

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 623 028**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.06.2011 PCT/DK2011/050249**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.01.2012 WO12000513**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.06.2011 E 11730886 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.03.2017 EP 2588753**

54 Título: **Aparato y método para reducir el error de guiñada en turbinas eólicas**

30 Prioridad:

30.06.2010 US 360108 P
30.06.2010 GB 201011044

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.07.2017

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

BOWYER, ROBERT y
CREABY, JUSTIN

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 623 028 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

Aparato y método para reducir el error de guiñada en turbinas eólicas

Campo de la invención

5 Esta invención se refiere a turbinas eólicas y más específicamente a una turbina eólica que usa un método de control y/o un controlador para reducir el error de guiñada asociado con un sistema de ajuste de guiñada.

Antecedentes de la invención

10 La figura 1A ilustra una turbina eólica 1, que comprende una torre de turbina eólica 2 en la que está montada una góndola de turbina eólica 3. Al menos una pala de rotor 5 está unida a un buje 6 para formar el rotor. Cada pala puede rotar alrededor de su propio eje longitudinal. Esto se denomina cabeceo de pala. El buje 6 está conectado a la góndola 3 a través de un árbol de baja velocidad (no mostrado) que se extiende desde la parte frontal de la góndola. El eje de rotación del rotor se encuentra a lo largo del árbol de baja velocidad. La turbina eólica ilustrada en la figura 1A puede ser un modelo pequeño previsto para uso doméstico o de red eléctrica pequeña, o puede ser un modelo grande, tal como los que son adecuados para su uso en la generación de electricidad a gran escala en un parque eólico. En este último caso, el diámetro del rotor puede ser de hasta 150 metros o más.

15 Las palas de rotor de turbinas eólicas están diseñadas para extraer energía del viento gracias a su forma aerodinámica y la consiguiente rotación inducida por el viento. Para turbinas eólicas de eje horizontal, la rotación del rotor alrededor de su eje hace girar un árbol de accionamiento conectado a su vez a un generador que produce electricidad. Puede usarse un árbol de accionamiento de baja velocidad acoplado a un árbol de alta velocidad, o alternativamente puede usarse un árbol de accionamiento directo. Para que las turbinas eólicas de eje horizontal funcionen de manera eficiente y extraigan el máximo de energía del viento, la góndola de turbina eólica se hace rotar para hacer que el rotor se enfrente al viento en la mayor medida posible, de tal manera que el eje de rotación del rotor se alinea con la dirección del viento.

20 Las turbinas eólicas, y en particular las turbinas eólicas más grandes, tendrán un sistema para hacer rotar la góndola de tal manera que se orienta el rotor en una dirección del viento. Estos sistemas se conocen comúnmente como sistemas de guiñada, o accionamientos azimutales, y permiten que una turbina eólica siga extrayendo la máxima energía del viento incidente, a pesar de cambios en la dirección del viento. Por tanto, un propósito del sistema de guiñada es orientar correctamente el rotor al ángulo de guiñada correcto con respecto a la dirección del viento predominante para extraer la cantidad óptima de energía del viento. El sistema de guiñada está habitualmente ubicado entre la torre de turbina eólica y la góndola y normalmente comprende un cojinete que puede hacerse rotar completamente alrededor de un eje colineal con la torre, y uno o más accionamientos eléctricos o hidráulicos para hacer rotar el cojinete con respecto a la torre. De esta manera, la góndola, montada en el cojinete, puede girarse a lo largo de 360 grados en el plano horizontal.

25 Se conocen muchos sistemas de guiñada diferentes (véanse por ejemplo los documentos EP 1559910 A, EP 2017468 A y EP 1460266 A), y con frecuencia comprenden varios componentes integrados en parte en la góndola y en parte en la parte superior de la torre de turbina. El sistema global para seguir la dirección del viento puede comprender un cojinete azimutal, accionador de guiñada, frenos de guiñada, un dispositivo de bloqueo y un sistema de control. El cojinete azimutal permite que la góndola rote con respecto a la torre de turbina. El accionador de guiñada está acoplado al cojinete a través de un sistema de engranajes y proporciona la fuerza para hacer rotar la góndola alrededor del cojinete. Se usan ampliamente sistemas de accionamiento hidráulicos o eléctricos. Los frenos de guiñada absorben el momento de guiñada tras una operación de guiñada completa y se requieren a menos que el accionador de guiñada tenga una función de frenado integrada. Comúnmente se usa un dispositivo de bloqueo en turbinas más grandes de modo que el accionador de guiñada se bloquea positivamente en su sitio. El sistema de control proporciona la lógica de funcionamiento requerida para colocar automáticamente las palas de rotor enfrentadas al viento. Para evitar cualquier duda, la presente invención puede usarse con cualquier tipo de sistema de guiñada.

30 Dado que es deseable, en turbinas a barlovento, que el rotor de turbina se enfrente directamente al viento incidente en todo momento durante el funcionamiento para extraer la máxima energía, resulta útil definir el error de guiñada y el ángulo de guiñada. El error de guiñada es la diferencia angular entre la dirección del viento y la dirección a la que está enfrentado el rotor. La figura 1B muestra algunos componentes internos de una turbina eólica típica, usando las mismas referencias que la figura 1A, incluyendo el sistema de accionamiento de guiñada 20 y el motor de guiñada 21. La figura 1B muestra cómo las palas 5 pueden cabecear alrededor de su eje longitudinal, y cómo la góndola puede experimentar guiñada alrededor del eje de la torre de turbina. La dirección a la que se enfrenta el rotor puede considerarse como la dirección en la que se dirige la góndola, o la dirección en la que se dirige el eje de rotación del rotor, ya que son las mismas. Cuando el error de guiñada es nulo o sustancialmente nulo, se considera que las palas están enfrentadas a la dirección del viento. El ángulo de guiñada puede definirse como la diferencia angular entre un punto a 0°, habitualmente definido por una dirección geográfica tal como el norte, y la dirección a la que se enfrenta el rotor.

55 El propósito del sistema de control es garantizar que el error de guiñada es lo más pequeño posible, al tiempo que

también se garantiza que el cambio del ángulo de guiñada para corregir el error de guiñada no es demasiado sensible para evitar pequeños movimientos de guiñada continuos lo que daría como resultado un desgaste prematuro de los componentes mecánicos. Diversos métodos de funcionamiento son posibles para intentar garantizar tal compromiso, pero normalmente implicarán la medición de un valor medio de la dirección del viento usando un sensor de viento y una comparación con la posición azimutal de la góndola para determinar el error de guiñada. Si el error de guiñada supera un umbral particular entonces se activa el sistema de guiñada para cambiar el ángulo de guiñada para reducir el error de guiñada.

Los sistemas de control de guiñada conocidos se basan en mediciones precisas de la dirección del viento, que se realizan habitualmente mediante veletas u otros instrumentos tales como anemómetros por ultrasonidos. Además, los instrumentos para la dirección del viento están con frecuencia montados en la góndola de la turbina en una región de flujo de aire que se ve directamente afectada por las palas de rotor, lo cual puede dar como resultado una lectura incorrecta. Se ha apreciado que existe una necesidad de un sistema mejorado para determinar y controlar el error de guiñada para maximizar la captación de energía y reducir cargas de fatiga.

Sumario de la invención

La invención se define en las reivindicaciones independientes a las que ahora debe hacerse referencia. En las reivindicaciones dependientes se exponen características ventajosas.

Realizaciones de la invención pueden referirse a una turbina eólica que comprende un rotor, y un sistema de guiñada. El rotor comprende una o más palas de rotor y un buje, estando el buje normalmente unido a una góndola. El sistema de guiñada está dispuesto para hacer rotar la góndola, y con ella el rotor, para colocar el rotor hacia una dirección del viento. Se proporcionan uno o más detectores para detectar la velocidad del viento. El uno o más detectores están montados en la góndola de tal manera que rotan bajo la acción del sistema de guiñada. Realizaciones pueden aplicarse a turbinas a barlovento, en las que las palas de turbina están colocadas delante de la góndola y dirigidas enfrentadas al viento, o turbinas a sotavento en las que las palas están colocadas en la parte trasera de la góndola y dirigidas en dirección contraria al viento. En términos generales, el sistema de guiñada se controla en respuesta a las velocidades del viento detectadas por el uno o más detectores. La góndola puede hacerse rotar bajo el control del sistema de control hasta que el error de guiñada es sustancialmente nulo.

Realizaciones de la invención pueden incluir, en la turbina eólica, un primer detector para detectar una componente de velocidad del viento a lo largo de una línea de visión, en la que la línea de visión no pasa a través de la zona barrida por las palas de rotor durante la rotación, estando el detector montado en la góndola de tal manera que rota bajo la acción del sistema de guiñada. Un sistema de control está acoplado al detector y dispuesto para comparar la componente detectada de velocidad del viento con un valor de velocidad del viento y para controlar el sistema de guiñada en respuesta a la comparación. Comparar la componente detectada de velocidad del viento con un valor de velocidad del viento, y controlar el sistema de guiñada en respuesta, permite controlar el sistema de guiñada sin determinar, medir o calcular una dirección del viento. Pueden considerarse realizaciones para controlar la turbina directamente en respuesta a una componente de velocidad del viento detectada, en vez de requerir etapas intermedias tales como calcular una dirección del viento. El sistema de control puede disponerse para controlar la guiñada para hacer que la componente detectada de velocidad del viento y el valor de velocidad del viento, o sus magnitudes, sean sustancialmente iguales. El valor de velocidad del viento puede ser nulo o sustancialmente nulo.

Realizaciones de la invención pueden incluir, en la turbina eólica, un primer detector y un segundo detector, ambos para detectar una componente de velocidad del viento a lo largo de una línea de visión, estando los detectores montados de tal manera que rotan bajo la acción del sistema de guiñada. Un sistema de control está acoplado a los detectores y dispuesto para comparar la componente detectada de velocidad del viento del primer detector con la componente detectada de velocidad del viento del segundo detector y para controlar el sistema de guiñada en respuesta a la comparación.

El uno o más detectores están montados en la turbina de tal manera que rotan bajo la acción del sistema de guiñada, lo que significa que rotan en la dirección de guiñada cuando se activa. Los detectores pueden estar montados en la góndola, de tal manera que rotan con la góndola bajo la acción del sistema de guiñada.

Los detectores pueden disponerse de tal manera que cuando la magnitud de la componente de velocidad del viento detectada por el primer detector es sustancialmente igual a la magnitud de la componente de velocidad del viento detectada por el segundo detector el sistema de guiñada está correctamente alineado. El sistema de control puede disponerse para comparar la componente de velocidad del viento detectada por el primer detector con la del segundo detector y para controlar el sistema de guiñada para hacer que sus magnitudes sean sustancialmente iguales.

El primer detector y el segundo detector pueden disponerse de tal manera que el ángulo formado entre la línea de visión del primer detector y el eje de rotación del rotor es sustancialmente igual y opuesto al ángulo formado entre la línea de visión del segundo detector y el eje de rotación del rotor. Más específicamente, el primer detector y el segundo detector pueden disponerse de tal manera que la línea de visión del primer detector está dirigida sustancialmente en el sentido opuesto a la línea de visión del segundo detector.

Realizaciones de la invención pueden incluir, en la turbina eólica, un primer detector para detectar una componente de velocidad del viento a lo largo de una línea de visión, estando el detector montado de tal manera que rota bajo la acción del sistema de guiñada. Un sistema de control está acoplado al detector y dispuesto para comparar la componente detectada de velocidad del viento con un valor de velocidad del viento y para controlar el sistema de guiñada en respuesta a la comparación. Comparar la componente detectada de velocidad del viento con un valor de velocidad del viento, y controlar el sistema de guiñada en respuesta, permite controlar el sistema de guiñada sin determinar, medir o calcular una dirección del viento predominante. El detector está dispuesto de tal manera que la línea de visión no pasa a través de la zona barrida por las palas de rotor durante la rotación. Preferiblemente esto se logra estando el detector montado en la góndola y dirigido en una dirección de tal manera que la línea de visión no pasa a través de la zona barrida por las palas de rotor.

Preferiblemente el uno o más detectores están dispuestos de tal manera que miden una componente de velocidad del viento sustancialmente perpendicular al eje de rotación del rotor de modo que se reducen los cálculos requeridos para determinar cuándo el rotor está enfrentado en la dirección del viento. Incluso más preferiblemente, se usan dos detectores y se disponen para proporcionar haces en sentidos opuestos para reducir errores debidos a estela desviada o expansión de estela o flujo. Alternativamente, el uno o más detectores pueden disponerse de tal manera que sus líneas de visión son sustancialmente perpendiculares al flujo de aire previsto alrededor del rotor cuando el sistema de guiñada está correctamente alineado. Esto permite la compensación de la expansión de estela provocada por el rotor. Los detectores pueden disponerse de tal manera que la línea de visión es sustancialmente paralela al suelo o la base de turbina.

El sistema de control puede disponerse para controlar el sistema de guiñada para hacer rotar la góndola hasta que se mide una velocidad del viento predeterminada por el uno o más detectores. Esto significa que el sistema de control no necesita calcular un valor real para el error de guiñada, sino que simplemente necesita ajustar el ángulo de guiñada hasta que se mide la velocidad del viento predeterminada. La velocidad del viento predeterminada es preferiblemente una velocidad mínima y puede ser nula.

Los detectores pueden disponerse para detectar la velocidad del viento a una distancia desde los detectores, siendo la distancia superior o igual a la longitud de la una o más palas de rotor, para evitar el flujo de aire perturbado detrás de los rotores. La distancia puede ser preferiblemente entre 1 y 2 veces la longitud de pala de rotor, y más preferiblemente entre 1,2 y 2 veces la longitud de pala de rotor. Los detectores pueden disponerse cada uno adicionalmente, o de manera alternativa, para detectar componentes de velocidad del viento a una pluralidad de distancias desde los detectores, a lo largo de su línea de visión.

Los detectores son preferiblemente anemómetros Doppler, y en particular pueden ser detectores de LIDAR. También puede usarse SODAR (medición y detección de distancia por sonido), RADAR (medición y detección de distancia por radio) y LDV (velocimetría por láser Doppler).

También pueden proporcionarse métodos correspondientes de control de una turbina eólica según realizaciones de la invención. Un método implica, en el controlador, recibir un valor del detector que indica la componente de velocidad del viento a lo largo de una línea de visión y comparar la componente de velocidad del viento con un valor de velocidad del viento para determinar si el rotor está alineado con una dirección del viento. Se envía una señal de control al sistema de guiñada, en respuesta a la comparación, para hacer rotar la góndola si el rotor no está alineado con una dirección del viento. El método puede implicar simplemente comparar la componente de velocidad del viento incidente detectada con un valor de velocidad del viento predeterminado para determinar si el rotor está alineado con una dirección del viento. Tal como se mencionó anteriormente, comparar la componente detectada de velocidad del viento con un valor de velocidad del viento, y controlar el sistema de guiñada en respuesta, permite controlar el sistema de guiñada sin determinar, medir o calcular una dirección del viento. Pueden considerarse realizaciones para controlar la turbina directamente en respuesta a una componente de velocidad del viento detectada, en vez de requerir etapas intermedias tales como calcular una dirección del viento. El método puede comprender opcionalmente además enviar señales de control para controlar el sistema de guiñada para producir la guiñada de la turbina cuando la componente detectada de velocidad del viento y el valor de velocidad del viento, o sus magnitudes, no son sustancialmente iguales, o enviar una señal de control para producir la guiñada de la turbina hasta que se mide un valor de velocidad del viento predeterminado por el detector. Puede enviarse una señal de control al sistema de guiñada para hacer rotar la góndola si la velocidad del viento incidente detectada es superior a un valor predeterminado. Alternativamente, el método puede implicar determinar un error de guiñada basándose en los valores recibidos y controlar el sistema de guiñada basándose en el error de guiñada calculado.

Realizaciones pueden implicar, en el controlador, recibir un valor de un primer y segundo detector, indicando ambos una componente de velocidad del viento a lo largo de una línea de visión, y comparar la componente de velocidad del viento del primer detector con la del segundo detector para determinar si el rotor está alineado en una dirección del viento. Se envía una señal de control al sistema de guiñada, en respuesta a la comparación, para hacer rotar la góndola si el rotor no está alineado con una dirección del viento. Los detectores pueden disponerse de tal manera que cuando la magnitud de la componente de velocidad del viento detectada por el primer detector es sustancialmente igual a la magnitud de la componente de velocidad del viento detectada por el segundo detector el sistema de guiñada está correctamente alineado; comprendiendo el método opcionalmente además comparar, en el sistema de control, la componente de velocidad del viento detectada por el primer detector con la del segundo

detector y enviar una señal de control al sistema de guiñada para hacer que sus magnitudes sean sustancialmente iguales.

También se proporcionan un sistema de control y programa informático correspondientes.

Breve descripción de los dibujos

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

la figura 1A es una vista frontal de una turbina eólica de eje horizontal;

la figura 1B es una vista en perspectiva de una turbina eólica de eje horizontal típica que muestra los diversos componentes;

10 la figura 2 es una vista lateral esquemática de una parte de góndola de una turbina eólica según una realización de la invención usando números de referencia comunes con la figura 1;

la figura 3 es un diagrama de los componentes en un sistema de control de guiñada según una realización de la invención;

15 la figura 4 es una vista esquemática de una turbina vista desde arriba según una realización de la invención que muestra un haz de LIDAR y una componente de velocidad del viento medida;

la figura 5 es una vista esquemática que muestra flujo de aire alrededor de un rotor, tal como se ve desde arriba, y posibles direcciones de haz de LIDAR;

la figura 6 es una vista esquemática de una turbina vista desde arriba según una realización de la invención que muestra haces de LIDAR y componentes de velocidad del viento medidas;

20 la figura 7 es un esquema que muestra una disposición de haces alternativa;

la figura 8 es un esquema que muestra una disposición de haces alternativa; y

la figura 9 es una vista esquemática que muestra una disposición alternativa usando haces de LIDAR que pueden rotar alrededor de un eje, tal como alrededor del eje de la torre, además de la rotación proporcionada por el sistema de guiñada.

25 **Descripción detallada de las realizaciones preferidas**

La invención generalmente se refiere a un método y a un aparato para controlar un sistema de guiñada o accionador de guiñada en una turbina eólica en respuesta a una medición de una componente de velocidad del viento para reducir el error de guiñada. En particular, las mediciones de la velocidad del viento pueden realizarse mediante un anemómetro Doppler tal como un dispositivo de LIDAR.

30 Realizaciones de la presente invención usan LIDAR (medición y detección de distancia por luz) en el control de un sistema de guiñada. El uso de LIDAR para controlar el funcionamiento de turbinas eólicas se conoce, por ejemplo, a partir del documento US 6.320.272 de Lading *et al*, que enseña el uso de un sistema de medición de la velocidad del viento por láser tal como un aparato de LIDAR montado en la góndola. Los sistemas de LIDAR conocidos funcionan emitiendo un haz de láser delante de la turbina eólica para medir las condiciones del viento. La distancia se dispone normalmente para estar a entre 0,5 y 3 diámetros de rotor de la turbina, lo cual es por tanto del orden de 50 m a 450 m para una turbina eólica moderna grande. El LIDAR funciona de una manera conocida o bien detectando moléculas del aire o bien detectando partículas arrastradas en la corriente de aire y calculando información sobre el flujo de aire a partir de estas mediciones, y particularmente la velocidad y dirección del viento. La detección de la velocidad del viento delante de las palas de turbina permite que un sistema de control ajuste el cabeceo de las palas antes de que el viento alcance las palas. La detección de la dirección del viento delante de las palas de turbina permite que un sistema de control ajuste la guiñada de la turbina antes de que el viento alcance las palas.

40 En sistemas de LIDAR un radar de láser coherente mide la velocidad de una diana de la siguiente manera: un haz de radiación coherente ilumina la diana, y una pequeña fracción de la luz experimenta retrodispersión a un receptor. El movimiento de la diana a lo largo de la dirección del haz conduce a un cambio, $\delta\nu$, en la frecuencia de la luz mediante el desplazamiento Doppler, que viene dado por:

$$|\delta\nu| = f(2V_{LOS})/c = (2V_{LOS})/\lambda$$

45 donde c es la velocidad de la luz ($3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$), V_{LOS} es la componente de velocidad de diana a lo largo de la línea de visión (es decir, la dirección del haz), y f y λ son respectivamente la frecuencia y la longitud de onda del láser. Este desplazamiento de frecuencia se mide con precisión mezclando la señal de retorno con una parte del haz

original y captando las pulsaciones en un fotodetector a la frecuencia diferencia. El sistema de LIDAR comprende la óptica de láser y el detector, que están habitualmente ubicados dentro del mismo alojamiento, pero es posible ubicar estos componentes por separado.

5 La figura 2 ilustra una vista lateral esquemática de un ejemplo de la parte de góndola de una turbina eólica según una realización de la presente invención, usando números de referencia comunes con la figura 1. Los componentes en el interior de la góndola se muestran pero no se describirán. Unido a la góndola 3 hay un sistema de LIDAR o dispositivo 10. La figura 3 muestra los componentes en el sistema de control de guiñada. La turbina 1 tiene un controlador principal 12 conectado a equipos sensores en forma de un sistema de LIDAR 10. El dispositivo de LIDAR alojado en la góndola de turbina eólica 3 puede usarse para medir el error de guiñada del rotor / góndola tal como se describe a continuación. El controlador principal puede ubicarse en la góndola o dentro de la torre, o puede estar separado de la turbina, con un enlace de comunicación, tal como una conexión inalámbrica, entre el sistema de control, el dispositivo de LIDAR y el sistema de guiñada. El controlador principal puede realizar cualquier cálculo necesario y puede estar distribuido a lo largo de múltiples ubicaciones.

10 La figura 4 muestra una vista esquemática de la turbina eólica de la figura 2 desde arriba. El sistema de LIDAR 10 está montado en o dentro de la góndola 3 en una posición de tal manera que un haz de LIDAR 42 está dirigido en una dirección que es sustancialmente perpendicular al eje de rotación del rotor.

El haz de LIDAR mide la componente de velocidad del viento en la dirección de haz. El haz de LIDAR puede determinar la magnitud de la componente de velocidad y si esa componente de velocidad es positiva o negativa (es decir si esa componente del viento está en el sentido hacia o alejándose del detector). Si un haz de LIDAR está dirigido en una dirección que es perpendicular al viento, entonces la medida de la velocidad será nula a lo largo de la dirección de haz o línea de visión. Por tanto, en el caso en el que la dirección del viento 41 es paralela al eje de rotación del rotor, el haz de LIDAR medirá una velocidad del viento nula. Por tanto, puede considerarse que la velocidad del viento tal como se mide por el sistema de LIDAR es una medida del error de guiñada de la turbina. Una velocidad nula indica que el rotor está enfrentado directamente al viento. La medida de componente de velocidad del viento puede proporcionarse al controlador principal 12, mostrado en la figura 3, que determina si se requiere un cambio en el azimut de la góndola. El sistema de LIDAR proporciona un conjunto constante o periódico de medidas que indican la velocidad del viento en la dirección a lo largo de la línea de visión de LIDAR. En su forma más simple, el sistema de control puede disponerse para recibir las medidas de LIDAR y para ajustar el sistema de guiñada hasta que la velocidad del viento medida por el haz de LIDAR es nula, o sustancialmente nula. En este punto el error de guiñada también será sustancialmente nulo y por tanto el rotor estará enfrentado al viento incidente para una máxima eficiencia.

Con el fin de determinar el punto en el que la velocidad del viento es nula, LIDAR puede calibrarse para proporcionar una detección de velocidad precisa, de tal manera que una lectura de cero del sistema de LIDAR indica que el error de guiñada es sustancialmente nulo. Alternativamente, pueden usarse técnicas de minimización convencionales, tales como diferenciación, mediante lo cual el sistema de control procesa los datos recibidos del sistema de LIDAR para determinar un valor mínimo de velocidad del viento y se considera que esto es el valor de velocidad nula. Esto permite usar un dispositivo sensor que no está apropiadamente calibrado.

Puede preferirse que las correcciones realizadas por el sistema de control para corregir el error de guiñada no sean demasiado sensibles, para evitar pequeños movimientos de guiñada continuos. Pueden emplearse diversos métodos de funcionamiento. Puede emplearse un umbral, mediante lo cual el sistema de guiñada sólo se activa mediante el controlador si el sistema de LIDAR detecta una velocidad del viento por encima de un determinado umbral. Esto indicará un error de guiñada por encima de un valor particular, y entonces se activará el sistema de guiñada para reducir el error de guiñada. Por ejemplo, el controlador principal 12 puede disponerse únicamente para ajustar el ángulo de guiñada de turbina si la velocidad del viento medida mediante LIDAR está por encima de un umbral particular. El umbral puede ser de más de 3 ó 4 m/s. Alternativamente, o de manera adicional, el controlador principal puede monitorizar los datos de LIDAR y activar el sistema de guiñada únicamente si la velocidad del viento supera un determinado umbral durante un periodo de tiempo predeterminado. Por ejemplo, el controlador principal puede activar el sistema de guiñada para minimizar el error de guiñada únicamente si la velocidad del viento medida mediante LIDAR supera un umbral durante 10 segundos, 30 segundos o 60 segundos.

Si se detecta una velocidad del viento suficiente mediante el sistema de LIDAR 10 durante un periodo de tiempo suficiente, el controlador principal 12 hace que el sistema de guiñada 14 haga rotar la góndola y por tanto también el sistema de LIDAR. El controlador principal continuará haciendo funcionar el sistema de guiñada hasta que se alcance una velocidad del viento nula, o sustancialmente nula. El sistema puede funcionar con capacidad de procesamiento mínima ya que el sistema de control principal puede disponerse para buscar una posición de guiñada que muestre una velocidad del viento mínima, en vez de necesitar calcular el error de guiñada basándose en direcciones del viento medidas o calculadas. Si la componente de velocidad del viento, medida mediante LIDAR, aumenta a medida que rota el sistema de LIDAR, entonces el sistema de control invertirá el sentido de rotación de tal manera que la velocidad del viento medida disminuya. Además, o de manera alternativa, el controlador principal también puede recibir información de un detector de dirección del viento, tal como una veleta. La información del viento se usa por el controlador principal para determinar en qué dirección girar el sistema de guiñada (en el sentido de las agujas del reloj o contrario a las agujas del reloj) para reducir el error de guiñada evitando que el controlador

active el sistema de guiñada en el sentido incorrecto.

Aunque una medida de componente de velocidad del viento nula puede indicar, en algunas realizaciones, un error de guiñada nulo, una velocidad del viento superior a cero puede no convertirse necesariamente de manera directa en un valor para el error de guiñada. Por ejemplo, si se detecta una componente de velocidad del viento baja, esto puede indicar un error de guiñada pequeño para una velocidad del viento global alta, o un error de guiñada grande para una velocidad del viento global baja. Proporcionando información de velocidad del viento adicional a partir de un dispositivo de medición de la velocidad del viento tal como, por ejemplo, un anemómetro o sistema de LIDAR adicional, será posible calibrar el sistema de tal manera que pueda determinarse un error de guiñada preciso. El error de guiñada puede calcularse comparando la componente de velocidad medida mediante LIDAR con la magnitud total de la velocidad del viento detectada por el dispositivo de medición de la velocidad del viento. Con este fin puede usarse un haz de LIDAR adicional dirigido directamente hacia delante, a lo largo del eje de rotor, sin embargo, una de las ventajas de alinear simplemente el rotor/góndola hasta obtener una velocidad del viento nula es el procesamiento mínimo requerido por el controlador principal, y la detección de velocidad adicional no es un requisito. En realizaciones en las que se usa información de velocidad del viento para determinar un valor para el error de guiñada, los cálculos pueden realizarse en los dispositivos de LIDAR o en una ubicación diferente. Puede considerarse que el controlador principal es un sistema distribuido que incorpora cualquier sistema de procesamiento ubicado en los dispositivos de LIDAR o de otro modo.

El sistema de LIDAR puede medir la velocidad de aire a múltiples distancias predeterminadas de manera simultánea. Por tanto, es posible que realizaciones de la invención midan la velocidad del viento en cualquier punto desde cero metros (en el punto de emisión del haz de LIDAR) hasta el límite de detección de LIDAR que puede ser de aproximadamente 200 m más allá del borde de rotor, o 300 m-400 m desde el punto de emisión en total, y medir la velocidad del viento en múltiples puntos. Sin embargo, se prefiere que las mediciones de la velocidad del viento se tomen a partir de puntos a lo largo de la línea de visión que están más allá del diámetro de rotor, tal como se ilustra por la línea 44 en la figura 4, para evitar flujo de aire perturbado desde el rotor. Es decir, el punto de detección del sistema de LIDAR se encuentra a lo largo de la línea de visión a una distancia igual o superior al radio del rotor y preferiblemente entre una y dos veces el radio de las palas desde el detector. Para sistemas de LIDAR esto es un alcance comparativamente corto. La distancia medida es preferiblemente entre 1 y 2 veces la longitud de pala de rotor, y más preferiblemente entre 1,2 y 2 veces la longitud de pala de rotor.

Una propiedad de detectores que pueden aprovecharse en realizaciones de la invención, tales como detectores de LIDAR, se conoce como la profundidad de sonda. El/los detector(es) de LIDAR puede(n) detectar realmente la componente de velocidad del viento a lo largo de un intervalo de distancia, en vez de en un punto específico, tal como se determina mediante los parámetros de detector de LIDAR. La profundidad de sonda es un filtro espacial que refleja el promedio en el tiempo de la toma de muestras de la detección de fotones. Normalmente tiene una forma gaussiana. El detector puede disponerse de tal manera que la forma de la distribución comienza en el punto en el que comienza el efecto de inducción provocado por las palas de rotor que actúan sobre el viento, y termina a una distancia a la que el efecto de inducción tiene poco o sustancialmente ningún impacto. Por ejemplo, la distribución puede comenzar a 1,2 veces el radio del rotor y terminar a dos veces el radio del rotor.

Las realizaciones descritas anteriormente usan un sistema de LIDAR o similar dispuesto para proporcionar un haz sustancialmente perpendicular al eje de rotación del rotor, sin embargo esto no es necesario. Tal como se ilustra en la figura 5, la dirección óptima puede ser de hecho dirigir los haces de LIDAR con un ligero ángulo con respecto a la dirección perpendicular para compensar la expansión del flujo de aire alrededor del rotor 4. Por tanto, los haces de LIDAR se dispondrán de tal manera que se orientan de manera sustancialmente perpendicular al flujo de aire previsto alrededor del rotor cuando el rotor está orientado en la dirección del viento. Debe observarse que los ángulos de línea de visión para un haz perpendicular con respecto al flujo de aire previsto alrededor del rotor pueden ser diferentes en un lado de la turbina que en el otro lado debido al giro del viento a medida que entra en el rotor. El ángulo de haz requerido de tal manera que los haces de LIDAR se orienten de manera sustancialmente perpendicular al flujo de aire previsto alrededor del rotor cuando el rotor está alineado en la dirección del viento predominante pueden determinarse de manera experimental, por ejemplo produciendo la guiñada de la turbina en contra del viento (determinándose la dirección del viento mediante medición independiente) y buscando el punto en el que la velocidad en la línea de visión disminuye hasta cero, para cada haz, y repitiendo tal medición para una pluralidad de velocidades del viento diferentes. Entonces puede producirse una base de datos o tabla de ángulos de haz, con respecto al eje de rotación del rotor o algún otro punto de referencia, frente a valores de velocidad del viento. Entonces pueden proporcionarse múltiples ángulos de haz, proporcionando múltiples haces a diferentes ángulos que corresponden cada uno a una posición perpendicular con respecto al flujo de aire previsto para una velocidad del viento dada. Alternativamente, cada haz o detector puede montarse de manera rotatoria, sobre un cojinete rotatorio u otros medios rotatorios, de tal manera que puede hacerse variar la dirección de haz con respecto al punto de referencia, y fijarse a un ángulo deseado en respuesta a una velocidad del viento detectada y el valor correspondiente en la base de datos/tabla.

El haz de LIDAR puede disponerse para orientarse en cualquier dirección paralela al eje de rotación del rotor. En una realización de este tipo, en vez de que el sistema de control busque un mínimo en la velocidad del viento, buscará un máximo, punto en el cual el ángulo de guiñada estará a un mínimo. De manera similar, el haz de LIDAR puede disponerse para orientarse en cualquier otra dirección formando un ángulo con respecto al eje de rotación del

rotor estando el sistema de control principal 12 dispuesto para localizar una velocidad del viento de una determinada proporción de la velocidad máxima o mínima. Con tales realizaciones las mediciones de LIDAR se tomarán preferiblemente en un punto más allá de la línea paralela al eje de rotación del rotor, cuando se observa desde arriba, y que pasa a través del borde del disco de pala (es decir la línea 44 en la figura 4). Tales realizaciones pueden requerir información de dirección del viento adicional de tal manera que el sistema de control sepa cuándo ha alcanzado un máximo en la velocidad del viento para evitar pasarse en el ajuste del ángulo de guiñada. Disposiciones en las que el haz de LIDAR es perpendicular al eje de rotación del rotor, o la dirección del viento prevista alrededor del rotor, son ventajosas ya que no necesitan calibrarse de esta manera.

Realizaciones en las que la línea de visión de los detectores está orientada en perpendicular, o sustancialmente en perpendicular, con respecto al eje de rotación del rotor, al menos cuando se observa desde arriba, también son ventajosas porque esto aumenta la sensibilidad de las mediciones de componente de velocidad del viento. En particular, las velocidades del viento medidas cuando la turbina está cerca de una posición con error de guiñada nulo serán menores, y pueden ser del orden de aproximadamente 10 m/s o menos. En comparación, si los detectores están orientados en paralelo al eje de rotación, se detectarán valores de componente de velocidad del viento mucho mayores cuando la turbina esté en o cerca de una posición con error de guiñada nulo.

Se prefiere que el haz de LIDAR esté en paralelo al suelo/base de turbina 7 de modo que la componente de velocidad del viento medida es la componente paralela al suelo/base de turbina 7 y por tanto paralela a la dirección de rotor 5b/dirección de góndola 5c. Sin embargo, los anemómetros Doppler miden la componente de velocidad del viento a lo largo de la línea de visión (es decir en la dirección de haz), y no se necesita que el haz sea estrictamente paralelo al suelo con el fin de medir esta componente de dirección del viento. En vez de eso, el haz puede dirigirse en cualquier ángulo que permita que el haz mida una componente de la dirección del viento paralela al suelo. Esto puede ser cualquier ángulo inferior a 90° con respecto al suelo. Una velocidad del viento medida nula todavía indicará un error de guiñada nulo.

El detector de LIDAR puede montarse directamente sobre la góndola, o puede montarse dentro de la góndola con una ventana transparente para LIDAR, o un orificio, en la góndola para permitir que el haz de LIDAR pase a su través. Permitir montar el sistema de LIDAR directamente sobre la góndola hace posible instalar un sistema según realizaciones de la invención sobre turbinas eólicas existentes. El detector de LIDAR puede montarse en cualquier lugar que le permita rotar alrededor del eje de guiñada, de tal manera que las mediciones de la velocidad del viento del detector cambian a medida que cambia de posición alrededor del eje de guiñada.

Pueden usarse múltiples haces para una detección de la velocidad del viento más precisa. La figura 6 muestra una disposición de haces dobles. Se muestran las velocidades en la línea de visión 61 y 62. Cada haz de LIDAR mide la componente de velocidad de viento incidente 65 a lo largo de la dirección de los haces 66 y 67. En el ejemplo de la figura 6 se detecta la componente 62 como una velocidad positiva, y la componente 61 como una velocidad negativa correspondiente. Evidentemente, las velocidades positiva y negativa pueden definirse de la manera opuesta. Si las velocidades en la línea de visión 61 y 62 a partir de ambos haces no son nulas, entonces la turbina experimentará una guiñada en el sentido que lleve la velocidad en la línea de visión a cero. El sentido de guiñada requerido puede determinarse basándose en los signos positivo o negativo de las componentes de velocidad, experimentando el sistema guiñada en el sentido de las agujas del reloj hacia la velocidad en la línea de visión positiva para reducir el error de guiñada tal como se indica mediante 68.

Alternativamente, la turbina puede experimentar guiñada en el sentido que hará que ambas velocidades en la línea de visión, o sus magnitudes, sean iguales. En vez de intentar producir la guiñada de la turbina hasta la posición en la que ambos haces detectan una componente de velocidad nula, o algún otro valor predeterminado, puede compararse el valor de un detector con el valor del otro. Puede observarse a partir de la figura 6 que cuando las componentes de velocidad medidas por los haces 66 y 67 son iguales, o sustancialmente iguales, la turbina experimentará guiñada contra el viento. Una ventaja de un sistema de este tipo es la compensación de la expansión de estela del viento alrededor de la pala de rotor tal como se indica en la figura 5. En particular, la lectura absoluta de ambos haces 66 y 67 puede no ser nula cuando la turbina ha experimentado guiñada correcta contra el viento debido al efecto de expansión de estela. Esto significará que buscar un valor nulo para ambos haces (o una disposición de haz individual) puede no funcionar tan bien como se desea si el haz no detecta la velocidad del viento lo suficientemente lejos del detector como para minimizar el efecto de la expansión de estela. Sin embargo, esto puede compensarse buscando el mismo valor de componente de velocidad para ambos haces de detector.

Preferiblemente la línea de visión de los haces de LIDAR se dirigirán en sentidos opuestos perpendiculares al eje de rotor tal como se muestra en la figura 6. Sin embargo, otras alternativas son posibles, y se pretende que las figuras 7 y 8 demuestren esto. En la figura 7, la línea de visión del primer detector se dirige sustancialmente en el sentido opuesto a la línea de visión del segundo detector, como con la figura 6, pero no son perpendiculares al eje de rotación del rotor, al menos cuando se observa desde arriba. El sistema puede disponerse para comparar las magnitudes de las componentes de velocidad detectadas por cada detector, experimentando la turbina una guiñada correcta cuando estas magnitudes son sustancialmente iguales.

Alternativamente, tal como se muestra en la figura 8, el primer detector y el segundo detector están dispuestos de tal manera que el ángulo θ formado entre la línea de visión del primer detector y el eje de rotación del rotor, cuando se

observa desde arriba, es sustancialmente igual y opuesto al ángulo formado entre la línea de visión del segundo detector y el eje de rotación del rotor. Esto es similar a la disposición de la figura 5. De nuevo, esto permite que el sistema compare componentes de velocidad de los dos haces y determine cuándo son iguales, correspondiendo componentes de velocidad iguales a un error de guiñada nulo o sustancialmente nulo. El sistema de la figura 8 puede hacer coincidir componentes de velocidad en vez de las magnitudes de las mismas, ya que una posición con error de guiñada nulo dará como resultado componentes de velocidad positivas de sustancialmente la misma magnitud para ambos haces. Sin embargo, tal como se describió con relación a la figura 5, los ángulos para cada haz pueden no ser necesariamente iguales para compensar el efecto de rotación inducido en el viento por el rotor.

Usar dos o más haces añade fidelidad al sistema ya que permite tomar mediciones en ambos lados del rotor tal como se ilustra en las figuras 5-8. Múltiples haces también eliminan errores provocados por estelas desviadas o expansión de estela o flujo, lo cual puede llevar a un único haz a medir una velocidad en la línea de visión nula, cuando en realidad el viento delante está incidiendo contra el rotor a un ángulo. En la disposición de la figura 6 los haces están dispuestos para extenderse en sentidos opuestos, de tal manera que cada haz es perpendicular al eje de rotación del rotor, pero dirigidos a 180° uno de otro. Alternativamente, los haces pueden usarse formando cualquier otro ángulo entre sí para proporcionar múltiples mediciones de la velocidad del viento que pueden convertirse en un valor de error de guiñada o usarse directamente por el sistema de control de guiñada.

En vez de usar un único detector para detectar una componente de velocidad del viento en una dirección particular, pueden usarse múltiples haces, y puede calcularse el promedio de los resultados de cada haz o combinarse de alguna otra manera para dar una lectura más precisa de la velocidad del viento. Los detectores pueden distribuirse sobre la turbina, y particularmente sobre la góndola, y pueden estar ubicados a intervalos regulares. Alternativamente, los detectores pueden estar ubicados adyacentes entre sí. Por ejemplo, en el sistema de la figura 6, pueden proporcionarse tres haces en cada dirección, en vez de uno en cada dirección.

Una alternativa a usar dos o más haces fijos es usar uno, dos (o más) haces de LIDAR que pueden rotar alrededor de un eje, tal como alrededor del eje de la torre, independientemente, y además, de la rotación proporcionada por el sistema de guiñada. Los dispositivos de LIDAR se montarán sobre medios rotatorios, montados sobre o en la góndola, lo que permitirá hacer rotar los haces de LIDAR. En la figura 9 se muestra una disposición de este tipo. El haz o los haces rotatorios permitirán mediciones en todas las direcciones y pueden proporcionar una imagen más detallada del flujo de viento alrededor de la turbina. La información detectada por los haces rotatorios puede proporcionarse al sistema de control para determinar un perfil de velocidad del viento. El sistema de control puede determinar la posición de guiñada que proporcionará un error de guiñada predeterminado que es inferior a un valor de umbral o sustancialmente nulo tal como se describió anteriormente. Un detector solidario con, o externo a, los medios de rotación proporciona preferiblemente información al sistema informático sobre la colocación de rotación del haz de LIDAR, o bien con respecto al sistema de guiñada o bien con respecto a un rumbo absoluto tal como el norte.

Aunque se han descrito realizaciones usando LIDAR para determinar la velocidad del viento, debe indicarse que pueden usarse otros sistemas y métodos, siempre que proporcionen una indicación de una componente de velocidad del viento en un punto a una distancia fija desde la turbina. Sistemas preferibles son anemómetros Doppler y aquellos que proporcionan la componente de velocidad del viento a lo largo de la dirección de un haz lineal o similar. Estos pueden incluir SODAR, RADAR o LDV.

Se han descrito realizaciones de la invención con relación a turbinas a barlovento, en las que la góndola experimenta guiñada de tal manera que el rotor se orienta en barlovento, para garantizar la alineación correcta del rotor con respecto al viento predominante. Debe apreciarse que cualquiera de las realizaciones anteriores de la invención puede aplicarse igualmente a turbinas a sotavento en las que la góndola experimenta guiñada de tal manera que el rotor se orienta en sotavento para garantizar la alineación correcta del rotor con respecto al viento predominante.

Para evitar cualquier duda, puede considerarse que cualquiera de las realizaciones de la invención descritas en el presente documento controla la guiñada de turbina en respuesta a al menos una componente de velocidad del viento detectada, sin requerir la etapa intermedia de calcular, medir o determinar una dirección del viento o la dirección global del viento que hace que el rotor/las palas de turbina roten.

REIVINDICACIONES

1. Turbina eólica que comprende:
 - un rotor que comprende una o más palas de rotor y un buje, estando el buje unido a una góndola;
 - un sistema de guiñada para hacer rotar la góndola;
- 5 - un primer detector para detectar una componente de velocidad del viento a lo largo de una línea de visión, en la que la línea de visión no pasa a través de la zona barrida por las palas de rotor durante la rotación, estando el detector montado en la góndola de tal manera que rota bajo la acción del sistema de guiñada;
- un sistema de control acoplado al detector y dispuesto para comparar la componente detectada de velocidad del viento con un valor de velocidad del viento y para controlar el sistema de guiñada en respuesta a la comparación.
- 10
2. Turbina eólica según la reivindicación 1, que comprende además un segundo detector, acoplado al sistema de control, para detectar una componente de velocidad del viento a lo largo de una línea de visión, estando el segundo detector montado de tal manera que rota bajo la acción del sistema de guiñada;
- en la que el valor de velocidad del viento con el que se compara la componente detectada de velocidad del viento del primer detector es una componente de velocidad del viento detectada por el segundo detector.
- 15
3. Turbina eólica según la reivindicación 2, en la que los detectores están dispuestos de tal manera que cuando la magnitud de la componente de velocidad del viento detectada por el primer detector es sustancialmente igual a la magnitud de la componente de velocidad del viento detectada por el segundo detector el sistema de guiñada está correctamente alineado; y
- 20 el sistema de control está dispuesto para comparar la componente de velocidad del viento detectada por el primer detector con la del segundo detector y para controlar el sistema de guiñada para hacer que sus magnitudes sean sustancialmente iguales.
4. Turbina eólica según la reivindicación 2 ó 3, en la que el primer detector y el segundo detector están dispuestos de tal manera que la línea de visión del primer detector está dirigida sustancialmente en el sentido opuesto a la línea de visión del segundo detector.
- 25
5. Turbina eólica según la reivindicación 2 ó 3, en la que el primer detector y el segundo detector están dispuestos de tal manera que el ángulo formado entre la línea de visión del primer detector y el eje de rotación del rotor es sustancialmente igual y opuesto al ángulo formado entre la línea de visión del segundo detector y el eje de rotación del rotor.
- 30
6. Turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, en la que los detectores están dispuestos de tal manera que su línea de visión no pasa a través de la zona barrida por las palas de rotor durante la rotación.
7. Turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en la que el sistema de control está dispuesto para controlar la guiñada para hacer que la componente detectada de velocidad del viento y el valor de velocidad del viento, o sus magnitudes, sean sustancialmente iguales.
- 35
8. Turbina eólica según cualquier reivindicación anterior, en la que los detectores están dispuestos para detectar componentes de velocidad del viento a una distancia desde los detectores, siendo la distancia superior o igual a la longitud de la una o más palas de rotor.
9. Turbina eólica según cualquier reivindicación anterior, en la que los detectores están dispuestos cada uno para detectar componentes de velocidad del viento a una pluralidad de distancias desde los detectores, a lo largo de su línea de visión.
- 40
10. Turbina eólica según cualquier reivindicación anterior, en la que el sistema de control está dispuesto además para recibir la salida de un dispositivo de detección de la velocidad del viento, estando el sistema de control dispuesto también para controlar el sistema de guiñada en respuesta a la velocidad del viento.
- 45
11. Método de control de una turbina eólica, teniendo la turbina eólica un rotor que comprende una o más palas de rotor y un buje, estando el buje unido a una góndola; un sistema de guiñada para hacer rotar la góndola; un primer detector para detectar una componente de velocidad del viento a lo largo de una línea de visión, en el que la línea de visión no pasa a través de la zona barrida por las palas de rotor durante la rotación, estando el detector montado en la góndola de tal manera que rota bajo la acción del sistema de guiñada, y un sistema de control acoplado al detector, comprendiendo el método en el controlador:
 - recibir un valor del detector que indica la componente de velocidad del viento a lo largo de una línea de
- 50

visión;

- comparar la componente de velocidad del viento con un valor de velocidad del viento para determinar si el rotor está correctamente alineado con una dirección del viento; y

5 - enviar una señal de control al sistema de guiñada, en respuesta a la comparación, para hacer rotar la góndola si el rotor no está correctamente alineado con una dirección del viento.

12. Método según la reivindicación 11, en el que la turbina eólica comprende además un segundo detector, acoplado al sistema de control, para detectar una componente de velocidad del viento a lo largo de una línea de visión, estando el segundo detector montado de tal manera que rota bajo la acción del sistema de guiñada;

10 en el que el valor de velocidad del viento con el que se compara la componente detectada de velocidad del viento del primer detector es una componente de velocidad del viento detectada por el segundo detector.

13. Método según la reivindicación 12, en el que los detectores están dispuestos de tal manera que cuando la magnitud de la componente de velocidad del viento detectada por el primer detector es sustancialmente igual a la magnitud de la componente de velocidad del viento detectada por el segundo detector el sistema de guiñada está correctamente alineado; comprendiendo el método además:

15 comparar, en el sistema de control, la componente de velocidad del viento detectada por el primer detector con la del segundo detector y enviar una señal de control al sistema de guiñada para hacer que sus magnitudes sean sustancialmente iguales.

14. Método según la reivindicación 11, que comprende además enviar señales de control para controlar el sistema de guiñada para producir la guiñada de la turbina cuando la componente detectada de velocidad del viento y el valor de velocidad del viento, o sus magnitudes, no son sustancialmente iguales.

15. Método según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 14, que comprende además detectar, usando los detectores, componentes de velocidad del viento a una distancia desde los detectores, siendo la distancia superior o igual a la longitud de la una o más palas de rotor.

25 16. Método según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 15, que comprende además detectar, usando los detectores, componentes de velocidad del viento a una pluralidad de distancias desde los detectores, a lo largo de su línea de visión.

17. Método según la reivindicación 11, en el que la etapa de determinar si el rotor está correctamente alineado con una dirección del viento comprende la etapa de comparar la componente de velocidad del viento detectada con un valor de velocidad del viento predeterminado, y en el que se envía una señal de control al sistema de guiñada para hacer rotar la góndola si la velocidad del viento incidente detectada es superior al valor predeterminado.

18. Método según la reivindicación 17, en el que la etapa de determinar si el rotor está correctamente alineado con una dirección del viento comprende la etapa de determinar un error de guiñada basándose en los valores recibidos.

19. Sistema para controlar el funcionamiento de una turbina eólica, comprendiendo la turbina eólica: un rotor que comprende una o más palas de rotor y un buje, estando el buje unido a una góndola; y un sistema de guiñada para hacer rotar la góndola;

comprendiendo el sistema:

40 uno o más detectores, cada uno para detectar una componente de velocidad del viento a lo largo de una línea de visión, en el que la línea de visión no pasa a través de la zona barrida por las palas de rotor durante la rotación, estando los detectores montados en la góndola de tal manera que rotan bajo la acción del sistema de guiñada; y

45 un controlador acoplado al detector para proporcionar una señal de control de salida para la turbina eólica, en el que el controlador está dispuesto para:

- recibir valores del uno o más detectores que indican componentes de velocidad del viento a lo largo de una línea de visión;

- comparar las componentes de velocidad del viento con un valor de velocidad del viento; y

50 - enviar una señal de control al sistema de guiñada, en respuesta a la comparación, para hacer rotar la góndola si el rotor no está alineado con una dirección del viento.

20. Producto de programa informático que contiene código informático dispuesto para controlar una turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10 para realizar el método según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 18.

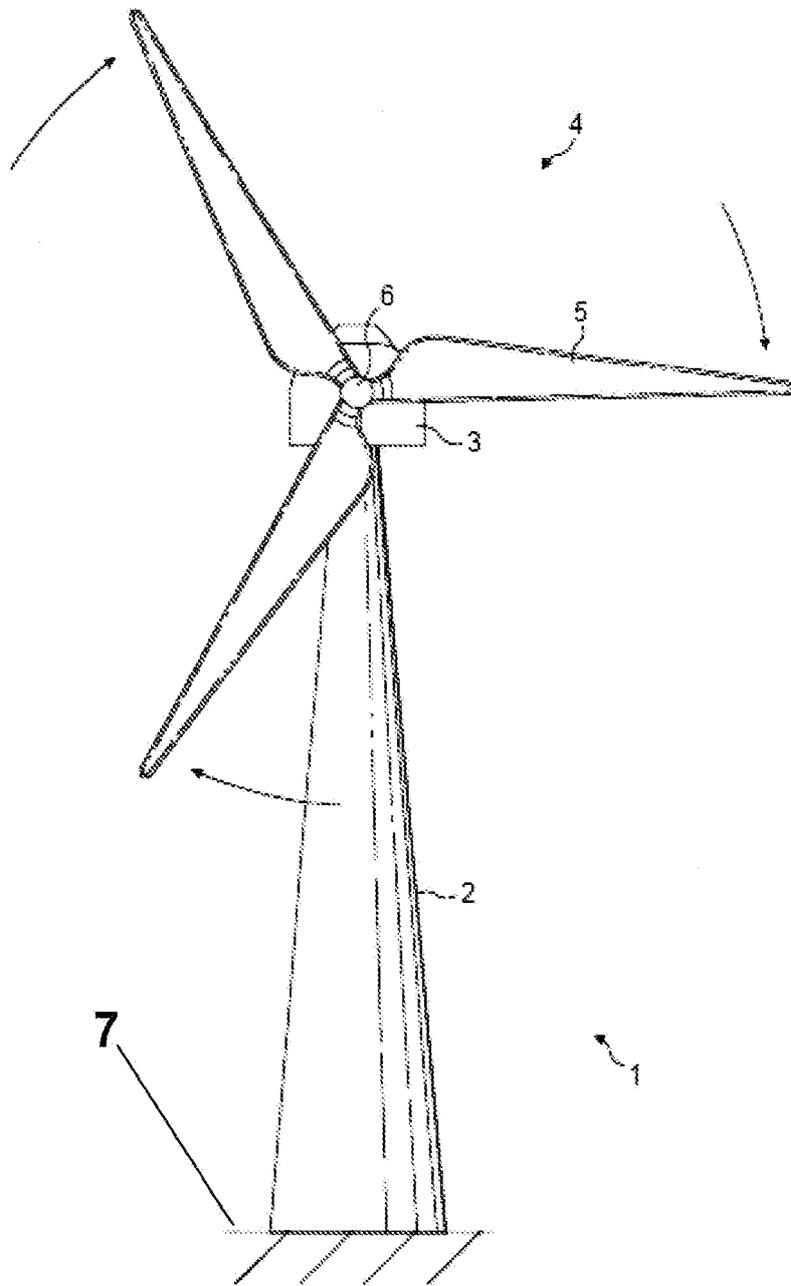


FIG 1A

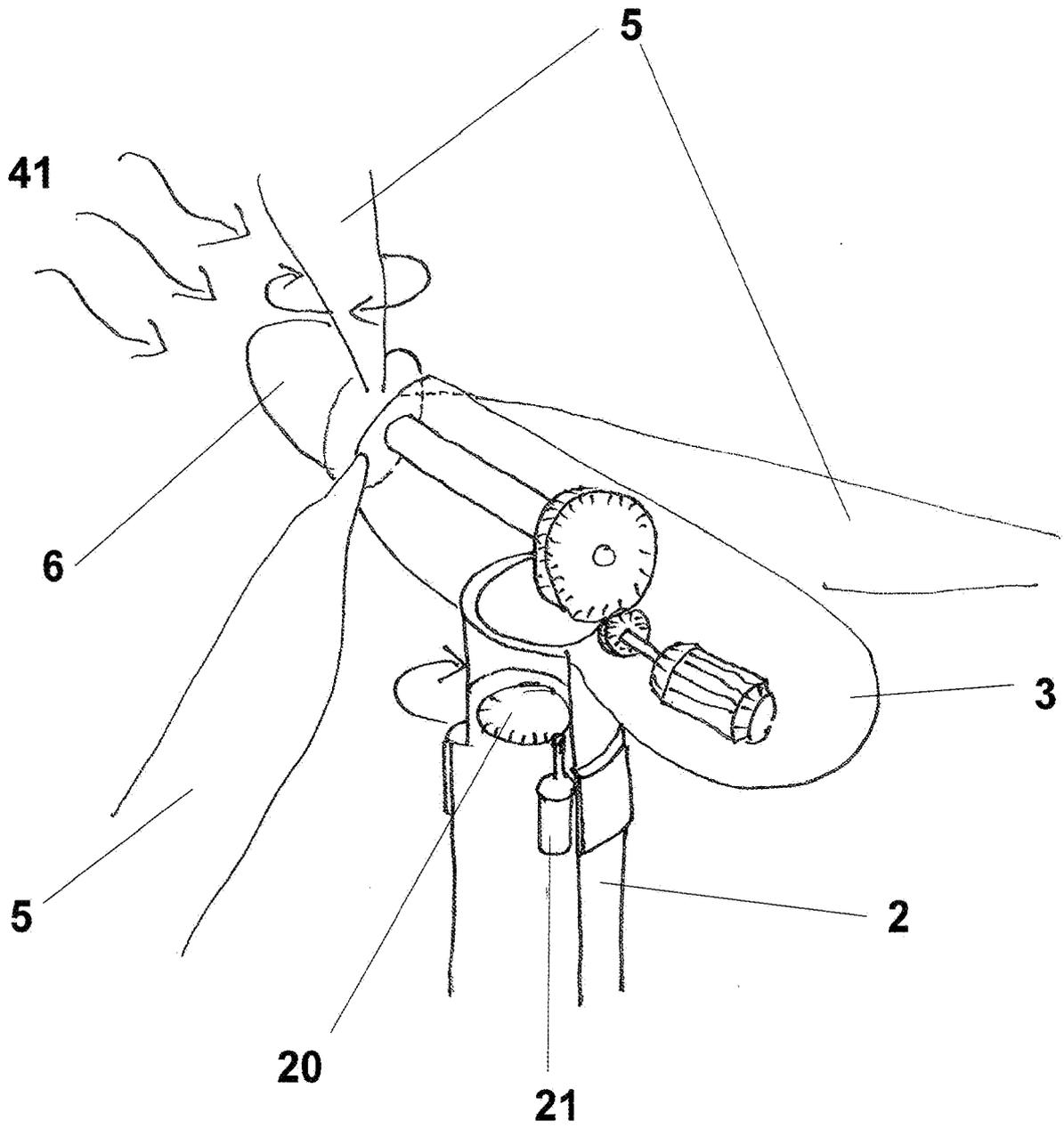


FIG 1B

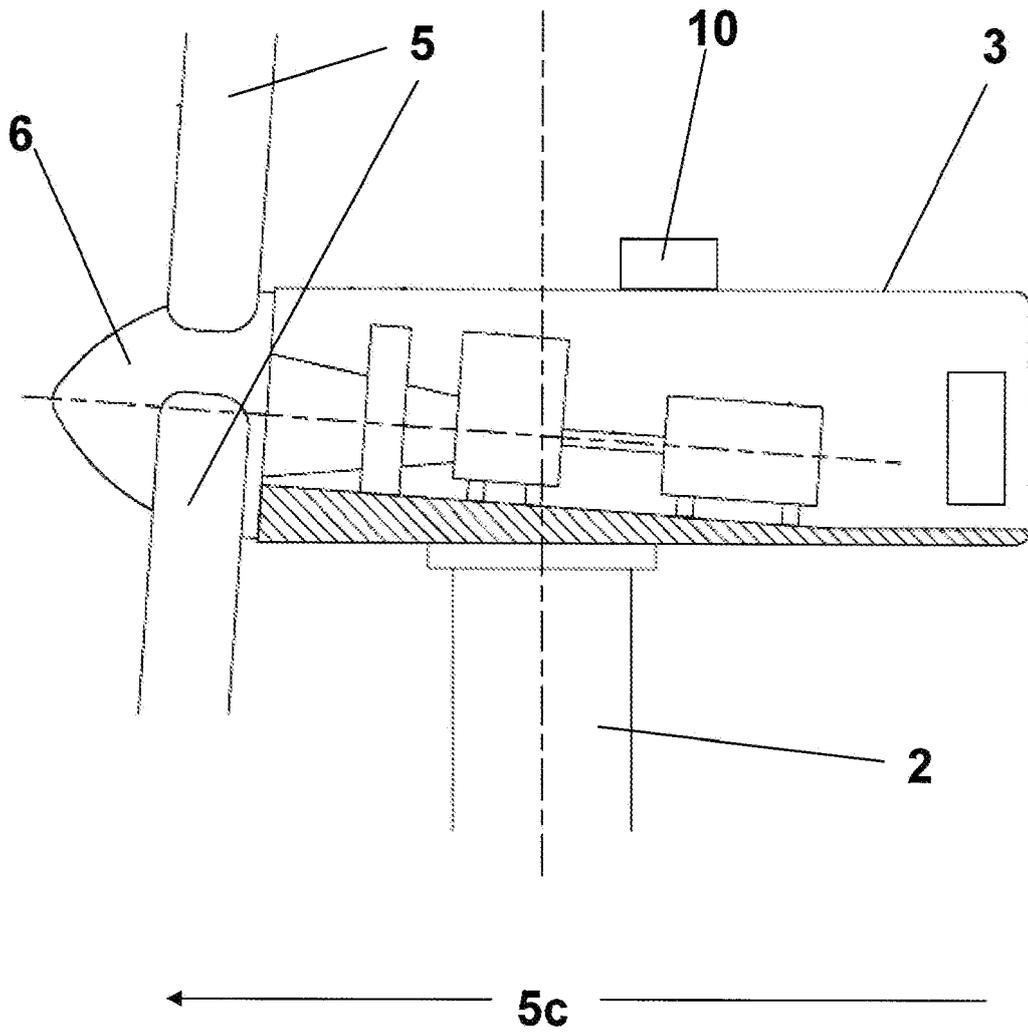


FIG 2

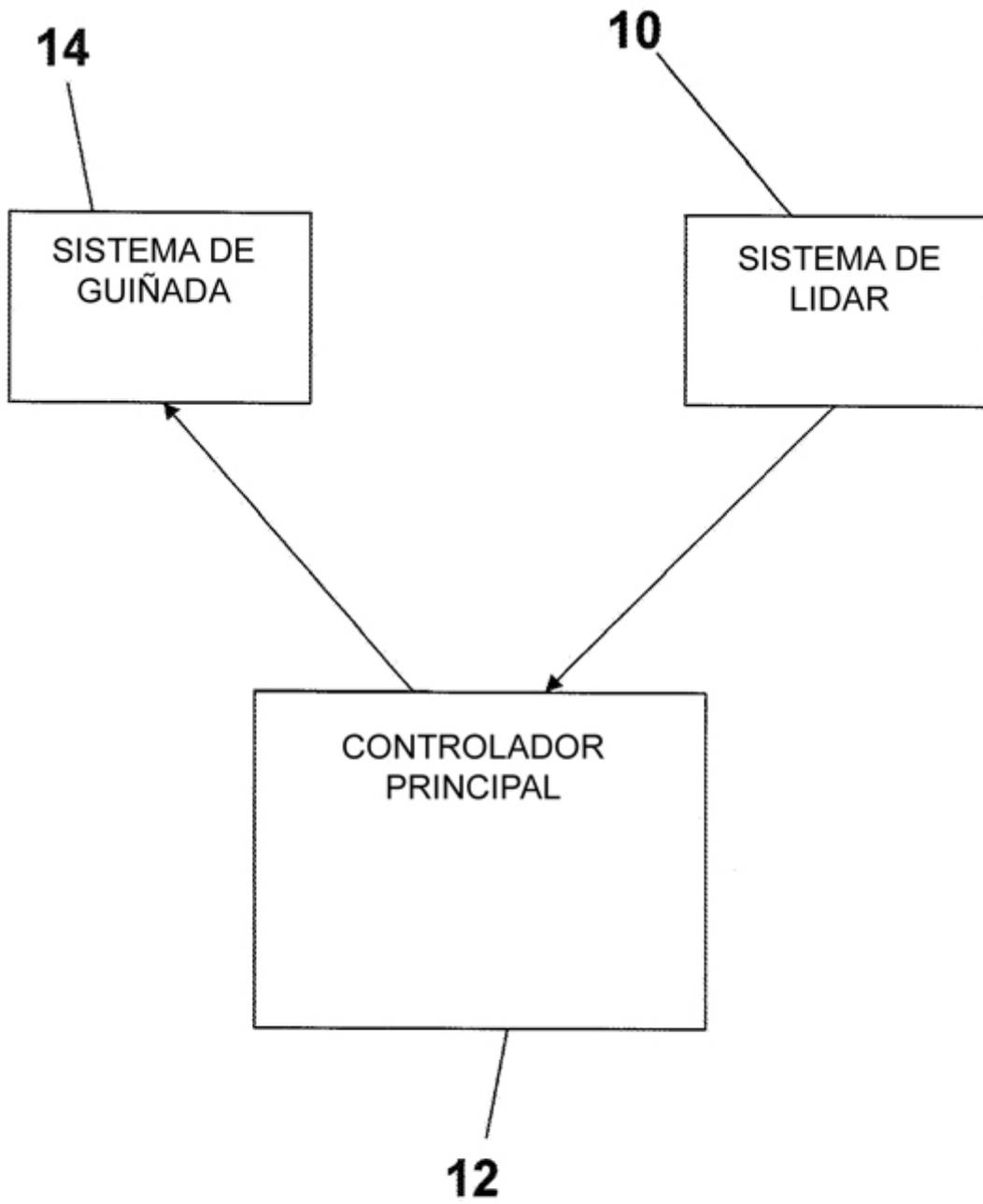


FIG 3

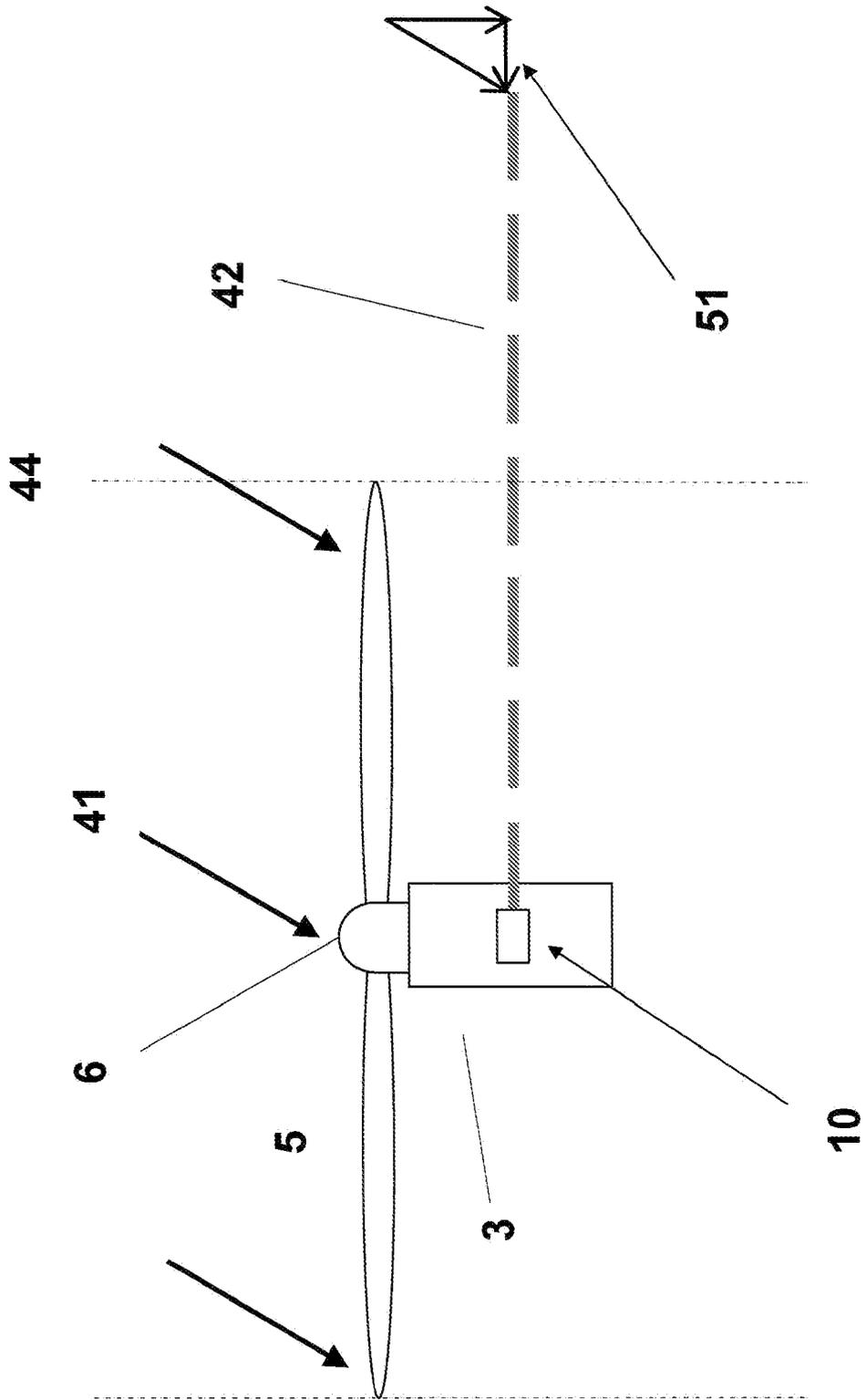


FIG 4

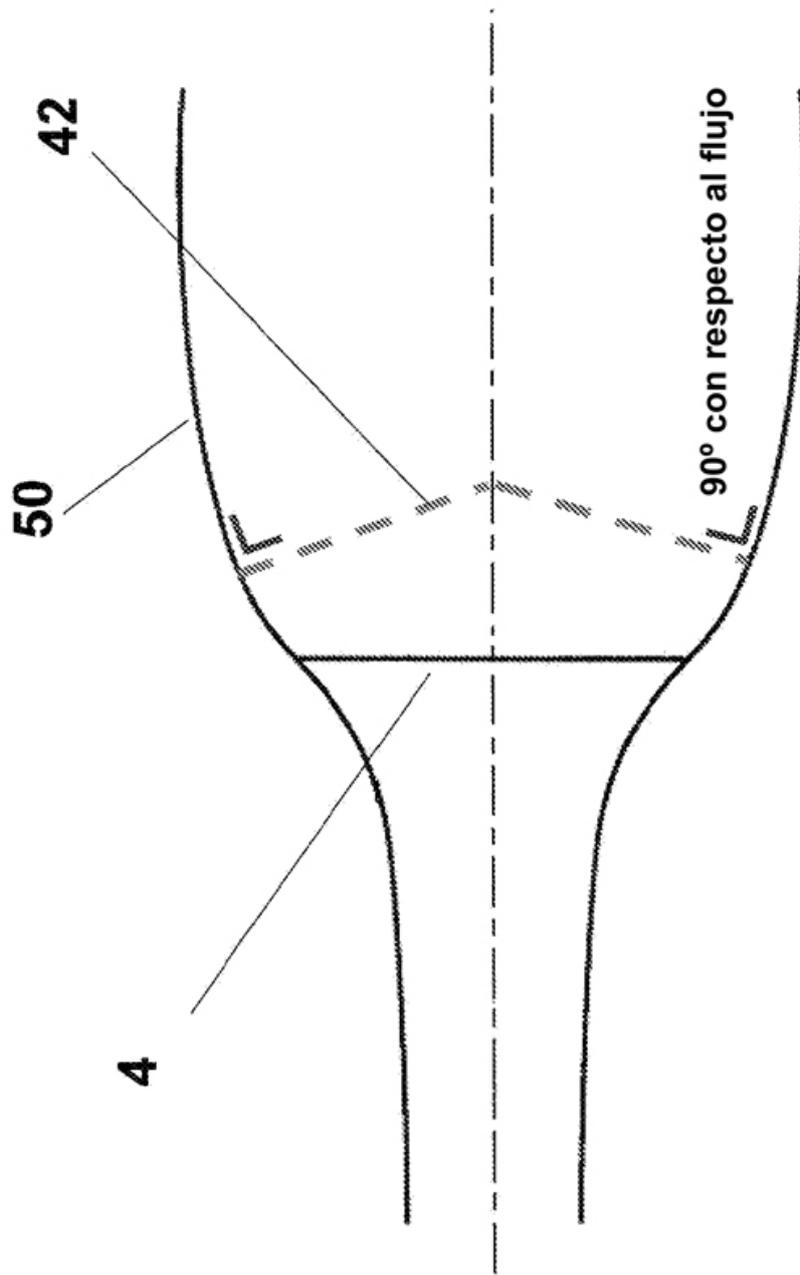


FIG 5

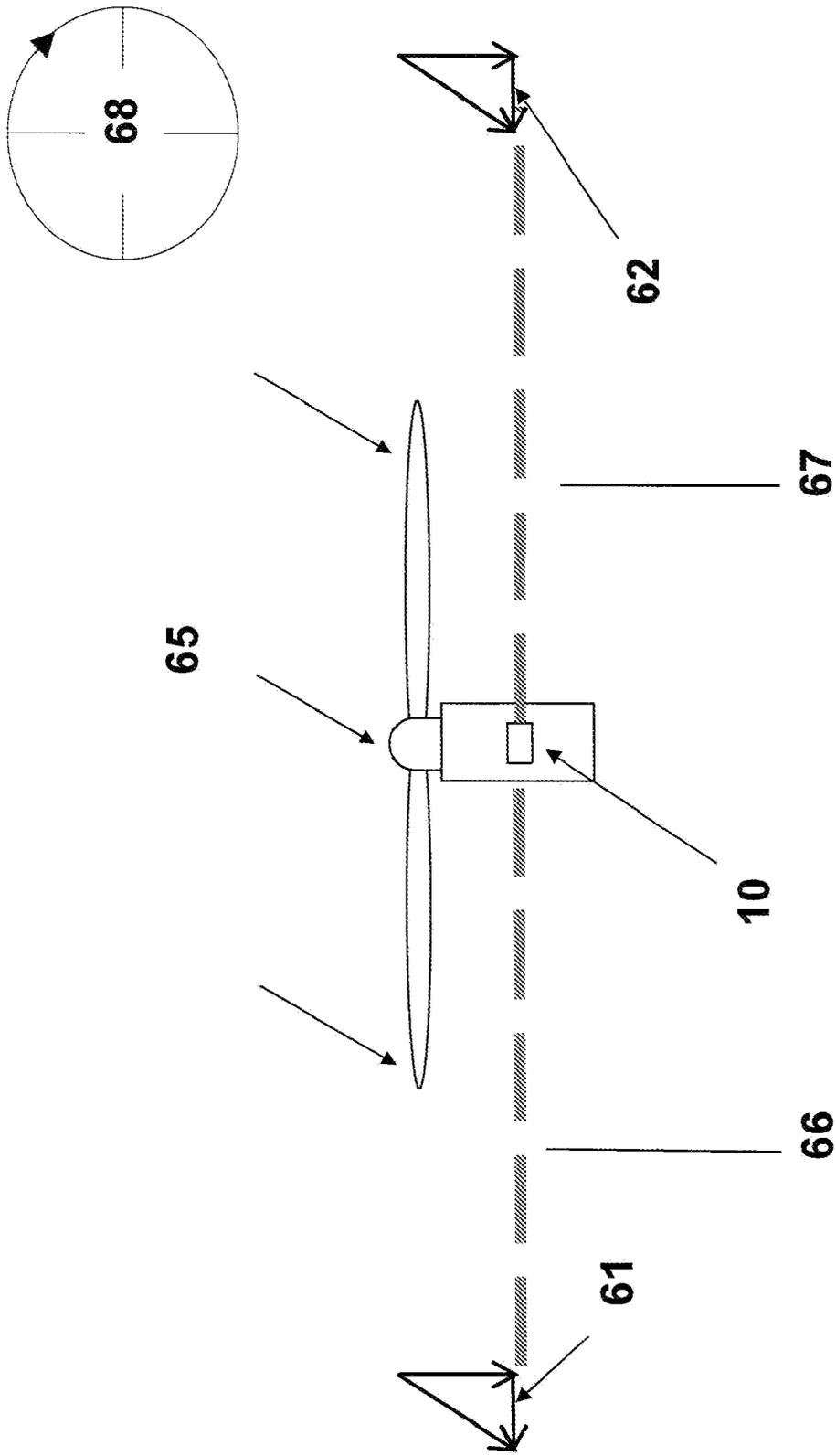


FIG 6

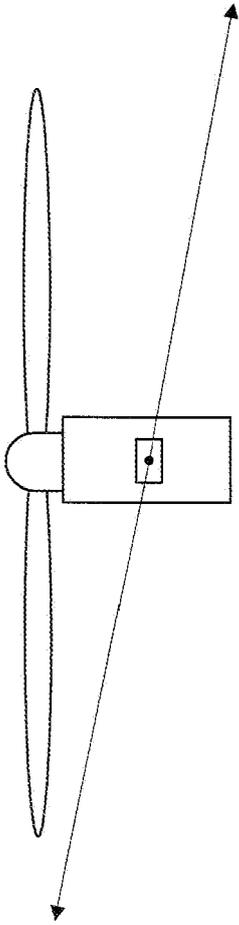


FIG 7

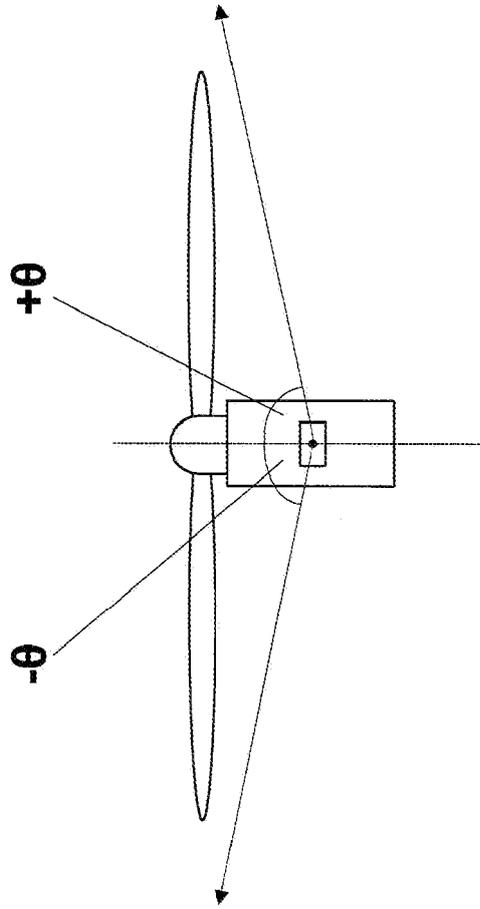


FIG 8

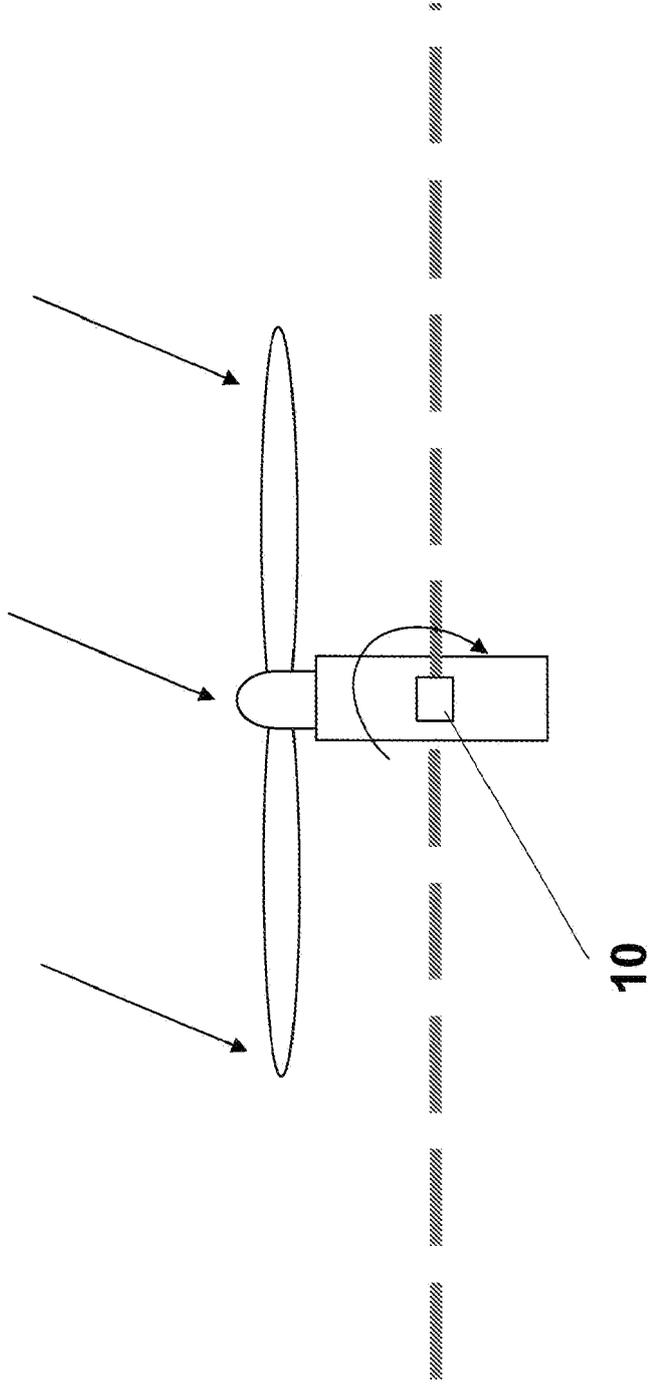


FIG 9