

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 755 950**

51 Int. Cl.:

F03D 13/20 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.07.2013 PCT/DK2013/050249**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.01.2014 WO14015878**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.07.2013 E 13741669 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.10.2019 EP 2877742**

54 Título: **Optimización y control de basculación de turbina eólica**

30 Prioridad:

26.07.2012 DK 201270453
26.07.2012 US 201261675883 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
24.04.2020

73 Titular/es:

MHI VESTAS OFFSHORE WIND A/S (100.0%)
Dusager 4
8200 Aarhus N, DK

72 Inventor/es:

COUCHMAN, IAN y
BOWYER, ROBERT

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 755 950 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

Optimización y control de basculación de turbina eólica

5 La presente invención se refiere a turbinas eólicas y, en particular, a la optimización y el control de basculación de una turbina eólica.

Las turbinas eólicas aprovechan de manera efectiva la energía eólica para generar potencia eléctrica y son cada vez más populares como fuente de energía alternativa frente a las fuentes tradicionales para generar potencia eléctrica.
10 El aprovechamiento de la energía eólica se considera una fuente más limpia y sostenible para la generación de potencia eléctrica.

Con el fin de generar potencia eléctrica a partir de energía eólica, las turbinas eólicas 101 normalmente comprenden una torre 102 que está basada en una cimentación estable 103, una góndola 104 ubicada en la torre 102 para albergar el aparato eléctrico y mecánico, tal como el generador, y un rotor 105 con una o más palas de turbina 106 conectadas a la góndola tal como se muestra en la figura 1. En términos básicos y simples, las palas de turbina se hacen rotar por la energía eólica incidente que activa un generador para producir potencia eléctrica.
15

Convencionalmente, las turbinas eólicas están diseñadas con un ángulo de basculación de rotor de normalmente seis grados en dirección hacia arriba, lo que a su vez significa que las palas de la turbina están basculadas de manera efectiva hacia arriba seis grados. El ángulo de basculación se define como la basculación del árbol principal o góndola a partir del plano horizontal o de rotor. Sin embargo, al tener el rotor basculado hacia arriba seis grados, también se reduce la zona efectiva para el viento incidente en las palas de turbina, que por consiguiente reduce la captación de energía efectiva del viento y reduce la salida de potencia eléctrica en condiciones de carga parcial.
20

La cizalladura de viento vertical puede ser un problema para las turbinas eólicas donde el viento más alejado del suelo se mueve más rápido que el viento más cercano al suelo. Por consiguiente, en condiciones de cizalladura de viento vertical, la pala de turbina 106 que apunta hacia arriba está sometida a velocidades de viento mayores que la pala de turbina 106 que apunta hacia abajo. La cizalladura de viento vertical puede provocar un momento de flexión de raíz de pala de turbina con forma pseudosinusoidal de una frecuencia 1P (1 por revolución) que puede contribuir significativamente a la fatiga de la pala de turbina. Si la turbina eólica incluye tres palas de turbina 106 (como se muestra en la figura 1) entonces la suma de los momentos de raíz de pala será 3P (3 por revolución) provocando momentos de basculación y guiñada significativos en el cojinete principal de la turbina eólica junto con otros componentes.
25

Convencionalmente, los efectos de cizalladura se reducen por el ángulo de basculación fijo de seis grados del rotor. El ángulo de basculación fijo del rotor significa que la velocidad de viento aparente para la pala de turbina que apunta hacia arriba se reduce de ese modo reduciendo la amplitud del momento de flexión de raíz de pala de turbina pseudosinusoidal.
30

El ángulo de basculación fijo está diseñado para ser el "mejor ajuste" en todas las condiciones de velocidad de viento y cizalladura de viento vertical que las turbinas eólicas puedan experimentar en todo el mundo. Sin embargo, el ángulo de basculación fijo no es necesariamente óptimo para la captación de energía o para minimizar los momentos de raíz de pala de turbina y los momentos de basculación y guiñada para cada emplazamiento específico en el que la turbina eólica se ubica o para los patrones climáticos (por ejemplo, patrones estacionales) a los que puede estar sometida la turbina eólica.
35

El documento EP-2472105 A2, que se considera como la técnica anterior más próxima, muestra un método según el preámbulo de la reivindicación 1 y un controlador según el preámbulo de la reivindicación 11.
40

Por tanto, la presente invención busca abordar, al menos en parte, algunos o todos los problemas y desventajas descritos anteriormente en el presente documento.
45

Según un aspecto de la presente invención, se proporciona un método que comprende las etapas de: recibir una o más señales que indican condiciones de emplazamiento en y/o cerca de una turbina eólica; determinar un ángulo de basculación óptimo para dicha turbina eólica basándose en dichas una o más señales recibidas que indican condiciones de emplazamiento; convertir dicho ángulo de basculación óptimo determinado en un ángulo de basculación y alabeo basándose en una dirección de guiñada de la turbina eólica; y transmitir dicho ángulo de basculación y alabeo determinado a un controlador de plataforma de manera que dicha turbina eólica puede inclinarse a dicho ángulo de basculación óptimo.
50

Por consiguiente, se determina un ángulo de basculación óptimo para una turbina eólica basándose en las condiciones de emplazamiento en o cerca de la turbina eólica. El ángulo de basculación óptimo puede ser un ángulo que permita a la turbina eólica generar más potencia eléctrica en carga parcial y minimizar cargas y momentos en la turbina eólica en condiciones de carga completa y/o cizalladura de viento vertical alta.
55

60

El método puede implantarse mediante un controlador de turbina eólica, un controlador de central eléctrica (PPC), un controlador de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA), de manera independiente o cualquier combinación de los mismos.

5 Las una o más señales recibidas que indican condiciones de emplazamiento en y/o cerca de la turbina eólica pueden incluir una o más cizalladuras de viento vertical, velocidad de viento, dirección de viento, condiciones de oleaje, pronósticos meteorológicos, carga asimétrica y dirección de guiñada. Las señales de carga asimétrica pueden incluir momentos de flexión de raíz de pala de turbina o cualquier otra señal de cargas/momentos.

10 El método puede comprender además las etapas de recibir una o más señales que indican puntos de funcionamiento de la turbina eólica; y determinar el ángulo de basculación óptimo basándose además en las una o más señales recibidas que indican puntos de funcionamiento de la turbina eólica.

15 Los puntos de funcionamiento pueden incluir una o más de una salida de potencia eléctrica, velocidad de rotor y ángulo de paso de una o más palas de turbina de la turbina eólica.

El método puede comprender además las etapas de identificar un sector al que una góndola de la turbina eólica se dirige o se orienta hacia o se encuentra dentro del mismo; y determinar el ángulo de basculación óptimo basándose además en el sector identificado. La brújula alrededor de la turbina eólica está normalmente dividida en 12 sectores de 30 grados cada uno.

20 La etapa de determinar el ángulo de basculación óptimo puede incluir además identificar el ángulo óptimo a partir de una tabla de consulta. La determinación a través de una tabla de consulta puede utilizar una o más de las condiciones de emplazamiento como valores de referencia para la tabla de consulta. La referencia a la tabla de consulta puede incluir además uno o más de los puntos de funcionamiento y sector.

25 La etapa de determinar el ángulo de basculación óptimo puede comprender además las etapas de comparar las una o más señales recibidas que indican condiciones de emplazamiento en y/o cerca de la turbina eólica con un umbral predefinido; y si la señal recibida que indica condiciones de emplazamiento en y/o cerca de la turbina eólica es mayor que el umbral predefinido, entonces determinar el ángulo de basculación óptimo como un ángulo de basculación que acerque la señal recibida que indica condiciones de emplazamiento más próximas a o por debajo del umbral predefinido.

30 Por consiguiente, la determinación puede basarse en un control de retroalimentación con el fin de ser capaz de determinar el ángulo de basculación óptimo para la turbina eólica.

35 La señal que indica condiciones de emplazamiento en o cerca de la turbina eólica para su utilización en el control de retroalimentación puede ser el momento de flexión de raíz de pala de turbina de una o más palas de turbina. La señal que indica condiciones de emplazamiento en o cerca de la turbina eólica para su utilización en el control de retroalimentación puede ser la salida de potencia eléctrica de la turbina eólica. El método puede comprender, además, las etapas de recibir una o más señales que se refieren a datos meteoceánicos; y limitar el ángulo de basculación determinado basándose en las una o más señales recibidas que se refieren a datos meteoceánicos. Por consiguiente, para turbinas eólicas flotantes, el ángulo de basculación puede limitarse por los datos meteoceánicos (por ejemplo, fuerzas de oleaje, movimientos, etc.) con el fin de evitar que la turbina eólica se incline demasiado en ciertas condiciones que pueden afectar a la seguridad y provocar un apagado o que la turbina eólica se vuelque o se caiga.

40 El método puede comprender, además, las etapas de optimizar la determinación del ángulo de basculación óptimo basándose en el control de retroalimentación.

50 El método comprende además las etapas de convertir el ángulo de basculación óptimo determinado en un ángulo de basculación y alabeo; y transmitir el ángulo de basculación y alabeo al controlador de plataforma. Como la turbina eólica puede estar orientada o guiñada en diferentes direcciones, puede ser necesario que el ángulo de basculación se convierta en un ángulo de basculación y alabeo para la plataforma. La conversión se basa en la dirección de guiñada de la turbina eólica.

55 Según un aspecto de la presente invención se proporciona un controlador que comprende: una entrada adaptada para recibir una o más señales que indican condiciones de emplazamiento en y/o cerca de una turbina eólica; un procesador adaptado para determinar un ángulo de basculación óptimo para dicha turbina eólica basándose en dichas una o más señales recibidas que indican condiciones de emplazamiento; dicho procesador está adaptado, además, para convertir dicho ángulo de basculación óptimo determinado en un ángulo de basculación y alabeo basándose en una dirección de guiñada de la turbina eólica; y una salida adaptada para transmitir dicho ángulo de basculación y alabeo determinado a un controlador de plataforma de manera que dicha turbina eólica puede inclinar dicho ángulo de basculación óptimo.

60 Según la presente invención se proporciona un controlador adaptado para: recibir una o más señales que indican

condiciones de emplazamiento en y/o cerca de una turbina eólica; determinar un ángulo de basculación óptimo para la turbina eólica basándose en las una o más señales recibidas que indican condiciones de emplazamiento; y transmitir el ángulo de basculación óptimo determinado a un controlador de plataforma de manera que la turbina eólica puede inclinar el ángulo de basculación óptimo.

5 El controlador puede ser por un controlador de turbina eólica, un controlador de central eléctrica (PPC), un controlador de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA), de manera independiente o cualquier combinación de los mismos.

10 El controlador puede comprender, además, una segunda entrada adaptada para recibir una o más señales que indican puntos de funcionamiento de la turbina eólica; y el primer procesador está adaptado, además, para determinar el ángulo de basculación óptimo basándose además en las una o más señales recibidas que indican puntos de funcionamiento de la turbina eólica.

15 El controlador puede comprender, además, un segundo procesador adaptado para identificar un sector al que una góndola de la turbina eólica se dirige o se orienta o se encuentra dentro del mismo; y el primer procesador está adaptado, además, para determinar el ángulo de basculación óptimo basándose además en el sector identificado.

20 El primer procesador puede estar adaptado, además, para identificar el ángulo óptimo a partir de una tabla de consulta.

25 El controlador puede comprender, además, un tercer procesador adaptado para comparar las una o más señales recibidas que indican condiciones de emplazamiento en y/o cerca de la turbina eólica con un umbral predefinido; y si la señal recibida que indica condiciones de emplazamiento en y/o cerca de la turbina eólica es mayor que el umbral predefinido, entonces el primer procesador está adaptado, además, para determinar el ángulo de basculación óptimo como un ángulo de basculación que acerca la señal recibida que indica condiciones de emplazamiento más próximas a o por debajo del umbral predefinido.

30 El controlador puede comprender, además, una segunda entrada adaptada para recibir una o más señales que se refieren a datos meteoceánicos; y un cuarto procesador adaptado para limitar el ángulo de basculación determinado basándose en las una o más señales recibidas que se refieren a datos meteoceánicos.

35 El controlador puede comprender, además, un quinto procesador adaptado para optimizar la determinación del ángulo de basculación óptimo basándose en el control de retroalimentación.

El controlador comprende, además, un procesador adaptado para convertir el ángulo de basculación óptimo determinado en un ángulo de basculación y alabeo basándose en una dirección de guiñada de la turbina eólica; y una salida adaptada para transmitir el ángulo de basculación y alabeo al controlador de plataforma.

40 Los procesadores primero a sexto pueden ser el mismo procesador, procesadores diferentes o cualquier combinación de los mismos. La primera entrada y la segunda entrada pueden ser la misma entrada o entradas diferentes. La primera salida y la segunda salida pueden ser la misma salida o salidas diferentes.

45 El controlador y los componentes pueden adaptarse mediante hardware, software o cualquier combinación de los mismos. El controlador puede estar adaptado, además, para implantar cualquiera o todas las funciones y características de la presente invención.

50 Según un aspecto de la presente invención, se proporciona un producto de programa informático que comprende un código ejecutable legible por ordenador para: recibir una o más señales que indican condiciones de emplazamiento en y/o cerca de una turbina eólica; determinar un ángulo de basculación óptimo para dicha turbina eólica basándose en dichas una o más señales recibidas que indican condiciones de emplazamiento; convertir dicho ángulo de basculación óptimo determinado en un ángulo de basculación y alabeo basándose en una dirección de guiñada de la turbina eólica; y transmitir dicho ángulo de basculación y alabeo determinado a un controlador de plataforma de manera que dicha turbina eólica puede inclinarse a dicho ángulo de basculación óptimo.

55 El producto de programa informático puede comprender, además, código ejecutable legible por ordenador para implementar cualquiera o todas las funciones y características de la presente invención.

60 Ahora se describirán realizaciones de la presente invención, a modo de ejemplo solamente, y con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

La figura 1 muestra un esquema simplificado de una turbina eólica terrestre fija.

65 La figura 2 muestra un esquema simplificado de una turbina eólica flotante marítima según muchas de las realizaciones de la presente invención.

La figura 3 muestra un esquema simplificado de una turbina eólica terrestre según muchas de las realizaciones de la presente invención.

La figura 4 muestra un diagrama de flujo según muchas de las realizaciones de la presente invención.

Como se describió anteriormente, el rotor de turbinas eólicas convencionales se fija en un ángulo de seis grados a partir de la vertical. Sin embargo, al oblicuar el rotor seis grados, y, por tanto, las palas de turbina, la zona efectiva para el viento incidente se reduce lo que en condiciones de carga parcial (por ejemplo, velocidades de viento inferiores a la velocidad de viento nominal para la turbina eólica) reduce la eficiencia de la turbina eólica.

Además, en carga completa (por ejemplo, velocidades de viento a o por encima de la velocidad de viento nominal para la turbina eólica) y/o en condiciones altas de cizalladura de viento, el ángulo de rotor fijo de seis grados reduce los efectos de los momentos de flexión de raíz de pala pseudosinusoidal, pero los momentos todavía pueden acumularse provocando un problema de fatiga significativo.

Las turbinas eólicas marítimas que están montadas en una plataforma flotante pueden incluir un sistema de lastre activo donde el lastre puede moverse alrededor de la plataforma flotante. El sistema de lastre activo se utiliza normalmente para estabilizar la turbina eólica que estará sometida a las fuerzas del viento junto con las fuerzas y movimientos del agua en la que está flotando la turbina eólica. La plataforma flotante puede activarse o controlarse para bascular y balancear la turbina eólica para contrarrestar las fuerzas y movimientos que actúan sobre la turbina eólica flotante. En la Figura 2 se muestra un ejemplo de turbina eólica flotante marítima. La turbina eólica flotante 201 incluye una torre 202, una góndola 203, un rotor 204, palas de turbina 205 y una plataforma flotante 206.

En este ejemplo, se muestra que la plataforma flotante 206 tiene tres tanques de lastre 207 donde el lastre puede moverse entre los tanques de lastre para estabilizar la turbina eólica flotante. Sin embargo, como se apreciará, la plataforma flotante 206 puede ser cualquier tipo de plataforma flotante, por ejemplo, una boya, que incorpora un sistema de lastre activo que puede alterarse para estabilizar la turbina eólica contra las fuerzas y movimientos que actúan sobre la turbina eólica flotante.

Las turbinas eólicas terrestres normalmente se montan y se fijan sobre cimentación sólida que soporta la turbina eólica. En esta realización, que se muestra en la figura 3, la turbina eólica terrestre 301 incluye una torre 302, una góndola 303, un rotor 304, palas de turbina 305 y una plataforma 306 entre la torre 302 y la cimentación 307. La plataforma 306 puede incluir un sistema activo, tal como un sistema hidráulico, donde tres pistones hidráulicos 308 soportan la turbina eólica terrestre 301. Los pistones hidráulicos pueden activarse o controlarse para bascular la turbina eólica terrestre 301.

En este ejemplo se muestra que la plataforma 306 tiene tres pistones hidráulicos 308 donde los pistones 308 pueden hacerse funcionar para bascular la turbina eólica 301 en múltiples direcciones. Sin embargo, como se apreciará, la plataforma puede ser cualquier tipo de plataforma que incorpora un sistema activo que puede alterarse para inclinar la turbina eólica 301.

En los ejemplos mostrados anteriormente en la figura 2 y la figura 3, la turbina eólica se muestra como una turbina eólica de eje horizontal, pero puede ser una turbina eólica de eje vertical. También se muestra que la turbina eólica tiene tres palas de turbina, sin embargo, como se apreciará, la turbina eólica puede comprender una o más palas de turbina. Además, en los ejemplos anteriores, la turbina eólica es capaz de bascular en cualquier dirección alrededor de múltiples ejes, ya que tanto la plataforma terrestre como la plataforma flotante marítima pueden controlarse por un controlador de plataforma para inclinar o bascular la turbina eólica en cualquier dirección. Sin embargo, como se apreciará, la plataforma puede implementarse de manera que solamente puede inclinarse sobre uno o más ejes.

En las realizaciones, el ángulo de inclinación o basculación de la turbina eólica se controla activamente dependiendo de las condiciones que afectan a la turbina eólica y se describirán con referencia a la figura 4 que muestra un diagrama de flujo 401.

En la etapa 402, un controlador, que puede ser un controlador de turbina eólica, un controlador de central eléctrica (PPC), un controlador de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA) o cualquier otro controlador, recibe una o más señales que indican condiciones de emplazamiento en o cerca de la turbina eólica. Las señales que indican condiciones de emplazamiento en o cerca de la turbina eólica pueden ser una o más de una señal que indican cizalladura de viento, dirección de viento, velocidad de viento, pronósticos meteorológicos, condiciones de oleaje o datos meteoceánicos (para turbinas eólicas flotantes), dirección de guiñada de góndola y cargas asimétricas. Las cargas asimétricas pueden incluir una o más señales que indican los momentos de flexión de raíz de pala y/u otras cargas en la turbina eólica.

En la etapa 403, el controlador puede determinar el ángulo de basculación óptimo basándose en las una o más señales recibidas que indican condiciones de emplazamiento en o cerca de la turbina eólica. El controlador puede determinar el ángulo de basculación óptimo calculando el ángulo de basculación óptimo, haciendo referencia a una tabla de consulta, o cualquier combinación de los mismos.

En la etapa 404, el controlador puede transmitir el ángulo de basculación óptimo a un controlador de plataforma de manera que el controlador de plataforma puede controlar la plataforma para inclinar la turbina eólica al ángulo de basculación óptimo requerido.

5 Si el controlador es un controlador de turbina eólica, entonces el controlador de turbina eólica puede interactuar directamente con el controlador de plataforma para transmitir el ángulo de basculación óptimo determinado. Si el controlador es un controlador de PPC o SCADA, entonces el ángulo de basculación óptimo puede transmitirse directamente al controlador de plataforma a través de un controlador de turbina eólica.

10 Para una plataforma flotante y para una plataforma terrestre, puede ser necesario que el ángulo de basculación óptimo determinado se convierta en un ángulo de basculación y alabeo. El ángulo de basculación óptimo puede convertirse en un ángulo de basculación y alabeo basándose en la dirección de guiñada de góndola de la turbina eólica que va a bascularse. Los ángulos de basculación y alabeo pueden transmitirse entonces al controlador de plataforma para activar la plataforma a los ángulos requeridos. Alternativamente, el ángulo de basculación óptimo y la posición de guiñada actual de la góndola pueden transmitirse al controlador de plataforma donde el controlador de plataforma convierte el ángulo de basculación óptimo en los ángulos de basculación y alabeo requeridos.

15 El controlador puede identificar, basándose, por ejemplo, en una o más de las señales recibidas que indican condiciones de emplazamiento, u otros puntos de funcionamiento tales como la salida de potencia eléctrica actual de la turbina eólica, el ángulo de paso de las palas de turbina, la velocidad de rotor, si la turbina eólica está en carga parcial, carga completa y si la cizalladura de viento es alta (por ejemplo, por encima de un umbral predefinido).

20 En condiciones de carga parcial y baja cizalladura de viento, la eficiencia de la turbina eólica puede aumentarse aumentando la zona efectiva de las palas de turbina en las que incide el viento. En este caso, basándose en las una o más señales que indican condiciones de emplazamiento en o cerca de la turbina eólica, el controlador determina el ángulo de basculación óptimo para la turbina eólica. El ángulo de basculación óptimo puede calcularse por el controlador en tiempo real o puede identificarse a partir de una tabla de consulta que utiliza al menos las señales recibidas que indican condiciones de emplazamiento en o cerca de la turbina eólica como referencia para la búsqueda.

25 Por ejemplo, si las señales recibidas indican que la cizalladura de viento es baja y que la turbina eólica está en carga parcial, entonces el ángulo de basculación óptimo puede determinarse como seis grados en la dirección positiva (por ejemplo, hacia el viento) de modo que la mayor zona efectiva de las palas de turbina se alcanza de manera efectiva contrarrestando el ángulo de rotor fijo. Si se produce cizalladura de viento negativa, entonces el ángulo de basculación óptimo puede determinarse como mayor de seis grados en la dirección positiva.

30 Si las señales recibidas indican un aumento de cizalladura de viento, entonces el ángulo óptimo puede determinarse como un ángulo inferior a seis grados, de modo que la basculación de la turbina eólica permita una zona efectiva mayor de las palas de turbina minimizando al mismo tiempo cualquier momento en los componentes de la turbina eólica debido a la cizalladura de viento. Por tanto, puede crearse una tabla de consulta que identifica el ángulo de basculación óptimo en carga parcial para cada condición de cizalladura de viento y/o velocidad de viento.

35 La zona o brújula alrededor de la turbina eólica puede dividirse en sectores. Normalmente existen 12 sectores de 30 grados cada uno que definen la brújula de 360 grados alrededor de la turbina eólica. La determinación del ángulo de basculación óptimo para una turbina eólica puede basarse, además, en el sector hacia el que se orienta actualmente la góndola de la turbina eólica. Por tanto, la tabla de consulta puede incluir el sector como una referencia adicional con el fin de determinar o identificar el ángulo de basculación óptimo para la turbina eólica.

40 La determinación del ángulo de basculación óptimo puede basarse, además, adicional o alternativamente en los puntos de funcionamiento estimados, actuales o previstos de la turbina eólica. Por ejemplo, los puntos de funcionamiento pueden incluir una o más de las salidas de potencia eléctrica, ángulo de paso de las palas de turbina, velocidad de rotor, condiciones de ralentí, funciones de mantenimiento, etcétera. Por tanto, la determinación del ángulo de basculación óptimo, ya sea a tiempo real o a través de una tabla de consulta, puede basarse, además, en los puntos de funcionamiento de la turbina eólica. Según algunos puntos de funcionamiento, el ángulo de basculación óptimo puede establecerse a 0 grados deshabilitando de manera efectiva la optimización de basculación de la turbina eólica.

45 Los cálculos a tiempo real o la tabla de consulta pueden optimizarse donde puede utilizarse el control de retroalimentación para optimizar la determinación del ángulo de basculación óptimo. Por ejemplo, para un ángulo de basculación dado determinado como ángulo de basculación óptimo, la salida de potencia eléctrica puede identificarse como inferior al máximo que podría obtenerse y/o a las cargas o no reducirse al mínimo, entonces la retroalimentación puede utilizarse para actualizar la determinación del ángulo de basculación óptimo.

50 La determinación del ángulo de basculación óptimo puede basarse alternativa o adicionalmente en el control de retroalimentación. Por ejemplo, los valores de salida de potencia eléctrica pueden utilizarse como retroalimentación

para determinar el ángulo de basculación óptimo.

Por consiguiente, en carga parcial, la turbina eólica puede inclinarse de manera que la captación de energía óptima del viento puede lograrse al tiempo que se minimizan los momentos en la turbina eólica para cualquier cizalladura de viento dada.

Si el controlador determina que la turbina eólica está funcionando en carga completa, entonces el controlador puede determinar el ángulo de basculación óptimo para la turbina eólica basándose en las una o más señales que indican condiciones de emplazamiento en o cerca de la turbina eólica. El ángulo de basculación óptimo para la turbina eólica en este caso puede determinarse para reducir los momentos en la turbina eólica, lo que reduce la fatiga de varios componentes en la turbina eólica. Esto se debe a que, en carga completa, la turbina eólica está sometida a velocidades de viento a o por encima de la velocidad de viento nominal para la turbina eólica y a menudo está sometida a cizalladura de viento alta.

El ángulo de basculación óptimo puede determinarse a través de una tabla de consulta o a través del control de retroalimentación o cualquier combinación de los mismos. El mecanismo de la tabla de consulta puede funcionar y referenciarse de manera similar al descrito anteriormente en relación con las condiciones de carga parcial.

Como también se ha descrito anteriormente en el presente documento, la cizalladura de viento vertical puede provocar un momento de raíz de pala de turbina pseudosinusoidal de frecuencia 1P en cada pala. En una turbina eólica con tres palas entonces la suma del momento de raíz de pala da momentos de basculación y guiñada 3P. Los momentos de flexión de raíz de pala de turbina pueden medirse mediante uno o más sensores (por ejemplo, galgas extensiométricas) en las palas de turbina y pueden proporcionarse al controlador como una de las señales que indican la carga asimétrica en la turbina eólica y, por tanto, como una de las condiciones de emplazamiento. Por tanto, el controlador puede determinar el ángulo de basculación óptimo para la turbina eólica basándose en un bucle de retroalimentación que incluye la señal de momento de flexión de raíz de pala de turbina. En otras palabras, la turbina eólica puede moverse o inclinarse hacia el ángulo de basculación óptimo para reducir la amplitud de la señal de momento de flexión de raíz de pala de turbina pseudosinusoidal.

Por consiguiente, el controlador puede comparar los momentos de flexión de raíz de pala pseudosinusoidal con un umbral predefinido (donde el umbral puede ser un valor, una señal o un patrón) para determinar si se ha alcanzado el ángulo de basculación óptimo. Si los momentos de flexión de raíz de pala sinusoidal son mayores que el umbral predefinido, entonces se determina un nuevo ángulo de basculación óptimo para reducir adicionalmente la diferencia entre los momentos de flexión de raíz de pala sinusoidal y el umbral predefinido.

En condiciones de carga completa y/o cizalladura de viento alta, el ángulo de basculación óptimo puede estar a varios grados de distancia del viento, (por ejemplo, en una dirección negativa, de manera que la turbina eólica parece ladearse o bascularse hacia atrás.

El controlador puede transmitir el ángulo de basculación óptimo determinado al controlador de plataforma de manera que el controlador de plataforma puede controlar o hacer funcionar la plataforma para inclinar la turbina eólica al ángulo óptimo. Como se ha descrito anteriormente, el ángulo de basculación óptimo puede además convertirse en un ángulo de basculación y alabeo para la plataforma.

Para una turbina eólica marítima montada sobre una plataforma flotante con un sistema de lastre activo, el controlador de plataforma regulará normalmente la plataforma a 0 grados con el fin de mantener la estabilidad de la turbina eólica. Sin embargo, el ángulo de referencia de 0 grados puede alterarse para tomar una referencia (por ejemplo, el ángulo de basculación óptimo o los ángulos de basculación y alabeo convertidos) a partir del controlador (por ejemplo, controlador de turbina eólica, controlador de PPC, SCADA) provocando de ese modo que la plataforma flotante bascule la turbina eólica al ángulo de basculación requerido y óptimo.

Como la plataforma flotante también está sometida al movimiento y las fuerzas del agua sobre la que se ubica la plataforma flotante, entonces el sistema puede incluir además un supervisor. El supervisor puede recibir los datos meteoceánicos y el ángulo de basculación óptimo determinado y decidir o identificar si es seguro bascular la turbina eólica en las condiciones meteoceánicas actuales o futuras al ángulo de basculación óptimo. El supervisor puede limitar el ángulo de basculación de la turbina eólica por razones de seguridad dependiendo de las condiciones meteoceánicas. Alternativa o adicionalmente, los datos meteoceánicos pueden introducirse en los cálculos o en la tabla de consulta para la determinación del ángulo de basculación óptimo.

Por consiguiente, en las realizaciones y ejemplos de la presente invención, una turbina eólica flotante con un sistema de lastre activo o una turbina eólica terrestre montada en una plataforma que puede moverse activamente, el controlador puede ser capaz de controlar o iniciar el control sobre el ángulo de basculación o inclinación de la turbina eólica. Por tanto, la turbina eólica puede inclinarse o bascularse ventajosamente con el fin de "superar" de manera efectiva los problemas de ángulo de basculación de rotor fijo.

La medición o estimación de la cizalladura de viento vertical puede determinarse a partir de los datos del mástil

5 MET, a partir de dispositivos LiDAR o dispositivos de velocímetro Doppler con láser (LDV) ubicados en o independientes con respecto a la turbina eólica, otros sensores o a partir de mediciones de carga de turbina, por ejemplo, sensores de carga de pala. La velocidad de viento que afecta a la turbina eólica puede deducirse a partir de los datos de turbina (por ejemplo, a partir de la salida de potencia eléctrica de la turbina eólica) o medirse a través de otros sensores tales como un dispositivo de detección y alcance de luz (LiDAR), un anemómetro, y la velocidad de viento puede estimarse o medirse aguas arriba de la turbina eólica y/o en la turbina eólica.

10 La tabla de consulta que puede utilizarse para determinar el ángulo de basculación óptimo, que puede calcularse fuera de línea o en línea. La tabla de consulta puede actualizarse usando datos o las señales que indican la carga asimétrica de la turbina eólica. Por ejemplo, si para un ángulo de basculación dado los momentos de raíz de pala sinusoidal son altos, la tabla de consulta puede actualizarse para cambiar el ángulo de basculación óptimo para las condiciones.

15 El controlador de turbina eólica, controlador de PPC y SCADA pueden implementar las realizaciones de manera independiente o dividir el control de las realizaciones entre dos o más de los controladores.

20 La frecuencia a la que se determina el ángulo de basculación óptimo puede ser cualquier frecuencia adecuada a efectos de la invención. Por ejemplo, para determinar el ángulo de basculación óptimo a través de una tabla de consulta, el procedimiento puede realizarse cada 10 minutos, o cualquier otra frecuencia adecuada. En el caso de que se determine el ángulo de basculación óptimo a través del control de retroalimentación, pueden tomarse muestras de las señales cada 30 segundos, 1 minuto para determinar el ángulo de basculación óptimo.

25 Por consiguiente, las realizaciones de la presente invención describen mecanismos para determinar un ángulo de basculación óptimo para una turbina eólica donde el ángulo de basculación óptimo posibilita de manera ventajosa una mayor captación de potencia del viento en condiciones de carga parcial y disminuir cargas en la torre durante condiciones de carga completa.

30 Si bien se han mostrado y descrito realizaciones de la invención, se entenderá que tales realizaciones se describen a modo de ejemplo solamente. A los expertos en la técnica se les ocurrirán numerosas variaciones, cambios y sustituciones sin apartarse del alcance de la presente invención tal como se define por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un método que comprende las etapas de:
- 5 recibir una o más señales que indican condiciones de emplazamiento en y/o cerca de una turbina eólica;
- determinar un ángulo de basculación óptimo para dicha turbina eólica basándose en dichas una o más señales recibidas que indican condiciones de emplazamiento, estando el método caracterizado por las etapas adicionales de:
- 10 convertir dicho ángulo de basculación óptimo determinado en un ángulo de basculación y alabeo basándose en una dirección de guiñada de la turbina eólica; y
- 15 transmitir dicho ángulo de basculación y alabeo determinado a un controlador de plataforma de manera que dicha turbina eólica puede inclinarse a dicho ángulo de basculación óptimo.
2. El método según se reivindica en la reivindicación 1 en el que dichas una o más señales recibidas que indican condiciones de emplazamiento en y/o cerca de dicha turbina eólica incluye una o más de cizalladura de viento vertical, velocidad de viento, dirección de viento, condiciones de oleaje, pronósticos meteorológicos, carga asimétrica y dirección de guiñada.
- 20
3. El método según se reivindica en la reivindicación 1 o 2 que comprende además las etapas de:
- 25 recibir una o más señales que indican puntos de funcionamiento de dicha turbina eólica; y
- determinar dicho ángulo de basculación óptimo basándose además en dichas una o más señales recibidas que indican puntos de funcionamiento de dicha turbina eólica.
- 30
4. El método según se reivindica en la reivindicación 3 en el que dichos puntos de funcionamiento incluyen uno o más de una salida de potencia eléctrica, velocidad de rotor, ángulo de paso de una o más palas de turbina de dicha turbina eólica.
5. El método según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende, además, las etapas de:
- 35 identificar un sector hacia el que se orienta una góndola de dicha turbina eólica; y
- determinar dicho ángulo de basculación óptimo basándose además en dicho sector identificado.
- 40
6. El método según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que dicha etapa de determinar dicho ángulo de basculación óptimo incluye identificar dicho ángulo óptimo a partir de una tabla de consulta.
- 45
7. El método según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que dicha etapa de determinar dicho ángulo de basculación óptimo comprende las etapas de:
- 50 comparar dichas una o más señales recibidas que indican condiciones de emplazamiento en y/o cerca de dicha turbina eólica con un umbral predefinido; y
- si dicha señal recibida que indica condiciones de emplazamiento en y/o cerca de dicha turbina eólica es mayor que dicho umbral predefinido, entonces determinar dicho ángulo de basculación óptimo como un ángulo de basculación que trae dicha señal recibida que indica condiciones de emplazamiento más próximas a o por debajo de dicho umbral predefinido.
- 55
8. El método según se reivindica en la reivindicación 7 en el que dicha señal recibida que indica condiciones de emplazamiento en y/o cerca de dicha turbina eólica es uno o más momentos de flexión de raíz de pala de turbina para una o más palas de turbina.
- 60
9. El método según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende, además, las etapas de:
- 65 recibir una o más señales que se refieren a datos metoceanicos; y
- limitar dicho ángulo de basculación determinado basándose en dichas una o más señales recibidas que se refieren a datos metoceanicos.

10. El método según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende, además, las etapas de:
- 5 optimizar dicha determinación de dicho ángulo de basculación óptimo basándose en control de retroalimentación.
11. Un controlador que comprende:
- 10 una entrada adaptada para recibir una o más señales que indican condiciones de emplazamiento en y/o cerca de una turbina eólica;
- 15 un procesador adaptado para determinar un ángulo de basculación óptimo para dicha turbina eólica basándose en dichas una o más señales recibidas que indican condiciones de emplazamiento, estando el controlador caracterizado por dicho procesador adaptado adicionalmente para convertir dicho ángulo de basculación óptimo determinado en un ángulo de basculación y alabeo basándose en una dirección de guiñada de la turbina eólica; y
- 20 una salida adaptada para transmitir dicho ángulo de basculación y alabeo determinado a un controlador de plataforma de manera que dicha turbina eólica puede inclinarse a dicho ángulo de basculación óptimo.
12. El controlador según se reivindica en la reivindicación 11, en el que:
- 25 dicha entrada además está adaptada para recibir una o más señales que indican puntos de funcionamiento de dicha turbina eólica; y
- 30 dicho procesador está adaptado, además, para determinar dicho ángulo de basculación óptimo basándose además en dichas una o más señales recibidas que indican puntos de funcionamiento de dicha turbina eólica.
13. El controlador según se reivindica en las reivindicaciones 11 o 12, en el que:
- 35 dicho procesador está adaptado para identificar un sector hacia el que está orientándose una góndola de dicha turbina eólica; y
- 40 dicho procesador está adaptado, además, para determinar dicho ángulo de basculación óptimo basándose además en dicho sector identificado.
14. El controlador según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13 en el que dicho procesador está adaptado, además, para identificar dicho ángulo óptimo a partir de una tabla de consulta.
15. El controlador según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 11 a 14, en el que:
- 45 dicho procesador está adaptado, además, para comparar dichas una o más señales recibidas que indican condiciones de emplazamiento en y/o cerca de dicha turbina eólica con un umbral predefinido; y
- 50 si dicha señal recibida que indica condiciones de emplazamiento en y/o cerca de dicha turbina eólica es mayor que dicho umbral predefinido, entonces dicho procesador está adaptado, además, para determinar dicho ángulo de basculación óptimo como un ángulo de basculación que trae dicha señal recibida que indica condiciones de emplazamiento más próximas a o por debajo de dicho umbral predefinido.
16. El controlador según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 11 a 15, en el que:
- 55 dicha entrada está adaptada, además, para recibir una o más señales que se refieren a datos meteoceánicos; y
- 60 dicho procesador está adaptado, además, para limitar dicho ángulo de basculación determinado basándose en dichas una o más señales recibidas que se refieren a datos meteoceánicos.
17. El controlador según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 11 a 16, en el que:
- 65 dicho procesador está adaptado, además, para optimizar dicha determinación de dicho ángulo de basculación óptimo basándose en control de retroalimentación.
18. Un producto de programa informático que comprende código ejecutable legible por ordenador para:
- recibir una o más señales que indican condiciones de emplazamiento en y/o cerca de una turbina eólica;

determinar un ángulo de basculación óptimo para dicha turbina eólica basándose en dichas una o más señales recibidas que indican condiciones de emplazamiento, estando el producto de programa informático caracterizado por

5 convertir dicho ángulo de basculación óptimo determinado en un ángulo de basculación y alabeo basándose en una dirección de guiñada de la turbina eólica; y

10 transmitir dicho ángulo de basculación y alabeo determinado a un controlador de plataforma de manera que dicha turbina eólica puede inclinarse a dicho ángulo de basculación óptimo.

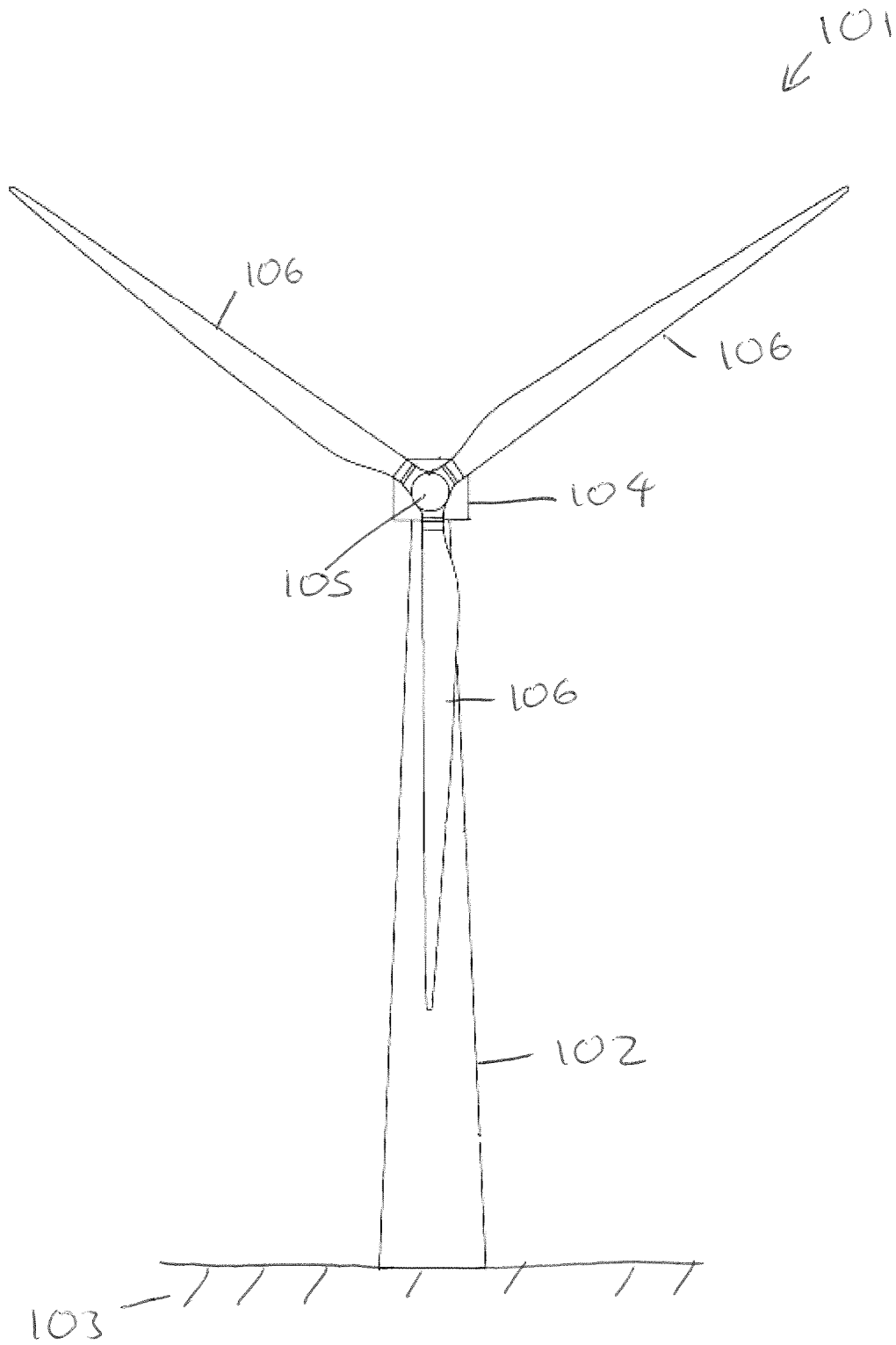


Figura 1

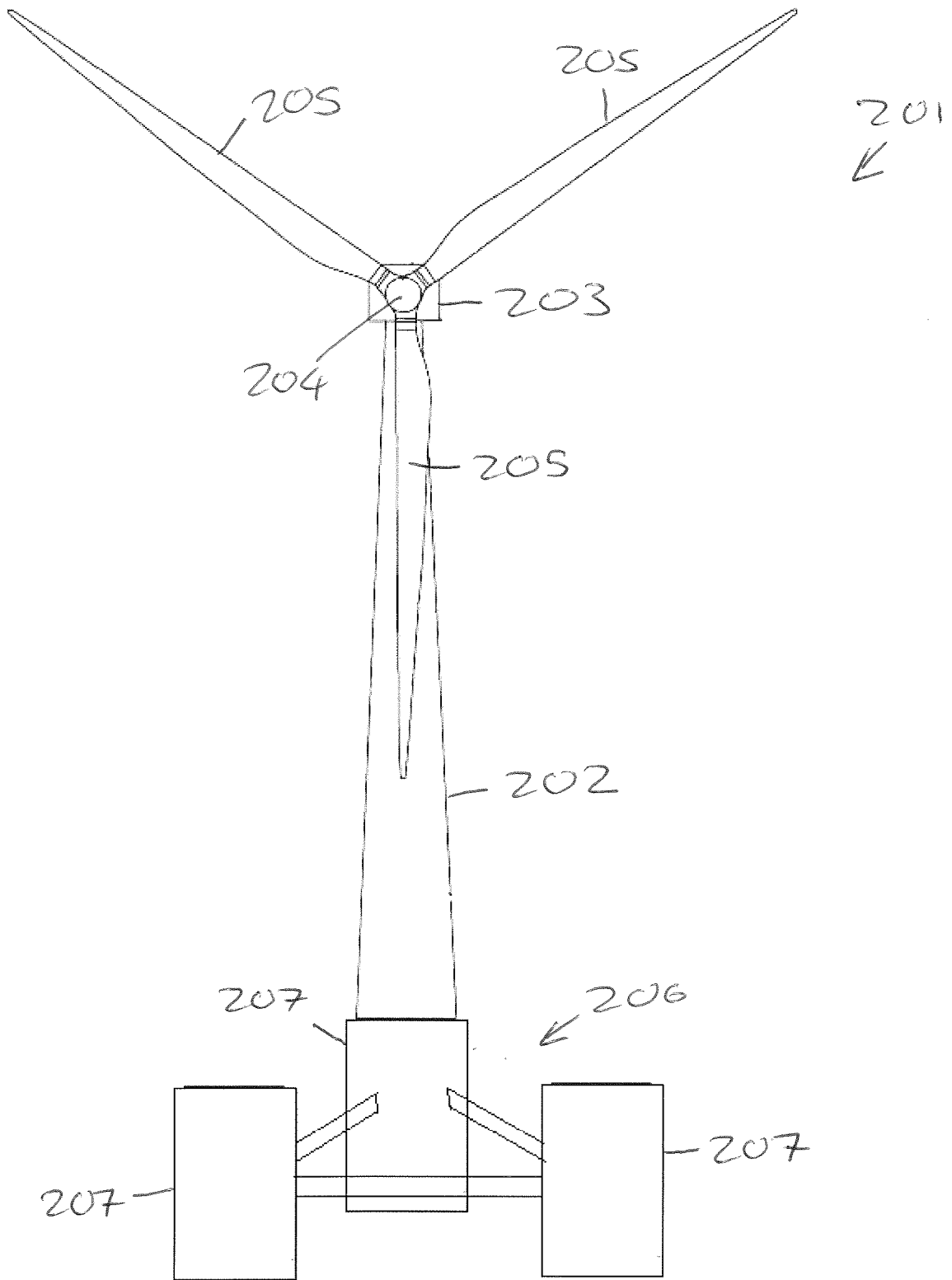
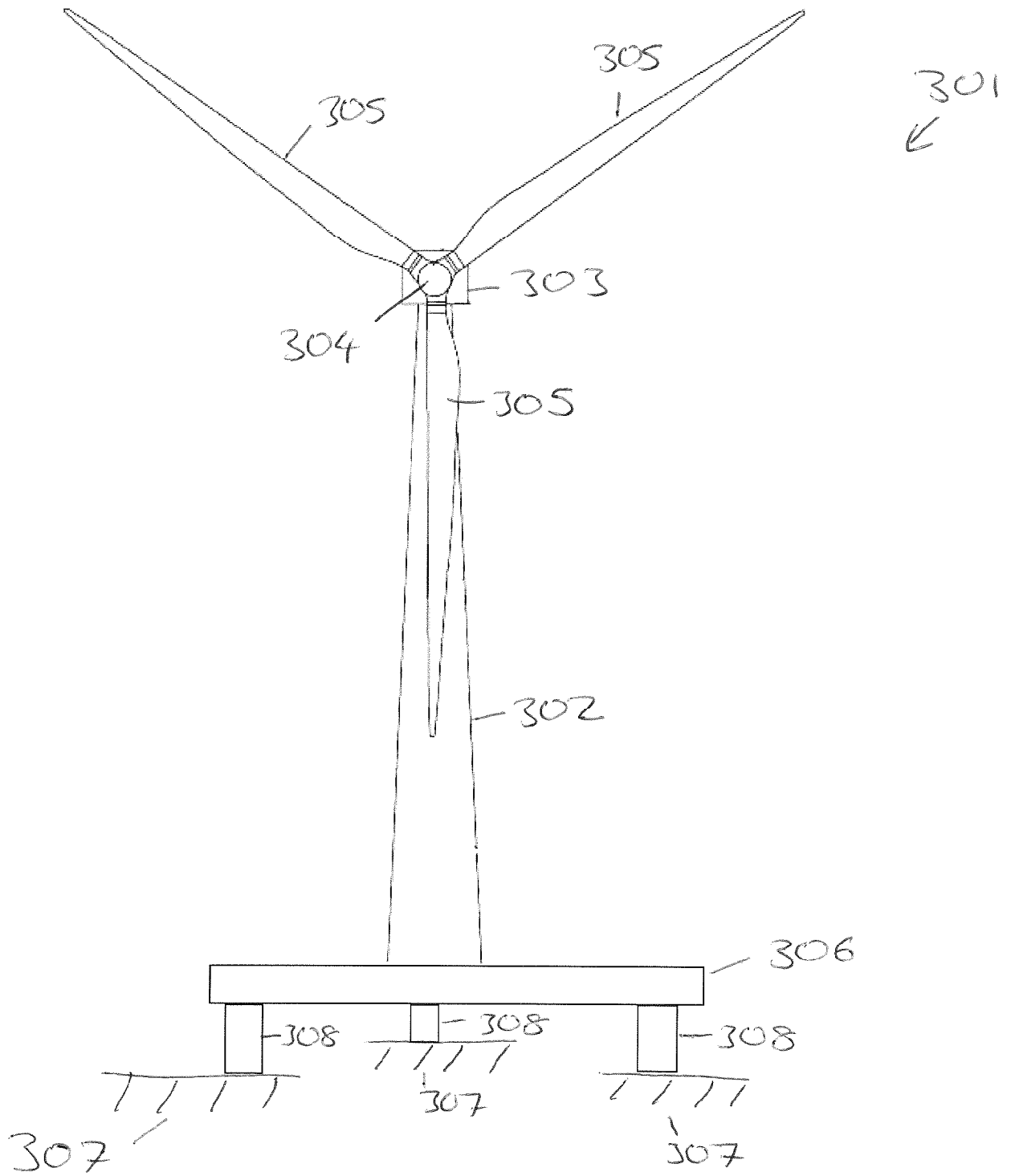


Figura 2



401
↓

