

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 998 562**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/02** (2006.01)  
**G01S 19/42** (2010.01)  
**F03D 17/00** (2006.01)  
**G01S 19/14** (2010.01)  
**G01S 19/43** (2010.01)  
**G01S 19/53** (2010.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.12.2020** **PCT/DK2020/050364**  
87 Fecha y número de publicación internacional: **24.06.2021** **WO21121506**  
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.12.2020** **E 20828277 (2)**  
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.11.2024** **EP 4077919**

54 Título: **Método de determinación de orientación de una góndola**

30 Prioridad:

**20.12.2019 DK PA201970824**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la  
traducción de la patente:  
**20.02.2025**

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.00%)**  
**Hedeager 42**  
**8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:

**GLAVIND, LARS y**  
**NIELSEN, JOHNNY**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

ES 2 998 562 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Método de determinación de orientación de una góndola

### Campo de la invención

La presente invención se refiere a un método de determinación de una orientación de una góndola.

### 5 Antecedentes de la invención

- La determinación de la orientación de una góndola de un aerogenerador, por ejemplo, con relación al norte verdadero (geográfico), puede ser importante por una serie de razones. En primer lugar, dado que la góndola normalmente se apunta hacia el viento, su orientación se puede usar como una indicación de la dirección del viento. Esta indicación se puede usar para analizar el rendimiento del aerogenerador. Por ejemplo, el aerogenerador puede
- 10 no estar produciendo tanta energía como se espera para una intensidad de viento dada, porque el aerogenerador está en la estela de otro aerogenerador. De este modo, si se conoce la dirección del viento, entonces se puede tener en cuenta tal bajo rendimiento. Alternativamente, la dirección del viento se puede usar para modificar la operación del aerogenerador. Por ejemplo, se puede conocer que si el viento está viniendo de una cierta dirección, entonces se espera una gran cantidad de cizalladura del viento, así que se reduce la potencia del aerogenerador.
- 15 La orientación de un aerogenerador se puede determinar manualmente - por ejemplo, colocándose a cierta distancia detrás del aerogenerador en línea con la góndola, midiendo luego la dirección aparente del aerogenerador con una brújula. Esta medición de orientación se debe corregir luego del norte magnético al norte verdadero (geográfico) antes de que se introduzca manualmente en el sistema de control del aerogenerador. Tal método es propenso a errores humanos.
- 20 Los documentos EP 2 599 993 A1, US 2018/372886 A1 y US 2017/234304 A1 describen ejemplos de uso de un sistema de posicionamiento para determinar un ángulo de guiñada/orientación de la góndola del aerogenerador.

### Compendio de la invención

- Un primer aspecto de la invención proporciona un método de determinación de una orientación de una góndola de un aerogenerador, en donde la góndola lleva un sensor del Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS), el
- 25 método que comprende: virar la góndola entre una serie de orientaciones; obtener datos de lugar geométrico en base a una serie de posiciones de calibración medidas por el sensor de GNSS, en donde cada posición de calibración se mide por el sensor de GNSS cuando la góndola está en una orientación respectiva de la serie de orientaciones; almacenar los datos de lugar geométrico; después de almacenar los datos de lugar geométrico, medir una nueva posición con el sensor de GNSS; y determinar la orientación de la góndola sobre la base de los datos de
- 30 lugar geométrico almacenados y la nueva posición.
- La determinación de la orientación de la góndola puede comprender identificar una posición en los datos de lugar geométrico que sea la más cercana a la nueva posición; e identificar una orientación de la góndola que corresponda con la posición identificada. La posición identificada en los datos de lugar geométrico puede ser una de las posiciones de calibración medidas por el sensor de GNSS, o alguna otra posición registrada por los datos de lugar geométrico. Los datos de lugar geométrico se pueden almacenar como una tabla de búsqueda que permite que la
- 35 orientación de la góndola se busque sobre la base de la posición identificada.
- El sensor de GNSS puede moverse en un círculo centrado en un eje de guiñada, y los datos de lugar geométrico pueden ser indicativos de una posición del eje de guiñada. Por ejemplo, los datos de lugar geométrico pueden comprender (o consistir en) coordenadas de posición del eje de guiñada.
- 40 Los datos de lugar geométrico almacenados pueden definir un marco de referencia, y la nueva posición se puede convertir en ese marco de referencia usado luego para determinar la orientación de la góndola por trigonometría.
- Los datos de lugar geométrico pueden comprender una recopilación de las posiciones de calibración, o una función geométrica (tal como un círculo) en base a las posiciones de calibración.
- Los datos de lugar geométrico comprenden múltiples conjuntos de datos de lugar geométrico, cada conjunto de
- 45 datos de lugar geométrico que corresponde a un nivel de empuje diferente experimentado por el aerogenerador. Por ejemplo, cada conjunto de datos de lugar geométrico puede comprender una tabla de búsqueda (o parte de una tabla de búsqueda) que contiene un conjunto de posiciones de calibración que corresponden con un nivel de empuje respectivo.
- Cada conjunto de datos de lugar geométrico que se obtiene virando la góndola entre una serie de orientaciones con
- 50 el aerogenerador experimentando uno respectivo de los diferentes niveles de empuje; y obtener el conjunto de datos de lugar geométrico sobre la base de una serie de posiciones de calibración medidas por el sensor de GNSS.

La orientación de la góndola que se determina seleccionando uno de los conjuntos de datos de lugar geométrico en base a la nueva posición, y determinar la orientación de la góndola sobre la base del seleccionado de los conjuntos de datos de lugar geométrico.

5 El método puede comprender además el paso de determinar un ángulo de corrección asociado con una posición del sensor de GNSS en la góndola, y determinar la orientación de la góndola sobre la base del ángulo de corrección.

El ángulo de corrección se puede determinar usando un acelerómetro para determinar una dirección de vibración del aerogenerador, y determinar el ángulo de corrección sobre la base de la dirección de vibración.

10 La orientación de la góndola se puede determinar sobre la base de una posición conocida del sensor en la góndola. La posición conocida del sensor en la góndola se puede obtener por medición o por diseño. Por ejemplo, el sensor puede ser conocido por diseño para ser colocado de manera central en la góndola. Alternativamente, la posición del sensor en la góndola se puede obtener por medición dirigida, o usando un acelerómetro para determinar una dirección de vibración del aerogenerador, y determinar una posición angular del sensor en la góndola sobre la base de la dirección de vibración.

15 Las posiciones de calibración y la nueva posición se pueden medir por el sensor de GNSS con relación a una constelación de satélites y un módulo base terrestre.

20 La góndola puede llevar múltiples sensores del Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS), los datos de lugar geométrico se pueden obtener en base a una serie de posiciones de calibración medidas por los sensores de GNSS, en donde cada posición de calibración se mide por los sensores de GNSS cuando la góndola está en una orientación respectiva de la serie de orientaciones; los sensores de GNSS pueden medir cada uno una nueva posición respectiva; y la orientación de la góndola se puede determinar en base a los datos de lugar geométrico almacenados y las nuevas posiciones de los sensores de GNSS.

La orientación de la góndola determinada por el método puede ser un rumbo geográfico (por ejemplo, un rumbo con relación al norte geográfico o verdadero).

25 Según un aspecto adicional de la invención, se proporciona un aerogenerador que comprende: una torre; una góndola montada de manera giratoria en la torre; un sensor del Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) llevado por la góndola; y un sistema de control configurado para: virar la góndola entre una serie de orientaciones; obtener datos de lugar geométrico en base a una serie de posiciones de calibración medidas por el sensor de GNSS, en donde cada posición de calibración se mide por el sensor de GNSS cuando la góndola está en una orientación respectiva de la serie de orientaciones; almacenar los datos de lugar geométrico; después de almacenar los datos de lugar geométrico, medir una nueva posición con el sensor de GNSS; y determinar una orientación de la góndola sobre la base de los datos de lugar geométrico almacenados y la nueva posición.

30 El sistema de control se puede configurar para determinar la orientación de la góndola mediante un método según el primer aspecto de la invención.

### Breve descripción de los dibujos

35 Ahora se describirán realizaciones de la invención con referencia a los dibujos que se acompañan, en los que:

la Figura 1 muestra un aerogenerador;

la Figura 2A muestra una vista de arriba hacia abajo de una góndola según una realización;

la Figura 2B muestra cómo se puede determinar la orientación de la góndola;

la Figura 3A muestra el desplazamiento del sensor de GNSS desde el plano central de la góndola;

40 la Figura 3B muestra cómo se puede medir un ángulo de corrección;

la Figura 3C muestra cómo se puede usar el ángulo de corrección para corregir la medición de la orientación de la góndola;

la Figura 4 muestra una vista de arriba hacia abajo de la góndola de la Figura 1 que experimenta una fuerza de empuje;

45 la Figura 5 muestra una vista de arriba hacia abajo de una góndola según una realización adicional;

la Figura 6 muestra una vista de arriba hacia abajo de una góndola según una realización adicional más; y

la Figura 7 muestra una vista de arriba hacia abajo de una góndola según una realización adicional más.

### Descripción detallada de la realización o realizaciones

La Figura 1 muestra un aerogenerador 1. El aerogenerador 1 tiene una torre 2 y una góndola 3 en la parte superior de la torre 2. Un rotor de aerogenerador 4 está conectado a la góndola 3 y dispuesto para girar con relación a la góndola 3. El rotor de aerogenerador 4 comprende un buje de aerogenerador 5 y múltiples palas de aerogenerador 6 que se extienden desde el buje 5. Si bien se muestra un rotor de aerogenerador 4 que tiene tres palas 6, se puede usar un número diferente de palas, tal como dos o cuatro.

La Figura 2A muestra la góndola 3 y las palas de aerogenerador 6 desde una perspectiva de arriba hacia abajo. La góndola 3 se puede hacer girar mediante un sistema de accionamiento de guiñada 11 de modo que vire alrededor de un eje de guiñada vertical 12 con relación a la torre 2. La góndola 3 puede girar 360° completos.

La góndola 3 lleva un sensor de GNSS 14. El sensor de GNSS 14 se puede montar en la parte superior de la góndola (por ejemplo, en la parte superior del enfriador). Alternativamente, el sensor de GNSS 14 se puede sujetar mediante un brazo que se extiende desde la góndola, o puede estar soportado por cualquier otra parte del aerogenerador que gire junto con la góndola cuando se vira la góndola.

El sensor de GNSS 14 es un sensor de posición que usa uno o más Sistemas Globales de Navegación por Satélite (tal como GPS, Galileo, GLONASS, BeiDou) para determinar su posición. A medida que vira la góndola 3, la posición del sensor de GNSS 14 cambia porque el sensor de GNSS 14 está desplazado del eje de guiñada 12. El sensor de GNSS 14 puede medir su posición con una precisión de cm. La posición se puede registrar como un conjunto de coordenadas, por ejemplo (longitud, latitud), (x, y) o (r,  $\theta$ ).

El sensor de GNSS 14 usa una constelación de satélites para determinar su posición. Opcionalmente, el sensor 14 puede mejorar la precisión de su medición de posición usando un módulo base terrestre de Cinemático en Tiempo Real (RTK). Este módulo de RTK se puede compartir entre una serie de aerogeneradores en un parque eólico.

Un sistema de control 10 del aerogenerador se indica con 10 en la Figura 1. En este caso, el sistema de control 10 se sitúa al pie de la torre, pero puede estar en cualquier otra ubicación (tal como en la góndola) o se puede distribuir a lo largo de diferentes partes del aerogenerador. El sistema de control 10 está conectado al sistema de accionamiento de guiñada 11 y al sensor de GNSS 14. El sistema de control 10 está configurado para determinar una orientación de una góndola de un aerogenerador mediante los métodos descritos a continuación.

El sistema de control 10 dirige el sistema de accionamiento de guiñada 11 para virar la góndola 3 entre una serie de orientaciones o ángulos de guiñada, y se hace una medición de la posición de calibración para cada orientación. Esto se puede hacer en una rutina de calibración separada antes de que el aerogenerador comience a operar y a generar energía. Por ejemplo, antes de que un aerogenerador comience su operación, es común realizar una comprobación de torsión de cable en la que la góndola se vira una serie de revoluciones, torciendo los cables, hasta que se desencadena un mecanismo de seguridad, y luego la góndola se vira de vuelta, desenrollando los cables. El propósito principal de la comprobación de torsión de cable es comprobar el mecanismo de seguridad, pero opcionalmente se pueden hacer mediciones de la posición de calibración durante tal comprobación de torsión de cable. Esto puede proporcionar un gran conjunto de mediciones de la posición de calibración, por ejemplo, a partir de cinco revoluciones en una dirección y cinco en la dirección opuesta. Alternativamente, las mediciones de la posición de calibración se pueden hacer durante una fase inicial de la vida útil del aerogenerador - por ejemplo, durante su primer año, cuando se puede esperar que apunte en muchas direcciones. En este caso, puede que no estén disponibles mediciones de la posición de calibración para todas las direcciones, pero deberían ser posibles mediciones suficientes.

La serie de orientaciones asociadas con las mediciones de la posición de calibración puede tener una distribución aproximadamente igual a lo largo de una rotación completa de 360°. En cada orientación la góndola 3 mira hacia una dirección diferente. En el momento ilustrado en la Figura 2A, la góndola 3 está en una orientación en la que está mirando al norte verdadero (es decir, el norte geográfico). Para cada orientación, el sensor de GNSS 14 está en una posición diferente. En cada orientación, el sensor de GNSS 14 mide una posición de calibración respectiva.

Los datos de lugar geométrico se obtienen y almacenan por el sistema de control 10 en base a la serie de posiciones de calibración (que corresponden a la serie de orientaciones). Por ejemplo, los datos de lugar geométrico pueden comprender una recopilación de las mediciones de la posición de calibración. De este modo, en el caso de la Figura 2A, la medición de la posición de calibración con la góndola apuntando al norte puede ser (0, -1) si la posición del sensor de GNSS 14 se registra en coordenadas cartesianas (x, y). Los datos de lugar geométrico son indicativos de un lugar geométrico (en este caso, un círculo 16) recorrido por el sensor de GNSS 14 a medida que vira entre la serie de orientaciones.

Más que almacenar los datos de lugar geométrico como una recopilación de mediciones de la posición de calibración sin procesar, las mediciones de la posición de calibración se pueden procesar de modo que los datos de lugar geométrico se almacenen de alguna otra forma - por ejemplo, como una función geométrica o simplemente como las coordenadas del centro del círculo 16 (que también es la posición del eje de guiñada 12).

Después de que los datos de lugar geométrico se hayan almacenado como se explicó anteriormente, los datos de lugar geométrico almacenados se pueden usar para determinar la orientación de la góndola del aerogenerador. De este modo, se puede medir una nueva posición (x1, y1) con el sensor de GNSS 14; y la orientación de la góndola

determinada sobre la base de los datos de lugar geométrico almacenados y la nueva posición. Por ejemplo, si la nueva posición ( $x_1$ ,  $y_1$ ) es (0,707, -0,707), entonces los datos de lugar geométrico pueden indicar que la orientación de la góndola es noroeste. Se espera una precisión de 1 grado.

La Figura 2B ilustra con más detalle cómo se puede determinar la orientación de la góndola. La posición 14a indica la posición del sensor de GNSS 14 cuando la góndola está apuntando al norte (que corresponde con la Figura 2A). Dado que el sensor de GNSS 14 está montado de manera central en la góndola, esta posición 14a está al sur del eje de guiñada 12. De este modo, una línea 15 desde la posición 14a hasta el eje de guiñada 12 discurre en una dirección norte-sur.

La góndola ha virado en el sentido contrario a las agujas del reloj 45°, por lo que ahora está apuntando al noroeste y el sensor de GNSS 14 se ha movido a la nueva posición ( $x_1$ ,  $y_1$ ) mostrada en la Figura 2B. Una línea 17 desde la nueva posición ( $x_1$ ,  $y_1$ ) hasta el eje de guiñada 12 discurre en un ángulo de 45° con respecto a la dirección norte-sur 15. De este modo, construyendo la línea 17 y midiendo el ángulo con respecto a la dirección norte-sur 15, se puede obtener la orientación de la góndola.

La posición del sensor de GNSS 14 cuando la góndola está apuntando al norte se puede obtener de una serie de formas.

Preferiblemente, la orientación de la góndola se determina sobre la base de una posición conocida del sensor en la góndola. La posición conocida del sensor en la góndola se puede obtener por medición o por diseño, como se describe en los diversos ejemplos a continuación.

En un primer ejemplo, si se conoce por diseño que el sensor de GNSS 14 está montado con precisión de manera central (sobre el plano central 7 de la góndola), entonces se puede suponer que está al sur del eje de guiñada 12 cuando la góndola está apuntando al norte.

Puede que no sea posible montar el sensor de GNSS 14 de manera central en la góndola, porque otros equipos se deben colocar en esta ubicación central. Por lo tanto, en otros ejemplos, el sensor de GNSS 14 no está montado en el plano central 7, pero su posición en la góndola sigue siendo conocida. De este modo, la posición del sensor de GNSS 14 cuando la góndola está apuntando al norte se puede obtener sobre la base de su posición conocida en la góndola.

Por ejemplo, un operador podría medir manualmente la distancia  $d_1$  desde el eje de guiñada 12 hasta el sensor de GNSS y la distancia  $d_2$  desde el sensor de GNSS hasta el plano central 7 de la góndola, y escribir las distancias  $d_1$ ,  $d_2$  en el controlador. La posición angular del sensor en la góndola (es decir, el ángulo  $d_1d_3$ ) entonces se puede obtener por trigonometría a partir de las distancias  $d_1$  y  $d_2$ . Alternativamente, las distancias  $d_1$ ,  $d_2$  se pueden conocer por diseño. Alternativamente, puede haber dos o más posiciones posibles, y se conocen las distancias  $d_1$ ,  $d_2$  para cada posición. En este caso, simplemente es necesario escribir en el controlador cuál de las posibles posiciones está ocupando el sensor. Alternativamente, la distancia  $d_2$  se puede conocer (por medición o diseño), pero la distancia  $d_1$  puede no ser conocida. En este caso, la distancia  $d_3$  desde el sensor 14 hasta el eje de guiñada 12 se puede determinar analizando las mediciones de la posición de calibración para obtener el radio del círculo 16 (que es la distancia  $d_3$ ). La posición angular del sensor (ángulo  $d_1d_3$ ) entonces se puede obtener por trigonometría a partir de las distancias  $d_2$  y  $d_3$ .

En todos los ejemplos descritos anteriormente no es necesario hacer una medición de calibración de la orientación de la góndola, porque el sensor de GNSS 14 puede determinar la dirección norte-sur usando los satélites. En otras palabras, el sistema GNSS conoce inherentemente la dirección norte-sur.

Si no se conoce la posición del sensor de GNSS 14 con relación a la góndola, entonces puede ser necesario hacer una o más mediciones de calibración de la orientación de la góndola. Por ejemplo, la góndola se puede virar hasta que esté apuntando al norte, y medir la posición ( $x$ ,  $y$ ) del sensor. Alternativamente, la orientación de la góndola se puede medir con una brújula, y asociar esa medición de orientación con una medición de posición ( $x$ ,  $y$ ) particular del sensor de GNSS 14. Entonces, se puede obtener la línea 15. Por ejemplo, con referencia a la Figura 2B, si la góndola está apuntando al oeste, entonces el sensor de GNSS estará en una posición 14b. Se mide la orientación de la góndola (en este caso 90°) junto con la posición del sensor (en este caso, (1, 0)). La dirección de la línea 15 se puede obtener ahora moviéndose 90° alrededor del círculo. Este tipo de proceso de calibración no es el preferido, porque es propenso a errores humanos.

En los ejemplos anteriores, la orientación de la góndola se obtiene mediante cálculo, en base a la nueva posición ( $x_1$ ,  $y_1$ ); las coordenadas ( $x$ ,  $y$ ) del eje de guiñada 12; y la dirección de la línea 15. En este caso, los datos de lugar geométrico pueden consistir solamente en las coordenadas del eje de guiñada 12 en el centro del círculo - sin que se requiera ninguna otra información si el sensor de GNSS 14 está montado con precisión de manera central en la góndola. Alternativamente, los datos de lugar geométrico almacenados también pueden incluir una medición de calibración de la orientación de la góndola, como se describió anteriormente y/o la posición del sensor en la góndola (por ejemplo, la distancia  $d_2$ , las distancias  $d_1$  y  $d_2$ , el ángulo  $d_1d_3$  o cualquier otro dato que se pueda usar para inferir la posición del sensor de GNSS 14 cuando la góndola está apuntando al norte).

En otro ejemplo, los datos de lugar geométrico almacenados pueden definir simplemente el origen y la orientación de un marco de referencia basado en la posición conocida del eje de guiñada 12 y la posición del sensor de GNSS 14 cuando la góndola está apuntando al norte. En otras palabras, el marco de referencia se puede definir de modo que el eje de guiñada 12 esté en las coordenadas (0, 0), y la posición del sensor de GNSS 14 cuando la góndola está apuntando al norte esté en las coordenadas (-1, 0). De este modo, la orientación de la góndola se puede determinar simplemente por trigonometría en base a las coordenadas (x1, y1) del sensor de GNSS 14 en la nueva posición. Por ejemplo, si la nueva posición es (x1, y1), entonces la orientación de la góndola se puede obtener por trigonometría como  $\tan^{-1}(x1/y1)$ .

Los ejemplos anteriores se basan en la suposición de que el lugar geográfico del sensor de GNSS 14 durante la rutina de calibración es un círculo 16 centrado en el eje de guiñada 12. En otro ejemplo, los datos de lugar geométrico pueden comprender una tabla de búsqueda con una serie de mediciones de la posición de calibración (en cualquier marco de referencia) y una orientación de la góndola asociada con cada medición de la posición de calibración. Este método no se basa en la suposición de que el lugar geográfico del sensor de GNSS 14 durante la rutina de calibración es un círculo 16 centrado en el eje de guiñada 12.

Un ejemplo básico de tal tabla de búsqueda se muestra en la Tabla 1 a continuación:

Tabla 1

Medición de la posición de calibración	Orientación de la góndola
(0, -1)	Norte
(0, 1)	Sur
(-1, 0)	Este
(1, 0)	Oeste

En este caso, más que determinar la orientación de la góndola mediante cálculo, se determina identificando una posición en los datos de lugar geométrico que sea la más cercana a la nueva posición; y usando la tabla de búsqueda para recuperar una orientación de la góndola que corresponde con la posición identificada.

El sensor 14 se puede montar en cualquier ubicación, siempre que gire junto con la góndola. En el ejemplo de la Figura 2A, el sensor 14 está montado en un plano central 7 de la góndola, y separado del eje de guiñada 12 una distancia d1. Si el sensor 14 se mueve desde la posición que ocupaba en la góndola durante la rutina de calibración, entonces su posición ya no se puede usar para medir la orientación de la góndola.

La Figura 3A ilustra este problema. En este caso, el sensor de GNSS 14 se ha movido del plano central 7 de la góndola una distancia d2. La góndola está apuntando al norte, pero el sensor de GNSS 14 está ahora en una posición en el círculo 16 que sugeriría que la góndola 3 ha virado hacia el oeste.

Este problema hace deseable comprobar la posición del sensor de GNSS 14 en la góndola 3 con el fin de asegurar de que no se ha movido desde que se han obtenido los datos de lugar geométrico en la rutina de calibración.

La Figura 3B muestra cómo se puede resolver este problema. La góndola 3 lleva un acelerómetro 8 que detecta vibraciones de la góndola 3, que tienen lugar de manera más prominente en la dirección longitudinal de la góndola 3, es decir, en la dirección a la que está mirando la góndola. Por ejemplo, si la góndola 3 está mirando al norte, entonces la góndola 3 vibrará en una dirección norte-sur.

El acelerómetro 8 puede ser un acelerómetro de dos ejes, de modo que pueda detectar tanto la amplitud como la dirección de la vibración. El acelerómetro 8 se puede llevar por la góndola, o se puede llevar por cualquier otra parte del aerogenerador que vibre en línea con la góndola. El acelerómetro 8 también puede estar integrado en el sensor de GNSS 14, de modo que estén esencialmente en la misma posición.

Si el sensor de GNSS 14 está situado en el plano central 7, entonces la dirección de vibración será radial - en otras palabras, la vibración será hacia y lejos del eje de guiñada 12 en el centro del círculo 16, como se indica por la flecha 38, en línea con un radio del círculo. Si el sensor 14 no está situado en el plano central 7 de la góndola (o bien porque se ha movido del plano central 7, o bien siempre ha estado desplazado del plano central 7 una distancia d2), entonces la dirección de vibración no será radial. Esto se indica mediante la flecha norte-sur 34 que no apunta hacia el eje de guiñada 12. De este modo, detectando si la dirección de vibración es radial, es posible inferir la posición del sensor de GNSS 14 y, en particular, determinar el ángulo d1d3. Por lo tanto, este ángulo d1d3 se puede determinar detectando el ángulo entre la dirección de vibración y la dirección radial.

Si el sensor está en esta posición durante las mediciones de la posición de calibración, entonces el ángulo d1d3 obtenido como se describió anteriormente a través del acelerómetro 8 se puede almacenar como parte de los datos

de lugar geométrico y usar para determinar la orientación de la góndola. Si el sensor está en el plano central 7 durante las mediciones de la posición de calibración y, posteriormente, se mueve una distancia  $d_2$ , entonces la posición angular (ángulo  $d_1d_3$ ) obtenida como se describió anteriormente a través del acelerómetro 8 se puede usar para aplicar una corrección a la medición de la orientación de la góndola como se describe a continuación.

- 5 Específicamente, se puede determinar entonces un ángulo de corrección  $\delta$  entre la dirección de vibración 34 y la dirección radial, y usar para aplicar una corrección a la medición de la orientación de la góndola. El proceso de corrección se ilustra en la Figura 3C. La Figura 3C corresponde con la Figura 2B excepto que el sensor de GNSS 14 se ha movido una distancia  $d_2$ . Se mide la dirección 39 de la vibración, se mide el ángulo de corrección  $\delta$  entre las líneas 17a y 39; se mide un ángulo  $\theta$  entre las líneas 17a y 15; y luego se obtiene la medición de la orientación de la góndola corregida como  $\theta - \delta$ .

Pasando ahora a la Figura 4, se pueden obtener datos de lugar geométrico indicativos de más de un lugar geométrico 16, 18. Por lo tanto, para una orientación dada, el sensor de GNSS 14 puede medir una posición diferente dependiendo del empuje experimentado por la góndola 3.

- 15 En un primer escenario en el que se experimenta por la góndola 3 un empuje despreciable, el sensor de GNSS 14 puede obtener un primer conjunto de datos de lugar geométrico midiendo una primera serie de posiciones de calibración. El primer conjunto de datos de lugar geométrico es indicativo de un primer lugar geométrico 16.

- 20 En un segundo escenario en el que se experimenta por la góndola 3 un empuje 20, el sensor de GNSS 14 obtiene un segundo conjunto de datos de lugar geométrico midiendo un segundo conjunto de posiciones de calibración. El segundo conjunto de datos de lugar geométrico es indicativo de un segundo lugar geométrico 18. En cada posición en el lugar geométrico 18, la magnitud del empuje es la misma pero la dirección del empuje es diferente. Los lugares geométricos 16, 18 pueden ser círculos concéntricos, centrados en el eje de guiñada 12.

- 25 Como se puede ver, el primer y segundo lugares geométricos 16, 18 son círculos ambos, y el segundo lugar geométrico 18 tiene un radio mayor que el primer lugar geométrico 16. Esto se debe a que cuando la góndola 3 experimenta un empuje 20, la torre 2 que lleva la góndola 3 se dobla. Esto hace que la góndola y el sensor de GNSS 14 se muevan. Dependiendo de desde qué dirección esté viniendo el empuje 20 y hacia dónde esté mirando la góndola 3, la torre 2 se doblará en una dirección diferente.

- 30 Luego, se puede medir una nueva posición con el sensor de GNSS 14; y determinar la orientación de la góndola sobre la base de los datos de lugar geométrico almacenados para los dos círculos 16, 18. Esto se puede hacer de una serie de formas diferentes. Por ejemplo, si la nueva posición cae en uno de los círculos 16, 18, entonces los datos de lugar geométrico para ese círculo se pueden usar para determinar la orientación de la góndola; y si la nueva posición no cae en uno de los círculos 16, 18, entonces se puede elegir el círculo más cercano. Por ejemplo, para las nuevas posiciones  $(x_1, y_1)$  y  $(x_2, y_2)$ , la posición de calibración más cercana elegida en la tabla de búsqueda puede estar en el círculo 18 más grande (empuje alto), y para la posición  $(x_3, y_3)$ , la posición de calibración más cercana elegida en la tabla de búsqueda puede estar en el círculo 16 más pequeño (empuje bajo).

- 35 El círculo 18 más grande se puede medir a lo largo del tiempo haciendo mediciones de calibración durante momentos de alta velocidad del viento y actualizando regularmente el círculo hasta que se haya medido el círculo del radio más alto. El empuje pico de un aerogenerador típico puede ser a una velocidad del viento bastante baja (por ejemplo, 9 m/s), por lo que el círculo más grande posible debería ser posible de medir con bastante rapidez.

- 40 En este ejemplo, solamente se miden dos círculos: un círculo 16 asociado con un empuje bajo (o cero) y un círculo 18 asociado con el empuje máximo. Alternativamente, se pueden medir uno o más círculos adicionales: por ejemplo, un tercer círculo entre los círculos 16, 18 y asociado con un empuje medio. Si se mide un número más alto de círculos, entonces es más probable que la nueva posición caiga en (o cerca de) uno de ellos, por lo que la estimación de la orientación de la góndola a partir de la tabla o tablas de búsqueda puede ser más precisa.

- 45 La Figura 5 ilustra una realización con dos sensores de GNSS 114, 214 llevados por la góndola 3 y separados en una dirección de proa-popa. En esta realización, se obtienen datos de lugar geométrico, los datos de lugar geométrico que se basan en una serie respectiva de posiciones de calibración medidas por cada sensor de GNSS 114, 214. Los datos de lugar geométrico pueden comprender dos tablas de búsqueda. Cada tabla de búsqueda corresponde a la serie de posiciones de calibración medidas por uno de los sensores de GNSS 114, 214 en un lugar geométrico 16a, 16b respectivo. Los sensores de GNSS 114, 214 se sitúan en diferentes lugares geométricos 16a, 16b porque están a diferentes distancias del eje de guiñada 12.

Después de almacenar los datos de lugar geométrico, se mide una nueva posición de cada sensor de GNSS 114, 214. Estas nuevas posiciones se comparan con los datos de lugar geométrico almacenados para determinar la orientación de la góndola 3. Más específicamente, cada nueva posición se puede introducir en la tabla de búsqueda que corresponde al sensor de GNSS 114, 214 que obtuvo la nueva posición.

- 55 La Figura 6 ilustra una realización con dos sensores de GNSS 314, 414 llevados por la góndola 3 y separados en una dirección de lado a lado. En esta realización, ambos sensores de GNSS 314, 414 miden la misma serie de posiciones de calibración porque se sitúan en el mismo lugar geométrico uno que otro. Esto se debe a que ambos

sensores de GNSS 314, 414 están equidistantes del eje de guiñada 12. Los datos de lugar geométrico obtenidos son, por lo tanto, típicamente indicativos de un lugar geométrico 16 que comprende un único círculo, sobre el cual se sitúan ambos sensores de GNSS 314, 414.

5 Como se trató con respecto a realizaciones anteriores, los datos de lugar geométrico se almacenan y, después de almacenar los datos de lugar geométrico, se mide una nueva posición de cada sensor de GNSS 314, 414. La orientación de la góndola 3 se determina sobre la base de los datos de lugar geométrico almacenados y las nuevas posiciones medidas.

El uso de múltiples sensores de GNSS proporciona la ventaja de proporcionar una indicación más precisa y fiable de la orientación de la góndola.

10 Pasando ahora a la Figura 7, se muestra un aerogenerador con dos conjuntos de rotor-góndola (RNA). Cada RNA comprende una góndola 3A, 3B respectiva que lleva un sensor de GNSS 514, 614 respectivo. Los RNA giran alrededor de un eje de guiñada común 112. Ambos sensores de GNSS 514, 614 son equidistantes del eje de guiñada 112, por lo que siguen el mismo lugar geométrico 116 cuando se viran los RNA.

15 Como se describió anteriormente, los datos de lugar geométrico se obtienen en base a una serie de posiciones de calibración medidas por cada sensor de GNSS 514, 614. También es posible, en el caso en el que los sensores de GNSS 514, 614 se sitúen en el mismo lugar 116, que solo uno de los sensores de GNSS 514, 614 mida la serie de posiciones de calibración, y que el otro sensor no mida estas posiciones, para evitar redundancia. Los datos de lugar geométrico se almacenan.

20 Como se trató antes, después de almacenar los datos de lugar geométrico, se mide una nueva posición de cada sensor de GNSS 514, 614. Luego, la orientación de la góndola 3 se determina sobre la base de los datos de lugar geométrico almacenados y las nuevas posiciones medidas.

Aunque la invención se ha descrito anteriormente con referencia a una o más realizaciones preferidas, se apreciará que se pueden hacer diversos cambios o modificaciones sin apartarse del alcance de la invención como se define en las reivindicaciones adjuntas.

25



## REIVINDICACIONES

1. Un método de determinación de una orientación de una góndola (3) de un aerogenerador (1), en donde la góndola lleva un sensor del Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) (14), el método que comprende:  
virar la góndola entre una serie de orientaciones;
- 5 obtener datos de lugar geométrico (16, 18) en base a una serie de posiciones de calibración medidas por el sensor de GNSS, en donde cada posición de calibración se mide por el sensor de GNSS cuando la góndola está en una orientación respectiva de la serie de orientaciones;  
almacenar los datos de lugar geométrico;  
después de almacenar los datos de lugar geométrico, medir una nueva posición (x1, y1) con el sensor de GNSS; y
- 10 determinar la orientación de la góndola sobre la base de los datos de lugar geométrico almacenados y la nueva posición; caracterizado por que  
los datos de lugar geométrico comprenden múltiples conjuntos de datos de lugar geométrico (16, 18), cada conjunto de datos de lugar geométrico que corresponde a un nivel de empuje (20) diferente experimentado por el aerogenerador, y en donde cada conjunto de datos de lugar geométrico se obtiene virando la góndola entre una  
15 serie de orientaciones con el aerogenerador experimentando uno respectivo de los niveles de empuje diferentes;  
en donde la orientación de la góndola se determina seleccionando uno de los conjuntos de datos de lugar geométrico en base a la nueva posición, y determinando la orientación de la góndola sobre la base del seleccionado de los conjuntos de datos de lugar geométrico.
- 20 2. El método de la reivindicación 1, en donde determinar la orientación de la góndola comprende identificar una posición en los datos de lugar geométrico que sea la más cercana a la nueva posición; e identificar una orientación de la góndola que corresponda con la posición identificada.
3. El método de cualquier reivindicación anterior, en donde la orientación de la góndola se determina midiendo un empuje (20) experimentado por el aerogenerador durante la medición de la nueva posición, y determinar la orientación de la góndola sobre la base del empuje medido.
- 25 4. El método de cualquier reivindicación anterior, que comprende además el paso de determinación de un ángulo de corrección ( $\delta$ ) asociado con una posición del sensor de GNSS en la góndola, y determinar la orientación de la góndola sobre la base del ángulo de corrección.
5. El método de la reivindicación 4, en donde el ángulo de corrección se determina usando un acelerómetro (8) para determinar una dirección de vibración del aerogenerador, y determinar el ángulo de corrección sobre la base de la  
30 dirección de vibración.
6. El método de cualquier reivindicación anterior, en donde las posiciones de calibración y la nueva posición se miden por el sensor de GNSS con relación a una constelación de satélites y un módulo base terrestre.
7. El método de cualquier reivindicación anterior, en donde:  
la góndola lleva múltiples sensores del Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) (114, 214, 314, 414),
- 35 los datos de lugar geométrico se obtienen en base a una serie de posiciones de calibración medidas por los sensores de GNSS, en donde cada posición de calibración se mide por los sensores de GNSS cuando la góndola está en una orientación respectiva de la serie de orientaciones;  
los sensores de GNSS miden cada uno una nueva posición respectiva; y
- la orientación de la góndola se determina en base a los datos de lugar geométrico almacenados y las nuevas  
40 posiciones de los sensores de GNSS.
8. El método de cualquier reivindicación anterior, en donde la orientación de la góndola determinada por el método es un rumbo geográfico.
9. El método de cualquier reivindicación anterior, en donde los datos de lugar geométrico comprenden una recopilación de las posiciones de calibración, o una función geométrica basada en las posiciones de calibración.
- 45 10. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la orientación de la góndola se determina sobre la base de una posición conocida del sensor en la góndola.
11. El método según la reivindicación 10, en donde la posición conocida del sensor en la góndola se obtiene por medición o por diseño.

12. El método según la reivindicación 11, en donde la posición del sensor en la góndola se obtiene usando un acelerómetro para determinar una dirección de vibración del aerogenerador, y determinar una posición angular del sensor en la góndola sobre la base de la dirección de vibración.

13. Un aerogenerador (1) que comprende:

5 una torre (2);

una góndola (3) montada de manera giratoria en la torre;

un sensor del Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) (14) transportado por la góndola; y

un sistema de control (10) configurado para:

virar la góndola entre una serie de orientaciones;

10 obtener datos de lugar geométrico (16, 18) en base a una serie de posiciones de calibración medidas por el sensor de GNSS, en donde cada posición de calibración se mide por el sensor de GNSS cuando la góndola está en una orientación respectiva de la serie de orientaciones;

almacenar los datos de lugar geométrico;

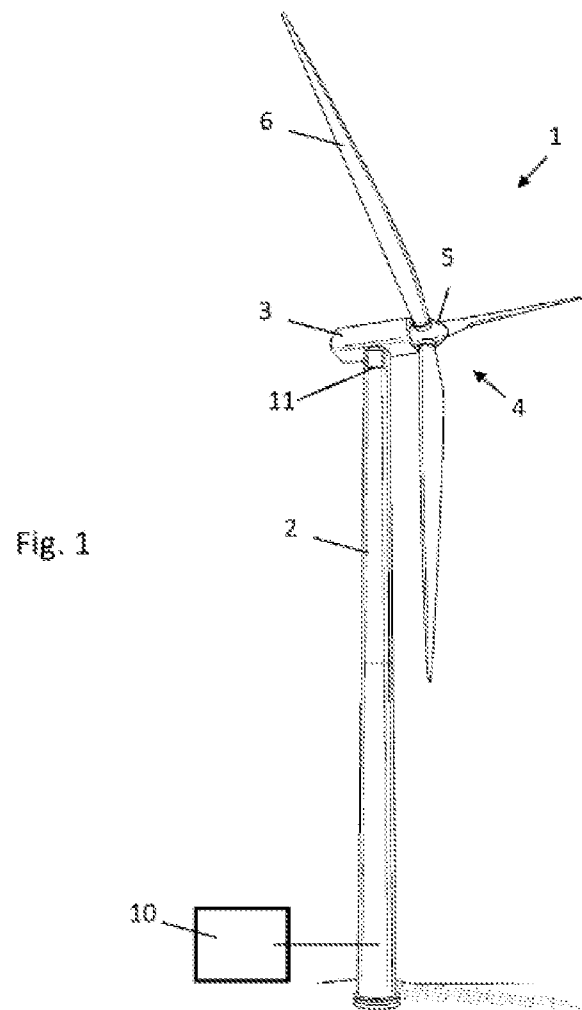
después de almacenar los datos de lugar geométrico, medir una nueva posición (x1, y1) con el sensor de GNSS; y

15 determinar una orientación de la góndola sobre la base de los datos de lugar geométrico almacenados y la nueva posición; caracterizado por que los

datos de lugar geométrico comprenden múltiples conjuntos de datos de lugar geométrico (16, 18), cada conjunto de datos de lugar geométrico que corresponde a un nivel de empuje (20) diferente experimentado por el aerogenerador, y en donde cada conjunto de datos de lugar geométrico se obtiene virando la góndola entre una serie de orientaciones con el aerogenerador experimentando uno respectivo de los niveles de empuje diferentes;

20 en donde la orientación de la góndola se determina seleccionando uno de los conjuntos de datos de lugar geométrico en base a la nueva posición, y determinar la orientación de la góndola sobre la base del seleccionado de los conjuntos de datos de lugar geométrico.

25 14. Un aerogenerador según la reivindicación 13, en donde el sistema de control está configurado para determinar la orientación de la góndola mediante un método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12.



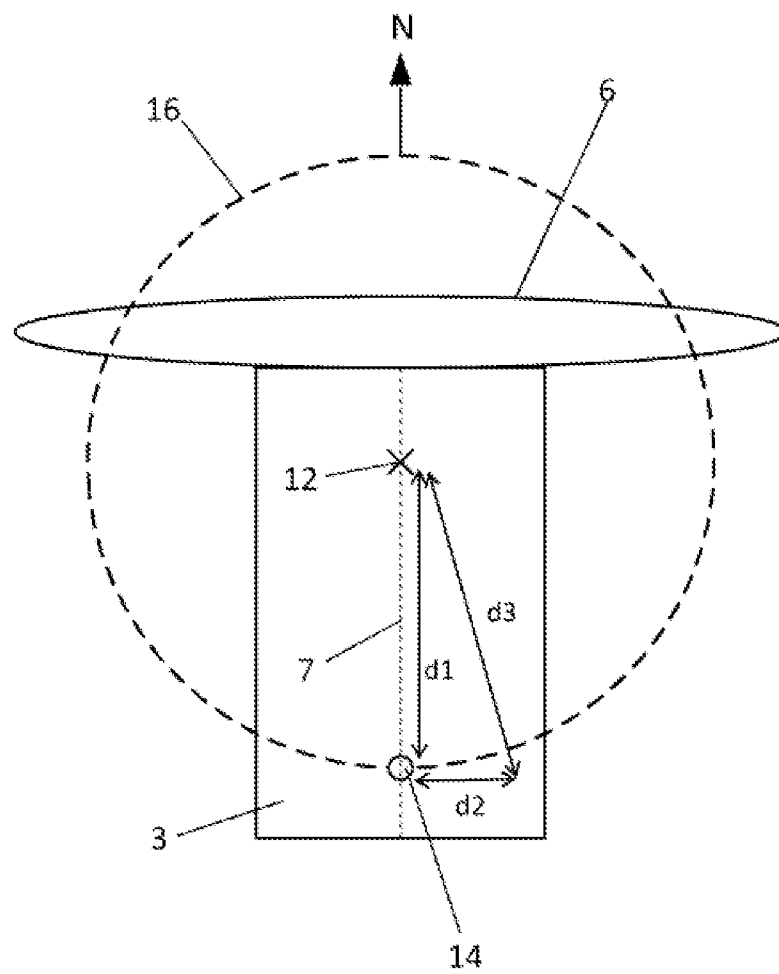


Fig. 2A

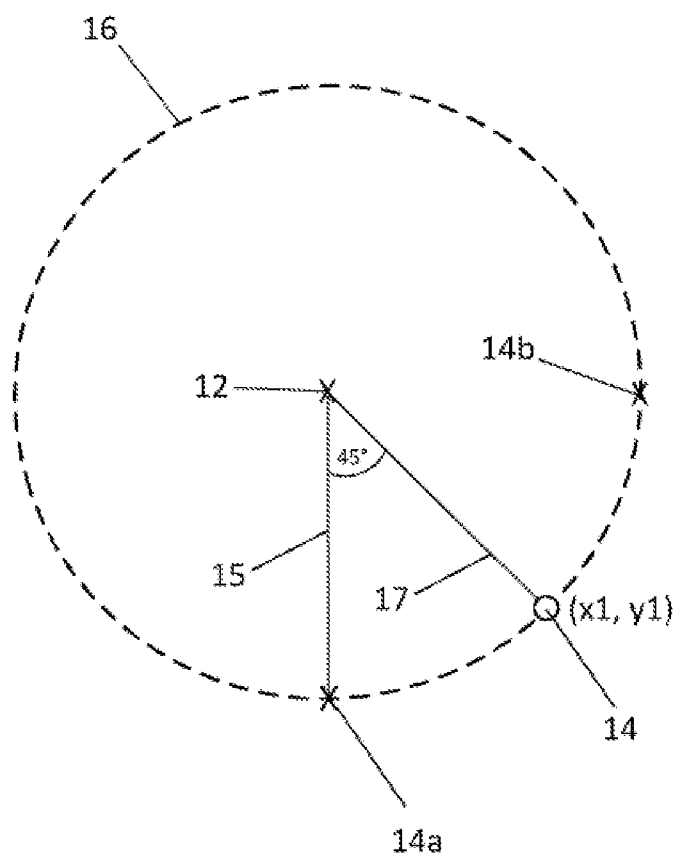
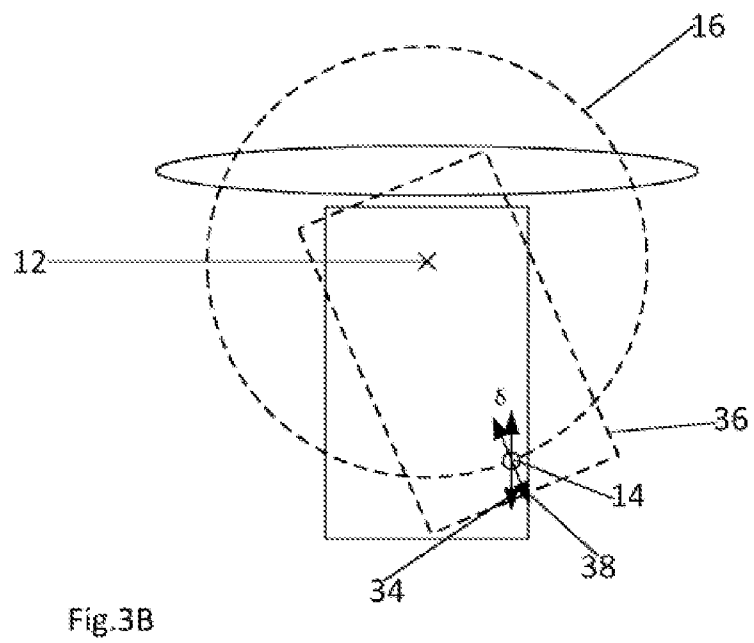
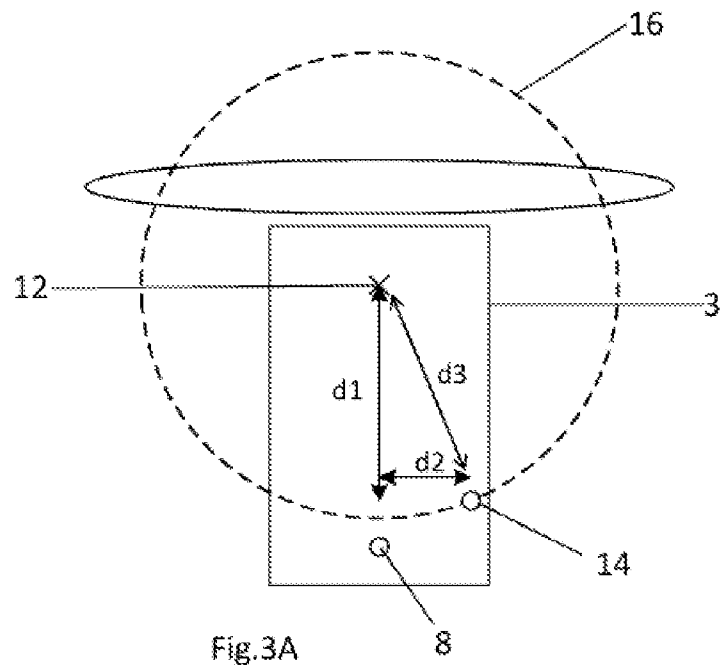


Fig. 2B



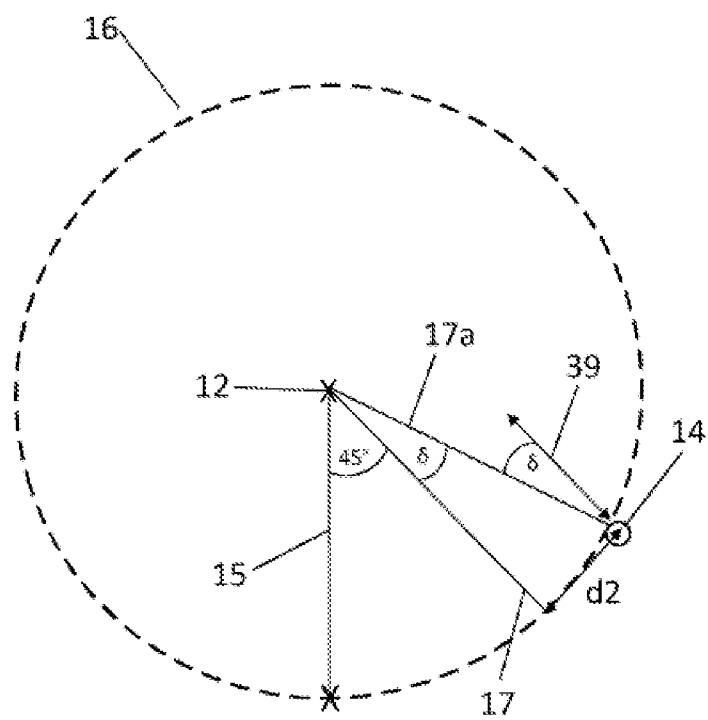


Fig. 3C

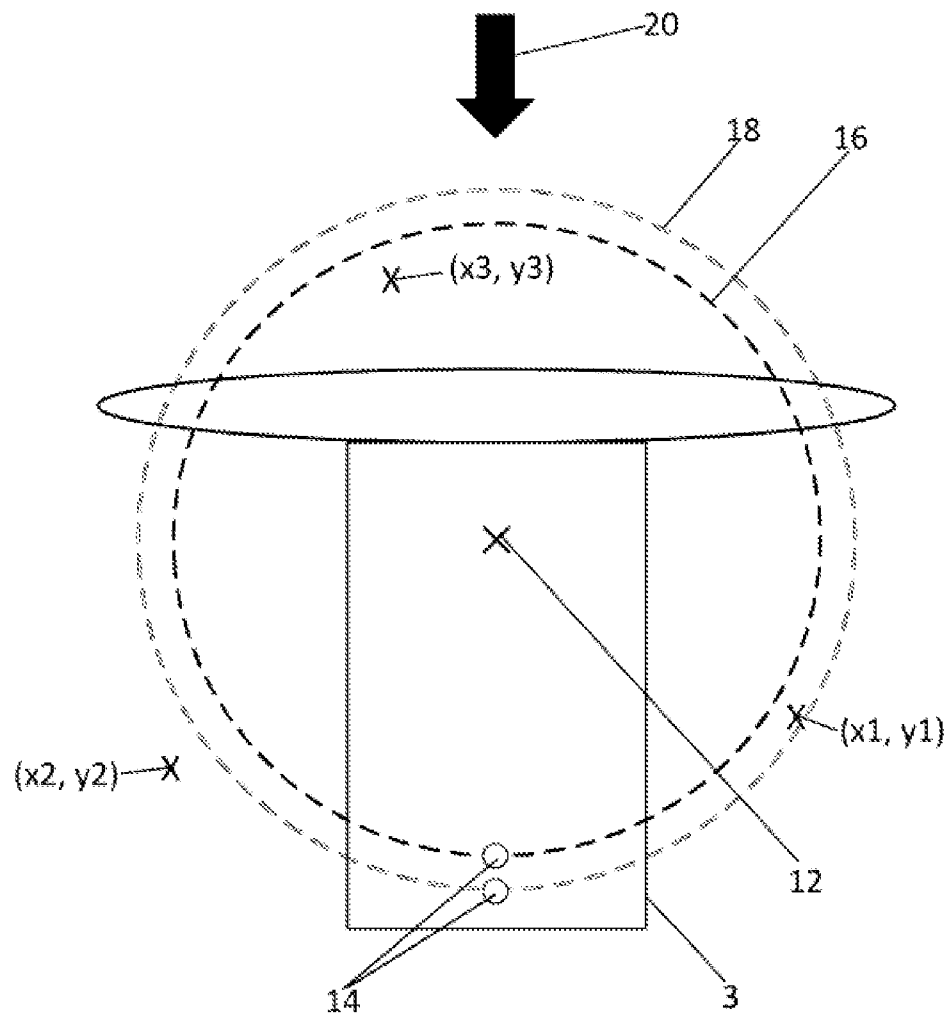


Fig.4



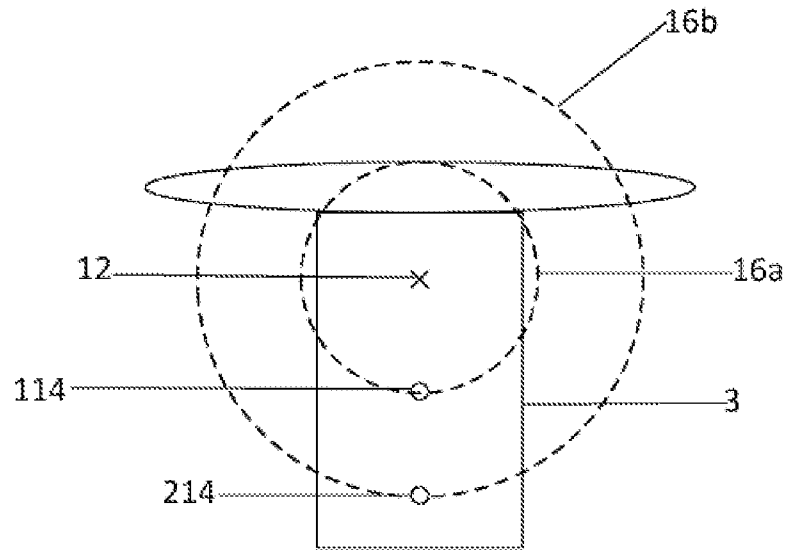


Fig. 5

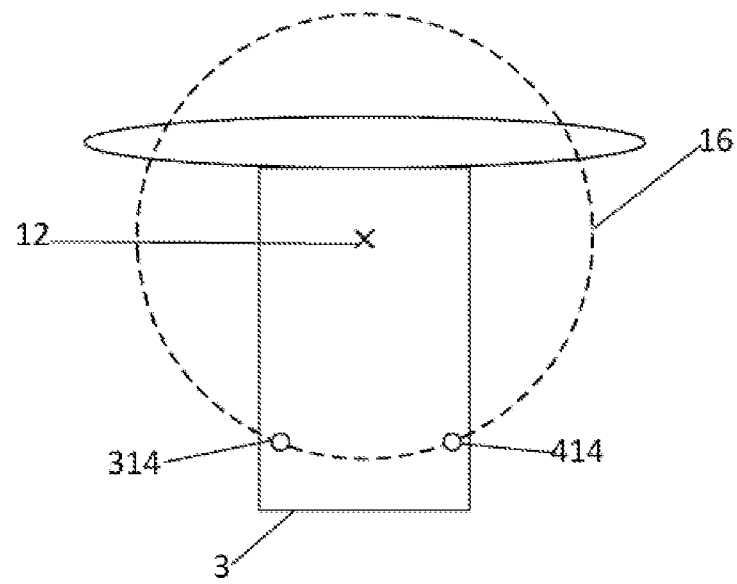


Fig. 6

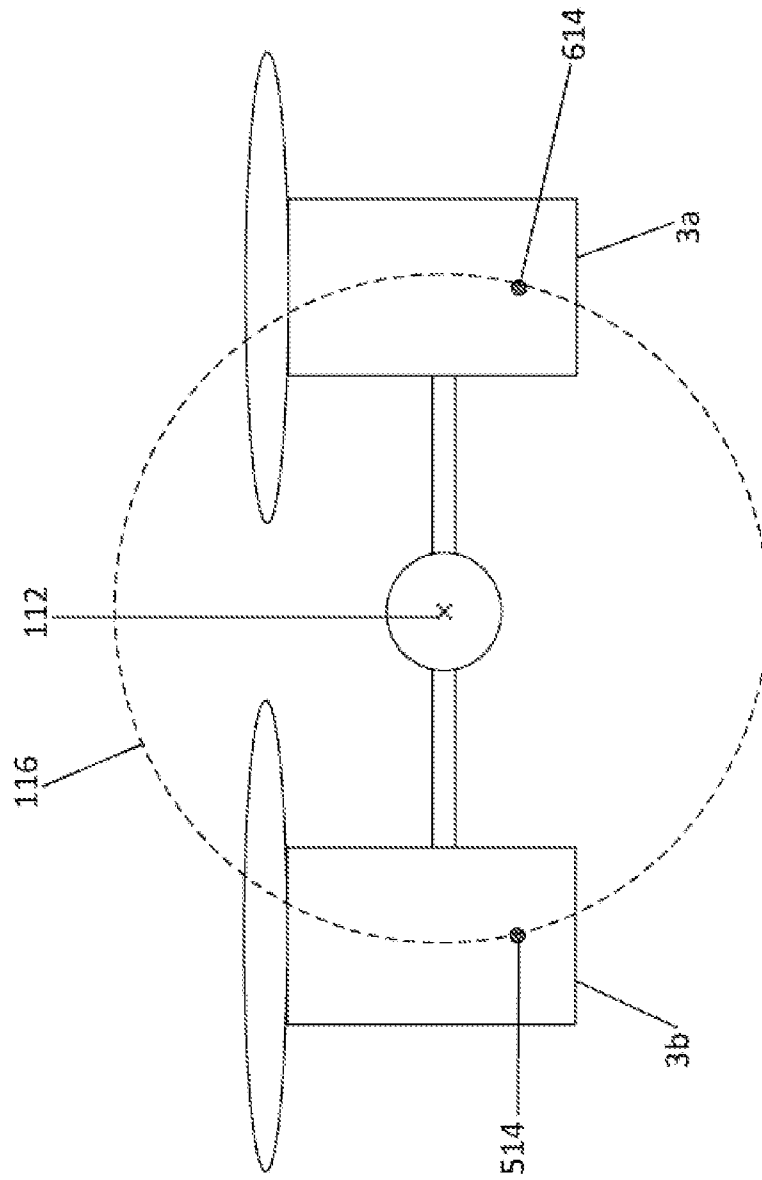


Fig.7