

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 612 208**

51 Int. Cl.:

F03D 17/00 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.01.2014** **E 14000207 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.10.2016** **EP 2896827**

54 Título: **Sistema de medición del ángulo de paso para turbina eólica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
12.05.2017

73 Titular/es:

SSB WIND SYSTEMS GMBH & CO. KG (100.0%)
Neuenkirchener Strasse 13
48499 Salzbergen, DE

72 Inventor/es:

BERTOLOTTI, FABIO y
BOTT, CHRISTIAN

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 612 208 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

Sistema de medición del ángulo de paso para turbina eólica

5 La presente invención se refiere a una turbina eólica y a un sistema de medición para determinar al menos un ángulo de paso de pala de una pala con respecto a un buje de una turbina eólica. La invención se refiere también a un procedimiento de determinación de un ángulo de paso de al menos una pala de una turbina eólica.

10 Las turbinas eólicas extraen potencia del viento para generar potencia eléctrica. La potencia aerodinámica del viento se modifica utilizando una o más palas con potencia rotatoria que acciona un generador. Para potenciar al máximo la potencia extraída durante un año de operación entero en un determinado emplazamiento, el nivel de potencia máxima del generador se escoge bastante por debajo del valor de la potencia aerodinámica asociada con la velocidad máxima del viento esperada en el emplazamiento. La velocidad del viento a la cual la potencia rotacional extraída coincide con la potencia del generador máxima en el emplazamiento, se denomina velocidad de régimen de la turbina eólica.

15 Dado que la velocidad de régimen se sitúa bastante por debajo de la velocidad máxima del viento en el emplazamiento, de ello se desprende que hay muchos periodos de tiempo durante los cuales la potencia aerodinámica disponible es mayor que el nivel de potencia máxima del generador. Por consiguiente, las turbinas eólicas están provistas de unos medios para extraer una cantidad controlable y seleccionable de potencia rotacional de la potencia aerodinámica disponible. Los más típicos en la técnica son los medios que modifican el ángulo aerodinámico de ataque de la pala, comprendiendo dichos medios la fijación rotacional de la pala al buje de la turbina, para hacer posible la rotación alrededor de un eje geométrico de paso que discurre esencialmente a lo largo de la envergadura de la pala, y un accionador del ángulo de la pala para desplazar rotacionalmente la pala mediante un ángulo de paso controlado de la pala alrededor del eje geométrico del paso, modificando de esta manera la orientación de la pala con respecto al buje, y con respecto al viento entrante.

25 El ángulo controlado de paso de la pala es calculado por la unidad de control central de la turbina. Para conseguir una seguridad operativa aceptable, el movimiento del ángulo de paso de la pala debe efectuarse utilizando un control en bucle cerrado, en el que el ángulo de paso de la pala se mida de manera independiente respecto del accionador del ángulo de la pala y del valor angular medido dado a conocer a la unidad de control central de la turbina, junto con la velocidad rotacional del buje. La medición del ángulo de paso de la pala, con respecto al buje, se lleva a cabo por medio de unos codificadores electromecánicos accionados por el movimiento de la pala. Debido a las exigencias de seguridad operativas, la turbina no puede ser operada y debe clausurarse cuando el controlador central de la turbina pierda la capacidad de realizar el seguimiento del ángulo de la pala de cualquiera de las palas utilizadas por la turbina eólica.

35 Los codificadores mecánicos del ángulo de paso se resienten de varios inconvenientes. Uno de dichos inconvenientes es la susceptibilidad a los fallos mecánicos en el mecanismo de impulsión que conecta el cuerpo de la pala a funciones internas del codificador. Un segundo inconveniente es la pérdida de precisión debido a la abrasión y el desgaste de dicho sistema de impulsión. Un tercer inconveniente es la pérdida de precisión cuando el codificador y el mecanismo de impulsión están desalineados después de que un técnico de mantenimiento erróneamente se introduzca en la unidad durante el mantenimiento. Por tanto, es deseable contar con un sistema de medición para medir al menos el ángulo de paso de la pala de la pala, construyéndose el sistema de medición de manera que quede libre de fallos mecánicos, desgaste y ruptura. Así mismo, es deseable contar con dicho sistema de medición para medir también la velocidad rotacional del buje y es deseable en grado máximo contar con dicho sistema de medición también para medir la rotación angular azimutal de la pala desde una posición del azimut de la pala predeterminada.

45 La posición y velocidad rotacionales del buje pueden ser medidas utilizando la combinación de un acelerómetro y un giroscopio. El giroscopio proporciona una medición de la velocidad rotacional, y de la integración en el tiempo de la señal del giroscopio proporciona una medida de la posición angular del rotor. Sin embargo, pequeños errores de la velocidad en la medición de la velocidad rotacional son inevitables en la práctica, de manera que la posición angular del rotor calculada incluye un error cada vez más importante en el tiempo debido a la acumulación continuada de los pequeños errores de la velocidad en el proceso de integración. Para limitar esta acumulación de errores, es conocido en la técnica de los sensores del movimiento inercial combinar las señales de un giroscopio con las de un acelerómetro.

50 El documento EP-A-1 835 293 describe una turbina eólica y un procedimiento de determinación de al menos un parámetro de rotación de un rotor de una turbina eólica, en el que un acelerómetro limita el error de la posición angular del rotor cuando la posición angular es calculada mediante la integración en el tiempo de la señal procedente de un giroscopio.

55 El documento DE-A-10 2007 030 268 muestra un procedimiento de determinación indirecta de los valores dinámicos de una turbina eólica - o acuática que utiliza cualquier sensor de medición. Un acelerómetro también es utilizado para medir las fuerzas existentes en la turbina eólica y utilizar las fuerzas medidas para detectar la velocidad rotacional de la turbina eólica.

El documento XP 3141526 "La Estimación del Angulo de Paso en la Turbina Eólica de Paso Controlado" (Liu et al) muestra la forma de estimar el ángulo de paso a partir de la velocidad del viento, la velocidad del rotor y la potencia de salida del generador.

5 El documento US 2001 0001319 A1 divulga la verificación del ángulo de paso mediante la monitorización de la relación paso - carga. Sin embargo, no hay noticia de la utilización de al menos un sensor de la velocidad angular fijado a una pala y calculado el ángulo a partir del mismo y un segundo valor o de la velocidad rotacional principal.

10 Los dos procedimientos conocidos utilizan la presencia de la aceleración gravitacional en la señal medida para obtener un marco de referencia de fijación al suelo contra el cual la velocidad rotacional del buje se pueda determinar. El procedimiento de cálculo fundamentalmente depende de la identificación de la gravedad en las señales del acelerómetro. La señal de la gravedad produce una señal sinusoidal que varía con el ángulo azimutal del rotor, por tanto la señal representa una periodicidad con un periodo igual al tiempo que rotor invierte para completar una revolución. Por consiguiente, se necesita al menos un periodo completo para determinar la fase de la señal sinusoidal de la gravedad, por medio de una detección de pico y paso o procedimiento equivalente, con precisión válida. En consecuencia, el cálculo de la velocidad del rotor es una medición retardada en el tiempo o promediada en el tiempo, en la cantidad y no es una medición instantánea.

15 Se desea un procedimiento para medir el ángulo de paso de una pala de turbina eólica que carezca de codificadores electromecánicos y que, así mismo, pueda conseguir una medición precisa instantánea del ángulo de paso y, así mismo, en el que la medición esté exenta de errores de derivas y similares debidas a la acumulación en el tiempo de imprecisiones o errores en la medición.

20 Por tanto, es un objetivo de la invención proporcionar un sistema de medición para determinar al menos el ángulo de paso de al menos una pala con respecto al buje de la turbina. Otro objetivo de la presente invención es proporcionar un sistema de medición para determinar el ángulo de paso de pala que carezca de la acumulación de errores debidos a la interacción del tiempo de una señal de variación del tiempo. Otro objetivo de la presente invención es proporcionar un sistema de medición para determinar la velocidad rotacional del buje. Otro objetivo de la presente invención es proporcionar otro sistema de medición para determinar la posición angular azimutal del buje con respecto a una orientación predeterminada. Otro objetivo de la presente invención es proporcionar una turbina eólica mejorada que incorpore un sistema de medición que mida al menos el ángulo de paso de al menos una pala con respecto al buje de la turbina.

30 Los objetivos mencionados se resuelven mediante un sistema de medición del ángulo de paso para una turbina eólica de acuerdo con las reivindicaciones 1 y 5. Un procedimiento de determinación del ángulo de paso de al menos una pala con respecto a la turbina se dispone en las reivindicaciones 10 y 11. Diversos aspectos, ventajas y elementos característicos de la invención se ponen de manifestó en las reivindicaciones dependientes y en los dibujos que se acompañan.

35 La FIG. 1 muestra una turbina eólica típica con tres palas, unos movimientos rotacionales de algunos componentes de la turbina, y componentes de la invención.

La FIG. 2 muestra componentes de la invención asociados con una pala, que incluyen dos sensores de la velocidad angular, y la pala en un primer ángulo de paso.

La FIG. 3 muestra componentes de la invención asociados con una pala, que incluyen dos sensores de la velocidad angular, y la pala después de la rotación en un segundo ángulo de paso.

40 La FIG. 4 muestra componentes de la invención asociados con una pala, que incluyen tres sensores de la velocidad angular con ejes geométricos de sensor asociados esencialmente contenidos en un plano.

La FIG. 5 muestra componentes de la invención asociados con una pala, que incluyen tres sensores de la velocidad angular con unos ejes geométricos de sensor asociados que forman una base esencialmente ortogonal.

45 La FIG. 6 muestra componentes de la invención asociados con una pala, que incluyen dos sensores de la velocidad angular y la primera unidad de cálculo.

La FIG. 7 muestra componentes de la invención asociados con una pala, que incluyen dos sensores de la velocidad angular, la primera unidad de cálculo, el accionador del paso de pala y la unidad de control del paso.

50 La FIG. 8 muestra componentes de la invención asociados con tres palas, que incluyen sensores de la velocidad angular, y la unidad de cálculo para calcular la velocidad de guiñada de la turbina alrededor del eje geométrico de la torre.

La FIG. 9 muestra componentes de la invención asociados con tres palas, que incluyen sensores de la velocidad angular, y la unidad de cálculo para calcular el ángulo azimutal de la pala.

- Una turbina eólica comprende un buje que rota con respecto a una góndola. El movimiento rotacional del buje acciona un generador eléctrico situado al menos parcialmente dentro de la góndola. Al menos una pala está rotacionalmente fijada al buje para hacer posible únicamente una rotación de la pala con respecto al buje alrededor de un eje geométrico de paso. La rotación se consigue típicamente mediante el uso de un cojinete de pala situado en la raíz de la pala. Excluyendo pequeñas deformaciones materiales del propio buje, la orientación de la raíz de la pala con respecto al buje se define completa y exclusivamente mediante un ángulo de paso de la pala que indica el desplazamiento rotacional de la raíz de la pala alrededor del eje geométrico de paso a partir de una posición predefinida de la pala. El movimiento rotacional del buje define un eje geométrico rotacional principal, alrededor del cual rota el buje con una velocidad rotacional Ω .
- 5 El procedimiento inventivo de determinación de al menos un ángulo de paso Θ_1 de al menos una pala con respecto al buje de la turbina comprende las etapas de unir de manera fija un primer sensor de la velocidad angular de la pala para medir una primera velocidad angular Φ alrededor de un primer eje geométrico e_1 de sensor, efectuándose la unión fija en una primera orientación predeterminada que define la orientación del primer eje geométrico e_1 con respecto a la pala.
- 10 Como consecuencia de la unión fija, y de la cinemática del rotor, la primera velocidad angular Φ depende funcionalmente tanto de la velocidad rotacional Ω y del ángulo de paso Θ_1 . Se puede anotar esta dependencia como $\Phi(\Omega, \Theta_1)$. Un segundo sensor de la velocidad angular está situado en la turbina eólica para generar una segunda velocidad angular β que depende funcionalmente de la velocidad rotacional Ω . La posición del segundo sensor de la velocidad angular se escoge de manera que la variación de la segunda velocidad angular β con el ángulo de paso Θ_1 , incluyendo el supuesto de una variación cero, sea diferente de la variación de la primera velocidad angular Φ con el ángulo de paso Θ_1 . En consecuencia, la determinación del ángulo de paso Θ_1 es posible una vez que los valores de la primera velocidad angular Φ y β de la segunda velocidad angular β sean conocidos. Por consiguiente, las velocidades angulares Φ y β son comunicados a una primera unidad de cálculo que determina un ángulo de paso Θ_{1C} calculado indicativo del ángulo de paso Θ_1 de pala.
- 15 En la forma de realización preferente el segundo sensor de la velocidad angular mide la segunda velocidad angular β alrededor de un segundo eje geométrico e_2 de sensor que está unido de manera fija a la pala en una segunda posición predeterminada. Esta segunda posición predeterminada se escoge de manera que el primer eje geométrico e_1 de sensor y el segundo eje geométrico e_2 sean linealmente independientes. La independencia lineal de los vectores e_1 y e_2 asegura que la variación $\Phi(\Omega, \Theta_1)$ y $\beta(\Omega, \Theta_1)$ con Θ_1 sean funcionalmente independientes, haciendo con ello posible que el ángulo de paso Θ_1 para calcular los valores de la primera velocidad angular Φ y la segunda velocidad angular β sean conocidos. Por consiguiente, las velocidades angulares Φ y β sean comunicados a una primera unidad de cálculo que determine un ángulo de paso Θ_{1C} calculado indicativo del ángulo de paso Θ_1 de la pala.
- 20 En una forma de realización alternativa, el segundo sensor de la velocidad angular mide la segunda velocidad angular β alrededor de un segundo eje geométrico e_2 de sensor que está alineado con el eje geométrico rotacional principal del rotor. La magnitud de β es entonces igual a la velocidad rotacional Ω principal y no varía con el ángulo de paso Θ_1 .
- 25 En consecuencia, la variación de la primera velocidad angular Φ con el ángulo de paso Θ_1 es diferente de la variación de la segunda variación angular con el ángulo de paso Θ_1 , haciendo posible con ello que el ángulo de paso Θ_{1C} sea calculado una vez que los valores de la primera velocidad angular Φ y la segunda velocidad angular β sean conocidos. Por consiguiente, las velocidades angulares Φ y β son comunicados a una primera unidad de cálculo que determina un ángulo de paso Θ_{1C} indicativo del ángulo de paso Θ_1 de pala.
- 30 Con referencia a la figura 1, una turbina eólica 1 (véase la figura 8) comprende una torre 10, una góndola 20 fijada a la torre, y un buje 30 fijado rotacionalmente a la góndola 20. El buje está adaptado para recibir y soportar estructuralmente una o más palas utilizadas para transformar la potencia aerodinámica del viento en potencia mecánica, el movimiento rotacional del buje con respecto a la góndola define un eje geométrico 32 rotacional principal. La posición rotacional del buje alrededor del eje geométrico 32 rotacional define una posición azimutal Ψ (fig. 8) del rotor. La magnitud, en radianes, de la posición azimutal Ψ del rotor varía de cero a 2π cuando el rotor lleva a cabo una revolución completa. La dirección del eje geométrico rotacional principal puede ser matemáticamente descrita por un vector unitario \underline{n} . El buje rota alrededor del eje 32 rotacional con una velocidad rotacional principal Ω . En la técnica es sabido que el eje geométrico 32 rotacional principal y la velocidad rotacional principal Ω pueden combinarse matemáticamente en el vector $\underline{\Omega} = \Omega \underline{n}$. La anotación vectorial se utiliza en la presenta memoria para facilitar la descripción de determinados aspectos de la invención.
- 35 Una primera pala 100 está rotacionalmente fijada al buje y define un eje geométrico 110 de paso (véase la figura 2) para su rotación alrededor del mismo. El desplazamiento angular rotacional de la primera pala 100 alrededor del eje geométrico 110 de paso generalmente se indica en la técnica como ángulo de paso de la pala, en la presente memoria designado como Θ_1 . En particular, el ángulo de paso de pala Θ_1 define el desplazamiento angular de la primera pala 100 a partir de una primera orientación de pala predefinida con respecto al buje 30. Esta primera orientación de pala predefinida puede definirse por ejemplo, mediante marcas geométricas sobre el buje y la primera pala. La fijación rotacional de la primera pala 100 al buje se lleva, de modo preferente, a cabo mediante un cojinete
- 40
- 45
- 50
- 55
- 60

de pala que conecta la raíz de la primera pala 100 al buje 30, para que, excluyendo pequeños movimientos debidos a las deformaciones del material del buje, de la pala, y del cojinete de pala, la orientación de la raíz de la primera pala 100 con respecto al buje 30 quede completa y exclusivamente definida por un ángulo de paso de pala. La mayoría de las turbinas en uso actualmente presentan tres palas, como se muestra en la figura 1, en la que una segunda pala se muestra en la referencia numeral 200 y una tercera pala se muestra en la referencia numeral 300.

Para mantener la potencia eléctrica producida por la turbina eólica dentro de un intervalo deseado, la potencia extraída procedente del viento por cada pala debe ser controlada. Este control se consigue modificando el ángulo de paso de pala de cada pala para influir en el ángulo aerodinámico de ataque de cada pala. Así con la finalidad de control de la potencia eléctrica, es muy beneficioso medir directamente el ángulo de paso de pala de cada pala.

Por consiguiente, la invención proporciona un primer sistema 170 de medición del ángulo de paso de la primera pala 100 capaz de suministrar un ángulo de paso Θ_{1C} calculado (no mostrado) indicativo del ángulo de paso Θ_1 de pala de la primera pala 100. Como máxima preferencia, cada pala está equipada con su propio sistema de medición del ángulo de pala. Con referencia a la figura 1, la segunda pala 200 incorpora un segundo sistema 270 de medición del ángulo de paso que proporciona un segundo ángulo de paso Θ_{2C} calculado (no mostrado) indicativo del ángulo de paso Θ_2 de pala de la segunda pala 200, y la tercera pala 300 incorpora un tercer sistema 370 de medición del ángulo de paso que proporciona un tercer ángulo de paso Θ_{3C} calculado (no mostrado) indicativo del ángulo de paso Θ_3 de pala de la tercera pala 300. Los segundo y tercero sistemas de medición son preferentemente del mismo diseño y función que el primer sistema de medición del ángulo de paso, según se describe en la presente memoria.

Con referencia a la figura 2, el primer sistema 170 de medición del ángulo de paso comprende un primer sensor 130 de la velocidad angular unido de manera fija a la primera pala 100 en una primera orientación predeterminada con respecto a la primera pala. Un giroscopio es un ejemplo de dicho sensor de la velocidad angular. Este primer sensor 130 de la velocidad angular mide una primera velocidad angular Φ alrededor de un primer eje geométrico de sensor indicado por el vector unitario \underline{e}_1 . Este primer eje geométrico \underline{e}_1 de sensor está fijo con respecto al cuerpo del primer sensor 130 de la velocidad angular, por tanto está también fijo con respecto a la propia primera pala 100. La primera orientación predeterminada se escoge de manera que el primer eje geométrico \underline{e}_1 no sea esencialmente paralela al eje geométrico 100 de paso, para que se obtenga una proyección mensurable del eje geométrico 32 rotacional principal sobre al menos el primer eje geométrico \underline{e}_1 de sensor para al menos algún intervalo del ángulo de paso Θ_1 de pala de la primera pala. En forma vectorial,

$$\Phi = \Omega \underline{e}_1$$

La primera velocidad angular Φ es comunicada a una primera unidad 160 de cálculo (véase la figura 8).

En una primera forma de realización de la invención, el sistema 170 de medición del ángulo de paso comprende un segundo sensor 24 de la velocidad angular (véase la figura 1) para medir la velocidad angular Ω alrededor del eje geométrico \underline{n} rotacional principal. La primera unidad 160 de cálculo (véase la figura 8) recibe las velocidades angulares medidas Φ y Ω y calcula el ángulo de paso Θ_{1C} medido indicativo del ángulo de paso Θ_1 de pala en base a la magnitud de, junto con, el valor medido de la velocidad rotacional principal Ω de la figura 1:

$$\Theta_{1C} = c_1 \arccos(\Phi / \Omega) + c_2,$$

donde "c₁" y "c₂" son constantes.

La limitación principal de esta forma de realización estriba en la capacidad de la función arccoseno para distinguir los ángulos de paso positivos de los ángulos de paso negativos. Sin embargo, dado que el ángulo de paso de pala está esencialmente restringido al intervalo de cero a noventa grados en operación, la limitación puede superarse escogiendo la primera orientación predeterminada para que Φ sea positiva cuando el ángulo de paso de pala adopte el valor más bajo esperado durante la operación.

En referencia a la figura 7, el sistema 170 de medición del ángulo de paso comprende un segundo sensor 140 de la velocidad angular unido de manera fija a la primera pala 100 en una segunda orientación predeterminada con respecto a la primera pala y mide una segunda velocidad angular β alrededor de un segundo eje geométrico de sensor indicado por el vector unitario \underline{e}_2 . Este eje geométrico \underline{e}_2 de sensor se fija con respecto al cuerpo del segundo sensor 140 de la velocidad angular, por tanto también se fija con respecto a la propia primera pala 100. La segunda orientación predeterminada se escoge de manera que se obtenga una proyección mensurable del eje geométrico 32 rotacional principal sobre el segundo eje geométrico \underline{e}_2 de sensor para al menos algún intervalo del ángulo de paso Θ_1 de pala de la primera pala 100. En forma vectorial,

$$\beta = \Omega \underline{e}_2$$

Así mismo, la segunda orientación predeterminada se escoge de manera que los vectores \underline{e}_1 y \underline{e}_2 sean linealmente independientes (aquí el significado de linealmente independiente se atiene al significado estándar en el campo matemático, que no existen escalares a y b de manera que $a \underline{e}_1 + b \underline{e}_2 = 0$). En consecuencia, la combinación de vectores \underline{e}_1 y \underline{e}_2 forman una base que abarca un plano que presenta un plano normal \underline{m} (no mostrado). La

independencia lineal de los vectores \underline{e}_1 y \underline{e}_2 asegura que la variación de Φ (Ω , Θ_1) y β (Ω , Θ_1) con Θ_1 son funcionalmente independientes, haciendo con ello posible que el ángulo de paso Θ_{1C} sea calculado una vez que los valores de la primera velocidad angular Φ y de la segunda velocidad angular β sean conocidos.

5 La primera velocidad angular Φ y la segunda velocidad angular β son comunicadas a la primera unidad 160 de cálculo. Esta unidad de cálculo calcula el ángulo de paso Θ_{1C} calculado en base al valor numérico de la primera velocidad angular Φ con respecto al valor numérico de la segunda velocidad angular β . En particular, dado que tanto el primero como el segundo sensores 130 y 140, respectivamente, de la velocidad angular están unidos de manera fija a la primera pala 100, y dado que la primera pala rota con el ángulo de paso de pala alrededor del eje geométrico 110 de paso, de ello se desprende que el primer eje geométrico \underline{e}_1 de sensor y el segundo eje geométrico \underline{e}_2 de sensor presentan una orientación en el espacio que depende funcionalmente del ángulo de paso Θ_1 de pala. Esta dependencia es visible comparando la orientación de \underline{e}_1 y \underline{e}_2 en la figura 2 con las correspondientes orientaciones después de un cambio en el ángulo de paso de pala, como se muestra en la figura 3. Por tanto se desprende que la primera velocidad angular $\Phi = \Omega \underline{e}_1$ y la segunda velocidad angular $\beta = \Omega \underline{e}_2$ presentan una funcionalidad dependiente del ángulo de paso Θ_1 de pala. Estas relaciones funcionales son invertibles, de forma que el ángulo de paso Θ_{1C} calculado puede ser calculado en base al valor de Θ con respecto a β . Para el caso de que \underline{e}_1 y \underline{e}_2 sean perpendiculares entre sí,

$$\Theta_{1C} = c_3 \text{ arcotangente } (\Phi, \beta) + c_4,$$

donde "c₃" y "c₄" son constantes.

20 La constante "c₄" se escoge de manera que el valor del ángulo de paso Θ_{1C} calculado adopte un valor predeterminado, como por ejemplo 0, cuando la primera pala 100 esté situada en la orientación predefinida con respecto al buje. Se destaca que en el supuesto de que \underline{e}_1 y \underline{e}_2 no sean perpendiculares entre sí, la aplicación conocida de los vectores covariantes y contra variantes, \underline{e}_1 , \underline{e}_2 , \underline{e}_1^1 , \underline{e}_2^2 , donde $\underline{e}_i \cdot \underline{e}_j^i = \delta_{ij}$ (el delta Kronecker) pueden ser utilizados para calcular el ángulo de paso Θ_{1C} calculado. Se pueden utilizar otros esquemas, como por ejemplo la construcción y el almacenamiento de una tabla numérica correlacionada con valores conocidos de Θ_{1C} con los valores asociados de Φ y β para el posterior acceso y el posterior cálculo del ángulo de paso Θ_{1C} calculado por medio del ángulo de la tabla de consulta cuando se determinen los valores de Φ β Ω y β . Este esquema es preferente cuando el primero y el segundo ejes geométricos \underline{e}_1 y \underline{e}_2 de sensor no sean conocidos, o mensurables, para obtener una precisión suficiente, y la tabla numérica se construya con la asistencia de un codificador 554 electromecánico convencional del ángulo de paso (véase la figura 3).

30 Se debe destacar que, además del ángulo de paso $\Theta\Phi\beta\Omega_{1C}$ de pala, la velocidad rotacional Ω principal puede ser calculada a partir de los valores numéricos de la primera velocidad angular Φ y la segunda velocidad angular β . En el caso de que \underline{e}_1 y \underline{e}_2 sean perpendiculares entre sí, el plano abarcado por \underline{e}_1 y \underline{e}_2 presenta el plano normal \underline{m} (no mostrado) (que es perpendicular al eje geométrico rotacional principal, \underline{n} , entonces

$$\Omega = (\Phi^2 + \beta^2)^{1/2}$$

35 Es sencillo y bien conocido en la técnica definir ecuaciones equivalentes en los casos en que el plano normal \underline{m} no sea perpendicular al eje geométrico principal, \underline{n} , y / o en el que \underline{e}_1 y \underline{e}_2 no sean perpendiculares entre sí. En la forma de realización de la figura 7, los primero y segundo ejes geométricos \underline{e}_1 y \underline{e}_2 de sensor son esencialmente perpendiculares entre sí. Así mismo, para minimizar el efecto de la aceleración centrípeta y la flexión de pala sobre la medición de la velocidad angular, los primero y segundo sensores 130 y 140, respectivamente, de la velocidad angular, de modo preferente, están situados cerca de la raíz de la pala.

45 Con referencia a la figura 4, otra forma de realización de la invención extiende el sistema 170 de medición del ángulo de paso incorporando un tercer sensor 150 de la velocidad angular unido de manera fija a la primera pala 100 en una tercera orientación predeterminada con respecto a la primera pala, y midiendo una tercera velocidad angular λ (no mostrada) alrededor de un tercer eje geométrico de sensor indicado por el vector unitario \underline{e}_3 . La medición A es comunicada a la primera unidad 160 de cálculo (véase la figura 8). Cuando el tercer eje geométrico \underline{e}_3 de sensor no es esencialmente ortogonal al plano abarcado por \underline{e}_1 y \underline{e}_2 , el cálculo del ángulo de paso Θ_{1C} calculado resulta redundante en virtud de un primer valor adicional angular de paso que sea calculable a partir de los valores relativos de A y Φ así como a partir de un segundo valor adicional angular de paso que sea calculable a partir de valores relativos de λ y β . Los primero y segundo valores angulares adicionales proporcionan unas estimaciones adicionales para el ángulo de paso Θ_1 de pala para que la inclusión de los primero y segundo valores adicionales en el cálculo del ángulo de paso Θ_{1C} calculado pueda ser utilizado para reducir el error mediante el empleo, por ejemplo, de la promediación y para la monitorización de los estados de cada uno de los sensores de la velocidad angular mediante la comprobación cruzada de la coincidencia entre los valores angulares de paso proporcionados por los diferentes pares de la velocidad angular.

55 Un nivel adicional de redundancia se obtiene en otra forma de realización de la invención, en el que la turbina eólica 1 comprende también unos codificadores angulares para medir el ángulo de paso de pala. Ejemplos de dichos codificadores son codificadores electromecánicos que descomponen una completa revolución del ángulo de paso de pala en una cantidad de valores discretos y predeterminados que oscilan entre, típicamente, 1024 y 16384 valores.

Con referencia a la figura 3, el codificador 554 angular produce una señal de codificador Θ_{1E} indicativa del ángulo de paso de pala de la primera pala 100. La señal de codificador y el ángulo de paso Θ_{1C} calculado a partir de la primera unidad 160 de cálculo son comunicados a una primera unidad 556 de comparación (véase la figura 10) que supervisa la desviación, o diferencia, entre la señal de codificador Θ_{1E} y el ángulo de paso Θ_{1C} calculado. Una señal 558 del paso diferencial se genera en la primera unidad 556 de comparación indicativa de la diferencia entre Θ_{1E} y Θ_{1C} . Otras posibles acciones adoptadas en base al valor de la señal 558 del paso diferencial incluyen, pero no se limitan a, la puesta en marcha de una alarma indicativa de una función incorrecta del hardware.

Volviendo a la figura 1, los valores de las velocidades angulares Φ , β , A medidas, respectivamente, por los sensores 130, 140, 150 de la velocidad angular están dominados por la velocidad rotacional principal Ω . Sin embargo, la velocidad angular de inclinación η de la góndola en la dirección de inclinación indicada por el vector unitario g , provocado por los movimientos de flexión de la torre 10, así como por la velocidad angular de guiñada γ de la góndola en la dirección de guiñada indicada por el vector unitario p , provocada por el cambio de la posición angular alrededor del eje geométrico 34 de la torre, también contribuyen a la velocidad angular instantánea del eje geométrico 32 rotacional principal,

$$\underline{\Omega} = \Omega \underline{g} + \eta \underline{g} + \gamma \underline{p}$$

para que las contribuciones procedentes de η y γ aparezcan en los valores de las velocidades angulares Φ , β , y λ . Las velocidades angulares η y γ del eje geométrico 32 rotacional principal son independientes del ángulo de paso de pala de la primera pala. Por tanto, cuando los valores de las velocidades angulares η y γ no son cero, deben, de modo preferente, ser tenidos en cuenta y compensados, por la primera unidad 160 de cálculo en el cálculo del ángulo de paso Θ_{1C} calculado. Cuando las señales indicativas de las velocidades angulares η y γ estén disponibles, son enviadas a la primera unidad 160 de cálculo. En una forma de realización adicional de la invención, un sensor 22 de la velocidad de inclinación es utilizado para medir la velocidad angular de inclinación η y un sensor 23 de la velocidad de guiñada es utilizado para medir la velocidad angular de guiñada γ del eje geométrico 32 rotacional principal. Así mismo, un codificador 24 angular del buje mide la primera posición azimutal Ψ de pala (véase la figura 8). La velocidad angular de inclinación η , la guiñada angular γ y la primera posición azimutal Ψ de pala son comunicadas a la primera unidad 160 de cálculo, donde son utilizadas para compensar las velocidades angulares η y γ en el cálculo del ángulo de paso Θ_{1C} calculado.

En otra forma de realización para una turbina que incorpora dos o más palas, como se muestra en la figura 4, el tercer sensor 150 de la velocidad angular está situado de manera fija con respecto a la primera pala 100, de manera que el tercer eje geométrico e_3 de sensor apunta esencialmente a lo largo del eje geométrico 110 de paso. Como adorno estilístico, queremos adoptar la señal generada por un tercer sensor 150 de la velocidad angular como λ_{100} (no mostrado). La misma construcción se utiliza para el sistema 270 de medición del ángulo de paso, en el que un tercer sensor 250 de la velocidad angular mide la velocidad angular λ_{200} de la segunda pala 200 alrededor del eje geométrico de paso de la pala, y el sistema 370 de medición del ángulo de paso presenta un tercer sensor 350 de la velocidad angular (véase la figura 8) que mide la velocidad angular λ_{300} de la tercera pala 300 alrededor de ese eje geométrico de paso de la pala. Una unidad 600 de cálculo de inclinación y guiñada (véase la figura 8) recibe las tres velocidades λ_{100} , λ_{200} , λ_{300} angulares y la primera posición azimutal Ψ (figura 8), y lleva a cabo una transformación de coordenadas multipala, también conocida como transformación de Coleman en la técnica,

$$k_0 = \lambda_{100} + \lambda_{200} + \lambda_{300}$$

$$k_s = \lambda_{100} \text{ sen } (\Psi) + \lambda_{200} \text{ sen } (\Psi - 2 \pi/3) + \lambda_{300} \text{ sen } (\Psi - 4 \pi/3)$$

$$k_c = \lambda_{100} \text{ cos } (\Psi) + \lambda_{200} \text{ cos } (\Psi - 2 \pi/3) + \lambda_{300} \text{ cos } (\Psi - 4 \pi/3)$$

para obtener la constante k_0 , seno, k_s , y el coseno, k_c , componentes de las velocidades angulares λ_{100} , λ_{200} , λ_{300} . Los valores de las velocidades angulares η y γ son proporcionales a k_s y k_c , y pueden fácilmente determinarse a partir de los valores de k_s y k_c . Los valores de las velocidades angulares η y γ son a continuación comunicadas a cada una de las primeras unidades 160, 260, 360 de cálculo (véase la figura 8) para el cálculo de los ángulos de paso Θ_{1C} , Θ_{2C} y Θ_{3C} calculados, respectivamente. En aras de la complitud, los primero, segundo y tercer sistemas de medición de la velocidad angular pueden agruparse de modo conjunto en una sola unidad, por ejemplo, tres giroscopios MEMS en un único chip.

Como máxima preferencia, la orientación del primer eje geométrico e_1 de sensor, del segundo eje geométrico e_2 de sensor, y del tercer eje geométrico e_3 de sensor se escogen para que sean ortogonales entre sí para que la combinación de e_1 , e_2 y e_3 formen una base ortogonal para un espacio tridimensional. Durante la operación normal, el ángulo de paso Θ_1 de pala se modifica según lo requerido por las necesidades de control de la turbina, y esta modificación produce una velocidad rotacional angular de paso alrededor del eje geométrico de paso de la pala. Ortogonalmente, junto con la alineación del tercer eje geométrico e_3 de sensor a lo largo del eje geométrico de paso,

elimina la velocidad rotacional angular de paso de la primera velocidad angular Ψ alrededor del primer eje geométrico \underline{e}_1 de sensor y la segunda velocidad angular β alrededor del segundo eje geométrico \underline{e}_2 de sensor, simplificando con ello el cálculo del ángulo de paso θ_{1C} calculado.

5 En otra forma de realización, la velocidad de inclinación angular η de la góndola no se mide directamente, sino que se estima a partir de una medición del empuje del viento y a partir del conocimiento de la rigidez de flexión de la torre o, como alternativa, a partir de una estimación del empuje del viento por medio, por ejemplo, de una medición de la potencia eléctrica generada, y del conocimiento de la rigidez de flexión de la torre. La posición azimutal Ψ del rotor generalmente se define como el ángulo entre la primera pala 100 y la vertical (por ejemplo la posición vertical con respecto a la góndola), y se utilizará esta definición en la presente memoria. Por consiguiente la terminología "posición azimutal del rotor" y "la primera posición azimutal de pala" se utilizan en la presente memoria de forma intercambiable, y ambas definen el mismo ángulo Ψ .

10 En la forma de realización preferente, la primera posición azimutal Ψ de pala se mide mediante un codificador 24 angular que mide la posición rotacional del buje con respecto a un punto de referencia predeterminado sobre la góndola 20. En una forma de realización alternativa, como se muestra en la figura 9, la primera posición azimutal Ψ de pala se calcula utilizando la integración de tiempo de la velocidad rotacional principal Ω . En particular, un generador 27 de impulsos genera un impulso de sincronización cuando la posición azimutal Ψ del buje obtiene un valor predeterminado. A modo de ejemplo, la colocación de un sensor inductivo u óptico sobre la góndola que detecte el paso de un indicador unido de manera fija al buje proporciona dicho impulso de sincronización. Para las turbinas que incorporen un árbol principal fijado al buje, el indicador puede como alternativa ser colocado sobre este árbol principal. El impulso de sincronización y la velocidad rotacional principal Ω medidos por al menos un sistema 170 de medición del ángulo de paso son comunicados a una unidad 650 de cálculo del azimut. Esta unidad calcula un ángulo ξ (no mostrado) integrando la velocidad rotacional Ω en el tiempo, comenzando a partir del instante de tiempo en el que se recibe el impulso de sincronización. La posición rotacional Ψ del buje se determina entonces añadiendo un desplazamiento angular constante Ψ_0 (no mostrado) al ángulo calculado ξ de manera que la posición rotacional Ψ adopte un valor predeterminado en una posición del rotor predeterminada,

$$\Psi = \xi + \Psi_0$$

Por ejemplo, el valor Ψ_0 puede escogerse de manera que $\Psi = 0$ se produzca cuando la primera pala 100 esté en la posición vertical, apuntando hacia arriba. El impulso de sincronización es necesario para eliminar la acumulación de errores numéricos en el proceso de integración temporal. Mediante el reinicio de la integración temporal de Ω en cada incurso de sincronización, la longitud de la integración temporal se limita al periodo de una rotación del buje. Por tanto se impide la acumulación ilimitada del error numérico. Tras la recepción de la señal de sincronización y de la terminación asociada del proceso de integración para ese periodo, el valor terminal del ángulo ξ es comparado con el valor de 2π . La diferencia entre estos dos valores numéricos indica el error máximo en el cálculo de la posición rotacional Ψ .

30 Así mismo, el valor de ξ puede llevarse a cabo partiendo de la continuidad y mantiene la siguiente revolución y también puede ser ajustado retroactivamente mediante el escalado lineal del valor ξ a lo largo del periodo de tiempo entre dos impulsos de sincronización consecutivos para obtener un valor terminal de $\xi = 2\pi$ para una rotación del buje. En particular, si el valor calculado ξ adopta el valor ξ_p (no mostrado) después del periodo de tiempo entre dos impulsos consecutivos, entonces el valor ajustado, que se designa como ξ_A (no mostrado), es dado por $\xi_A = k \xi$, donde el factor de escala k es dado por $k = 2\pi / \xi_p$, y garantiza que el factor de escala ξ_A alcanza un valor máximo de 2π . Dicho ajuste es ventajoso cuando la posición rotacional ξ se utiliza en cálculos no en tiempo real que se llevan a cabo en algún momento después de la culminación de la revolución del buje. Así mismo para reducir aún más los errores de integración temporales, el periodo de integración temporal puede reducirse por debajo de ese periodo de una revolución mediante la generación de impulsos de sincronización adicionales en posiciones angulares predeterminadas del buje. Se puede conseguir una reducción de errores aún mayor tomando un integrando para que sea un promedio u otra combinación numérica de la velocidad rotacional principal Ω calculada por dos o más unidades de medición del ángulo de paso, por ejemplo una combinación numérica de la velocidad rotacional principal Ω_{100} calculada por el sistema 170 de medición del ángulo, la velocidad rotacional principal Ω_{200} calculada por el sistema 270 de medición del ángulo y de la velocidad rotacional principal Ω_{300} calculada por el sistema 370 de medición del ángulo (aquí, por razones de claridad en la transcripción, se han introducido los subepígrafos 100, 200 y 300 para designar la pala asociada).

El factor de escalado k es afectado por la temperatura y otras variables que cambian durante un periodo de tiempo mucho más largo que el periodo de tiempo de una rotación del rotor. Por consiguiente, el valor de k calculado al final del primer periodo de tiempo entre dos impulsos de sincronización consecutivos, se utiliza durante el segundo periodo de tiempo sucesivo para obtener un valor corregido de la posición rotacional,

$$\Psi = k \xi + \Psi_0$$

para valores temporales entre el principio y el final del segundo periodo de tiempo. Al final del segundo periodo de tiempo el procedimiento se repite, es decir un nuevo valor de k es calculado al final del segundo periodo de tiempo y

utilizado durante el tercer, sucesivo, periodo de tiempo. Utilizando este procedimiento, y el valor mejorado de la posición rotacional Ψ puede ser generado instantáneamente para algoritmos en tiempo real o usos similares.

5 Con referencia a la figura 7, la turbina eólica inventiva comprende un accionador 180 de paso de pala para modificar el ángulo de paso Θ_1 de pala de la primera pala 100, y una unidad 182 de control del paso en comunicación con el accionador 180 de paso de pala. La unidad 182 de control calcula un ángulo de paso reglado Θ_{1K} (no mostrado) requerido para mantener la potencia mecánica extraída que acciona el generador eléctrico dentro de un intervalo o valor deseado. Este ángulo de paso reglado Θ_{1K} es comunicado al accionador 180 de paso de pala el cual, a su vez, hace rotar la pala hasta el ángulo de paso reglado Θ_{1K} . La primera unidad 160 de cálculo calcula el ángulo de paso Θ_{1C} calculado y comunica el Θ_{1C} a la unidad 182 de control del paso. La unidad 182 de control del paso compara el ángulo de paso reglado Θ_{1K} con el ángulo de paso Θ_{1C} calculado y adopta medidas correctivas cuando la desviación entre Θ_{1K} y Θ_{1C} excede de un valor predeterminado.

10 Cuando la turbina incorpora múltiples palas, la técnica es conocido que el control del ángulo de paso de cada pala, ya sea colectiva o individualmente, obtiene el mejor control de la potencia mecánica total extraída a partir del viento. Así, conviene en grado máximo aplicar la invención con todas la palas existentes.

15 La primera unidad 160 de cálculo, la unidad 600 de cálculo de inclinación y guiñada y la unidad 650 de cálculo del azimut (figura 9) puede o bien ser puesta en práctica como un módulo de hardware o bien como un módulo de software.

Lista de referencias

- 1 turbina eólica
- 10 torre
- 20 góndola
- 22 sensor de velocidad de inclinación
- 23 sensor de velocidad de guiñada
- 24 codificador angular del buje
- 25 27 generador de impulsos
- 30 buje
- 32 eje geométrico rotacional principal
- 100 primera pala
- 110 eje geométrico de paso
- 30 130 primer sensor de la velocidad angular
- 140 segundo sensor de la velocidad angular
- 150 tercer sensor de la velocidad angular
- 160 primera unidad de cálculo
- 170 primer sistema de medición del ángulo de paso
- 35 180 accionador de paso de pala
- 182 unidad de control del paso
- 200 segunda pala
- 270 segundo sistema de medición del ángulo de paso
- 300 tercera pala
- 40 370 tercer sistema de medición del ángulo de paso
- 600 unidad de cálculo de inclinación y guiñada
- 650 unidad de cálculo del azimut

	Ω	velocidad rotacional principal
	Φ	primera velocidad angular
	β	segunda velocidad angular
5	λ	tercera velocidad angular
	Ψ	primera posición azimutal de pala
	η	velocidad angular de inclinación
	γ	velocidad angular de guiñada
10	\underline{e}_1	primer eje geométrico de sensor
	\underline{e}_2	segundo eje geométrico de sensor
	\underline{e}_3	tercer eje geométrico de sensor
	Θ_1	primer ángulo de paso de pala
15	Θ_2	segundo ángulo de paso de pala
	Θ_3	tercer ángulo de paso de pala
	\underline{n}	vector unitario a lo largo del eje geométrico rotacional principal
	\underline{p}	vector unitario a lo largo del eje geométrico de la torre
20	\underline{q}	vector unitario a lo largo del eje geométrico de inclinación de la góndola
	\underline{m}	vector unitario a lo largo del plano normal del plano abarcado por \underline{e}_1 y \underline{e}_2

25

30

35

REIVINDICACIONES

- 1.- Un sistema de medición del ángulo de paso para una turbina eólica que incorpora una torre (10), una góndola (20) fijada a la misma, un buje (30) fijado de manera rotatoria a la góndola (20) y que define un eje geométrico (32) rotacional principal, al menos una pala (100) fijada rotacionalmente al buje y que define un eje geométrico (110) de paso para su rotación alrededor del mismo, un ángulo de paso de pala que define la posición rotacional de la al menos una pala (100) con respecto al buje (30) alrededor de dicho eje geométrico (100) de paso, que comprende,
- 5 un primer sensor (130) de velocidad angular que mide una primera velocidad angular (Φ) alrededor de un primer eje geométrico (\underline{e}_1) de sensor, estando el primer sensor (130) de velocidad angular unido de manera fija a la al menos una pala (100) con una primera orientación predeterminada seleccionada para producir una primera proyección del eje geométrico (32) rotacional principal sobre el primer eje geométrico (\underline{e}_1) de sensor,
- 10 un segundo sensor (140) de la velocidad angular que mide una segunda velocidad angular (β) alrededor de un segundo eje geométrico (\underline{e}_2) de sensor, estando el segundo sensor (140) de la velocidad angular unido de manera fija a la al menos una pala (100) con una segunda orientación predeterminada seleccionada para producir una segunda proyección del eje geométrico (32) rotacional principal sobre el segundo eje geométrico (\underline{e}_2) de sensor, siendo el primer eje geométrico (\underline{e}_1) de sensor y el segundo eje geométrico (\underline{e}_2) de sensor linealmente independientes, y
- 15 una primera unidad (160) de cálculo que calcula un ángulo de paso (Θ_{1C}) calculado indicativo del ángulo de paso de la pala de la primera velocidad angular (Φ) y la segunda velocidad angular (β) basándose el cálculo en el valor numérico de la primera velocidad angular y del valor de la segunda velocidad angular.
- 20 2.- El sistema de medición de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** la primera unidad (160) de cálculo calcula la velocidad rotacional principal (Ω) en base al valor numérico de la primera velocidad angular (Φ) y la segunda velocidad angular (β).
- 3.- El sistema de medición de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, que presenta un tercer sensor (150) de la velocidad angular unido de manera fija a la al menos una pala (100) con una tercera orientación predeterminada y que mide una tercera velocidad angular (A) alrededor de un tercer eje (\underline{e}_3) de sensor, produciendo dicha tercera orientación predeterminada una proyección del eje geométrico (32) rotacional principal sobre el tercer eje geométrico (\underline{e}_3) de sensor, comunicándose la tercera velocidad angular (λ) a la primera unidad (160) de cálculo, incluyendo la primera unidad (160) de cálculo dicho valor de la tercera velocidad angular (A) en el cálculo del ángulo de paso (Θ_{1C}), calculado, estando el tercer eje (\underline{e}_3) de sensor esencialmente alineado con el eje geométrico de paso (110).
- 25 4.- El sistema de medición de acuerdo con una o más de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el primer eje geométrico (\underline{e}_1) de sensor, el segundo eje geométrico (\underline{e}_2) de sensor y el tercer eje geométrico (\underline{e}_3) de sensor forman esencialmente una base ortogonal tridimensional.
- 30 5.- Un sistema de medición del ángulo de paso para una turbina eólica que incorpora una torre (10), una góndola (20) fijada a la misma, un buje (30) fijado rotacionalmente a la góndola (20) y que define un eje geométrico (32) rotacional principal, proporcionando un codificador (24) angular del buje un valor indicativo de una velocidad rotacional principal (Ω) del buje (30), al menos una pala (100) rotacionalmente fijada al buje y que define un eje de paso (110) para su rotación alrededor del mismo, un ángulo de paso de pala que define la posición rotacional de la al menos una pala (100) con respecto al buje (30) alrededor de dicho eje geométrico de paso (110), que comprende
- 35 un primer sensor (130) de la velocidad angular que mide una primera velocidad angular (Φ) alrededor de un primer eje geométrico (\underline{e}_1) de sensor, estando el primer sensor (130) de la velocidad angular unido de manera fija a la al menos una pala (100) con una orientación predeterminada seleccionada para producir una proyección del eje geométrico rotacional (32) principal sobre el primer eje geométrico (\underline{e}_1) de sensor
- 40 una primera unidad (160) de cálculo que calcula un ángulo de paso (Θ_{1C}) calculado en base a los valores numéricos de la primera velocidad angular (Φ) y la velocidad rotacional principal (Ω).
- 45 6.- El sistema de medición de acuerdo con una o más de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** un sensor (22) de la velocidad de inclinación produce una señal de la velocidad de inclinación indicativa de la flexión de la torre (10), un sensor (23) de la velocidad de guiñada que produce una señal de la velocidad de guiñada indicativa de la velocidad en el tiempo de cambio de la posición angular de la góndola (20) alrededor del eje geométrico de la torre, y siendo la señal de la velocidad de inclinación y la señal de la velocidad de guiñada recibidas por la primera unidad (160) de cálculo, incluyendo la primera unidad (160) de cálculo dicha señal de la velocidad de guiñada y dicha señal de la velocidad de inclinación en el cálculo del ángulo de paso (Θ_{1C}) calculado.
- 50 7.- El sistema de medición de acuerdo con una o más de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un generador (27) de impulsos que genera un impulso de sincronización cuando el buje (30) alcanza una posición angular azimutal predeterminada con respecto a la góndola (20), comunicándose la generación de impulsos a una unidad (650) de cálculo del azimut, integrando la unidad (650) de cálculo del azimut en tiempo la velocidad rotacional principal (Ω) para calcular un ángulo azimutal (ξ), utilizando la unidad (650) de cálculo del azimut el ángulo azimutal
- 55

(ξ) y el impulso de sincronización para calcular el ángulo rotacional principal (Ψ) de la al menos una pala con respecto a la góndola.

8.- El sistema de medición de acuerdo con una o más de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** un accionador (180) del paso de la pala modifica el ángulo de paso de la pala de la al menos una pala, y una unidad (182) de control del paso en comunicación con el accionador (180) del paso de la pala y con la primera unidad (160) de cálculo, controlando la unidad (182) de control del paso el ángulo de paso de la pala al accionador (180) del paso de la pala, recibiendo la unidad (182) de control del paso el ángulo de paso (Θ_{1C}) calculado.

9.- El sistema de medición de acuerdo con una o más de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un codificador (554) angular que produce una señal del codificador indicativa del ángulo de paso de pala siendo dicha señal del codificador y el ángulo de paso (Θ_{1C}) calculado comunicadas a la primera unidad (556) del comparador, generando la primera unidad del comparador una señal de advertencia cuando la desviación entre la señal del codificador y el ángulo de paso calculado difieren en más de una cantidad predeterminada.

10.- Un procedimiento de determinación del ángulo de paso de al menos una pala (100) de una turbina eólica que incorpora una torre (100), una góndola (200) fijada a la misma, un buje (30) fijado rotacionalmente a la góndola (20) y que define un eje geométrico (32) rotacional principal, proporcionando un codificador (24) angular del buje un valor indicativo de una velocidad rotacional principal (Ω) del buje (30), estando la al menos una pala (100) rotacionalmente fijada al buje y que define un eje geométrico (110) de paso para su rotación alrededor del mismo, definiendo un ángulo de paso de pala la posición rotacional de la al menos una pala (100) con respecto al buje (30) alrededor de dicho eje geométrico (110) de paso, que comprende las etapas de:

la medición de una velocidad angular con respecto al eje geométrico (e_1) de sensor, estando dicho eje geométrico (e_1) de sensor unido de manera fija a la pala en una orientación predeterminada, produciendo dicha orientación predeterminada una proyección del eje geométrico (32) rotacional principal sobre el eje geométrico (e_1) de sensor, y

el cálculo de un ángulo de paso (Θ_{1C}) calculado indicativo del ángulo de paso de la pala, basándose el cálculo en el valor numérico de la velocidad angular medida y en el valor de la velocidad rotacional principal (Ω).

11.- Un procedimiento de determinación del ángulo de paso de al menos una pala (100) de una turbina eólica que incorpora una torre (100), una góndola (20) fijada a la misma, un buje (30) fijado rotacionalmente a la góndola (20) y que define un eje geométrico (32) rotacional principal, estando la al menos una pala (100) fijada rotacionalmente al buje y que define un eje geométrico (110) del paso para su rotación alrededor del mismo, definiendo un ángulo de paso de pala la posición rotacional de la al menos una pala (100) con respecto al buje (30) alrededor de dicho eje geométrico (110) del paso, que comprende las etapas de:

la medición de una primera velocidad angular con respecto a un primer eje geométrico (e_1) de sensor, estando unido dicho primer eje geométrico (e_1) de sensor de manera fija a la pala en una primera orientación predeterminada, produciendo dicha primera orientación predeterminada una proyección del eje geométrico (32) rotacional principal sobre el primer eje geométrico (e_1) de sensor,

la medición de una segunda velocidad angular con respecto a un segundo eje geométrico (e_2) de sensor, estando dicho segundo eje geométrico (e_2) de sensor unido de manera fija a la pala en una segunda orientación predeterminada, produciendo dicha segunda orientación predeterminada una proyección del eje geométrico (32) rotacional principal sobre el segundo eje geométrico (e_2) de sensor, siendo dicho primer eje geométrico (e_1) de sensor y el segundo eje geométrico (e_2) de sensor linealmente independientes,

el cálculo de un ángulo de paso (Θ_{1C}) calculado indicativo del ángulo de paso de la pala, basándose el cálculo en el valor numérico de la primera velocidad angular y en el valor de la segunda velocidad angular.

12.- El procedimiento de la reivindicación 11, **caracterizado porque** la primera unidad (160) de cálculo calcula la velocidad principal rotacional (Ω) en base al valor numérico de la primera velocidad angular (Φ) y la segunda velocidad angular (β).

13.- El procedimiento de la reivindicación 11 o 12, que comprende además un tercer sensor (150) de la velocidad angular unido de manera fija a la al menos una pala (100) con una tercera orientación predeterminada y que mide una tercera velocidad angular (λ) alrededor de un tercer eje geométrico (e_3) de sensor por medio de lo cual dicha tercera orientación predeterminada produce una proyección del eje geométrico (32) rotacional principal sobre el tercer eje geométrico (e_3) de sensor, y la tercera velocidad angular (λ) comunica a la primera unidad (160) de cálculo, incluyendo la primera unidad (160) de cálculo dicho valor de la tercera velocidad angular (λ) en el cálculo del ángulo de paso (Θ_{1C}) calculado.

14.- El procedimiento de una o más de las reivindicaciones 10 a 13, **caracterizado porque** un sensor (22) de la velocidad de inclinación produce una señal de la velocidad de inclinación indicativa de la velocidad en el tiempo de la orientación del eje geométrico (32) rotacional principal con respecto al suelo debido a la flexión de la torre (10),

5 proporcionando un sensor (23) de la velocidad de guiñada que produce una señal de la velocidad de guiñada indicativa de la velocidad en el tiempo el cambio de la posición angular de la góndola alrededor del eje geométrico de la torre, por medio de lo cual la señal de la velocidad de inclinación y la señal de la velocidad de guiñada son recibidas por la primera unidad (160) de cálculo e incluyendo la primera unidad (160) de cálculo dicha señal de la velocidad de guiñada y la señal de la velocidad de inclinación en el cálculo del ángulo de paso (Θ_{1c}) calculado.

10 15.- Una turbina eólica que incorpora una torre (10), una góndola (20) fijada a la misma, un buje (30) rotacionalmente fijado a la góndola (20) y que define un eje geométrico (32) rotacional principal, rotando el buje a una velocidad rotacional principal (Ω), estando al menos una pala (100) rotacionalmente fijada al buje y que define un eje geométrico (110) de paso para su rotación alrededor del mismo, definiendo un ángulo de paso de pala la posición rotacional de la al menos unas pala (100) con respecto al buje (30) alrededor de dicho eje geométrico (110) de paso, **caracterizada por** un sistema de medición del ángulo de paso de acuerdo con una o más de las reivindicaciones 1 a 9 y unos medios adoptados para llevar a cabo el procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 10 a 14.

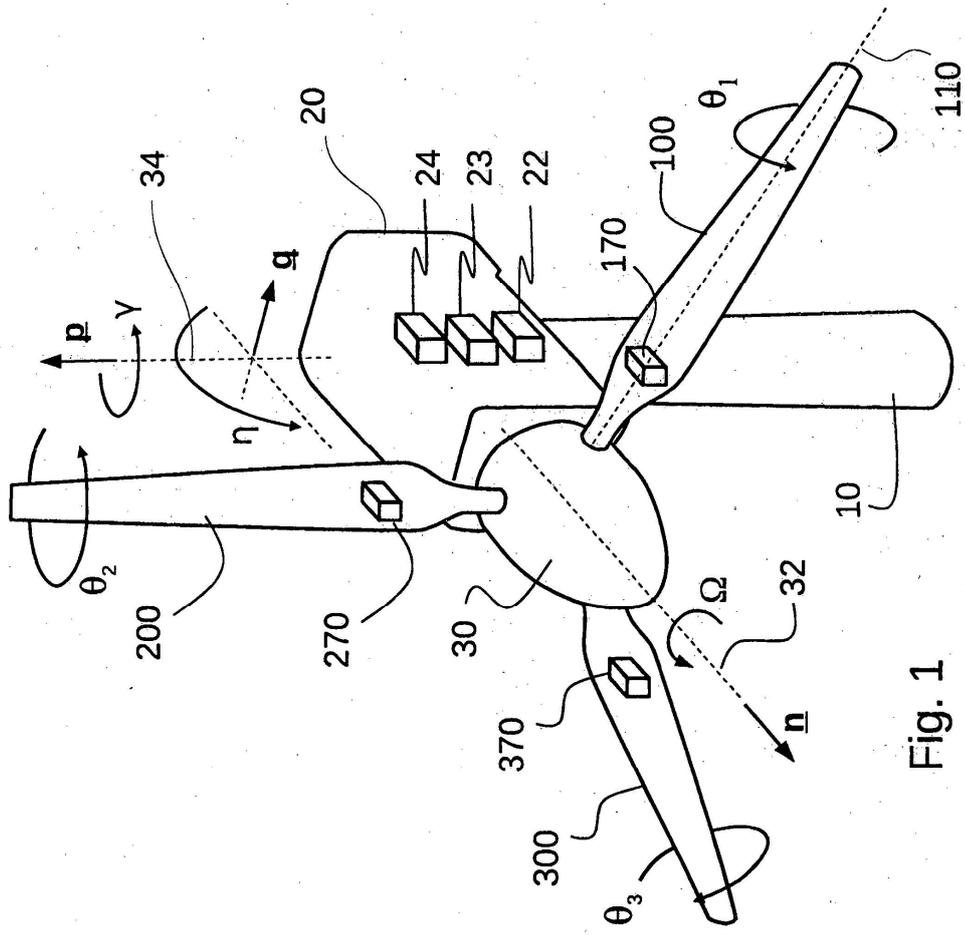


Fig. 1

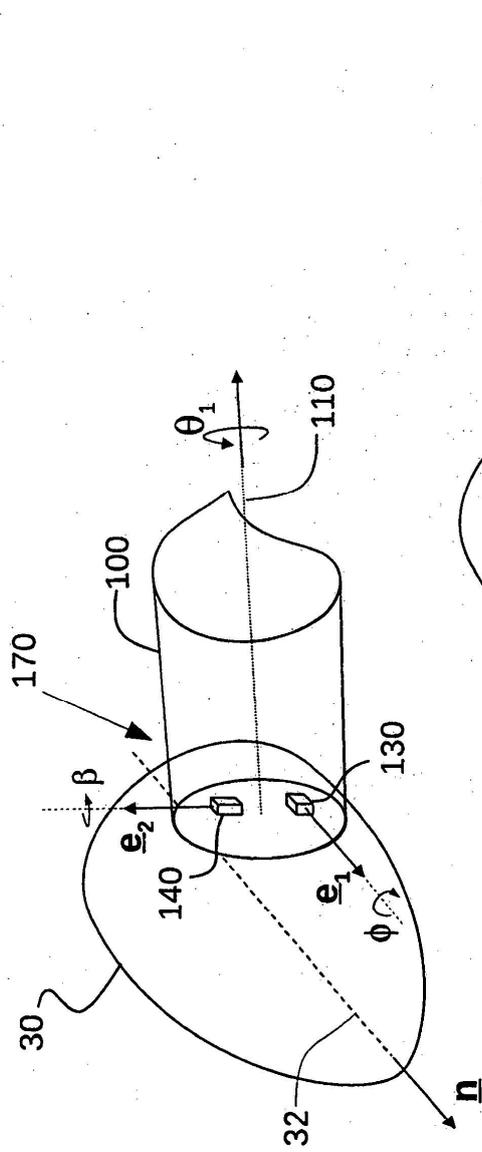


Fig. 2

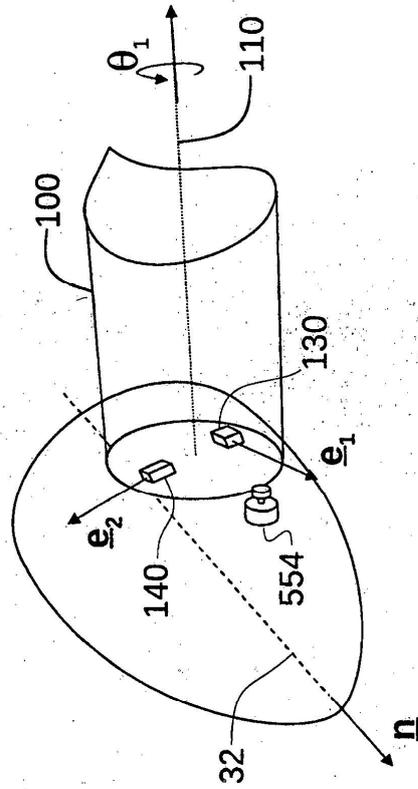


Fig. 3

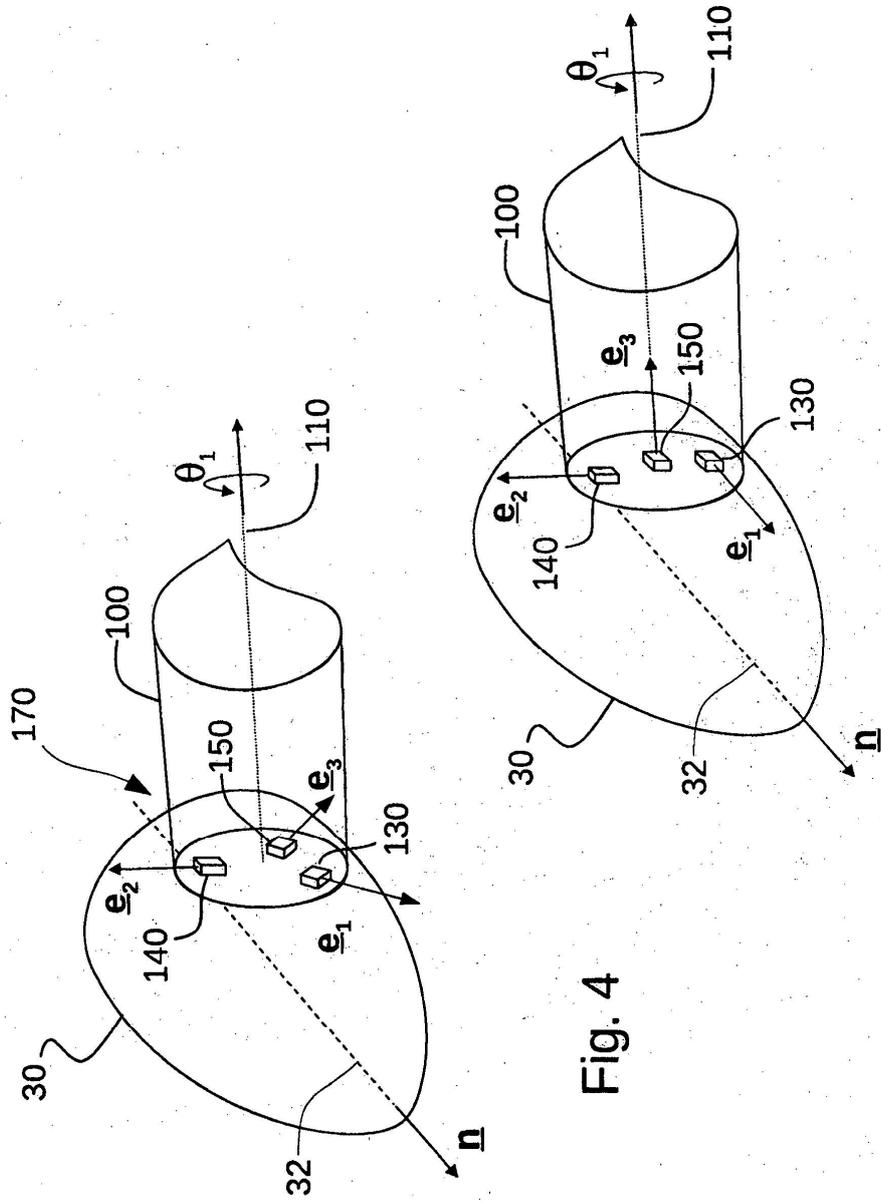


Fig. 4

Fig. 5

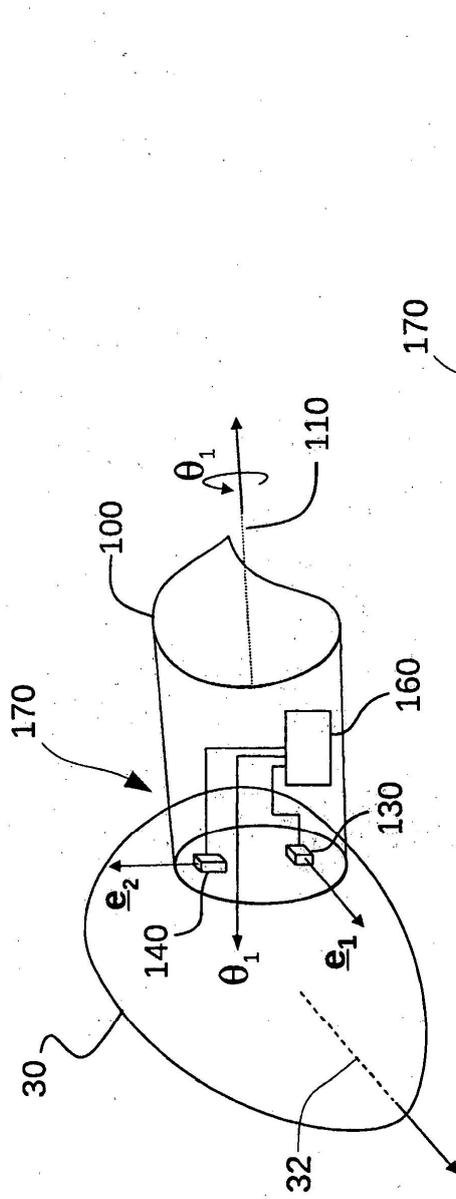


Fig. 6

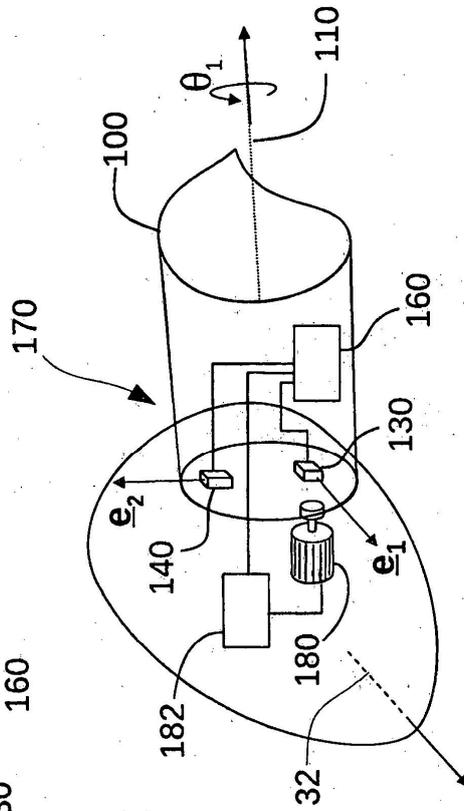


Fig. 7

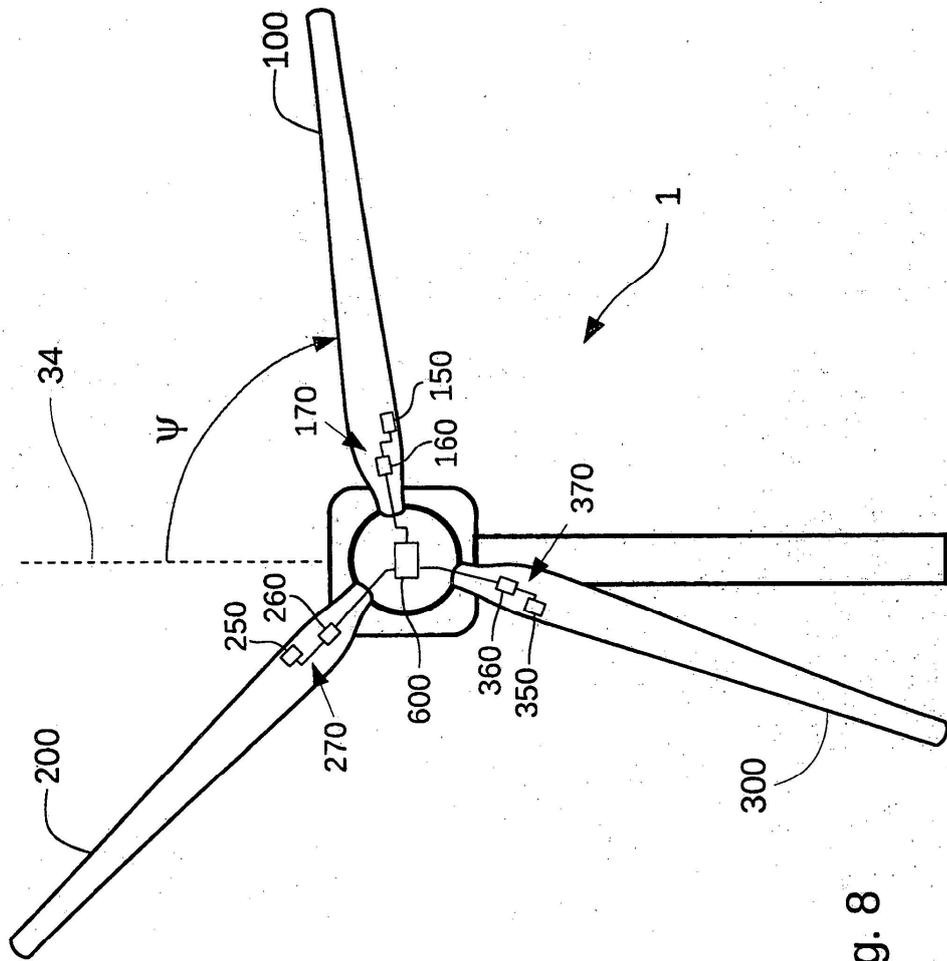


Fig. 8

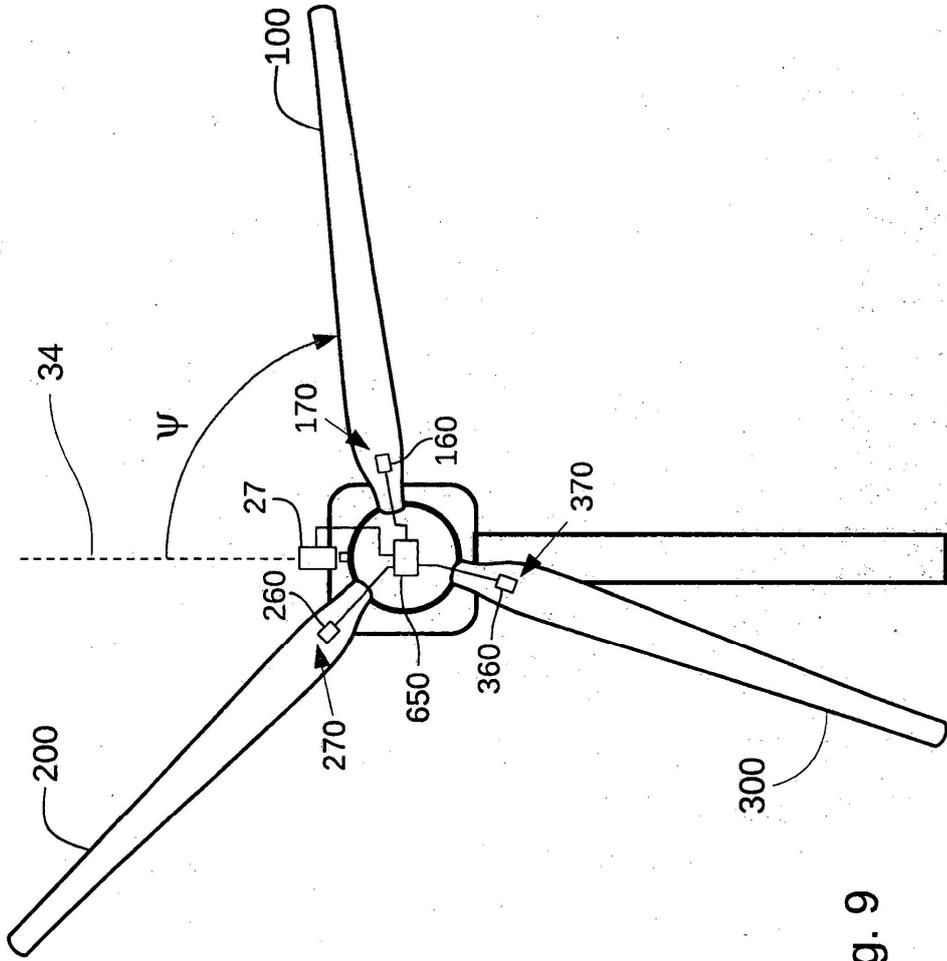


Fig. 9

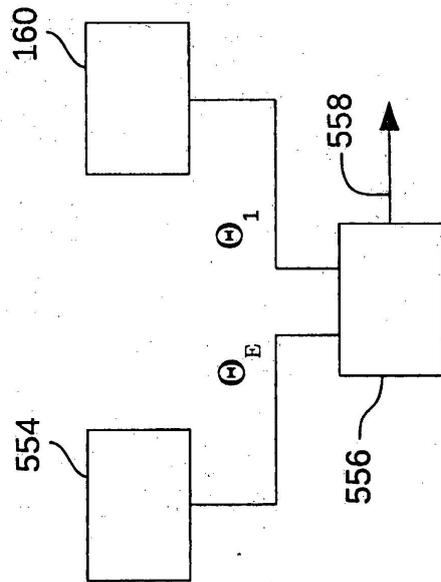


Fig. 10