

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 524 041**

51 Int. Cl.:

F03D 11/00 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.04.2009 E 09157545 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.10.2014 EP 2112376**

54 Título: **Sistemas y procedimientos involucrados en torres de turbinas eólicas para aplicaciones energéticas**

30 Prioridad:

22.04.2008 US 107327

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

03.12.2014

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)
1 River Road
Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**SHI, RUIJIE;
KAMMER, LEONARDO CESAR y
MEHENDELE, CHARUDATTA SUBHASH**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 524 041 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

Sistemas y procedimientos involucrados en torres de turbinas eólicas para aplicaciones energéticas

Formas de realización de la invención se refieren, en general, a turbinas eólicas y, más concretamente, a sistemas y procedimientos involucrados en torres de turbinas eólicas para aplicaciones energéticas.

- 5 Se describen turbinas eólicas convencionales, por ejemplo, en los documentos DE 19860215 y US 2004/0112131.

A este respecto, las turbinas eólicas incluyen una estructura de soporte o torre que se fija al suelo o a otras superficies mediante una base y soporte diversos componentes de gran tamaño y peso, por ejemplo un rotor de la turbina, un generador y un alojamiento (“góndola”). Durante su operación, la combinación de la fuerza del viento y el peso y el movimiento de balanceo (u oscilación) de la torre y de los componentes soportados provoca una fuerza de flexión y carga de par sobre la base de la torre que es controlada para evitar la sobrecarga en la base para una operación segura y adecuada de la turbina eólica. Por ejemplo, si la carga de par en la base de la torre se detecta que está alcanzando un límite máximo, la operación de la turbina eólica puede ser modificada o detenida mediante el ajuste de una o más características operativas. Sin embargo, la carga de par en la base de la torre puede ser compleja de determinar, por ejemplo, mediante el uso de numerosos extensómetros y otros dispositivos para controlar la turbina eólica y estimar la carga de par. Por tanto, es deseable un enfoque menos complejo para determinar la carga de par de la base de la torre.

Sistemas y procedimientos involucrados en torres de turbina eólica para aplicaciones energéticas incluyen, en una forma de realización ejemplar, un sistema para determinar las cargas de par de la base de la torre de la turbina eólica según se define mediante las reivindicaciones adjuntas.

- 20 Diversas características, aspectos y ventajas se comprenderán mejor con la lectura de la posterior descripción detallada con referencia a los dibujos que se acompañan en los que los mismos caracteres representan las mismas partes a lo largo de los dibujos, en los que:

La FIG. 1 es un diagrama esquemático de una turbina eólica ejemplar que ilustra parámetros ejemplares para determinar las cargas de par de la base de la torre de la turbina eólica de acuerdo con formas de realización ejemplares de la presente invención.

La FIG. 2 es un diagrama esquemático que ilustra una representación modélica del diagrama esquemático de turbina eólica de la FIG. 1 de acuerdo con formas de realización ejemplares de la invención.

La FIG. 3 es un diagrama de bloques que ilustra un sistema ejemplar para determinar las cargas de par de la base de la torre de la turbina eólica, de acuerdo con formas de realización ejemplares de la presente invención.

La FIG. 4 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento ejemplar para determinar las cargas de par de la base de la torre de la turbina eólica de acuerdo con formas de realización ejemplares de la presente invención.

- 35 En la siguiente descripción detallada, se establecen numerosos detalles específicos con el fin de proporcionar una comprensión completa de diversas formas de realización. Sin embargo, las formas de realización pueden llevarse a la práctica sin estos detalles específicos. En otros casos, procedimientos, métodos y componentes sobradamente conocidos no se han descrito con detalle.

Por otro lado, diversas operaciones pueden describirse como múltiples etapas independientes llevadas a cabo de una manera que sea útil para la comprensión de las formas de realización de la presente invención. Sin embargo, el orden de la descripción no debe interpretarse como que implique que estas operaciones necesitan llevarse a cabo en el orden que se presentan, o que incluso dependan del orden presentado. Así mismo, el uso repetido de la frase “en una forma de realización” no se refiere necesariamente a la misma forma de realización, aunque puede ser posible. Por último, los términos “que comprende”, “que incluye”, “que incorpora”, y similares, según se utilizan en la presente solicitud, pretenden ser sinónimos a menos que se indique lo contrario.

45 Las cargas de par sobre las bases de la torre de la turbina eólica son vigiladas y las operaciones de la turbina eólica son modificadas y / o detenidas para reducir estas cargas de par para evitar condiciones de sobrecarga y asegurar la operación segura y adecuada de la turbina eólica. Las características vigiladas de las operaciones de la turbina eólica como, por ejemplo la velocidad del viento, la aceleración horizontal, la velocidad del rotor de la turbina y el paso de las palas pueden ser utilizadas para determinar dichas cargas de par de la base de la turbina eólica.

50 La FIG. 1 es un diagrama esquemático de una turbina eólica 100 ejemplar que ilustra parámetros ejemplares para determinar las cargas de par de la base de la torre de la turbina eólica de acuerdo con formas ejemplares de la presente invención. La turbina eólica 100 ejemplar incluye una base 102 que está fijada al suelo o a otra superficie 103. Una torre 104 está conectada a y es soportada por la base 102. Un alojamiento o góndola 106 está conectada

a y es soportada por la torre 104. La góndola 106 contiene y / o fija uno o más componentes de la turbina eólica 100, como, por ejemplo el rotor de la turbina ("rotor") 108 y un generador (no representado).

Parámetros ejemplares para determinar las cargas de par de la base de la torre de la turbina eólica se muestran en la FIG. 1. Se ilustra una carga de par $My (TB)$ de la base 102 de la torre 104 de la turbina eólica 100 (esto es, una "carga de par de la base de la torre de la turbina eólica"). Esta carga de par $My (TB)$ puede, por ejemplo, ser el resultado de una combinación de la fuerza del viento contra la turbina eólica 100 y el peso y el movimiento (por ejemplo, el movimiento oscilatorio) de la torre 104, de la góndola 106, del rotor 108 y de otros componentes (no representados) y, de esta manera, puede ser, por ejemplo, una carga de par longitudinal. Una fuerza del viento (o empuje del viento) $Fz R0$ sobre el rotor 108 de la turbina eólica 100 se ilustra también, la cual, por ejemplo, puede ser medida en base a la fuerza compresora aplicada sobre el eje del rotor 108. La fuerza del viento $Fz R0$ puede, como alternativa, ser, por ejemplo, calculada y / o estimada en base a la velocidad del viento con respecto a la góndola 106, a una velocidad rotacional del rotor 108 y a un ángulo de paso de una o más palas 109 del rotor 108, por ejemplo, de acuerdo con la ecuación, $FzR0 = Cd \cdot 0,5 \rho v^2 \cdot A$, en la que Cd es un coeficiente de la fuerza del viento del rotor basado en la velocidad del rotor y del ángulo de paso de las palas, ρ es la densidad del aire, v es la velocidad del viento y A es el área del rotor. Así mismo, una posición horizontal X de la góndola 106 (por ejemplo una posición de delante-atrás con respecto a la fijación de la góndola 106 con respecto a la torre 104) y una "altura del buje" H de la turbina eólica 100 con respecto al rotor 108 también se ilustra (por ejemplo en base a un buje conectado al centro del rotor 108).

Los parámetros ejemplares precedentes pueden ser utilizados para describir la carga de par $My (TB)$ de la base 102 de la torre de la turbina eólica 100, de acuerdo con formas de realización ejemplares de la invención de acuerdo con la siguiente ecuación EQ1:

$$My (TB) = c1 \cdot FzR0 + c2 \cdot a + c3 \quad (EQ1)$$

En la ecuación EQ1, $c1$ es una altura efectiva de la turbina eólica 100, por ejemplo aproximadamente de un 85% a un 25% de la altura del buje H del rotor 108 (el cual, por ejemplo, se puede extender desde la base 102 hasta el centro radial del rotor 108), dependiendo, por ejemplo, de la altura por encima de la base 102 de la torre en la cual la fuerza del viento $FzR0$ se aplica a y / o actúa eficazmente sobre la turbina eólica 100; $c2$ ("coeficiente de masa / altura") es el producto de una altura efectiva modificada de la turbina eólica 100 (por ejemplo, aproximadamente de un 80% a un 120% de la altura del buje H , dependiendo, por ejemplo, de la cantidad de oscilación a lo largo de la altura de la torre 104 que sea similar a la oscilación de la parte superior de la torre) multiplicada por la suma de la masa de la porción superior de la turbina eólica 100 ("parte superior de la torre", la cual, por ejemplo, incluye la góndola 106 y el rotor 108) y la masa de una porción de la torre 104 (por ejemplo, aproximadamente de un 1% a un 30% de la masa de la torre, dependiendo de las características estructurales de la torre 104 como por ejemplo la forma); a es una aceleración horizontal de la parte superior de la torre 104, por ejemplo, en base a la aceleración horizontal de la góndola 106, la cual puede ser la segunda derivada de la posición horizontal X (esto es, X''), y $c3$ es un desplazamiento del par estático de la base 102 de la torre, que es equivalente a la carga de par de la base 102 de la torre sin fuerza del viento y sin movimiento de la turbina eólica 100, y, por ejemplo, se basa en la posición horizontal de un centro de gravedad de la góndola 106 y del rotor 108 con respecto a la torre 104. La carga de par $My (TB)$ de la base de la torre es una estimación de la carga de par global de la base de la torre en base al movimiento de delante-atrás de la góndola 106 y se traduce en un valor de diferencia desdoblable con respecto a una carga de par de la base de la torre global real correspondiente (por ejemplo, medida o simulada), dado que es despreciable el incremento del par global debido al movimiento de lado a lado de la góndola 106 (por ejemplo unos pocos porcentajes o menos). Esto permite una determinación menos compleja de una carga de par de la base de la torre en base a los parámetros vigilados por uno o más componentes de una turbina eólica de acuerdo con una ecuación lineal de primer orden EQ1.

De acuerdo con formas de realización ejemplares de la invención, la carga de par $My (TB)$ de la base de la torre se puede determinar de acuerdo con alternativas simplificadas de EQ1 que proporcionen suficiente precisión para muchas aplicaciones. Una primera ecuación alternativa simplificada EQ1A no incluye el desplazamiento de par estático $c3$ como sigue:

$$My (TB) = c1 \cdot FzR0 + c2 \cdot a \quad (EQ1A)$$

Una segunda ecuación alternativa simplificada EQ1B tampoco incluye el producto del coeficiente de masa / altura $c2$ por la aceleración horizontal a como sigue:

$$My (TB) = c1 \cdot FzR0 \quad (EQ1B)$$

La FIG. 2 es un diagrama esquemático que ilustra una representación modelo ("modelo") 200 del diagrama esquemático de la turbina eólica de la FIG. 1 de acuerdo con formas de realización ejemplares de la invención. Por ejemplo, el modelo 200 puede ser un modelo de resorte - masa simplificado. El modelo 200 incluye una base 202 que es la misma o similar a la base 102 descrita con anterioridad. El modelo 200 incluye un resorte 204 y una masa 206, que es la torre 104 modelo, la góndola 106 (por ejemplo, que incluye un generador y otros componentes contenidos en ella y / o fijados a ella), y el rotor 108. La FIG. 2 ilustra también los parámetros de la carga de par My

(TB)' de la base del resorte (que modela la carga de par $My(TB)$ de la base de la torre), la fuerza externa F_{ext} (que modela la fuerza del viento $FzR0$) la posición horizontal de alante atrás X' de la masa 206 (que modela la posición horizontal X de la góndola 106), y la altura de la masa H' (que modela la altura del buje H). Estos parámetros pueden ser utilizados para mostrar una relación o derivación de EQ1, EQ1A, y EQ1B a partir de un cálculo de la carga de par del modelo 200 de acuerdo con formas de realización ejemplares de la invención como se sigue en las ecuaciones EQ2 - EQ5:

(para la masa 206) $F_{ext} - Fs2m = ma$ (EQ2)

(fuerza sobre el resorte 204) $Fs2m = F_{ext} + ma$ (EQ3)

(carga de par) $My(TB)' = H' \cdot Fs2m$ (EQ4)

$= H' \cdot F_{ext} + H' \cdot ma$

$= c1 \cdot F_{ext} + c2 \cdot a$

$\therefore My(TB)' = c1 \cdot FzR0 + c2 \cdot a + c3$ (EQ5)

A partir de EQ4 a EQ5, $c3$ se añade para representar el par estático en base al peso de la turbina eólica 100, y F_{ext} (que es la fuerza externa total sobre la masa 206) es sustituida por $FzR0$ (que es la porción de alante atrás de la fuerza externa total). Los parámetros $c1$, $c2$, $c3$ se describen en las líneas anteriores con respecto a la turbina 100 de acuerdo con formas de realización ejemplares de la invención.

La FIG. 3 es un diagrama de bloques que ilustra un sistema ejemplar 300 para determinar las cargas de par de la base de la torre de la turbina eólica de acuerdo con formas de realización ejemplares de la presente invención. El sistema 300 ejemplar incluye un controlador 302 que está configurado para determinar una carga de par $My(TB)$ de la base de la torre de la turbina eólica de acuerdo con las ecuaciones EQ1, EQ1A, y / o EQ1B descritas con anterioridad. Así, el controlador 302 puede ser configurado para determinar una carga de par de una base de una torre de una turbina eólica de acuerdo con un cálculo de la altura efectiva ($c1$) de la turbina eólica multiplicado por la fuerza del viento ($FzR0$) sobre el rotor de la turbina eólica en algunas formas de realización (por ejemplo, de acuerdo con EQ1B) más coeficiente de masa / altura ($c2$) de la turbina multiplicado por la aceleración horizontal (a) de la góndola de la turbina eólica en otras formas de realización (por ejemplo con EQ1A) más el desplazamiento del par estático ($c3$) de la base de la torre en otras formas de realización adicionales (por ejemplo, de acuerdo con EQ1). El controlador 302 puede también ser configurado para generar una señal (por ejemplo una señal de control) que represente la carga de par, por ejemplo, que pueda ser utilizada para otros cálculos, acciones, etc. por el controlador 302 y / u otros componentes de la turbina eólica. En algunas formas de realización, el controlador 302 está también configurado para calcular y / o estimar la fuerza del viento $FzR0$ sobre el rotor de la turbina eólica en base a la velocidad del viento con respecto a la góndola de la turbina eólica, una velocidad rotacional del rotor y un ángulo de paso de una o más palas del rotor, donde uno o más de estos parámetros puede ser un valor medido o estimado a través de uno o más componentes de la turbina eólica.

En este sentido, el controlador 302 puede estar en comunicación con: un sensor o estimador 306 de la velocidad del viento (por ejemplo, un anemómetro, un sistema de detección y medición de luz (LIDAR) o un sistema de detección de ondas sonoras (SODAR)) de una turbina eólica para la introducción de la velocidad del viento; un sensor de la velocidad del rotor (por ejemplo, que detecte la velocidad del rotor) o un estimador (por ejemplo, que estime la velocidad del rotor, por ejemplo, en base a la velocidad del generador) 308 de la turbina eólica para introducir la velocidad del rotor; y un sensor 310 del paso de las palas del rotor de la turbina eólica para introducir el ángulo de paso de las palas del rotor. El controlador 302 puede también estar en comunicación con un sensor 304 de aceleración de la parte superior de la torre (por ejemplo, un acelerómetro que detecte la aceleración de la góndola debida a la vibración, oscilación, etc.) para la introducción de la aceleración horizontal de la góndola. En algunas formas de realización el controlador 302 está también configurado para determinar (por ejemplo en base a la señal generada que representa la carga de par) si la carga de par $My(TB)$ de la base de la torre ha alcanzado un valor límite máximo (por ejemplo, un valor predeterminado) o un valor de umbral (por ejemplo cerca o aproximado al valor límite máximo) y para reducir la carga de par $My(TB)$ mediante la modificación o la detección de la turbina eólica en respuesta a la determinación de que la carga de par $My(TB)$ ha alcanzado el valor límite máximo o el valor de umbral. En este sentido, el controlador 302 puede también estar en comunicación con uno o más controles 312 operativos de una turbina eólica, los cuales pueden incluir un control 314 de guiñada del rotor, un control 316 del paso de las palas del rotor, y / u otros controles 318 de la turbina eólica. El controlador 302 puede ser cualquier dispositivo, componente, etc., o combinaciones de estos, que puedan ser configurados en consonancia, como por ejemplo un procesador, un dispositivo informático, un dispositivo protector por relés., etc.

En una operación ejemplar del sistema 300, el controlador 302 determina una carga de par $My(TB)$ de la base de la torre de la turbina eólica de acuerdo con la ecuación EQ1, EQ1A, y / o EQ1B descritas con anterioridad. Así, el controlador 302 determina una carga de par de una base de una torre de una turbina eólica de acuerdo con un cálculo de la altura efectiva ($c1$) de la turbina eólica multiplicada por la fuerza del viento ($FzR0$) sobre el rotor de la turbina eólica en algunas formas de realización (por ejemplo, de acuerdo con EQ1B), más el coeficiente de masa / altura ($c2$) de la turbina eólica multiplicado por la aceleración (a) de la góndola de la turbina eólica en otras formas

de realización (de acuerdo con EQ1A) más el desplazamiento de par estático (c_3) de la base de la torre en otras formas de realización adicionales (por ejemplo, de acuerdo con EQ1). El controlador 302 puede también generar una señal que represente la carga de par, por ejemplo, que pueda ser utilizada para otros componentes, acciones, etc. por el controlador 302 y / u otros componentes de la turbina eólica. En algunas formas de realización, el controlador 302 calcula y / o estima la fuerza del viento $FzR0$ sobre un rotor de turbina de la turbina eólica en base a la velocidad del viento con respecto a la góndola de la turbina eólica, una velocidad rotacional del rotor, y el ángulo de paso de una o más palas del rotor, cuando estos parámetros puedan ser obtenidos a partir de las entradas de los sensores 304, 306, 308, 310 según lo descrito con anterioridad. El controlador 302 también determina si la carga de par $My(TB)$ de la base de la torre ha alcanzado un valor límite máximo o un valor de umbral (por ejemplo, que haya sido preestablecido en el controlador 302) o para reducir la carga de par $My(TB)$ mediante la modificación o la detección de la operación de la turbina eólica a través de uno o más controles 312 operativos en respuesta a la determinación de que la carga de par $My(TB)$ ha alcanzado el valor límite máximo o el valor de umbral. Por ejemplo, el controlador 302 puede modificar o detener la operación de la turbina eólica provocando un ajuste en la posición rotacional del rotor por medio del control 314 de guiñada del rotor y / o un ajuste en la velocidad de rotación del rotor por medio de otros controles 318 (por ejemplo que controlen los parámetros de la potencia del generador) que reduzca la carga de par $My(TB)$ de la base. En otro ejemplo, el controlador 302 puede modificar o detener la operación de la turbina eólica provocando un ajuste en un ángulo de paso de una o más palas del rotor por medio del control 316 del paso de las palas del rotor que reduzca la carga de par $My(TB)$ de la base.

Las operaciones ejemplares precedentes del sistema 300 pueden también describir un procedimiento para la determinación de las cargas de par de la base de la torre de la turbina eólica de acuerdo con formas de realización ejemplares de la presente invención. En ese sentido, la FIG. 4 es un diagrama de flujo que ilustra un sistema 400 ejemplar para determinar las cargas de par de la base de la turbina eólica de acuerdo con formas de realización ejemplares de la invención. El procedimiento 400 ejemplar incluye un bloque 402 en el que se determina una carga de par $My(TB)$ de la base de la torre de la turbina eólica de acuerdo con la ecuación EQ1, EQ1A y / o EQ1B descritas con anterioridad, las cuales pueden también describirse como determinantes de la carga de par de la base de la torre de la turbina eólica de acuerdo con un cálculo de la altura efectiva (c_1) de la turbina eólica multiplicado por la fuerza del viento ($FzR0$) sobre el rotor de la turbina eólica en algunas formas de realización (por ejemplo, de acuerdo con EQ1B), más el coeficiente de masa / altura (c_2) de la turbina eólica multiplicado por la aceleración horizontal (a) de la góndola de la turbina eólica en otras formas de realización (por ejemplo, de acuerdo con EQ1A), más el desplazamiento del par estático (c_3) de la base de la torre en otras formas de realización adicionales (por ejemplo, de acuerdo con EQ1). Una señal (por ejemplo, una señal de control) que represente la carga de par puede también ser generada con respecto al bloque 402. La determinación de una carga de par $My(TB)$ de la base de la torre de la turbina eólica en el bloque 402 puede ser llevada a cabo también de acuerdo con la operación ejemplar del sistema 300 descrito con anterioridad. Por ejemplo, en algunas formas de realización, la fuerza del viento, $FzR0$ utilizada en la determinación de una carga del par $My(TB)$ de acuerdo con la ecuación EQ1, EQ1A, o EQ1B puede calcularse y/o estimarse en base a una velocidad del viento con respecto a la góndola de la turbina eólica, a una velocidad rotacional del rotor de la turbina eólica y a un ángulo de paso de una o más palas del rotor.

El procedimiento 400 ejemplar incluye también el bloque 404 en el que se determina (por ejemplo en base a la señal generada que representa la carga de par) si la carga de par $My(TB)$ de la base de la torre ha alcanzado un valor límite máximo o un valor de umbral, el cual, por ejemplo, puede ser un valor predeterminado. El procedimiento 400 ejemplar incluye también el bloque 406 en el que la carga de par $My(TB)$ se reduce mediante la modificación o detención de la operación de la turbina eólica en respuesta a la determinación de que la carga de par $My(TB)$ ha alcanzado el valor límite máximo o el valor de umbral. Esta reducción puede también ser llevada a cabo de acuerdo con la operación del sistema ejemplar 300 descrito con anterioridad. Por ejemplo, la operación de la turbina eólica puede ser modificada o detenida provocando un ajuste en la posición rotacional del rotor y / o la velocidad de rotación del rotor que reduce la carga de par $My(TB)$ de la base. En otro ejemplo, la operación de la turbina eólica puede ser modificada o detenida provocando un ajuste en un ángulo de paso de una o más palas del rotor que reduzca la carga de par $My(TB)$ de la base.

El sistema 300 ejemplar para determinar las cargas de par de la base de la torre de la turbina eólica se ilustra y describe con respecto a diversos elementos, componentes, etc., como por ejemplo el controlador 302, los sensores 304, 306, 308, 310 y los controles 312 de la operación (el cual incluye los controles 314, 316, 318) con fines ejemplares. Sin embargo, se debe entender que otras variantes, combinaciones o integraciones de dichos elementos que proporcionen las mismas características, funciones, etc., se incluyen dentro del alcance de las formas de realización de la invención. Por ejemplo, las funciones del controlador 302 pueden ser incorporadas en otro controlador de una turbina eólica y / u otros controles 312 de la operación. Otras posibilidades serán advertidas a la luz de la descripción de la presente memoria. Así mismo, se debe entender con respecto a los diagramas específicos ejemplares de las FIGS. 1 y 2, que las direcciones de los parámetros ejemplares ilustradas en la presente memoria son ejemplares y pueden ser diferentes de los representados de acuerdo con algunas formas de realización. Por ejemplo, la fuerza del viento, $FzR0$, puede actuar sobre el rotor 108 desde una dirección opuesta (por ejemplo de atrás-a-delante) a la representada en algunas formas de realización. En este sentido, se advertirán otras posibilidades a la luz de la descripción de la presente memoria.

Formas de realización ejemplares de la invención pueden ser llevadas a la práctica en software, hardware o en una combinación de ambos. Estas formas de realización puestas en práctica en software pueden, por ejemplo, incluir

firmware, software residente, microcódigos, etc. Formas de realización ejemplares de la invención pueden también ser llevadas a la práctica como un producto de programa informático accesible a partir de un medio utilizable por ordenador o legible por ordenador que suministre un código de programa para su uso en conexión con un ordenador u otro sistema de ejecución de instrucciones. En este sentido, un medio utilizable por ordenador o legible por ordenador puede ser cualquier aparato que pueda contener, almacenar, comunicar, propagar o transportar el programa para su uso en conexión con el sistema, aparato o dispositivo de ejecución de instrucciones.

Se debe entender que el (los) diagrama(s) de flujo representado(s) en la presente memoria son ejemplos. Puede haber muchas variantes a estos diagramas o de los bloques (u operaciones) descritos en la presente memoria dentro del ámbito de las formas de realización de la invención. Por ejemplo, los bloques pueden ejecutarse en un orden diferente, o pueden añadirse bloques, suprimirse o modificarse. La presente descripción escrita utiliza ejemplos para divulgar la invención, incluyendo el modo preferente, y también para hacer posible la puesta en práctica la invención, incluyendo la elaboración y la utilización de cualquier dispositivo o sistema y la ejecución de cualquier procedimiento incorporado. El alcance patentable de la invención está definido por las reivindicaciones y puede incluir otros ejemplos. Dichos otros ejemplos pretenden estar incluidos en el alcance de las reivindicaciones si presentan elementos estructurales que no difieran del lenguaje literal de las reivindicaciones, o si incluyen elementos estructurales equivalentes con diferencias insustanciales con respecto de las expresiones literales de las reivindicaciones.

5

10

15

20

25

REIVINDICACIONES

1.- Un sistema (300) para determinar las cargas de par de la base de una torre de turbina eólica, que comprende un controlador (302) configurado para:

5 determinar una carga de par de una base (102) de una torre (104) de una turbina eólica (100) de acuerdo con un cálculo de una altura efectiva de la turbina eólica (100) multiplicado por una fuerza del viento sobre un rotor (108) de la turbina eólica (100), en el que la altura efectiva es una altura desde la base (102) en la que la fuerza del viento es aplicada a la turbina eólica (100); y

 generar una señal de control que represente la carga de par; **caracterizado porque**

10 el cálculo comprende además la adición de un coeficiente masa / altura multiplicado por una aceleración horizontal de la góndola (106) de la turbina eólica (100) en el que el coeficiente masa / altura comprende un producto de la altura efectiva de la turbina eólica multiplicado por una suma de una masa de la góndola (106), más una masa del rotor (108), más de un 5% a un 25% de una masa de la torre (104).

15 2.- El sistema (300) de la reivindicación 1, en el que la aceleración horizontal de la góndola (106) es introducida en el controlador (302) a partir de un acelerómetro (304) de la turbina eólica (100).

3.- El sistema (300) de cualquier reivindicación precedente, en el que el cálculo comprende además la adición de un desplazamiento de un par estático de la base (102) que es equivalente a una carga de par de la base (102) cuando no existe fuerza del viento sobre el rotor (108) y no existe movimiento de la turbina eólica (100).

20 4.- El sistema (300) de la reivindicación 3, en el que el desplazamiento de un par estático está basado en una posición horizontal de un centro de gravedad de la góndola (106) y del rotor (108) con respecto a la torre (104).

5.- El sistema (300) de cualquier reivindicación precedente, en el que la altura efectiva de la turbina eólica (100) es de un 90% a un 120% de una altura del buje del rotor (108).

6.- El sistema (300) de cualquier reivindicación precedente, en el que el controlador (302) está configurado para:

25 medir la fuerza del viento sobre el rotor (108) en base a una fuerza compresora sobre un eje del rotor (108); o calcular la fuerza del viento sobre el rotor (108) en base a la velocidad del viento con respecto a la góndola (106), a una velocidad del rotor (108) y a un ángulo de paso de una pala (109) del rotor (108).

7.- El sistema (300) de la reivindicación 6, en el que:

30 la velocidad del viento es introducida en el controlador (302) a partir de un sensor de la velocidad del viento o un estimador (306) de la turbina eólica (100) que comprende un anemómetro, un sistema de detección y medición de luz (LIDAR) o un sistema de detección y medición de ondas sonoras (SODAR);

 la velocidad rotacional del rotor es introducida en el controlador (302) a partir de un sensor o un estimador (308) de la velocidad del rotor de la turbina eólica (100); y

 el ángulo de paso de la pala (109) del rotor (108) es introducido en el controlador (302) a partir de un sensor (310) del ángulo de paso de la turbina eólica (100).

35 8.- El sistema (300) de cualquier reivindicación precedente, en el que el controlador (302) está también configurado para determinar, en base a la señal de control, si la carga de par de la base (102) ha alcanzado un valor límite máximo o un valor de umbral, y para reducir la carga de par de la base (102) mediante la modificación o detección de una operación de la turbina eólica (100) en respuesta a la determinación de que la carga de par ha alcanzado el valor límite máximo o el valor de umbral.

40 9.- El sistema (300) de cualquier reivindicación precedente, en el que el controlador (302) está configurado para modificar o detener una operación de la turbina eólica (100):

 provocando un ajuste en una posición rotacional del rotor (108) que reduzca la carga de par de la base (102);

45 provocando un ajuste en una velocidad de rotación del rotor (108) que reduzca la carga de par de la base (102); o

 provocando un ajuste en un ángulo de paso de una pala (109) del rotor (108) que reduzca la carga de par de la base (102).

FIG. 1

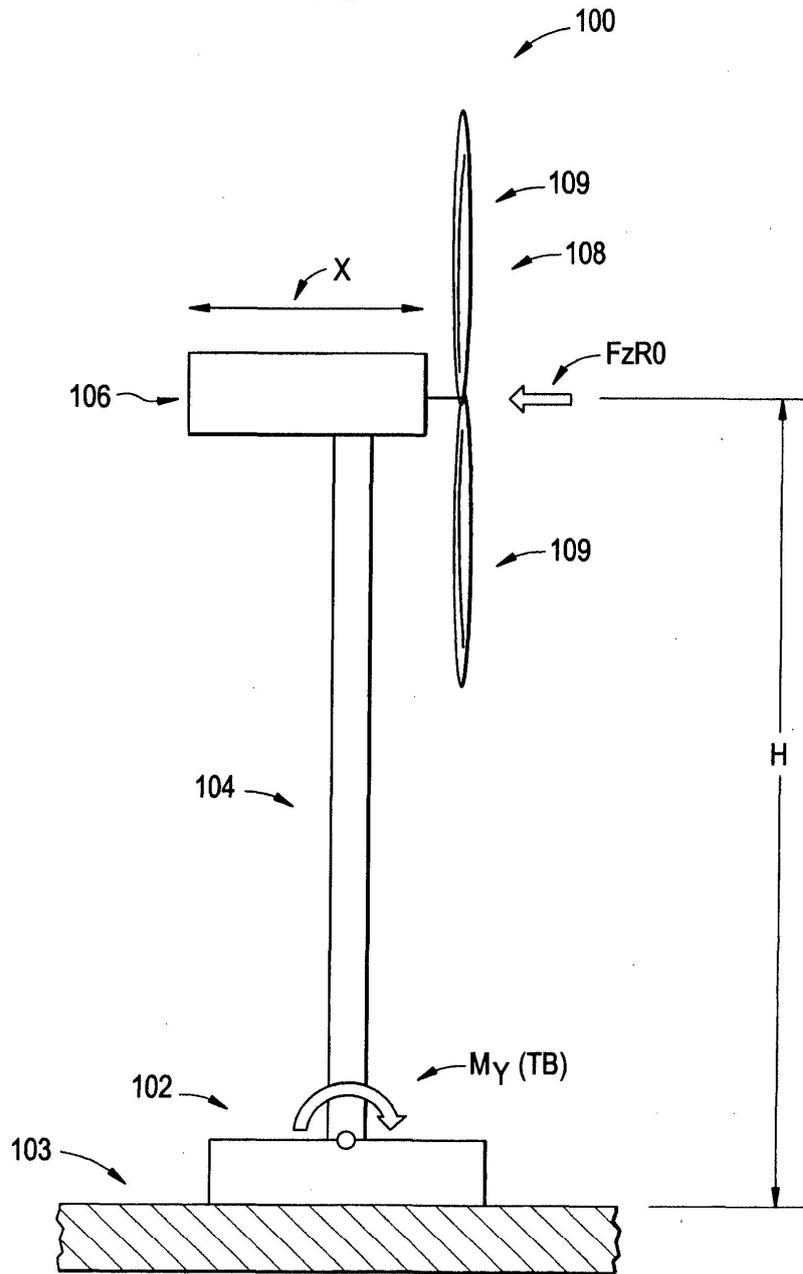


FIG. 2

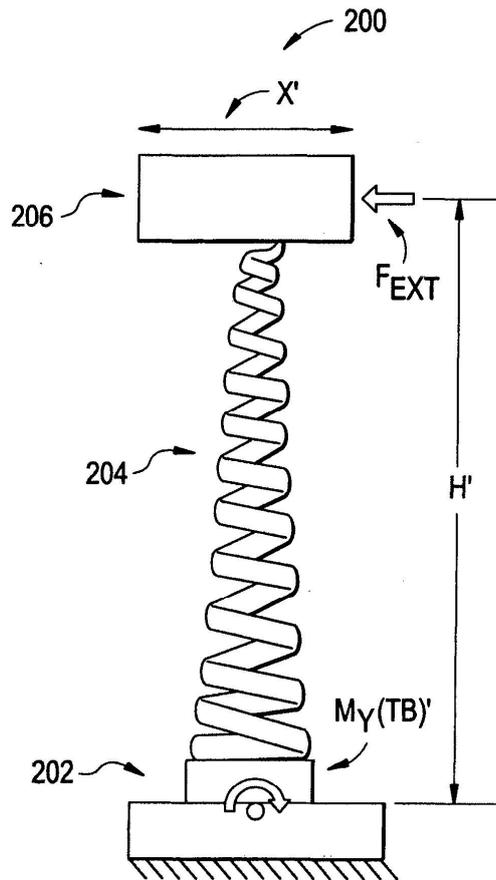


FIG. 3

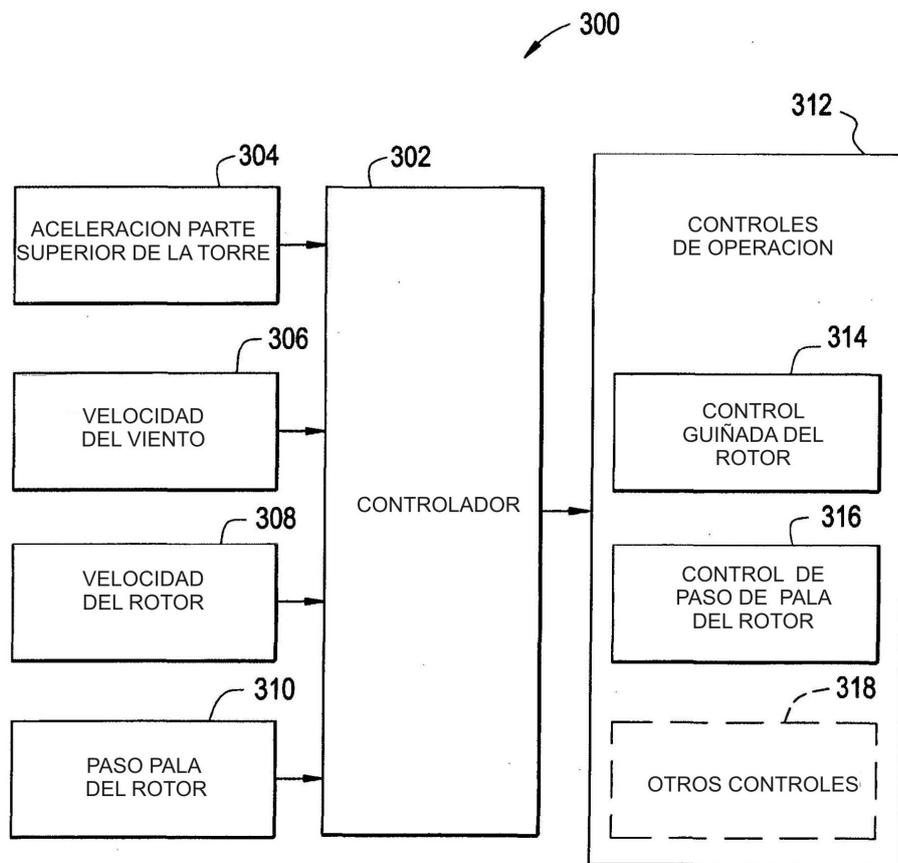


FIG. 4

