

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 573 827**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.12.2012 E 12199248 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.04.2016 EP 2607689**

54 Título: **Control de turbinas eólicas basado en sectores de rotor**

30 Prioridad:

**22.12.2011 US 201113334767
03.01.2012 DK 201270004**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.06.2016

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)
Hedeager 42
8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:

KRISTOFFERSEN, JACOB KROGH

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 573 827 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

Control de turbinas eólicas basado en sectores de rotor

5 Campo de la invención

Las realizaciones de la invención se refieren, en general, al control de una turbina eólica que comprende palas fijadas a un buje de rotor para la rotación en un plano de rotor, y a un sistema de control para variar individualmente el ángulo de paso de las palas con respecto al buje, con la intención de reducir el riesgo de cargas extremas únicas o sucesivas sobre las palas, la torre u otros componentes de la turbina eólica.

Antecedentes

En los últimos años ha habido una creciente concentración en la reducción de las emisiones de los gases de efecto invernadero generados por la combustión de combustibles fósiles. Una solución para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero es el desarrollo de fuentes de energía renovables. En particular, la energía derivada del viento ha demostrado ser una fuente de energía medioambientalmente segura y fiable, que puede reducir la dependencia de los combustibles fósiles.

La energía en el viento puede capturarse mediante una turbina eólica, que es una máquina rotativa que convierte la energía cinética del viento en energía mecánica y, posteriormente, la energía mecánica en energía eléctrica. Las turbinas eólicas comunes de eje horizontal incluyen una torre, una góndola situada en la cima de la torre, y un rotor que está soportado en la góndola mediante un eje. El eje se acopla al rotor directa o indirectamente con un conjunto de rotor de un generador alojado dentro de la góndola. Pueden disponerse juntos una pluralidad de generadores de turbina eólica en un parque eólico o planta de generación eólica, para generar suficiente energía para dar soporte a una red.

La mayor parte de las turbinas eólicas modernas están controladas y reguladas continuamente, más frecuentemente con la finalidad de asegurar una máxima extracción de la energía del viento en las condiciones atmosféricas y de viento actuales, mientras se asegura al mismo tiempo que las cargas sobre los diferentes componentes de la turbina eólica se mantienen en todo momento dentro de límites aceptables. Para conseguir esto, los controladores recogen y supervisan un cierto número de parámetros en una turbina eólica, tales como, por ejemplo, la velocidad y dirección actual del viento, la velocidad de rotación del rotor, el ángulo de paso de cada pala, el ángulo de guiñada, información sobre el sistema de la red, y parámetros medidos (por ejemplo tensiones o vibraciones) desde sensores colocados por ejemplo sobre las palas, la góndola o sobre la torre.

Basándose en esto y siguiendo alguna estrategia de control, se determinan los parámetros de control óptimos de la turbina para que funcione óptimamente en las condiciones dadas. El rendimiento actual y, por ello, la producción de energía y la situación de carga de la turbina eólica, se controlan principalmente mediante el control de los ángulos de paso de las palas, pero puede incluir adicionalmente ajustar, por ejemplo, cualquier dispositivo aerodinámico activo para el cambio de las superficies aerodinámicas de las palas, tales como aletas o medios de generación de vórtices, el ajuste de la potencia, y/o el ajuste de la velocidad de rotación del rotor.

Las turbinas eólicas se construyen y controlan tradicionalmente de acuerdo con las normas y de acuerdo con mapas de viento e incorporando el compromiso de maximizar la producción energética anual por la turbina eólica mientras al mismo tiempo se asegura una cierta vida útil de la turbina, es decir, manteniendo las cargas sobre los diferentes componentes de la turbina eólica dentro de límites aceptables en todo momento y a lo largo del tiempo. Las turbinas eólicas se diseñan por lo tanto típicamente de acuerdo con una cierto nivel (alto) de turbulencia pero, frecuentemente, operarán con un nivel de turbulencia más bajo y pueden controlarse en algunas condiciones demasiado conservadoramente, mientras que en algunas condiciones de modo no suficientemente conservador, dando como resultado una fatiga indeseada o cargas extremas sobre los componentes de la turbina eólica, especialmente las palas, la góndola y la torre.

El documento DE102009015679 divulga una turbina eólica que comprende un dispositivo de medición de viento proactivo montado sobre ella. El dispositivo proactivo de medición del viento captura los perfiles de viento actual a una distancia aguas arriba de la turbina. El dispositivo de control usa la medición proactiva del perfil del viento para minimizar las cargas.

El documento US2009047116 divulga un mecanismo proactivo para controlar el ángulo de paso de las palas de una turbina eólica para compensar el desequilibrio del rotor durante la operación normal mediante la variación del paso de las palas individual o asimétricamente, basado en mediciones de ráfagas de viento turbulentas por delante del rotor, determinadas antes de que alcancen las palas del rotor.

Sumario de la invención

5 Las realizaciones de la invención se refieren, en general, al control de una turbina eólica que comprende palas fijadas a un buje de rotor para la rotación en un plano de rotor y un sistema de control para variar individualmente el ángulo de paso de las palas con respecto al buje con la intención de reducir el riesgo de cargas extremas simples o sucesivas sobre las palas, la torre u otros componentes de la turbina eólica.

10 Una realización de la invención proporciona un método para controlar una turbina eólica. El método comprende, en general, determinar una o más propiedades del viento en cada una de una pluralidad de secciones predefinidas de un plano por delante de un plano de rotor de la turbina eólica, y determinar una o más propiedades del viento esperadas en una segunda sección del plano de rotor de la turbina eólica basándose en una o más propiedades del viento determinadas en una primera sección que corresponde a una sección preferida respectiva del plano remoto. El método comprende además determinar un ángulo de paso de la segunda sección basándose en la una o más propiedades del viento esperadas en la segunda sección, y ajustar un ángulo de paso de una pala de turbina eólica al ángulo de paso de la segunda sección cuando la pala de la turbina eólica pasa a través de la segunda sección.

15 Otra realización de la invención proporciona una turbina eólica, que comprende, en general, un rotor que comprende al menos una pala, en la que un plano de rotor del rotor se divide en una pluralidad de secciones predefinidas, un dispositivo de detección y alcance por luz (LIDAR, del inglés "Light Detection And Ranging") configurado para medir una o más propiedades del viento en una pluralidad de secciones predefinidas en un plano por delante del plano de rotor, en el que cada sección del plano por delante del plano de rotor corresponde a una sección del plano de rotor, y un controlador. El controlador está configurado, en general, para recibir, desde el dispositivo LIDAR, una o más propiedades del viento en una primera sección de la pluralidad de secciones predefinidas del plano por delante del plano de rotor, y determinar la una o más propiedades del viento esperadas en una segunda sección de la pluralidad de secciones predefinidas del plano de rotor, en el que la primera sección corresponde a la segunda sección. El controlador está configurado, además, para determinar un ángulo de paso de la segunda sección basándose en la una o más propiedades del viento esperadas en la segunda sección, y ajustar el ángulo de paso de al menos una pala al ángulo de paso de la segunda sección cuando la pala pasa a través de la segunda sección.

20 Otra realización más de la invención proporciona un controlador de turbina eólica, configurado en general para recibir una o más propiedades del viento en una primera sección de una pluralidad de secciones predefinidas de un plano por delante de un plano de rotor, y determinar la una o más propiedades del viento esperadas en una segunda sección de una pluralidad de secciones predefinidas del plano de rotor, en el que la primera sección corresponde a la segunda sección. El controlador está configurado, además, para determinar un ángulo de paso de la segunda sección basándose en la una o más propiedades del viento esperadas en la segunda sección, y el ajuste de un ángulo de paso de la pala de la turbina eólica al ángulo de paso de la segunda sección cuando la pala de la turbina eólica pasa a través de la segunda sección.

Breve descripción de los dibujos

40 Se explican realizaciones de la presente invención, a modo de ejemplo, y con referencia los dibujos adjuntos. Debe observarse que los dibujos adjuntos ilustran solo ejemplos de realizaciones de la presente invención y, por lo tanto, no han de considerarse limitativos del alcance, dado que la invención puede admitir otras realizaciones igualmente efectivas.

- 45 La Figura 1 ilustra una turbina eólica ejemplar de acuerdo con una realización de la invención.
- La Figura 2 ilustra una góndola de turbina eólica ejemplar de acuerdo con una realización de la invención.
- La Figura 3 ilustra una división de un plano de rotor ejemplar en una pluralidad de secciones, de acuerdo con una realización de la invención.
- 50 La Figura 4 ilustra la operación ejemplar de un dispositivo de detección y alcance por luz (LIDAR), de acuerdo con una realización de la invención.
- La Figura 5 ilustra un dispositivo LIDAR ejemplar de acuerdo con una realización de la invención.
- La Figura 6 ilustra un sistema de control ejemplar de acuerdo con una realización de la invención.
- 55 La Figura 7 es un diagrama de flujo de las operaciones de control ejemplares de acuerdo con una realización de la invención.
- Las Figuras 8A-B ilustran sistemas de control del ángulo de paso ejemplares de acuerdo con una realización de la invención.

Descripción detallada

60 En lo que sigue, se hace referencia a realizaciones de la invención. Sin embargo, debería entenderse que la invención no está limitada a las realizaciones específicas descritas. En su lugar, se contempla para implementar y poner en práctica la invención cualquier combinación de las siguientes características y elementos, tanto relacionada como no con las diferentes realizaciones.

Además, en diversas realizaciones de la invención se proporcionan numerosas ventajas sobre la técnica anterior. Sin embargo, aunque las realizaciones de la invención pueden conseguir ventajas sobre otras soluciones posibles y/o sobre la técnica anterior, si una ventaja particular se consigue o no mediante una realización dada no es limitativo de la invención. Por ello, los siguientes aspectos, características, realizaciones y ventajas son meramente ilustrativos y no se consideran elementos o limitaciones de las reivindicaciones adjuntas excepto donde explícitamente se enumere en una(s) reivindicación(es). De la misma manera, la referencia "a la invención" no se interpretará como una generalización de ninguna materia objeto inventiva divulgada en el presente documento y no se considerará que sea un elemento o limitación de las reivindicaciones adjuntas excepto donde explícitamente se enumere en una(s) reivindicación(es).

La que sigue es una descripción detallada de las realizaciones de la invención representadas en los dibujos adjuntos. Las realizaciones son ejemplos y están en un detalle tal que comuniquen claramente la invención. Sin embargo, no se pretende que la cantidad de detalle ofrecido limite las variaciones anticipadas de realizaciones; sino que por el contrario, la intención es cubrir todas las modificaciones, equivalentes y alternativas incluidas dentro del espíritu y alcance de la presente invención, tal como se define por las reivindicaciones adjuntas.

La Figura 1 ilustra una turbina eólica 100 ejemplar de acuerdo con 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 de interior. Sin embargo, realizaciones de la invención no están limitadas solamente a turbinas eólicas de interior. En realizaciones alternativas, la turbina eólica 100 puede ser una turbina eólica alejada de la orilla situada sobre una masa de agua tal como, por ejemplo, un lago, un océano, o similares.

La torre 110 de la turbina eólica 100 puede configurarse para elevar la góndola 120 y el rotor 130 a una altura donde el rotor 130 pueda recibir un flujo de aire fuerte, menos turbulento y generalmente no obstruido. La altura de la torre 110 puede ser cualquier altura razonable. La torre 110 puede estar fabricada a partir de cualquier tipo de material, por ejemplo, acero, hormigón o similares. En algunas realizaciones, la torre 110 puede estar fabricada a partir de un material monolítico. Sin embargo, en realizaciones alternativas, la torre 110 puede incluir una pluralidad de secciones, por ejemplo, dos o más secciones de acero tubulares 111 y 112, como se ilustra en la Figura 1. En algunas realizaciones de la invención, la torre 110 puede ser una torre de estructura metálica. En consecuencia, la torre 110 puede incluir perfiles de acero soldados.

El rotor 130 puede incluir un buje de rotor (al que de aquí en adelante se hace referencia simplemente como el "buje") 131 y al menos una pala 132 (se muestran tres de dichas palas 132 en la Figura 1). El buje del rotor 131 puede configurarse para acoplar la al menos una pala 132 a un eje (no mostrado). En una realización, las palas 132 puede tener un perfil aerodinámico de modo que, a velocidades del viento predefinidas, las palas 132 experimentan una elevación, haciendo de ese modo que las palas giren 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 eje, y la energía de rotación del eje en energía eléctrica.

La Figura 1 también representa 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. Al detectar la dirección del viento, el sensor de viento 123 puede proporcionar datos útiles que pueden determinar operaciones para la guiñada de la turbina eólica 100 hacia el viento. El sensor de viento 123 puede usar la velocidad y/o dirección del viento para controlar el ángulo de paso de la pala. Los datos de velocidad del viento pueden usarse para determinar un ángulo de paso apropiado que permita que las palas 132 capturen una cantidad deseada de energía del viento o para evitar cargas excesivas sobre los componentes de la turbina. En algunas realizaciones, el sensor de viento 123 puede integrarse con un sensor de temperatura, sensor de presión, y similares, que pueden proporcionar datos adicionales con respecto al ambiente que rodea la turbina eólica. Dichos datos pueden usarse para determinar uno o más parámetros operacionales de la turbina eólica para facilitar la captura de una cantidad deseada de energía por parte de la turbina eólica 100 o para evitar daños a los componentes de la turbina eólica.

En una realización de la invención se proporciona un dispositivo de detección y alcance por luz (LIDAR) 180 en o cerca de la turbina eólica 100. Por ejemplo, el LIDAR 180 puede colocarse sobre una góndola, buje y/o torre de la turbina eólica, como se ilustra en la Figura 1. En realizaciones alternativas, el LIDAR 180 puede colocarse en una o más palas 132 de la turbina eólica 100. En algunas otras realizaciones, el dispositivo LIDAR puede colocarse cerca de la turbina eólica 100, por ejemplo, sobre el terreno, tal como se muestra en la Figura 1. En general, el LIDAR 180 está configurado para detectar la velocidad y/o dirección del viento en uno o más puntos por delante de la turbina eólica 100. En otras palabras, el LIDAR 180 permite a la turbina eólica detectar la velocidad del viento antes de que el viento alcance realmente la turbina eólica. Esto permite que la turbina eólica 100 ajuste proactivamente uno o más de entre el ángulo de paso de la pala, el par del generador, la posición de guiñada y parámetros operacionales similares para capturar más energía del viento, reducir las cargas sobre los componentes de la turbina y similares. En algunas realizaciones, puede configurarse un controlador para combinar los datos recibidos desde un dispositivo LIDAR 180 y el sensor de viento 123 para generar una medición más precisa de la velocidad y/o dirección del viento.

La Figura 2 ilustra una vista esquemática de los componentes típicos internos de la góndola 120 y la torre 110 de un generador de turbina eólica 100. Cuando el viento 200 empuja sobre las palas 132, el rotor 130 gira, haciendo girar de ese modo a un eje 202 de baja velocidad. Los engranajes en una caja de engranajes 204 convierten mecánicamente la baja velocidad de rotación del eje de baja velocidad 202 en una velocidad de rotación relativamente alta de un eje de alta velocidad 208 adecuado para la generación de electricidad usando un generador 206. En una realización alternativa, puede omitirse la caja de engranajes, y puede acoplarse un único eje, por ejemplo, el eje 202, directamente con el generador 206.

Un controlador 210 puede detectar la velocidad de rotación de uno o ambos ejes 202, 208. Si el controlador decide que el (los) eje(s) están girando demasiado rápido, el controlador puede enviar una señal a un sistema de frenado 212 para ralentizar la rotación de los ejes, lo que, a su vez, ralentiza la rotación del rotor 106. El sistema de frenado 212 puede impedir daños a los componentes del generador de turbina eólica 100. El controlador 210 puede recibir también entradas desde un anemómetro 214 (que proporciona la velocidad del viento) y/o una veleta 216 (que proporciona una dirección del viento). Basándose en la información recibida, el controlador 210 puede enviar una señal de control a una o más de las palas 108 en un esfuerzo por ajustar el ángulo de paso 218 de las palas. Ajustando el ángulo de paso 218 de las palas con respecto a la dirección del viento, puede incrementarse o disminuirse la velocidad de rotación del rotor (y por lo tanto, de los ejes 202, 208). Basándose en la dirección del viento, por ejemplo, el controlador 210 puede enviar una señal de control a un conjunto que comprende un motor de guiñada 220 y un accionador de guiñada 222 para girar la góndola 104 con respecto a la torre 102, de modo que el rotor 106 pueda posicionarse para enfrentarse más (o, en ciertas circunstancias, menos) contra el viento o a favor del viento (si es una turbina a favor del viento).

El generador 206 puede configurarse para generar una corriente alterna trifásica basándose en uno o más requisitos de la red. En una realización, el generador 206 puede ser un generador síncrono. Los generadores síncronos pueden configurarse para funcionar a una velocidad constante, y pueden conectarse directamente a la red. En algunas realizaciones, el generador 206 puede ser un generador de imanes permanentes. En realizaciones alternativas, el generador 206 puede ser un generador asíncrono, también conocido a veces como generador de inducción. Los generadores de inducción pueden o no estar conectados directamente a la red. Por ejemplo, en algunas realizaciones, el generador 206 puede conectarse a la red a través 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 de los requisitos de la red. Los dispositivos eléctricos ejemplares incluyen, por ejemplo, inversores, convertidores, resistencias, interruptores, transformadores, y similares.

Las realizaciones de la invención no están limitadas a ningún tipo particular de generador o disposición del generador y de uno o más dispositivos eléctricos asociados con el generador con respecto a la red eléctrica. Cualquier tipo adecuado de generador incluyendo (pero sin limitarse a) generadores de inducción, generadores de imanes permanentes, generadores síncronos, o similares, configurados para generar electricidad de acuerdo con los requisitos de la red, están incluidos dentro del ámbito de la invención. La Figura 2 también ilustra un LIDAR 180 ejemplar montado en el buje, de acuerdo con una realización de la invención. Aunque se muestra sobre el buje en la Figura 2, en realizaciones alternativas, el dispositivo LIDAR 180 puede colocarse en o cerca de cualquier localización de la turbina, por ejemplo, sobre el terreno, las palas, sobre la góndola, sobre la torre, y similares.

Las realizaciones de la invención se refieren, en general, al control de las palas de la turbina eólica fijadas a un buje de rotor para la rotación en un plano de rotor, y a un sistema de control para variar individualmente el ángulo de paso las palas con respecto al buje con la intención de incrementar la captura de energía y/o reducir el riesgo de cargas extremas únicas o sucesivas sobre las palas, la torre u otros componentes de la turbina eólica. Dado que los rotores de turbina eólica continúan incrementando su tamaño, la variación en las velocidades del viento experimentadas en diferentes partes del plano de rotor también se ha incrementado. En consecuencia, aunque una sección del plano de rotor pueda experimentar una ráfaga de viento que pueda dañar componentes de la turbina eólica, otras secciones del rotor pueden experimentar velocidades de viento más aceptables. Por lo tanto, las realizaciones de la invención proporcionan métodos y sistemas para variar individualmente el ángulo de paso de las palas de la turbina eólica, dependiendo de la sección del plano de rotor a través de la que está pasando la pala. Para facilitar dicho control, el plano de rotor se divide en una pluralidad de secciones predefinidas.

La Figura 3 ilustra un método para dividir el plano de rotor 300 de una turbina eólica en un número de sectores 301 de acuerdo con una realización de la invención. En este ejemplo, el plano de rotor 300 está dividido en 12 sectores de rotor 301 igualmente dimensionados. Las palas del rotor 302 denominadas A, B y C se representan en una posición en la que la pala A del rotor está en el primer sector (301, 1), la pala B del rotor está en el sector 5 (301, 2), y la tercera pala C del rotor está en el sector número 8 (301, 3). La línea vertical 305 ilustra el eje de la torre de la turbina eólica.

Para reducir el riesgo de inducir momentos de inclinación/guiñada por el método de control del ángulo de paso individual de acuerdo con la invención, el número de sectores puede fijarse ventajosamente de acuerdo con la siguiente regla, asegurando de ese modo que todas las palas cambian de sector de modo síncrono:

$$\left(\frac{N_s}{3}\right) \in \mathbb{Z}^+$$

donde N_s es el número de sectores del rotor 301. Puede usarse el sensor de azimut que mide el ángulo de azimut 304 de una o más palas 301 para determinar los sectores que contienen una pala en un momento dado. De esta manera, puede determinarse un sector S , que comprende como sus elementos los números de los sectores que comprenden una pala de rotor, a partir de los ángulos del límite de sector definidos por:

$$\varphi_{s, inicio} = (s - 1) \frac{360}{N_s}$$

$$s = 1, 2, \dots, N_s$$

$$\varphi_{s, final} = s \frac{360}{N_s}$$

Esto es, por ejemplo, para $N_s = 12$, el sector 2 se define por ángulos de azimut en el intervalo $[30^\circ; 60^\circ]$. Las realizaciones de la invención no están limitadas por el método específico de división del plano de rotor descrito en el presente documento anteriormente. En realizaciones alternativas, puede usarse cualquier método para definir cualquier número de secciones del plano de rotor, en el que cada sección puede tener cualquier tamaño, forma, etc.

Definiendo una o más secciones de rotor, un controlador (por ejemplo, el controlador 210 en la Figura 2) de la turbina eólica puede determinar un ángulo de paso predefinido para cada sección del rotor basándose en las propiedades del viento que se experimentan o se esperan en esa sección. Por ejemplo, las secciones de rotor que experimentan ráfagas de viento pueden tener ángulos de paso predefinidos que mitiguen las cargas sobre una pala que pase a través de ella. En otras secciones, el ángulo de paso de la pala puede seleccionarse de modo que se capture la máxima energía del viento. Dado que cada pala de la turbina eólica gira por todo el plano de rotor, pasando a través de múltiples secciones de rotor predefinidas, el ángulo de paso de la pala puede ajustarse al ángulo de paso correspondiente para la sección a través de la que está pasando, permitiendo de ese modo la máxima captura de energía y/o impidiendo daños a los componentes de la turbina eólica.

En algunas realizaciones, puede ser deseable ajustar proactivamente los ángulos de paso de las palas basándose en la experiencia de las condiciones del viento en una sección dada del plano de rotor. Dichos ajustes proactivos pueden ser más ventajosos que los ajustes reactivos, debido a que pueden mejorar la vida de los componentes de la turbina eólica al reducir la exposición a cargas dañinas.

En una realización de la invención, puede usarse un dispositivo detector de viento, por ejemplo el LIDAR 180 mostrado en la Figura 1, para determinar las propiedades del viento por delante de un plano de rotor. Por ejemplo las propiedades del viento pueden incluir la dirección del viento, la velocidad del viento, la turbulencia, o similares. La Figura 4 ilustra una turbina eólica 400 ejemplar que tiene un plano de rotor 401. El plano de rotor 401 se divide en un número predefinido de secciones usando, por ejemplo, el método descrito en la Figura 3. En una realización, puede configurarse una unidad de LIDAR 410 para determinar las propiedades del viento en un plano de rotor 402 a una distancia predefinida R del plano de rotor 401, como se ilustra en la Figura 4. En particular, la unidad de LIDAR 410 puede configurarse para determinar las propiedades del viento en secciones predefinidas del plano de rotor 402 (por ejemplo, las secciones v_1, v_2, v_3, \dots). En una realización, el plano de rotor 402 puede ser del mismo tamaño que el plano de rotor 401. Sin embargo, en realizaciones alternativas, los planos de rotor 401 y 402 pueden tener tamaños diferentes.

Cada sección predefinida del plano de rotor 402 corresponde a una sección predefinida respectiva en un plano de rotor 401. Por lo tanto, la medición de las propiedades del viento en una sección del plano de rotor 402 puede indicar las propiedades del viento esperadas en una sección correspondiente del plano de rotor 401 en el futuro. Por lo tanto, un controlador de la turbina eólica 400 puede ser capaz de ajustar proactivamente los parámetros operacionales, por ejemplo, el ángulo de paso, para el sector correspondiente del plano de rotor 401 para, por ejemplo, incrementar la captura de energía, impedir daños, o similares. En una realización, el mapeado entre las secciones del plano de rotor 401 y las secciones del plano de rotor 402 puede ser un mapeado estático que está predefinido. Sin embargo, en realizaciones alternativas, el mapeado entre secciones de los planos de rotor 401 y 402 puede determinarse dinámicamente basándose, por ejemplo, en un modelo que define la transformación del campo de viento entre el plano de rotor 402 y el 401.

La Figura 5 ilustra una vista ejemplar de los componentes dentro de un LIDAR 180 de acuerdo con una realización de la invención. Como se ha ilustrado, el LIDAR 180 puede incluir un emisor 510, un detector 520 y un bloque de procesamiento 530. Aunque se muestra un único par detector - emisor 510-520 en la Figura 5, en realizaciones alternativas, el LIDAR 180 puede incluir cualquier número de emisores y/o detectores. Por ejemplo, pueden configurarse diferentes pares emisor-detector para medir las propiedades del viento en una o más secciones diferentes de un plano de rotor 402. En una realización de la invención, un emisor-detector puede ser capaz de realizar una operación de barrido para medir las propiedades del viento en una pluralidad de puntos, por ejemplo, en

diferentes secciones de rotor predefinidas de un plano de rotor 402.

El emisor 510 puede configurarse para generar un haz de luz. Por ejemplo, en una realización, el LIDAR 180 puede configurarse para emitir un haz de luz violeta, visible, infrarrojo cercano y/o infrarrojo. El detector 520 puede configurarse para detectar la retrodispersión del haz de luz emitido por el emisor desde uno o más objetos. El bloque de procesamiento 530 puede configurarse para determinar una o más propiedades de la luz retrodispersada detectada por el detector 520 y determinar una o más propiedades de uno o más objetos desde los que se reflejó el haz de luz.

Como se ha indicado previamente, el LIDAR 180 puede usarse para medir la velocidad y/o dirección del viento en una localización remota. El conocimiento acerca de la velocidad y dirección del viento en una localización remota, por ejemplo, por delante de un rotor de una turbina eólica, permite a la turbina eólica optimizar uno o más parámetros operacionales, tales como el ángulo de paso de la pala y/o el par del generador, para reducir cargas sobre los componentes de la turbina eólica y/o incrementar la captura de energía. Para medir la velocidad del viento remotamente, se emite un haz de luz (por ejemplo, un haz láser) dentro del viento que se aproxima mediante, por ejemplo, el emisor 510 del LIDAR 180. La luz emitida se refleja separándose de aerosoles (por ejemplo, polen, polvo) en el viento y se dispersa en múltiples direcciones. Una parte de la luz dispersada que viaja de vuelta al LIDAR 180, puede ser detectada por, por ejemplo, el detector 520 del LIDAR 180. Basándose en la luz retrodispersada, el bloque de procesamiento 530 puede determinar una o más propiedades de los aerosoles. Por ejemplo, el bloque de procesamiento 530 puede usar el efecto Doppler para las determinar propiedades de los aerosoles. Debido a que las propiedades de los aerosoles están fuertemente correlacionadas con la propiedad del viento que transporta los aerosoles, pueden determinarse propiedades del viento, por ejemplo velocidad y dirección del viento, basándose en las propiedades de los aerosoles.

La Figura 6 ilustra un sistema de control ejemplar 600 de acuerdo con una realización de la invención. Como se ilustra, el sistema de control 600 incluye un bloque de control de anticipación (FFC) 610, un bloque de control de realimentación (FBC) 620, un controlador del ángulo de paso 630, y un rotor de turbina eólica 640. En una realización el bloque FFC 610, FBC 620, y el controlador del ángulo de paso 630 pueden ser una parte de un sistema de control o controlador mayor, por ejemplo, el controlador 210 de la Figura 2. En este ejemplo, para cada sección predefinida del plano de rotor de la turbina eólica, el FFC 610 se configura para recibir, desde una unidad de LIDAR, una o más propiedades del viento medidas en una sección correspondiente de un plano por delante del rotor (tal como se ha descrito anteriormente). El bloque FFC 610 puede determinar un ángulo de paso deseado para la sección predefinida del plano de rotor basándose en las propiedades del viento medidas. El ángulo de paso deseado puede determinarse basándose en la energía máxima de captura del viento y/o evitación de daños a los componentes de la turbina eólica, o similares.

En este ejemplo, el bloque FCB 620 está configurado para recibir lecturas del sensor de carga de la pala desde el rotor de la turbina eólica 640. El FCB puede recibir también lecturas del ángulo de azimut de la pala para cada pala. Por lo tanto, el FBC puede configurarse para determinar la carga de la pala en cada sección predefinida del rotor. Basándose en las cargas de pala reales experimentadas en cada sección predefinida del plano de rotor, el bloque FBC 620 está configurado para determinar el ángulo de paso deseado para cada sección de turbina eólica. El bloque FBC proporciona por lo tanto realimentación en tiempo real sobre las cargas reales experimentadas por las palas de la turbina eólica, permitiendo de ese modo un ajuste fino adicional de los ángulos de paso que se definen para cada sección del plano de rotor basándose en las propiedades del viento esperadas. Aunque el bloque FBC 620 proporciona distintas ventajas, en algunas realizaciones de la invención el bloque FBC 620 puede omitirse, y el ángulo de paso para cada sección del plano de rotor de la turbina eólica puede determinarse basándose solamente en las mediciones del LIDAR.

En una realización, la salida del bloque FFC 610 y del bloque FBC 620 pueden combinarse, por ejemplo, mediante el cálculo de una media o media ponderada de las salidas A. La salida combinada puede proporcionarse a un controlador del ángulo de paso 630. El controlador del ángulo de paso 630 puede configurarse para determinar la localización de cada pala cuando se mueve por todo el plano de rotor, y ajustar el ángulo de paso de pala de cada pala basándose en los ángulos de paso de pala predefinidos determinados para cada sección del plano de rotor. En una realización, los ángulos de paso de pala para cada sección del plano de rotor pueden deducirse de la salida combinada A desde el FFC 610 y el FBC 620.

En una realización, la salida combinada A puede ser un valor de desviación que puede aplicarse a una señal de referencia común del ángulo de paso que puede determinarse para todas las palas de la turbina. Por ejemplo, el controlador del ángulo de paso puede determinar, basándose en las condiciones promedio del viento detectadas por, por ejemplo, un sensor de viento, que todas las palas de la turbina eólica deberían tener un ángulo de paso común X. Posteriormente, basándose en las salidas de los FFC 610 y FBC 620, el controlador del ángulo de paso puede ajustar el ángulo de paso común en el valor de desviación A para una sección del plano de rotor dada para aliviar cargas, incrementar la captura de energía o similares, cuando una pala pasa a través de esa sección.

La Figura 7 es un diagrama de flujo de operaciones ejemplares realizadas por un controlador de una turbina eólica, de acuerdo con una realización de la invención. El controlador puede ser, por ejemplo, el controlador 210, el sistema

de control 600 o similar. Las operaciones pueden comenzar en la etapa 710 determinando las propiedades del viento en una primera sección de un plano por delante de un plano de rotor de la turbina eólica. Las propiedades del viento esperadas en una segunda sección correspondiente del plano de rotor de la turbina eólica pueden determinarse basándose en las propiedades determinadas en la sección del plano por delante del plano de rotor de la turbina eólica, en la etapa 720. En la etapa 730, puede determinarse un ángulo de paso de la pala para la sección del plano de rotor de la turbina eólica. En la etapa 740, el ángulo de paso de pala de cada pala de la turbina eólica puede ajustarse progresivamente al ángulo de paso de pala determinado, mientras la pala pasa a través de la sección del plano de rotor de la turbina eólica. En algunas realizaciones, la etapa 720 puede omitirse y el ángulo de paso de pala para la sección de un plano de rotor puede determinarse simplemente basándose en las mediciones en una sección correspondiente en un plano por delante del plano de rotor.

Las Figuras 8A y 8B ilustran sistemas de control del ángulo de paso ejemplares de acuerdo con una realización de la invención. En una realización, los sistemas de control del ángulo de paso de las Figuras 8A y 8B pueden ser una parte del controlador de anticipación 610 ilustrado en la Figura 6. En general, los sistemas de control del ángulo de paso pueden configurarse para determinar un ángulo de paso o una desviación del ángulo de paso (para cada sección del plano de rotor) basándose en la entrada recibida desde una unidad LIDAR. Por ejemplo, la Figura 8A ilustra un sistema de control del ángulo de paso 820 ejemplar de acuerdo con una realización de la invención. Como se ilustra, el sistema de control del ángulo de paso 820 puede incluir un estimador del ángulo de paso 821 y una unidad de compensación 822. El estimador del ángulo de paso 821 puede configurarse para recibir, como entrada, uno o más parámetros medidos por una unidad LIDAR, por ejemplo, la velocidad del viento y la dirección del viento. El estimador del ángulo de paso 821 puede configurarse también para recibir el ángulo de paso actual y un valor de referencia de carga de la pala como entradas, como se muestra en la Figura 8A. Basándose en las entradas recibidas, el estimador del ángulo de paso 821 puede configurarse para determinar un ángulo de paso óptimo o la desviación del ángulo de paso P, que puede transferirse a la unidad de compensación 822.

La unidad de compensación 813 puede configurarse para generar una señal de referencia del ángulo de paso P0 basándose en la propagación del campo de viento y la dinámica del sistema del ángulo de paso. En otras palabras, la unidad de compensación puede configurarse para determinar cuándo pueden esperarse ciertas condiciones del viento en el plano de rotor, y ajustar los ángulos de paso en una sección dada del plano de rotor basándose en las condiciones operacionales del sistema del ángulo de paso.

La Figura 8B ilustra una realización particular del sistema de control del ángulo de paso 820 de la Figura 8A. Como se ilustra, el sistema de control del ángulo de paso 810 de la Figura 8B puede incluir un estimador de carga de la pala 811, un controlador 812 y una unidad de compensación 813. El estimador de carga de la pala 811 puede configurarse para recibir, como entrada, uno o más parámetros medidos por una unidad LIDAR, por ejemplo, la velocidad del viento y la dirección del viento. El estimador de carga de la pala puede configurarse también para recibir el ángulo de paso actual como una entrada, como se muestra en la Figura 8B. En una realización, el estimador de carga de la pala, usando un modelo de pala, puede determinar una carga de pala esperada o predicha M, basándose en el ángulo de paso actual y el uno o más parámetros medidos por la unidad de LIDAR.

En otras realizaciones, pueden usarse otros dispositivos detectores, tales como SONAR o RADAR, para determinar la una o más propiedades del viento.

La carga de la pala M esperada puede compararse con un valor de carga de la pala N de referencia. El valor de carga de la pala N de referencia puede ser un valor de carga de la pala deseado o un valor de carga de la pala de umbral. Como se ilustra en la Figura 8B, puede transferirse una diferencia entre M y N (mostrada como el valor O en la Figura 8B) al controlador 812. En una realización, el controlador 812 puede ser un controlador proporcional integral y derivativo (PID). El controlador 812 puede determinar un valor de referencia del ángulo de paso P o un valor de desviación del ángulo de paso basándose en la diferencia O. La unidad de compensación 822 puede realizar la misma función que la unidad de compensación 813 de la Figura 8A.

Aunque la invención se ha ilustrado mediante una descripción de diversas realizaciones y, aunque estas realizaciones se han descrito en detalle, no se pretende que estas restrinjan o limiten en cualquier manera el alcance de las reivindicaciones adjuntas. Resultarán evidentes para los expertos en la materia ventajas y modificaciones adicionales.

REIVINDICACIONES

1. Un método para controlar una turbina eólica (100), que comprende:
 - 5 determinar (710) una o más propiedades del viento en cada una de una pluralidad de secciones predefinidas (v1-v3) de un plano remoto (402) por delante de un plano de rotor (401) de la turbina eólica, en el que cada sección predefinida del plano remoto corresponde a una sección predefinida respectiva en el plano de rotor;
 - 10 determinar (730) un ángulo de paso (218) para cada pala del rotor que pasa a través de cada una de una pluralidad de secciones en el plano de rotor de la turbina eólica, basándose en la una o más propiedades del viento determinadas en cada una de la pluralidad de secciones del plano remoto; y
 - 15 ajustar individualmente (740) el ángulo de paso (218) de una pala de turbina eólica al ángulo de paso determinado cuando la pala de la turbina eólica pasa a través de cada una de la pluralidad de secciones en el plano de rotor de la turbina eólica.
 2. El método de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente la determinación de la una o más propiedades del viento esperadas en cada una de la pluralidad de secciones del plano de rotor de la turbina eólica basándose en la una o más propiedades del viento determinadas en cada una de la pluralidad de secciones en el plano remoto, y la determinación de los ángulos de paso basándose en la una o más propiedades del viento esperadas.
 3. El método de cualquier reivindicación precedente en el que el ángulo de paso para una primera sección del plano de rotor de la turbina eólica se determina únicamente basándose en la una o más propiedades del viento determinadas para una sección correspondiente en el plano remoto.
 4. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, en el que el ángulo de paso para una primera sección del plano de rotor de la turbina eólica se determina basándose en la una o más propiedades del viento determinadas para una sección correspondiente en el plano remoto y un modelo del campo de viento entre el plano remoto y el plano de rotor de la turbina eólica.
 5. El método de cualquier reivindicación precedente, en el que el ajuste individual del ángulo de paso de una pala de turbina eólica comprende compensar el ángulo de paso determinado de la segunda sección basándose en la propagación del campo de viento y en la dinámica del sistema del ángulo de paso.
 6. El método de cualquier reivindicación precedente, en el que la una o más propiedades del viento en el plano remoto se miden con un dispositivo de detección y alcance por luz (LIDAR) (180, 410).
 7. El método de cualquier reivindicación precedente, en el que el ángulo de paso determinado es un valor de desviación que se aplica a un ángulo de paso de referencia común aplicado a todas las palas de la turbina eólica.
 8. El método de cualquier reivindicación precedente, en el que la determinación del ángulo de paso comprende la comparación de un valor de carga de la pala esperado con un valor de referencia de carga de la pala, para obtener un valor del ángulo de paso deseado, en el que el ángulo de paso deseado mantiene las cargas de la pala en o por debajo del valor de referencia de carga de la pala.
 9. Una turbina eólica (100), que comprende:
 - 45 un rotor (130) que comprende al menos una pala (132), en la que un plano de rotor (401) del rotor está dividido en una pluralidad de secciones predefinidas (301);
 - 50 un detector (180) configurado para determinar una o más propiedades del viento en una pluralidad de secciones predefinidas de un plano remoto (402) por delante del plano de rotor, en el que cada sección predefinida del plano de rotor remoto corresponde a una sección predefinida respectiva en el plano de rotor; y
 - 55 un controlador configurado para:
 - 60 recibir, desde el detector, una o más propiedades del viento en una primera sección de la pluralidad de secciones predefinidas del plano por delante del plano de rotor;
 - 65 determinar un ángulo de paso (218) de una segunda sección de la pluralidad de secciones predefinidas del plano de rotor basándose en la una o más propiedades del viento esperadas en la primera sección; y
 - ajustar un ángulo de paso (218) de la al menos una pala al ángulo de paso de la segunda sección cuando la pala pasa a través de la segunda sección.
 10. La turbina eólica de la reivindicación 9, en la que el controlador está configurado adicionalmente para determinar una o más propiedades del viento esperadas en la segunda sección, basándose en la una o más propiedades del viento determinadas en la primera sección, y determinar el ángulo de paso de la segunda sección basándose en la una o más propiedades del viento esperadas en la segunda sección.
 11. La turbina eólica de la reivindicación 9 o 10, en la que el ángulo de paso de la segunda sección es un valor de desviación que se aplica a un ángulo de paso de referencia común aplicado a todas las palas de la turbina eólica.

12. La turbina eólica de la reivindicación 9 a 11, en la que determinar el ángulo de paso de la segunda sección comprende comparar un valor de carga de la pala esperado con un valor de referencia de carga de la pala para obtener un valor del ángulo de paso deseado, en el que el ángulo de paso deseado mantiene las cargas de la pala en o por debajo del valor de referencia de carga de la pala.

5 13. La turbina eólica de cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, en la que ajustar un ángulo de paso de una pala de turbina eólica al ángulo de paso de la segunda sección cuando la pala de la turbina eólica pasa a través de la segunda sección comprende compensar el ángulo de paso de la segunda sección basándose en la propagación del campo de viento y la dinámica del sistema del ángulo de paso.

10 14. Un controlador de turbina eólica, configurado para llevar a cabo el método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9.

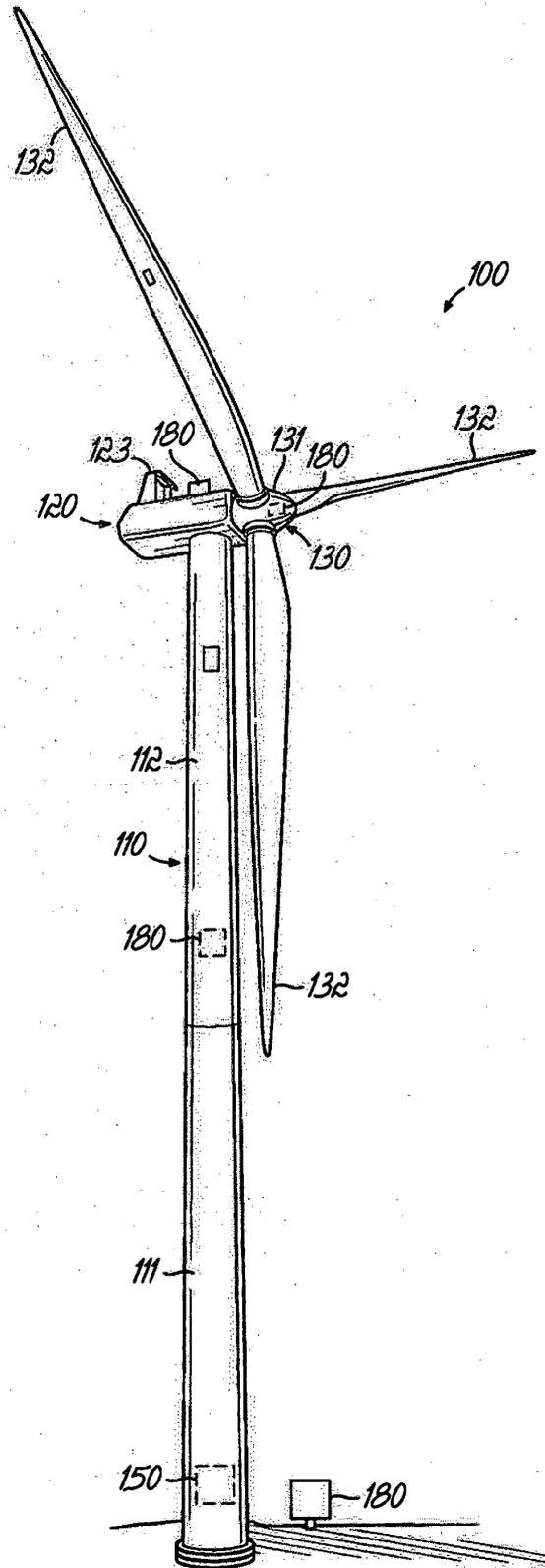


FIG. 1

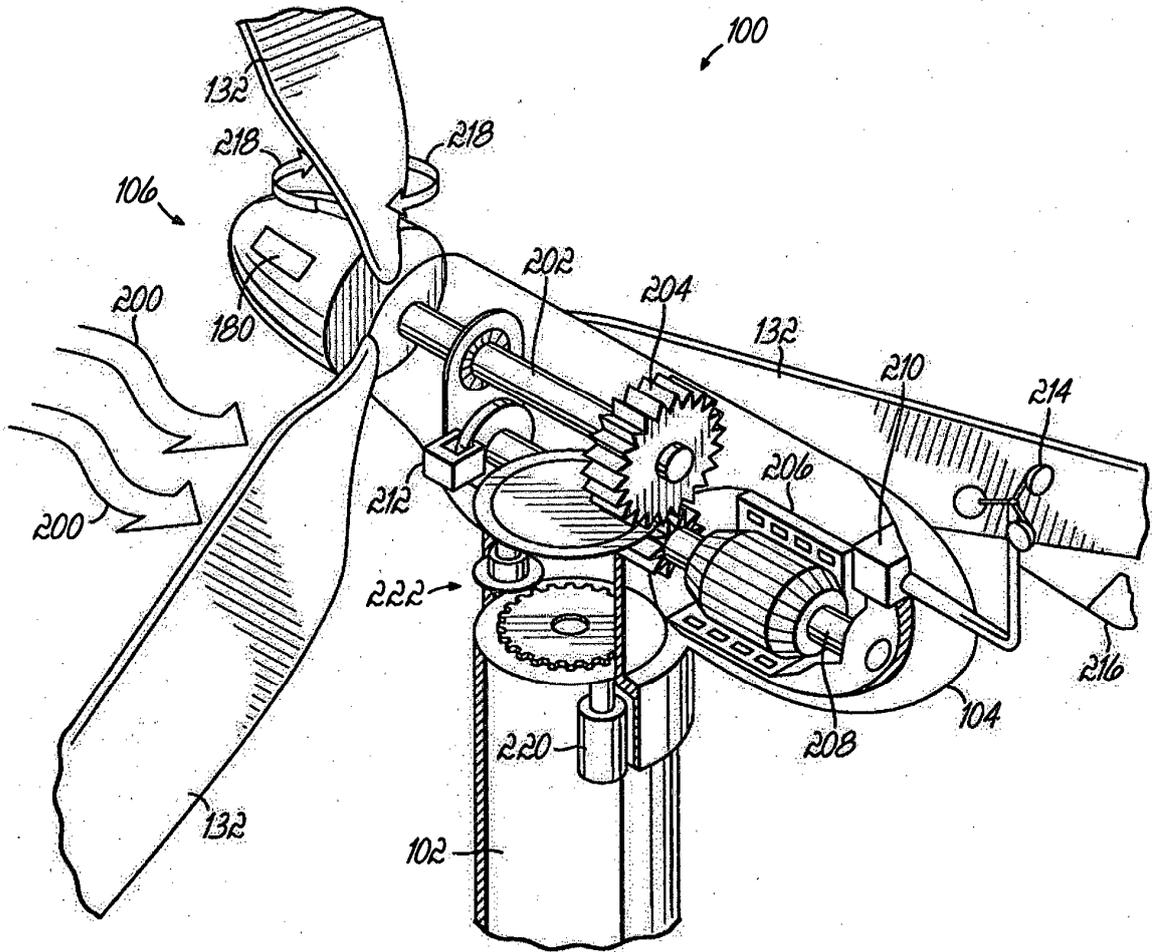


FIG. 2

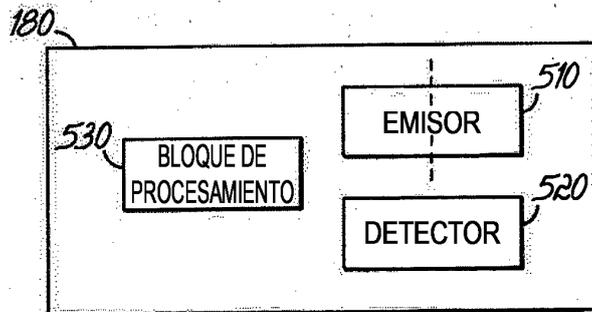


FIG. 5

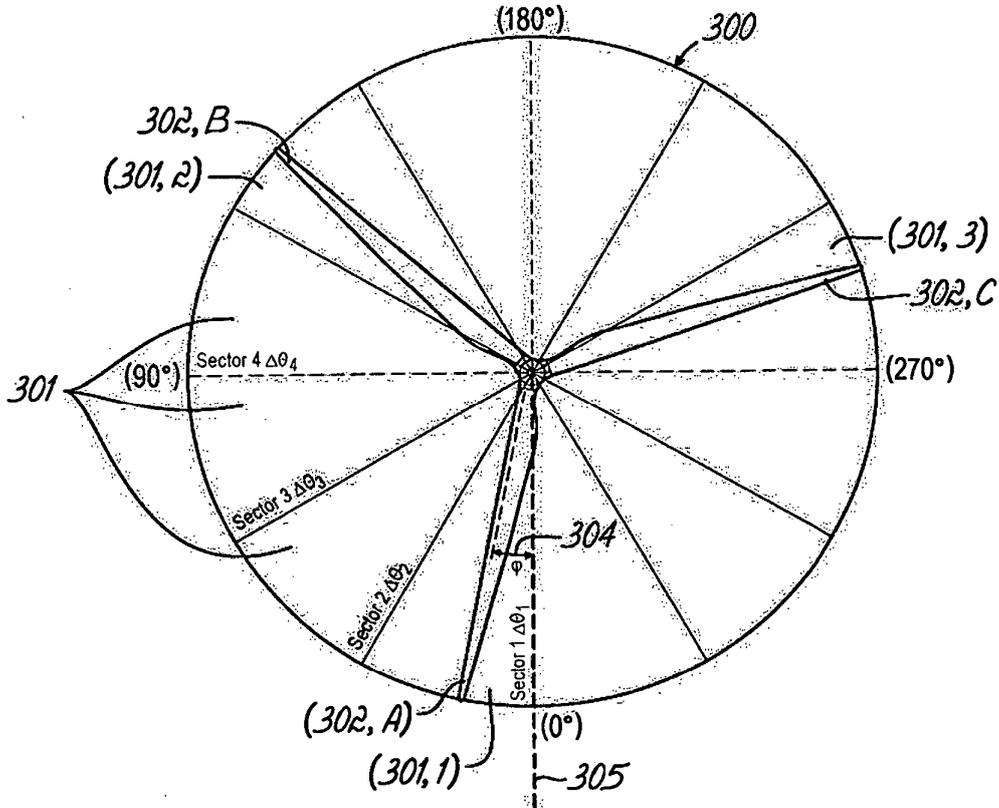


FIG. 3

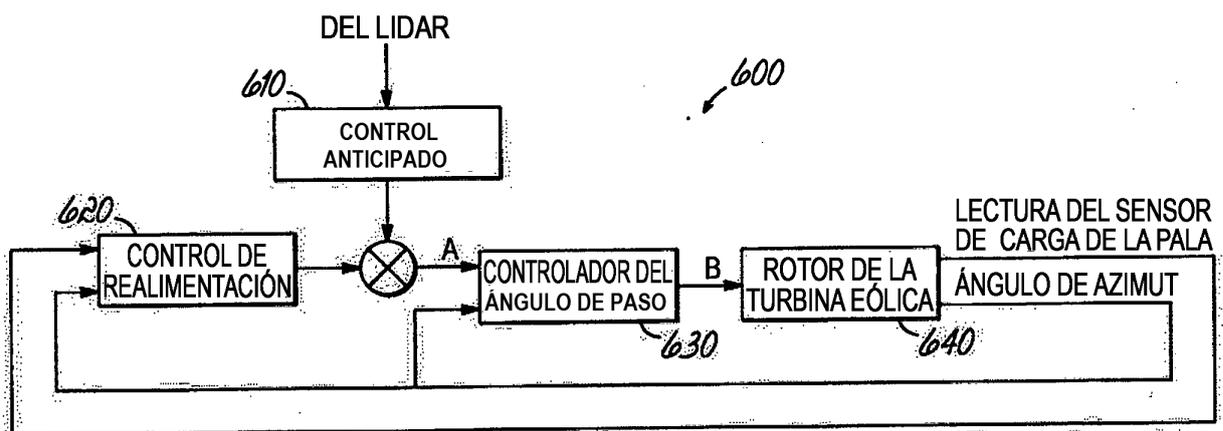


FIG. 6

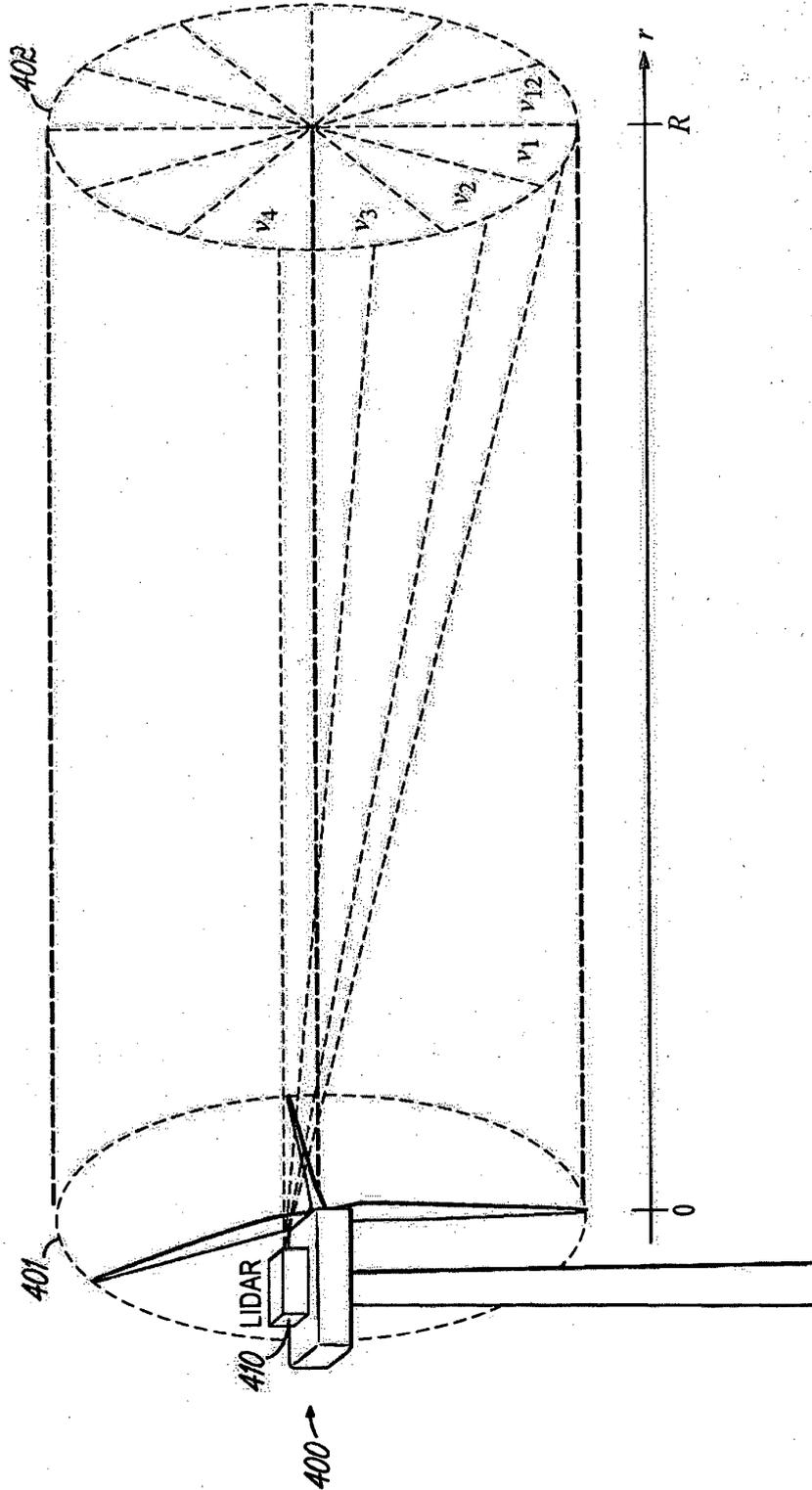


FIG. 4



FIG. 7

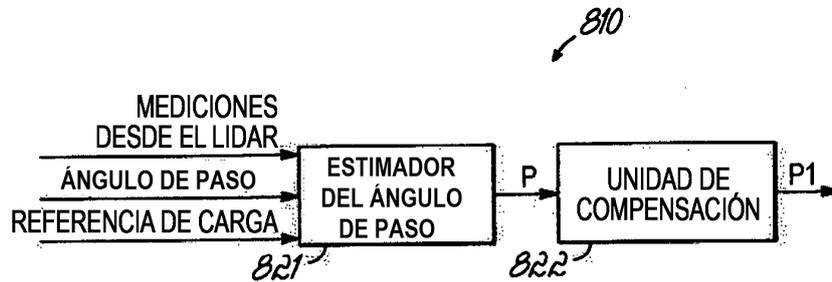


FIG. 8A

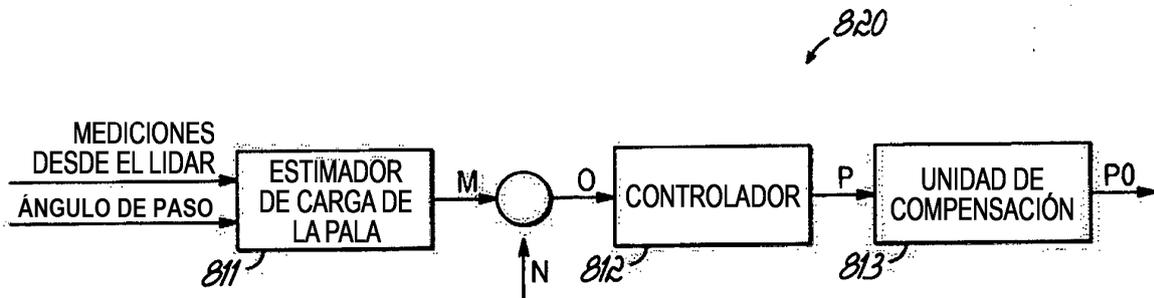


FIG. 8B