialmente la misma en las diferentes palas que tienen más de un sensor.

5 Preferiblemente, cada pala puede comprender uno o más sensores de carga absoluta; sin embargo, en el caso de que la turbina eólica comprenda más de dos palas, no es imprescindible que todas las palas tengan un sensor de carga absoluta.

10 La etapa de detectar un evento de viento de gran empuje del método de la invención comprende obtener una señal de suma de cargas indicativa de la suma de los momentos de carga de pala de la una o más palas de la turbina eólica y comparar la señal de suma de cargas y/o una o más señales derivadas de la señal de suma de cargas con uno o más umbrales de carga de referencia. La suma de cargas es una suma de las cargas de pala absolutas a partir de la señal de carga de pala sobre la una o más palas. En el caso de una turbina eólica que tiene tres palas y la señal de carga de pala que comprende datos sobre la carga de pala absoluta de las tres palas, la suma de cargas es la suma de las cargas de pala absolutas de las tres palas. Esta suma de cargas tiene una alta correlación con el empuje de rotor y el momento flector de la parte inferior de la torre reales y por tanto es indicativa de la carga sobre el rotor y la torre. La contribución de paso puede determinarse basándose en un control P, PI o PID.

15 Preferiblemente, el uno o más umbrales de carga de referencia comprende(n) un primer umbral de carga, en el que se usa el primer umbral de carga para indicar que no se detecta ningún evento. La una o más señales derivadas de la suma de cargas puede ser la media y/o la desviación estándar de la suma de las señales de carga.

20 La etapa de detectar está dispuesta para una detección temprana de eventos de viento de gran empuje, tales como por ejemplo ráfagas de viento. Una prueba de hipótesis sencilla puede determinar si se detecta un evento de viento de gran empuje o no comparando la suma de cargas y/o una o más señales derivadas de la suma de cargas con el primer umbral de carga.

Además, el uno o más umbrales de carga de referencia comprenden un segundo umbral de carga, en el que se usa el segundo umbral para indicar la detección de un evento.

25 Además, el uno o más umbrales de carga de referencia comprenden un tercer umbral derivado del segundo umbral, siendo el tercer umbral inferior al segundo umbral, en el que se usa el tercer umbral para indicar el final de detección de un evento. El tercer umbral de carga puede ser una fracción del segundo umbral de carga, y puede calcularse multiplicando por un factor entre 0 y 1 el segundo umbral de carga. Usando un umbral de carga inferior para detectar el final de un evento de viento de gran empuje en comparación con el umbral usado para detectar el comienzo del evento de viento de gran empuje, se garantiza que la indicación de un evento de viento en curso durará algo más que lo que de otro modo habría sido el caso. Por el presente documento, el inicio de la variación de paso de las palas para que oponga resistencia al viento esperará algo más que lo que de otro modo habría sido el caso. Esto es ventajoso porque, tras no oponer resistencia al viento en el momento de la indicación de un evento de viento, las cargas en las palas normalmente pueden estar en control antes que el momento flector de la parte inferior de la torre; esperando un poco antes de variar el paso para que oponga resistencia al viento después de un evento de viento de gran empuje o evento de ráfaga, puede reducirse la carga de la torre.

40 La etapa de generar una señal de control del método de la invención comprende generar una primera contribución de paso en el caso de que se detecte un evento de viento de gran empuje y generar una segunda contribución de paso tras la detección del final de un evento de viento de gran empuje. Por el presente documento, la contribución de paso en el tiempo después del suceso de un evento de viento de gran empuje y después de la indicación de que el evento de viento ha terminado, puede garantizar una transición sin problemas en la variación de paso de las palas después de un evento de viento de gran empuje.

45 La etapa de generar la segunda contribución de paso comprende comparar la señal de carga de pala y/o una segunda señal derivada de la señal de carga de pala con el segundo umbral de carga. Por tanto, si la señal de carga de pala indica que la carga de pala está muy por debajo del umbral, la reducción en la contribución de paso puede ser rápida, mientras que si la señal de carga de pala indica que la carga de pala está solo ligeramente por debajo del umbral, la reducción en la contribución de paso puede ser más lenta.

El control de paso global de la turbina eólica puede ser una variación de paso colectiva o una variación de paso individual. Sin embargo, la contribución de paso puede ser una contribución de paso colectiva enviada a cada una de la una o más palas.

50 Las etapas del método de la invención pueden repetirse de manera regular o continua. Por el presente documento, el método realiza una monitorización de las cargas sobre la pala de la turbina eólica.

El método puede comprender además la etapa de expedir la contribución de paso determinada a un sistema de actuación de paso. La contribución de paso puede determinarse como una función del gradiente de los datos de sensor de pala.

55 Otra realización de la invención proporciona una turbina eólica que comprende una o más palas unidas a un buje de rotor, estando dispuestas la una o más palas para variar el paso en relación con el buje; en la que una o más de las

5 palas comprende(n) un sensor de carga para proporcionar una señal de carga de pala sobre una carga absoluta sobre la pala, un sistema de control de carga dispuesto para procesar la carga de datos de carga de pala para detectar un evento de viento de gran empuje, y dispuesto para generar una señal de control que comprende una contribución de paso para hacer que las palas varíen el paso respecto al viento en respuesta al evento de viento de gran empuje detectado. La turbina presenta ventajas similares a las descritas en relación con el método de la invención.

Preferiblemente, el sistema de control de carga comprende un controlador P, PI o PID.

10 En una realización, en la que el sensor de carga es un sensor de carga absoluta, tal como una galga extensiométrica óptica compensada en relación con la temperatura y calibrada. Sin embargo, alternativamente, la señal de carga de pala sobre la carga absoluta sobre la pala se deriva de una estimación basada en la salida de sensor de carga.

En una realización de la turbina eólica de la invención, cada una de la una o más palas de la turbina eólica comprende un sensor de carga de pala absoluta situado a la misma distancia del buje. Por el presente documento, se garantiza que los datos de una pala pueden compararse directamente con los datos medidos por otra pala.

15 A continuación se proporciona una descripción detallada de las realizaciones de la invención representadas en los dibujos adjuntos. Las realizaciones son ejemplos y están tan detalladas para comunicar de manera clara la invención.

Sin embargo, no se pretende que los detalles ofrecidos limiten las variaciones de realizaciones anticipadas; sino que al contrario, se pretende cubrir todas las modificaciones, equivalentes, y alternativas que se encuentran dentro del alcance de la presente invención tal como se define mediante las reivindicaciones adjuntas.

20 La figura 1 ilustra una turbina eólica 100 a modo de ejemplo según una realización de la invención. Tal como se ilustra en la figura 1, la turbina eólica 100 incluye una torre 110, una góndola 120, y un rotor 130. En una realización de la invención, la turbina eólica 100 puede ser una turbina eólica terrestre. Sin embargo, las realizaciones de la invención no se limitan solo a turbinas eólicas terrestres. En unas realizaciones alternativas, la turbina eólica 100 puede ser una turbina eólica marina ubicada sobre un cuerpo de agua tal como, por ejemplo, un lago, un océano, o similar.

25 La torre 110 de la turbina eólica 100 puede estar configurada para elevar la góndola 120 y el rotor 130 hasta una altura en la que puede recibir el rotor 130 un flujo de aire fuerte, menos turbulento y generalmente sin obstrucción. La altura de la torre 110 puede ser cualquier altura razonable. La torre 110 puede estar realizada de cualquier tipo de material, por ejemplo, acero, hormigón, o similar. En algunas realizaciones, la torre 110 puede estar realizada de un material monolítico. Sin embargo, en unas realizaciones alternativas, la torre 110 puede incluir una pluralidad de secciones, por ejemplo, dos o más secciones de acero tubular 111 y 112, tal como se ilustra en la figura 1. En algunas realizaciones de la invención, la torre 110 puede ser una torre de celosía. Por consiguiente, la torre 110 puede incluir perfiles de acero soldados.

30 El rotor 130 puede incluir un buje de rotor (denominado simplemente de aquí en adelante en el presente documento "buje") 131 y al menos una pala 132 (se muestran tres palas 132 de este tipo en la figura 1). El buje de rotor 131 puede estar configurado para acoplar la al menos una pala 132 a un árbol (no mostrado). En una realización, las palas 132 pueden tener un perfil aerodinámico de manera que, a velocidades de viento predefinidas, las palas 132 experimentan una sustentación, provocando de este modo que las palas roten radialmente alrededor del buje. La góndola 120 puede incluir uno o más componentes configurados para convertir la energía aeromecánica de las palas en energía de rotación del árbol, y la energía de rotación del árbol en energía eléctrica.

35 La turbina eólica 100 puede incluir una pluralidad de sensores para monitorizar una pluralidad de parámetros asociados con, por ejemplo, las condiciones medioambientales, las cargas de turbina eólica, métricas de rendimiento, y similares. Por ejemplo, se muestra una galga extensiométrica 133 sobre la pala 132. En una realización, la galga extensiométrica 133 puede estar configurada para detectar la flexión o la torsión de las palas 132. La información en relación con la flexión y la torsión de las palas puede ser necesaria para realizar una o más operaciones que reduzcan las cargas en las palas 132 que pueden producirse, por ejemplo, durante alta turbulencia o grandes ráfagas de viento. En tales situaciones, puede variarse el paso de las palas para reducir las cargas, impidiendo de este modo el daño de las palas.

40 La figura 1 ilustra también un acelerómetro 113 que puede estar situado en la torre 110. El acelerómetro 113 puede estar configurado para detectar movimientos horizontales y flexión de la torre 110 que pueden producirse debido a las cargas sobre la turbina eólica 100. Los datos capturados por el acelerómetro 113 pueden usarse para realizar una o más operaciones para reducir las cargas sobre la turbina eólica 100. En algunas realizaciones de la invención, el acelerómetro 113 puede estar situado en la góndola 120. Sin embargo, en algunas realizaciones de la invención, no está situado ningún acelerómetro 113 en la torre.

55 La figura 1 representa también un sensor de viento 123. El sensor de viento 123 puede estar configurado para detectar una dirección del viento en o cerca de la turbina eólica 100. Detectando la dirección del viento, el sensor de viento 123 puede proporcionar datos útiles que pueden determinar operaciones para dar guiñada a la turbina eólica

100 para que oponga resistencia al viento. El sensor de viento 123 puede detectar también una velocidad del viento. Los datos de velocidad de viento pueden usarse para determinar un ángulo de paso apropiado que permite que las palas 132 capturen una cantidad deseada de energía del viento. En algunas realizaciones, el sensor de viento 123 puede estar integrado con un sensor de temperatura, un sensor de presión, y similar, que pueden proporcionar datos adicionales en relación con el entorno que rodea la turbina eólica. Datos de este tipo pueden usarse para determinar uno o más parámetros de funcionamiento de la turbina eólica para facilitar la captura de una cantidad deseada de energía por la turbina eólica 100.

Mientras que se describen en el presente documento una galga extensiométrica 133, un acelerómetro 113, y un sensor de viento 123, las realizaciones de la invención no se limitan a los tipos de sensores mencionados anteriormente. En general, puede estar situado cualquier tipo y número de sensores en diversas ubicaciones de la turbina eólica 100 para facilitar la captura de datos en relación con la salud estructural, el rendimiento, la prevención de daños, la acústica y similar. Por ejemplo, puede estar situado un sensor de ángulo de paso en o cerca de una pala de turbina eólica para determinar un ángulo de paso actual de la pala.

La figura 2 ilustra una vista más detallada de una góndola 120 según una realización de la invención. Tal como se ilustra en la figura 2, la góndola 120 puede incluir al menos un árbol de baja velocidad 210, un árbol de alta velocidad 211, una caja de engranajes 220, y un generador 230. En una realización, el árbol de baja velocidad 210 puede acoplar la caja de engranajes 230 al buje 130, tal como se ilustra en la figura 2. La caja de engranajes 230 puede hacer uso de las relaciones de transmisión en un tren de accionamiento para proporcionar conversiones de velocidad y par de torsión desde la rotación del árbol de baja velocidad 210 hasta el conjunto de rotor del generador 230 por medio del árbol de alta velocidad 211.

En una realización alternativa, el árbol de baja velocidad 210 puede conectar directamente el buje 130 con un conjunto de rotor del generador 230 de modo que la rotación del buje 130 directamente hace que el conjunto de rotor gire en relación con un conjunto de estator del generador 230. En unas realizaciones en las que el árbol de baja velocidad 210 está acoplado directamente al buje 130, puede no estar incluida la caja de engranajes 220, permitiendo de este modo que la góndola 120 sea más pequeña y más ligera.

El generador 230 puede estar configurado para generar una corriente alterna trifásica basándose en uno o más requisitos de red. En una realización, el generador 230 puede ser un generador síncrono. Los generadores síncronos pueden estar configurados para funcionar a una velocidad constante, y pueden estar conectados directamente a la red. En algunas realizaciones, el generador 230 puede ser un generador de imanes permanentes. En realizaciones alternativas, el generador 230 puede ser un generador asíncrono, también conocido a veces como generador de inducción. Los generadores de inducción pueden estar directamente conectados a la red o no. Por ejemplo, en algunas realizaciones, el generador 230 puede estar acoplado a la red por medio de uno o más dispositivos eléctricos configurados para, por ejemplo, ajustar la corriente, la tensión y otros parámetros eléctricos para adaptarse a uno o más requisitos de red. Dispositivos eléctricos a modo de ejemplo incluyen, por ejemplo, inversores, convertidores, resistencias, conmutadores, transformadores, y similares.

Las realizaciones de la invención no se limitan a cualquier tipo particular de generador o disposición del generador y a uno o más dispositivos eléctricos asociados con el generador en relación con la red eléctrica. Cualquier tipo adecuado de generador que incluye (pero no se limita a) generadores de inducción, generadores de imanes permanentes, generadores síncronos, o similares, configurados para generar electricidad según los requisitos de red se encuentra dentro del alcance de la invención.

En algunas realizaciones, pueden estar incluidos una pluralidad de sensores en la góndola 120 para monitorizar la salud estructural y el rendimiento de los componentes en la misma, la calidad de la energía generada, y similares. Por ejemplo, puede estar situado un sensor 221 en la caja de engranajes 220 para detectar esfuerzo mecánico y desgaste de la caja de engranajes 220. Un sensor 231 puede estar situado en el generador 230 para detectar la velocidad de generador, la generación de energía, o similar.

La figura 3 es una ilustración esquemática de un sistema de control 300 a modo de ejemplo según una realización de la invención. El sistema de control 300 está ubicado preferiblemente dentro de una turbina eólica 100, por ejemplo en el buje 131, en la góndola 120 o en la torre 110. Tal como se menciona en conexión con las figuras 1 y 2, la turbina eólica 100 comprende una o más palas 132. En esta realización, cada una de las una o más palas 132 comprende un sensor de carga absoluta BLS 301 (no mostrado en la figura 1) para obtener la carga de pala absoluta de la pala en la que está ubicado el sensor. Además, cada una de la una o más palas 132 comprende un sensor de posición de paso PPS 302 (no mostrado en la figura 1) para obtener datos de posición de paso sobre la pala en la que está ubicado el sensor. Alternativamente, la carga absoluta puede estimarse a partir de sensores de carga relativa u otros medios de medición relevantes de la turbina eólica.

El sistema de control 300 está dispuesto para procesar la carga de pala absoluta del/de los sensor(es) de carga de pala 301 y los datos de posición de paso del/de los sensor(es) de posición de paso 302 con el fin de proporcionar una contribución de paso para hacer que las palas varíen el paso respecto al viento en respuesta al evento de viento de gran empuje detectado, tal como se describirá más adelante. Preferiblemente, cada una de las palas 132 de la turbina eólica comprende un sensor de carga de pala absoluta 301; en el caso de una turbina eólica con más de una

5 pala, los sensores de carga de pala absoluta 301 de las diferentes palas 132 están situados a distancias similares con respecto al buje con el fin de poder comparar la carga de pala absoluta de una pala con la carga de pala absoluta medida en valor absoluto por el sensor de carga de pala 301 de otra pala. También puede concebirse que más de un sensor de carga de pala absoluta 301 está montado en el interior de o en cada pala; en este caso también se prefiere que los sensores de carga de pala absoluta 301 de una primera pala estén ubicados a distancias con respecto al buje sustancialmente iguales a las distancias entre el buje y los sensores de carga de pala absoluta 301 de la(s) otra(s) pala(s).

El sistema de control comprende un subsistema CED 310 para la detección de evento colectivo y otro subsistema CEPCL 320 para el aprendizaje de contribución de paso de evento colectivo.

10 El sistema de control 300 está dispuesto para recibir datos de entrada de los sensores de carga de pala absoluta BLS 301. Los sensores de carga de pala absoluta 301 son preferiblemente sensores de momento flector de la raíz de flap de pala absoluto, por ejemplo sensores de carga de fibra óptica con compensación de temperatura, dispuestos para proporcionar mediciones de carga de pala absoluta. La salida de los sensores de carga de pala absoluta 301 se introduce como un vector de momento flector de la raíz de pala M en el subsistema de detección de evento colectivo 310. En el caso en el que la turbina eólica 100 comprende tres palas 132, estando designadas las palas como A, B y C, el vector de momento flector de la raíz de pala M contiene tres componentes de momento de la raíz de pala, M_A , M_B y M_C . Tal como se describirá más detalle en conexión con la figura 4, el subsistema de detección de evento colectivo 310 procesa los datos en el vector de momento flector de la raíz de pala M con el fin de emitir una señal de evento binaria $B_{M_{suma}}$ que indica si se ha detectado un evento o no. La señal de evento binaria $B_{M_{suma}}$ se introduce en el subsistema de aprendizaje de contribución de paso de evento colectivo 320, estando dispuesto también el subsistema 320 para recibir una entrada de posición de paso θ de los sensores de posición de paso PPS 302 de las palas. En el caso en el que la turbina eólica 100 comprende tres palas, A, B y C, la entrada de posición de paso θ es un vector que contiene tres componentes de posición de paso, θ_A , θ_B y θ_C .

25 Tal como se describirá más detalle en relación con la figura 7, el subsistema de aprendizaje de contribución de paso de evento colectivo 320 procesa la señal de evento binaria $B_{M_{suma}}$ y la entrada de sensor de posición de paso θ con el fin de proporcionar una contribución de paso $\Delta\theta_{Col}$ para hacer que las palas varíen el paso respecto al viento en respuesta al evento de viento de gran empuje detectado. La contribución de paso puede ser una contribución de paso colectiva dispuesta para enviarse a un activador de paso de cada pala, porque un evento de viento de gran empuje normalmente influye en las palas sustancialmente de manera similar.

30 La figura 4 es un dibujo esquemático del subsistema detector de evento colectivo 310 del sistema de control mostrado en la figura 3. Un propósito del subsistema detector de evento colectivo 310 es permitir la detección temprana de eventos de viento de gran empuje, tales como ráfagas, con el fin de permitir la optimización de reducción de carga durante eventos de viento de gran empuje, tales como ráfagas, sin comprometer la producción de energía global de la turbina eólica o las cargas de sistema de paso.

35 El subsistema detector de evento colectivo 310 comprende un componente de suma de cargas 311, un componente de estimación de carga de suma de momentos de plano de rotor RPMSLE 313 y un componente de detección 315, tal como se describirá a continuación. El componente de suma de cargas 311 recibe el vector de momento flector M y proporciona una señal M_{suma} en la suma de momentos de pala absolutos para las tres palas A, B y C. La correlación entre la señal de momentos de pala absolutos M_{suma} y el empuje de rotor real y/o el momento flector de la parte inferior de la torre es relativamente alta, y por tanto la señal de momentos de pala absolutos M_{suma} es útil en la detección de cargas de los eventos de viento de gran empuje. La señal de momentos de pala absolutos M_{suma} se introduce en el componente de estimación de carga de suma de momentos de plano de rotor 313 así como en el componente de detección 315.

45 El componente de estimación de carga de suma de momentos de plano de rotor 313 está dispuesto para determinar la media $\mu_{M_{suma}}$ y la desviación estándar $\sigma_{M_{suma}}$ de la suma de los momentos de flap de pala M_{suma} . En cada intervalo de tiempo, se estiman y se actualizan la media $\mu_{M_{suma}}$ y la desviación estándar $\sigma_{M_{suma}}$ de la suma de los momentos de flap de pala M_{suma} .

50 De esta manera, se mantiene una envolvente de la suma de momentos de flap de pala M_{suma} para el funcionamiento normal, es decir la suma de momentos de flap de pala esperada, a partir de la cual pueden detectarse desviaciones. La estimación de $\mu_{M_{suma}}$ y $\sigma_{M_{suma}}$ puede realizarse por ejemplo por medio de promediación exponencial:

$$\mu_{M_{suma}}(n) = B_{M_{suma}} \frac{T}{\tau_{Carga}} M_{suma}(n) + \left(1 - B_{M_{suma}} \frac{T}{\tau_{Carga}} \right) \mu_{M_{suma}}(n-1)$$

$$\psi_{M_{suma}}(n) = B_{M_{suma}} \frac{T}{\tau_{Carga}} M_{suma}^2(n) + \left(1 - B_{M_{suma}} \frac{T}{\tau_{Carga}} \right) \psi_{M_{suma}}(n-1)$$

$$\sigma_{M_{suma}}(n) = \sqrt{\psi_{M_{suma}}(n) - \mu_{M_{suma}}^2(n)}$$

5 Debe observarse que la salida del subsistema detector de evento colectivo 310, es decir, la señal de evento binaria $B_{M_{suma}}$, también se introduce en el componente de estimación de carga de suma de momentos de plano de paso 313. El motivo de esto es que las $\mu_{M_{suma}}$ y $\sigma_{M_{suma}}$ no deben actualizarse cuando se detecta un evento debido al hecho de que el esquema de mantenimiento de detección de evento descrito a continuación no sería válido si fuese este el caso. Por tanto, si los datos de momento de flap se usaron durante los eventos, $\mu_{M_{suma}}$ y $\sigma_{M_{suma}}$ y por consiguiente un umbral de suma de momentos de pala absolutos se aumentarían significativamente.

10 La salida del componente de estimación de carga de suma de momentos de plano de rotor 313, es decir, la media $\mu_{M_{suma}}$ y la desviación estándar $\sigma_{M_{suma}}$ de los momentos de flap de pala M_{suma} , se introduce en el componente de detección 315 del subsistema detector de evento colectivo 310. El funcionamiento del componente de detección 315 se describe adicionalmente en conexión con la figura 5. Tal como se mencionó anteriormente, la salida del componente de detección 315 es la señal de evento binaria $B_{M_{suma}}$ que indica si se ha detectado un evento de viento de gran empuje o no.

15 La figura 5 es un dibujo esquemático del componente de detección 315 del subsistema detector de evento colectivo 310 del sistema de control mostrado en la figura 3. El componente de detección 315 comprende un componente detector de suma de momentos 316 y un componente de mantenimiento de evento de detección 317. La entrada al componente detector de suma de momentos 316 consiste en las señales de entrada al componente de detección 315 tal como se muestra en la figura 4, es decir, la señal de momentos de pala absolutos M_{suma} así como la media $\mu_{M_{suma}}$ y la desviación estándar $\sigma_{M_{suma}}$ de la suma de los momentos de flap de pala M_{suma} .

La salida del componente detector de suma de momentos 316 es una indicación H de si se detecta un evento de viento de gran empuje o no se detecta ningún evento de viento de gran empuje. El componente detector de suma de momentos 316 está dispuesto para permitir una detección temprana de eventos de viento de gran empuje. Por ejemplo, el detector de suma de momentos puede incluir tres umbrales de momento diferentes definidos como:

25

$$T_{MS1} = M_{Suma, Min}$$

$$T_{MS2} = \mu_{M_{suma}} + N_{M_{suma}} \sigma_{M_{suma}} \left(\mu_{M_{suma}} \right) \cdot \max(\sigma_{M_{suma, min}}, \sigma_{M_{suma}})$$

$$T_{MS3} = M_{Suma, Máx} \left(\mu_{M_{suma}} \right)$$

30 Una prueba de hipótesis sencilla puede determinar si no se detecta un evento, que corresponde al resultado de hipótesis H_0 , o se detecta un evento, que corresponde al resultado de hipótesis H_1 . La prueba de hipótesis puede llevarse a cabo de manera continua, o por ejemplo cuando una pala pasa a través de un determinado sector del plano de rotor, y se define como:

$$\text{No se detecta evento: } H_{0,s}: M_{suma} \leq T_{MS1}$$

$$\text{Se detecta evento: } H_{1,s}: M_{suma} > \min(T_{MS2}, T_{MS3})$$

El primer umbral T_{MS1} es un límite de momento mínimo $M_{Suma, min}$ establecido con el fin de minimizar el número de falsas detecciones de evento de viento de gran empuje.

35 El segundo umbral T_{MS2} está establecido con el fin de proporcionar una estimación del funcionamiento normal de la envolvente de carga.

Una planificación de ganancias de $N_{M_{suma} \sigma}$ con $\mu_{M_{suma}}$ se incluye para minimizar el número de falsas alarmas de detección de evento de alto empuje. $N_{M_{suma} \sigma}$ designa el número de desviaciones estándar que define la anchura de la banda alrededor del valor promedio que define el funcionamiento normal. El número de desviaciones estándar se encuentra normalmente alrededor de uno a seis, pero podría ser mayor. La anchura permisible de la banda depende del valor promedio para adaptar la sensibilidad a un nivel de carga de bajo riesgo y un nivel de carga de alto riesgo. Cuando el momento de pala promedio es bajo, la envolvente de carga puede ser relativamente grande al contrario que una situación en la que el momento de pala promedio es alto, sin que aumente significativamente el riesgo de cargas extremas altas.

45 Una desviación estándar mínima $\sigma_{M_{suma, min}}$ se incluye para establecer un límite inferior en la envolvente de carga. De otro modo, el número de falsas detecciones de evento de viento de gran empuje en baja turbulencia (baja desviación estándar) aumentaría significativamente.

El tercer umbral T_{MS3} se incluye para permitir la detección temprana de eventos de viento en por ejemplo alta

turbulencia, cuando la desviación estándar de los momentos de flap de pala es relativamente alta. Esta situación proporcionaría una detección relativamente tardía debido al umbral T_{MS2} . Por tanto, este umbral incluye un grado de libertad para la optimización de carga.

5 La salida H del componente detector de suma de momentos 316 es el resultado de la prueba de hipótesis sobre si se detecta un evento de viento de gran empuje o no, tal como se describió anteriormente. Este resultado de prueba de hipótesis H se introduce en el componente de mantenimiento de evento de detección 317, describiéndose la función del mismo adicionalmente en conexión con la figura 6. Tal como se mencionó anteriormente, la salida del componente de detección 317 es la señal de evento binaria B_{Msuma} que indica si se detecta un evento de viento de gran empuje o no.

10 La figura 6 es un gráfico 600 que ilustran un esquema de mantenimiento de detección de eventos. El gráfico 600 contiene dos subgráficos, 610 y 620, de los cuales el subgráfico superior 610 ilustra la suma de momentos de pala absolutos M_{suma} para las tres palas de la turbina eólica como función del tiempo, mientras que el subgráfico inferior 620 ilustra el resultado H de la prueba de hipótesis descrita en relación con la figura 5 como función del tiempo.

15 En el gráfico 610, la curva 630 ilustra un ejemplo de la suma de momentos de pala absolutos M_{suma} para las tres palas de la turbina eólica como función del tiempo. En el tiempo t_1 , la suma de momentos de pala absolutos M_{suma} para las tres palas alcanza un umbral, es decir, el segundo umbral de carga T_{Msuma} se determina como:

$$T_{Msuma} = \max(T_{MS1} \quad \min(T_{MS2} \quad T_{MS3}))$$

20 Una suma de los momentos de pala absolutos M_{suma} que supera este umbral indica la detección de un evento de viento de gran empuje, que se indica en el gráfico 620 porque el resultado de la hipótesis H es H_1 a partir del tiempo t_0 . Entre el tiempo t_0 y el tiempo t_1 , la suma de momentos de pala absolutos M_{suma} está por encima del segundo umbral de carga T_{Msuma} y el gráfico 620 indica la detección de un evento de viento de gran empuje tal como un evento de ráfaga. En el tiempo t_1 , la suma de momentos de pala absolutos M_{suma} ha disminuido hasta igualarse al segundo umbral de carga; sin embargo, el componente de mantenimiento de evento de detección 317 (mostrado en la figura 5) está dispuesto para derivar un tercer umbral del segundo umbral, siendo el tercer umbral inferior al segundo umbral. El tercer umbral en el caso de la figura 6 se indica como $T_{Msuma} \cdot (k_{mantenimiento}/100)$, donde $k_{mantenimiento}$ es una constante entre 0 y 100. La constante $k_{mantenimiento}$ puede ajustarse para optimizar el equilibrio entre la pérdida de producción de energía anual, las cargas de sistema de paso y la reducción de carga obtenida introduciendo el tercer umbral de carga. La curva 630 alcanza el tercer umbral $T_{Msuma} \cdot (k_{mantenimiento}/100)$ en el tiempo t_2 , dando como resultado el cambio en la hipótesis H de la hipótesis H_1 que indica la detección de evento de viento de gran empuje o evento de ráfaga a la hipótesis H_0 que indica la no detección de ningún evento de viento de gran empuje o de ningún evento de ráfaga.

25 Tal como se describió anteriormente, usando un umbral de carga inferior para detectar el final de un evento de viento de gran empuje en comparación con el umbral usado para detectar el comienzo del evento de viento de gran empuje, se garantiza que la indicación de un evento de viento en curso durará algo más que lo que de otro modo habría sido el caso. Por el presente documento, el inicio de la variación de paso de las palas para que oponga resistencia al viento esperará algo más que lo que de otro modo habría sido el caso, porque la terminación del evento de viento de gran empuje no se detecta únicamente en el tiempo t_2 en lugar de detectarse en el tiempo t_1 . Esto es ventajoso porque, tras variar el paso para no oponer resistencia al viento en el momento de la indicación de un evento de viento, normalmente las cargas en las palas pueden estar en control antes que el momento flector de la parte inferior de la torre; puede reducirse la carga de la torre esperando un poco antes de variar el paso para que oponga resistencia al viento después de un evento de viento de gran empuje.

La figura 7 es un dibujo esquemático del subsistema CEPCL 320 para el aprendizaje de contribución de paso de evento colectivo del sistema de control 300 mostrado en la figura 3.

35 El subsistema de aprendizaje de contribución de paso de evento colectivo 320 procesa la señal de evento binaria B_{Msuma} y la entrada de sensor de posición de paso θ con el fin de proporcionar una contribución de paso $\Delta\theta_{Col}$ para hacer que las palas varíen el paso para no oponer resistencia al viento en respuesta al evento de viento detectado. El subsistema de aprendizaje de contribución de paso de evento colectivo 320 mostrado en la figura 7 contiene dos subcomponentes, es decir, un componente de actualización de contribución de paso colectiva COCU 322 y un componente de adaptación de contribución de paso colectiva CPCA 324. Las funcionalidades del componente de actualización de contribución de paso colectiva COCU 322 consisten en proporcionar ajustes de la contribución de referencia de paso colectiva tras la detección de un evento de viento de gran empuje, incluyendo durante la transición desde la detección de evento hasta la no detección de evento. La salida del componente de actualización de contribución de paso colectiva COCU 322 es el segundo umbral de carga T_{Msuma} , que se determina como:

$$T_{Msuma} = \max(T_{MS1} \quad \min(T_{MS2} \quad T_{MS3}))$$

55 Este segundo umbral de carga T_{Msuma} se introduce en el componente de adaptación de contribución de paso colectiva CPCA 324, que está dispuesto para determinar una contribución de paso colectiva $\Delta\theta_{Col}$ tal como se

describirá a continuación.

Durante la detección de un evento de viento de gran empuje, la contribución de paso colectiva $\Delta\theta_{Col}$ es una primera contribución de referencia de paso predeterminada o desfase de referencia de paso $\Delta\theta$. Sin embargo, en el tiempo en el que la detección de evento indica que ha finalizado el evento de viento de gran empuje detectado, la contribución de paso colectiva $\Delta\theta_{DWG,Col}$ o el desfase de paso debe determinarse como:

$$\Delta\theta_{Req,Col} = \Delta\theta_{Col} = \frac{1}{3}(\theta_{A,detenc} + \theta_{B,detenc} + \theta_{C,detenc}) - \frac{1}{3}(\theta_{A,inicio} + \theta_{B,inicio} + \theta_{C,inicio})$$

donde

- $\theta_{A,inicio}$ y $\theta_{A,detenc}$, respectivamente, es el ángulo de paso medido de la pala A cuando se detecta el evento y cuando se detiene la detección, respectivamente;

10 - $\theta_{B,inicio}$ y $\theta_{B,detenc}$, respectivamente, es el ángulo de paso medido de la pala B cuando se detecta el evento y cuando se detiene la detección, respectivamente;

- donde $\theta_{C,inicio}$ y $\theta_{C,detenc}$, respectivamente, es el ángulo de paso medido de la pala C cuando se detecta el evento y cuando se detiene la detección, respectivamente;

- $\Delta\theta_{Req,Col}$ es el ángulo de paso requerido para cambiar de la hipótesis H_1 a la hipótesis H_0 .

15 Con este enfoque, se permite una transferencia sin problemas de la referencia de paso cuando la detección de evento indica que se ha detenido un evento de viento de gran empuje.

La figura 8 es un diagrama esquemático del componente de adaptación de contribución de paso colectiva CPCA 324 de la figura 7. En el ejemplo de la figura 8, el componente de adaptación de contribución de paso colectiva CPCA 324 es un controlador P. Tal como se menciona en conexión con la figura 7, la entrada al componente de adaptación de contribución de paso colectiva CPCA 324 incluye el segundo umbral de carga T_{Msuma} . El componente de adaptación de contribución de paso colectiva CPCA 324 comprende un comparador 325 dispuesto para comparar la suma de momentos de pala absolutos M_{suma} y el segundo umbral de carga T_{Msuma} .

25 La salida del componente de adaptación de contribución de paso colectiva CPCA 324 es la contribución de paso colectiva $\Delta\theta_{Col}$. Tal como se mencionó en relación con la figura 7, en el caso de la detección de un evento de viento de gran empuje, la contribución de paso colectiva $\Delta\theta_{Col}$ es una primera contribución de paso predefinida $\Delta\theta$. En el caso de la detección del final de un evento de viento de gran empuje, la contribución de paso colectiva $\Delta\theta_{Col}$ es una segunda contribución de paso. Por tanto, si la carga de pala absoluta indica que la carga de pala está muy por debajo del segundo umbral de carga T_{Msuma} , la reducción en la contribución de paso puede ser rápida, mientras que si la carga de pala absoluta indica que la carga de pala está solo ligeramente por debajo del umbral, la reducción en la contribución de paso puede ser más lenta.

35 La salida del comparador 325 se multiplica por un factor de ganancia K_p en el componente de ganancia 326 y se introduce en un bloque de saturación 327 dispuesto para garantizar que la salida del componente de ganancia 326 no puede volverse negativa. Un segundo comparador 328 está dispuesto para comparar la salida del bloque de saturación 327 con la contribución de paso colectiva $\Delta\theta_{Col(n-1)}$ obtenida en un tiempo anterior con el fin de determinar la presente contribución de paso colectiva $\Delta\theta_{Col}$. La salida del comparador 328 se introduce en un segundo bloque de saturación 329 con el fin de evitar un resultado negativo.

40 El componente de adaptación de contribución de paso colectiva 324 está dispuesto para reducir la contribución de paso colectiva $\Delta\theta_{Col}$ a cero después de que se ha determinado que ha terminado un evento de viento de gran empuje. El enfoque descrito en relación con la figura 8 reduce el desfase de referencia de paso colectiva dependiente de la suma de momentos de flap real. Si la suma de momentos de pala está muy por debajo del segundo umbral de carga, se considera que es segura para reducir el desfase de referencia de paso colectiva. Si la suma de momentos de pala está solo ligeramente por debajo del segundo umbral de carga, el desfase de referencia de paso colectiva solo debe reducirse ligeramente.

45 Por tanto, la prueba de hipótesis que indica si se detecta un evento de viento de gran empuje (hipótesis H_1) o no (hipótesis H_0) o si ha tenido lugar una transición de la hipótesis H_1 a la H_0 , puede describirse como (omitiendo los bloques de saturación):

Se detecta evento:	H_1 :	$\Delta_{Col} = \Delta\theta$
Transición:	$H_1 \rightarrow H_0$:	$\Delta_{Col}(n) = \Delta\theta_{Req,Col}(n)$
No se detecta evento:	H_0 :	$\Delta\theta_{Col}(n) = \Delta\theta_{Col}(n-1) - K_p (T_{Msuma}(n) - M_{suma}(n))$

donde $\Delta\theta_{Req,Col}$ es el ángulo de paso requerido para cambiar de una hipótesis verdadera H_1 a una hipótesis verdadera H_0 .

- En las fórmulas anteriores, “n” se refiere a los intervalos de tiempo. Por ejemplo, si el tiempo “n” es ahora, el tiempo “n-1” es el anterior intervalo de tiempo. La fórmula H_0 se refiere a la disminución de la contribución de paso. La
- 5 presente contribución de paso (intervalo de tiempo n) es igual al paso del último intervalo de tiempo (n-1) menos un valor dependiente de la diferencia entre la carga real y la carga esperada. Esto significa que la contribución de paso se disminuye dependiendo de la reducción de la carga. Es decir, si se ha variado el paso de las palas de la turbina eólica para que no opongan resistencia al viento y la carga medida se vuelve menor que la carga esperada, debe eliminarse el desfase de paso.
- 10 La figura 9 muestra un diagrama de flujo 900 de un ejemplo del método según la invención. El método 900 se inicia en la etapa 910, y va a la etapa 920, en el que se obtiene una señal de carga de pala, o bien de uno o bien de más sensores de carga absoluta en la una o más palas a partir de la estimación de la carga de pala absoluta de la una o más palas. En una etapa siguiente, etapa 930, se procesa la señal de carga de pala para detectar un evento de viento de gran empuje, y en una etapa posterior, etapa 940, se genera una señal de control que comprende una
- 15 contribución de paso para hacer que las palas varíen el paso respecto al viento en respuesta al evento de viento de gran empuje detectado. El método se detiene en la etapa 950.

REIVINDICACIONES

1. Método de control de una turbina eólica que comprende una o más palas unidas a un buje de rotor, estando dispuestas la una o más palas para variar el paso en relación con el buje, comprendiendo el método las etapas de:
 - 5 - obtener una señal de suma de cargas de pala absolutas indicativa de la suma de las cargas de pala absolutas sobre la una o más palas,
 - determinar una envolvente de la señal de suma de cargas de pala absolutas para el funcionamiento normal,
 - 10 - determinar una pluralidad de umbrales de carga de referencia a partir de la envolvente de la señal de suma de cargas de pala absolutas,
 - procesar los datos de carga de pala para detectar un evento de viento de gran empuje, donde la etapa de detectar el evento de viento de gran empuje comprende comparar la señal de suma de cargas y/o una o más señales derivadas de la señal de suma de cargas con la pluralidad de umbrales de carga de referencia, y
 - 15 - generar una señal de control que comprende una contribución de paso para hacer que las palas varíen el paso respecto al viento en respuesta al evento de viento detectado.
2. Método de control de una turbina eólica según la reivindicación 1, en el que la etapa de obtener la señal de carga de pala absoluta comprende medir la carga de pala absoluta por medio de un sensor de carga de pala absoluta en la una o más palas, o estimar la carga de pala absoluta basándose en un sensor de carga en la una o más palas.
3. Método de control de una turbina eólica según la reivindicación 2, en el que los diversos umbrales de carga de referencia comprenden un primer umbral de carga, en el que se usa el primer umbral de carga para indicar que no se ha detectado ningún evento, y un segundo umbral de carga, en el que se usa el segundo umbral para indicar la detección de un evento.
- 25 4. Método de control de una turbina eólica según la reivindicación 3, en el que los diversos umbrales de carga de referencia comprenden un tercer umbral derivado del segundo umbral, en el que se usa el tercer umbral para indicar el final de detección de un evento.
5. Método de control de una turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la etapa de generar una señal de control comprende generar una primera contribución de paso en el caso de que se detecte un evento de viento de gran empuje y generar una segunda contribución de paso tras la detección del final de un evento de viento de gran empuje.
- 30 6. Método de control de una turbina eólica según la reivindicación 5, en el que la etapa de generar una segunda contribución de paso comprende comparar los datos de carga de pala y/o una señal derivada de los datos de carga de pala con el segundo umbral de carga.
- 35 7. Método de control de una turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que la contribución de paso es una contribución de paso colectiva enviada a cada una de la una o más palas.
8. Método de control de una turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que las etapas se repiten de manera regular o continua.
9. Método de control de una turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que la contribución de paso se determina como función del gradiente de los datos de sensor de pala.
- 40 10. Turbina eólica que comprende:
 - una o más palas unidas a un buje de rotor, estando dispuestas la una o más palas para variar el paso en relación con el buje
 - en la que una o más de las palas comprende(n) un sensor de carga para proporcionar una señal de suma de cargas de pala absolutas indicativa de la suma de las cargas de pala absolutas sobre la una o más palas,
 - un sistema de control de carga dispuesto para procesar la carga de datos de carga de pala absoluta para determinar una envolvente de la señal de suma de cargas de pala absolutas para el funcionamiento normal, y determinar una pluralidad de umbrales de carga de referencia a partir de la envolvente de la señal de
 - 50 suma de cargas de pala absolutas,

en la que el sistema de control de carga está dispuesto para detectar un evento de viento de gran empuje comparando la señal de suma de cargas y/o una o más señales derivadas de la señal de suma de cargas con la pluralidad de umbrales de carga de referencia, y está dispuesto para generar una señal de control que comprende una contribución de paso para hacer que las palas varíen el paso respecto al viento en respuesta al evento de viento de gran empuje detectado.

- 5
11. Turbina eólica según la reivindicación 10, en la que el sensor de carga es un sensor de carga absoluta.
 12. Turbina eólica según la reivindicación 11, en la que el sensor de carga absoluta es una galga extensiométrica óptica compensada en relación con la temperatura y calibrada.
- 10
13. Turbina eólica según la reivindicación 12, en la que cada una de la una o más palas de la turbina eólica comprende un sensor de carga de pala absoluta situado a la misma distancia del buje.
 14. Sistema de control adaptado para controlar una turbina eólica según el método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9.

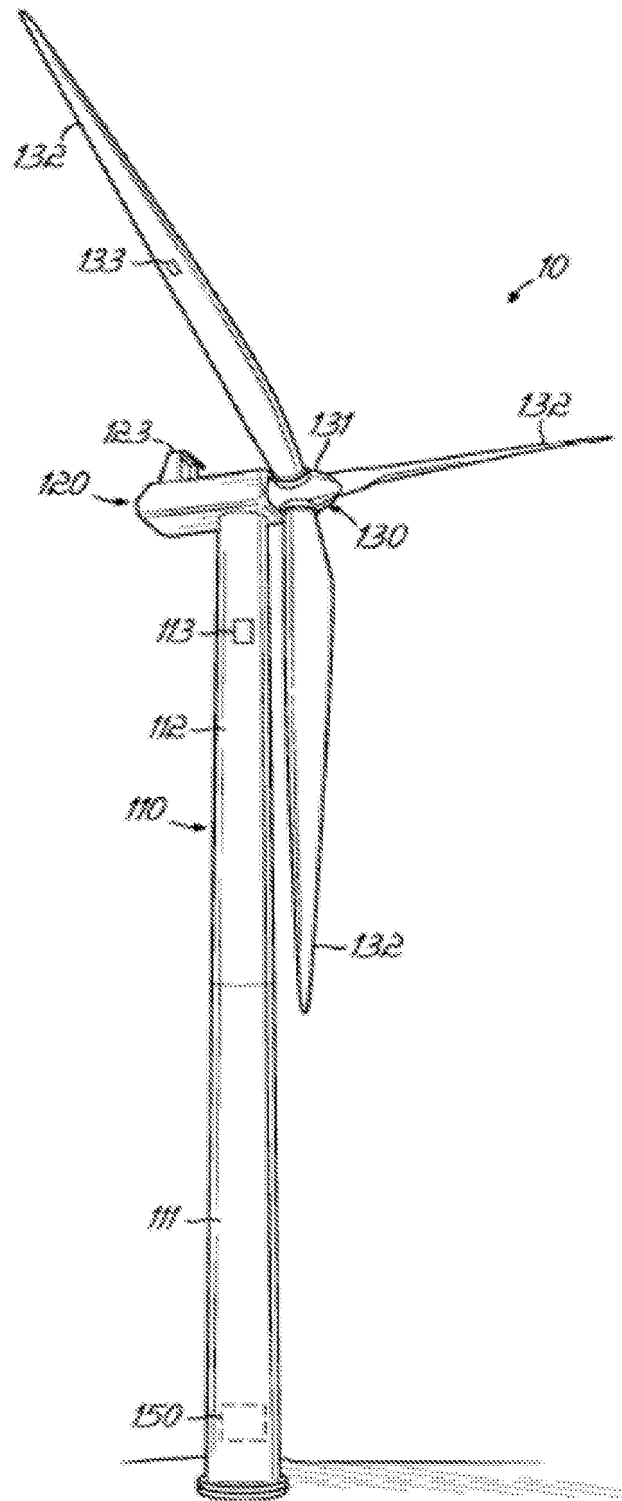


FIG. 1

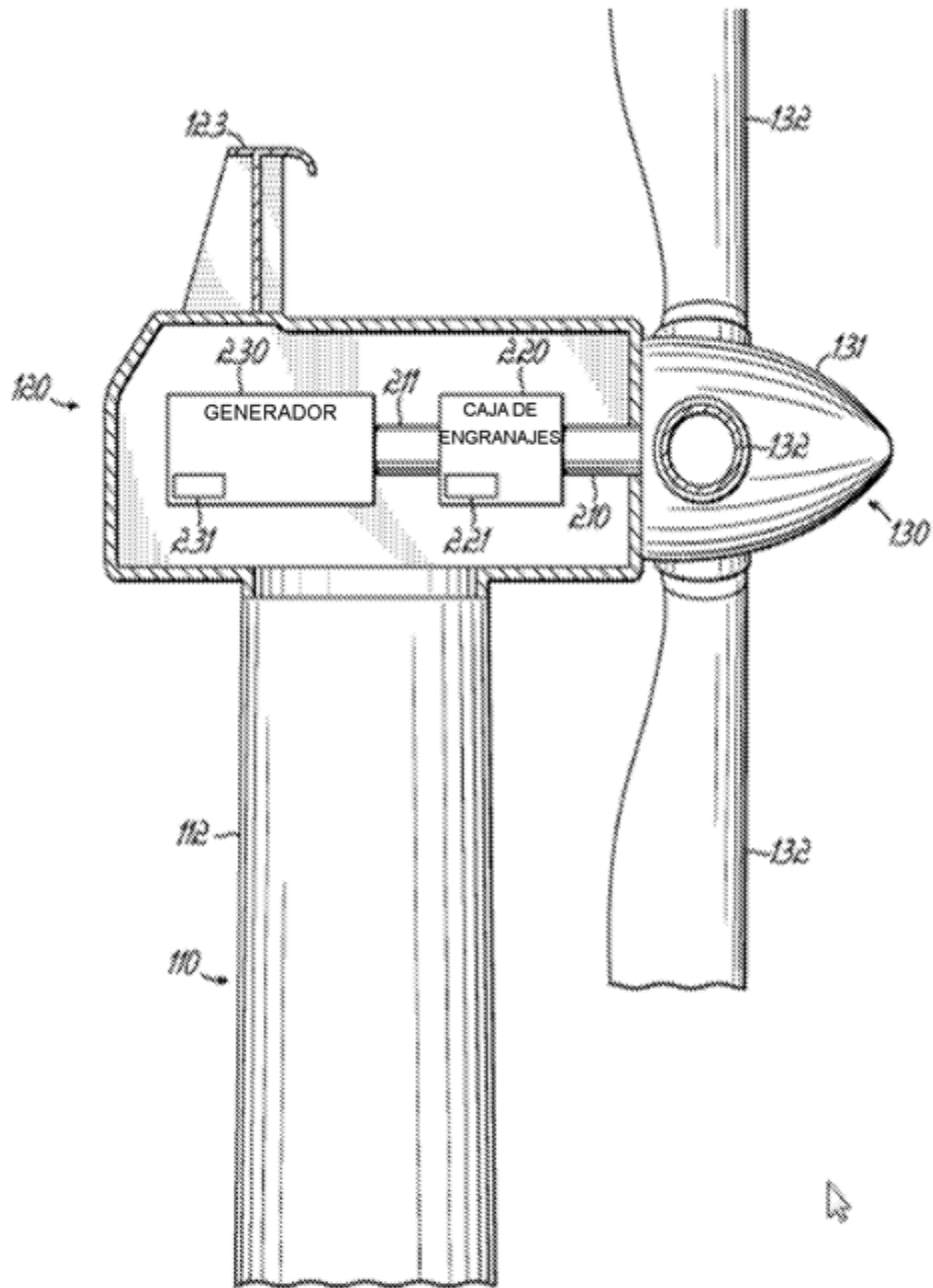


FIG. 2

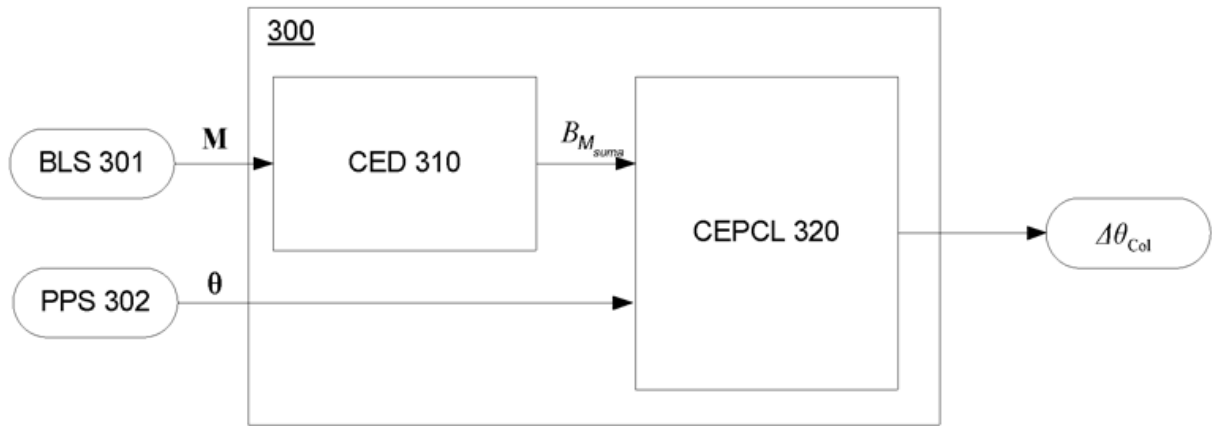


FIG. 3

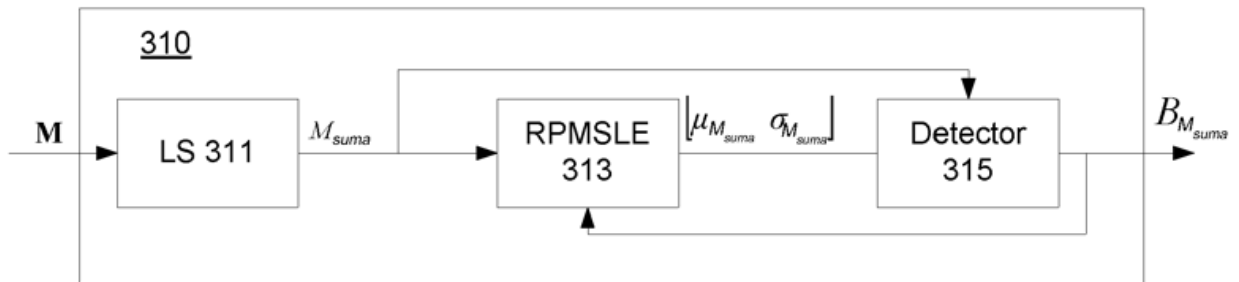


FIG. 4

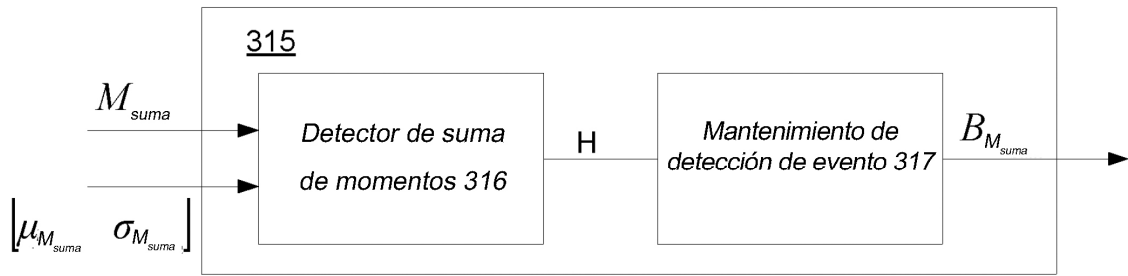


FIG. 5

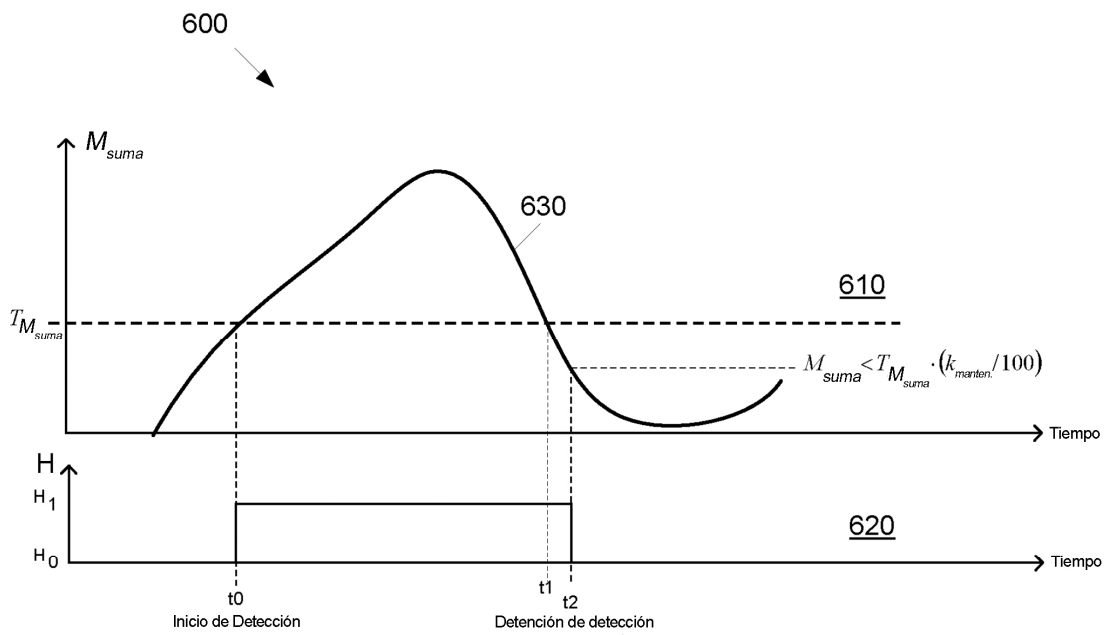


FIG. 6

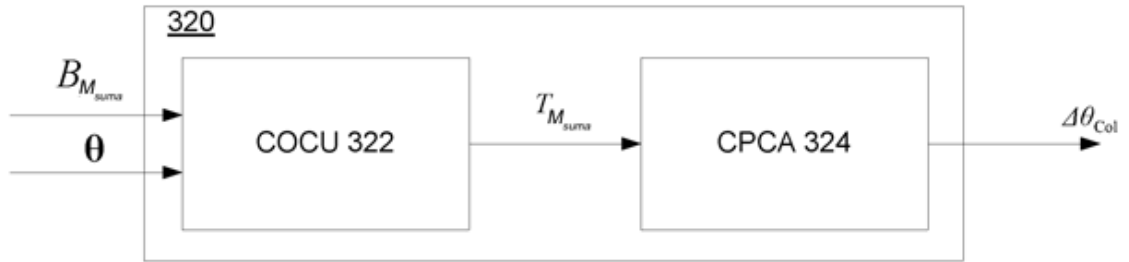


FIG. 7

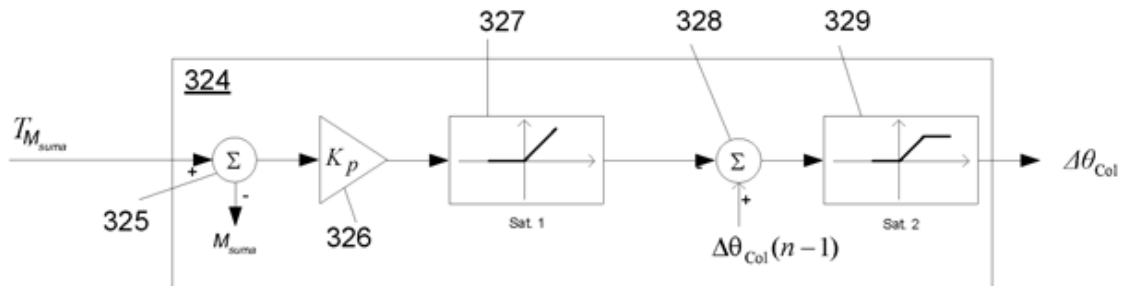


FIG. 8

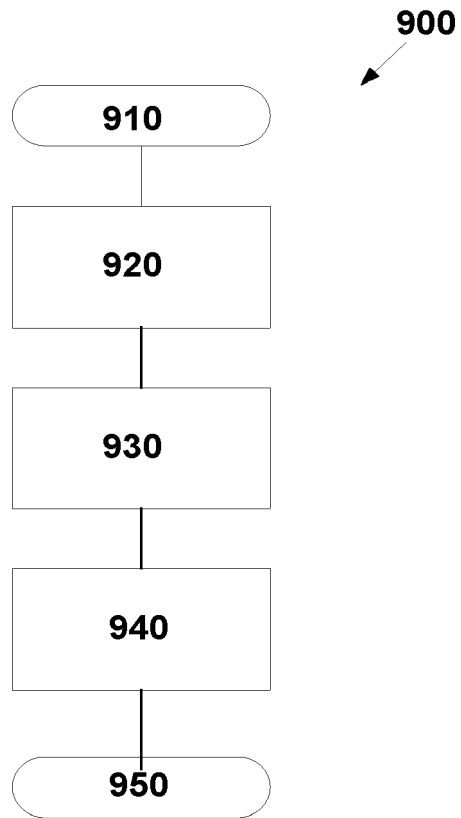


FIG. 9