

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 723 877**

51 Int. Cl.:

**F03D 17/00** (2006.01)

**F03D 7/02** (2006.01)

**F03D 7/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.11.2007** **E 07022192 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.12.2018** **EP 2060785**

54 Título: **Método y sistema para el funcionamiento de un aerogenerador**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**03.09.2019**

73 Titular/es:

**SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY  
INNOVATION & TECHNOLOGY, S.L. (100.0%)  
Avenida de la Innovación 9-11  
31621 Sarriguren (Navarra), ES**

72 Inventor/es:

**REBSDORF, ANDERS y  
GLENT-MADSEN, HENRIK**

**ES 2 723 877 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 y sistema para el funcionamiento de un aerogenerador.

### 5 Objeto de la invención

La presente invención está relacionada con un método para manejar aerogeneradores (AEG) que comprende un rotor compuesto por un mínimo de dos palas. El cambio de paso de las palas está regulado, donde el rotor está conectado a un eje, el cual está sujetado con rodamientos y cuyo eje acciona al menos un generador, donde el AEG utiliza un sistema de regulación de cargas para regular por separado el cambio de paso de al menos dos palas.

Además, esta invención tiene relación con un sistema de regulación de cambio de paso de aerogeneradores (AEG) formados por un rotor, cuyo rotor consta de un mínimo de dos palas, cuyo rotor está conectado a un eje, dicho eje está sujetado por al menos un primer rodamiento y un segundo rodamiento, cuyo primer rodamiento sostiene el rotor, donde el segundo rodamiento sostiene el otro extremo del eje, dicho eje también está conectado a un generador, cuyo sistema de regulación de paso de palas regula por separado el paso de al menos dos palas.

20

### Antecedentes de la invención

Los aerogeneradores (AEG) de más de 1 MW suelen regular el cambio de paso de las palas por separado para reducir las fuerzas de carga y aumentar la rentabilidad del AEG. Las cargas asimétricas en el rotor contribuyen en gran medida a las cargas de fatiga que, en principio, se pueden reducir controlando el cambio de paso de las palas por separado en función de las circunstancias de cada pala. El ángulo de paso suele tener una posición de entre 5 y 90 grados. Para determinar si hay que ajustar el ángulo de ataque, se debe integrar en el AEG algún tipo de sistema de medición de las cargas en las palas o en el eje. Así, el controlador puede generar señales de demanda de paso estimada de cada sistema de cambio de paso.

30

En la actualidad se usan distintos sensores de medición. Se usan galgas extensiométricas en la raíz de las palas. Acelerómetros en la punta de las palas son bien conocidos. Fibras ópticas como Smartfiber e Insensys pueden colocarse dentro o sobre las palas. Todos estos sensores giran con las palas y los resultados de la medición se tienen que comunicar desde el rotor que gira a un sistema de control que no gira. Los inconvenientes de todos estos sistemas son su precio, vida útil y fiabilidad.

35

US20040151575A1 y US20040151577A1 hacen referencia a un método y un aparato para controlar la carga del rotor del aerogenerador. La desalineación del giro por cizalladura del viento vertical y horizontal y/o la turbulencia actúan juntas para generar cargas asimétricas en el rotor de un aerogenerador. La carga resultante produce momentos de flexión en las palas que se transmiten al buje y, posteriormente, al eje de baja velocidad. Como consecuencia, el eje principal y la brida del eje principal se desplazan de sus posiciones de carga de reposo o no aerodinámica. El desplazamiento de la brida del eje se mide con uno o varios sensores. Las señales de salida de los sensores se usan para determinar la magnitud y/o la orientación de la carga del rotor resultante. Esta información permite modificar el cambio de paso de las palas necesario para reducir la carga y de este modo reducir la fatiga y las cargas en diversos componentes del aerogenerador.

40

EP1243790A1 hace referencia a un aerogenerador que tiene un rotor con al menos una pala para convertir la energía del viento en energía mecánica. Un dispositivo de regulación ajusta las palas del rotor individualmente y se acopla un generador al rotor para convertir la energía mecánica en energía eléctrica. La tensión instantánea que reciben las partes del

45

50

aerogenerador se determina mediante un sistema de medición. Un sistema de control (8) determina la posición adecuada de la pala del rotor para proporcionar dicha tensión y ajuste mediante el dispositivo de ajuste.

## 5 Objeto de la invención

El objeto de la invención es compensar la carga asimétrica en el rotor de un aerogenerador; el segundo objeto de la invención es reducir el desgaste de los rodamientos del eje del aerogenerador y el tercero es aumentar la producción de energía eléctrica del aerogenerador.

10

## Descripción de la invención

El objeto puede lograrse con un dispositivo según la reivindicación 1 y un método de acuerdo a la reivindicación 6.

15

De esta forma, se puede ajustar el cambio de paso de las palas. Cuando la carga de las palas es mínima, se aumenta el ángulo de paso para que la carga en la pala sea mayor y ajustar la carga asimétrica al mínimo en el rotor. Además, en el caso de la pala cuya carga es alta, el ángulo de paso puede reducirse para disminuir la carga. El ajuste para que la carga sea simétrica puede por sí solo aumentar la producción de energía eléctrica. Como consecuencia de la reducción de la flexión en el eje, la carga de los rodamientos también se reducirá, lo que puede alargar la vida útil del rodamiento principal del aerogenerador. En teoría, la cizalladura del viento hará que la carga sea máxima en la pala superior y mínima en la pala inferior, pero en la realidad la cizalladura puede ser mucho más complicada. En circunstancias normales, un solo sensor de desplazamiento en el eje podría regular eficazmente si el sistema de cambio de paso tiene un funcionamiento tan rápido que el cambio de paso puede ajustarse dentro de un único giro del rotor.

20

25

30

35

En una situación donde otro aerogenerador o un edificio generen una cizalladura del viento horizontal en el aerogenerador, podría darse el caso de que la carga asimétrica de un lado del rotor sea alta y sea menor en el lado opuesto. Siempre que la carga sea diferente en los lados de un rotor, el control de cambio de paso puede ajustar la carga del rotor para que sea casi simétrica si los sensores detectan el desplazamiento del eje principal. El eje se puede sostener con al menos un primer rodamiento cerca del rotor y al menos un segundo rodamiento en el otro extremo del eje. Una parte del eje queda sin apoyo entre el primer y el segundo rodamiento, donde los sensores de desplazamiento miden la flexión del eje en al menos un punto entre los rodamientos. Es probable que los aerogeneradores tengan varios rodamientos para sostener el eje principal y sostener el rotor. Estos rodamientos se colocan a menudo en un primer grupo cerca del rotor y un segundo grupo cerca del otro extremo del eje principal.

40

45

Entre los grupos de rodamientos hay una parte del eje en la que existe flexión cuando la carga del rotor es asimétrica. El desplazamiento del eje principal es fácil de medir, porque puede ser de hasta 1mm. El punto de medición óptimo podría ser el punto central entre los rodamientos, pero también pueden usarse otros puntos. El desplazamiento es tan grande que debe ser muy fácil medirlo con los sistemas de detección, incluso si no se puede poner el sensor óptimo en el eje.

50

Es preferible que el sistema de regulación del cambio de paso funcione conjuntamente con los sensores de desplazamiento para que el ajuste del cambio de paso sea muy rápido dependiendo de la flexión del eje. Dado que la regulación del cambio de paso es un ajuste manual de una pala de gran peso, dicho ajuste tiene una pequeña demora antes de ser efectivo. Por lo tanto, no puede haber demora entre los sensores de desplazamiento del eje y el sistema de regulación del cambio de paso.

El sistema consta de varios sensores de desplazamiento para medir la flexión real del eje al menos en un punto entre el primer rodamiento y el segundo.

5 El sistema consta como mínimo de dos sensores de desplazamiento para medir la flexión real del eje en distintas direcciones. Los sensores están conectados al sistema de regulación del cambio de paso y miden la cantidad y el ángulo reales de la flexión del eje. A partir de la medición de la flexión del eje en varios puntos, el sistema de regulación del cambio de paso obtiene información circular completa sobre la flexión del eje. Se miden tanto la cantidad como la dirección con objeto de regular el cambio de paso.

10 El eje del AEG se puede sostener con al menos un primer rodamiento cerca del rotor y al menos un segundo rodamiento en el otro extremo del eje. Una parte del eje queda sin apoyo entre el primer y el segundo rodamiento, y los sensores de desplazamiento miden la flexión del eje en un punto entre los rodamientos como mínimo. Es aconsejable colocar los sensores en la parte del eje que no tiene apoyo. En primer lugar, la flexión del eje es más alta entre los rodamientos y en segundo lugar, se trata de un punto del aerogenerador protegido, en el que los sensores quedan protegidos frente a las condiciones ambientales porque normalmente habrá una pantalla en torno al eje principal, bajo la cual pueden ponerse los sensores.

15 20 Los sensores de desplazamiento pueden colocarse en relación con el bastidor de la góndola para medir la distancia diferencial en relación con el buje. La carga del rotor se mide calculando el desplazamiento entre el buje y la góndola/bastidor principal. Se pueden usar uno o varios sensores de desplazamiento. Para obtener redundancia se deben poner dos sensores más o menos en la misma posición. Los sensores pueden colocarse en los lados izquierdo y derecho de la góndola, cerca del buje.

También pueden colocarse en el buje para medir la distancia diferencial en relación con el bastidor principal de la góndola.

30 Los sensores de desplazamiento pueden colocarse en relación con el bastidor de la góndola para medir la distancia diferencial en relación con el generador. La carga del rotor se mide calculando el desplazamiento entre el generador y la góndola/bastidor principal. Si no hay carga asimétrica en el rotor, el eje se flexionará. Como el generador está montado en el eje, el generador se desplaza en función de la carga asimétrica. Se pueden usar uno o varios sensores de desplazamiento. Para obtener redundancia se deben poner dos sensores más o menos en la misma posición.

35 Los sensores se pueden colocar con un desplazamiento de 90 grados desplazados para diferenciar el giro de la inclinación.

40 **Descripción de la figura**

Fig. 1: Muestra la vista superior de un aerogenerador.

45 Fig. 2: Muestra la cizalladura del viento típica en relación con un aerogenerador.

Fig. 3: Muestra un aerogenerador con carga.

Fig. 4: Muestra un eje con cuatro sensores de desplazamiento.

50 Fig. 5: Muestra el desplazamiento medido entre el bastidor principal/góndola y el buje.

Fig. 6: Muestra los sensores de desplazamiento montados en el buje.

Fig. 7: Muestra el desplazamiento medido entre el bastidor principal/góndola y el generador.

Fig. 8: Muestra los sensores montados con un desplazamiento de 90 grados.

5 Fig. 9: Muestra un sistema de coordenadas.

Fig. 10: Muestra un diagrama de bloques del sistema de un aerogenerador de dos palas con cambio de paso individual.

10 Fig. 11: Muestra un diagrama de bloques de un sistema como el de la figura 10, pero con un módulo de banda muerta.

Fig. 12: Muestra un diagrama de bloques con el sensor de desplazamiento colocado en el buje.

### 15 Descripción detallada de la invención

En la Figura 1 se muestra una vista superior esquemática de la sección de un rotor y un eje. El aerogenerador 2 consta de un rotor 4 conectado al eje 6. El rotor 4 tiene dos palas, 10 y 12, y el eje 6 se sujeta con los rodamientos 14 y 16. El sensor de desplazamiento 18 detecta la flexión del eje.

Con esta invención es posible medir la carga de las palas 10 y 12 de forma sencilla, económica y fiable. Si se tiene un rotor 4 con al menos una, preferiblemente dos, pero además varias palas 10 y 12 y un eje 6 montado con uno, dos o varios rodamientos 14, 16, es posible medir la flexión del eje causada por las cargas de todo el rotor 4.

La descripción que sigue corresponde a un AEG de dos palas. Se mide la distancia K (ver fig. 1) del sensor 18 al eje sin carga 6. Una velocidad de viento superior en la región A que en la región B significa que la carga es mayor en la pala 10 que en la pala 12. Como el eje 6 y los rodamientos 14 y 16 no forman un sistema totalmente rígido, la mayor fuerza significa que la línea central del eje 6 se desplaza:

$$K = K - L$$

35 Si la carga es mayor en la región B que en la A, entonces

$$K = K + L$$

En la figura 2 se muestra un aerogenerador típico, 20, en relación con una cizalladura de viento típica, 22. El aerogenerador tiene un rotor 6 con una primera pala 10 y una segunda pala 12. El rotor está unido a una góndola 26 montada en la torre 24.

La figura 2 muestra que la carga es mayor en la parte superior de la cizalladura del viento 22; esto hará que el eje 6 se flexione. Para reducir las cargas en el AEG, esta fuerza de flexión se mide y se utiliza para controlar los ángulos de paso de las palas 10 y 12. Así se pueden controlar las cargas del centro del rotor 6, que se distribuyen simétricamente en torno al buje.

La figura 3 muestra una sección lateral parcial de un aerogenerador. El aerogenerador 102 consta del rotor 104 conectado al eje 106. El rotor 104 tiene las palas 110 y 112. El eje 106 se sujeta con los rodamientos 114 y 116. El sensor de desplazamiento 118 mide el desplazamiento del eje 106, que en este caso se muestra con flexión porque la cizalladura del viento asimétrica 122 actúa sobre las palas 110 y 112.

Durante el funcionamiento, esto significa que la carga sobre la pala 110 es mayor, porque la velocidad del viento es mayor en la parte superior que en la inferior de la pala 112. Esta diferencia de carga genera un par que flexiona el eje 106 y el sensor 118 indica esa flexión.

5 Puede haber uno, dos o varios sensores de desplazamiento 118. Los sensores 118 pueden colocarse a lo largo del eje en todas las posiciones, entre los rodamientos 114 y 116 y a ambos lados de estos.

10 La figura 4 muestra un eje con cuatro sensores de desplazamiento. El eje 106 funciona junto con los sensores 124, 126, 128 y 130. Estos cuatro sensores pueden medir cualquier flexión del eje 106. Si todos los sensores 124, 126, 128 y 130 se conectan al sistema de medición de un ordenador, sus datos se pueden convertir en información sobre la cantidad y la dirección de la flexión del eje en 360 grados. Esta información puede utilizarse en el control de cambio de paso de las palas de un aerogenerador.

15 También se pueden calibrar los sensores (18, 118, 124-130) de forma que se tenga en cuenta la desalineación de los sensores (18, 118, 124-130), tanto de forma estática como dinámica. Además, es posible compensar los sensores (18, 118, 124-130) para la torsión en la suspensión del eje. Los cambios ambientales, (temperatura y humedad) se pueden compensar  
20 en el sistema.

Los sensores de desplazamiento (18, 118, 124-130) pueden ser resistivos, capacitivos, inductivos, magnéticos, ultrasónicos o láser. Se pueden usar sensores de contacto o sin contacto, incrementales o absolutos.  
25

La figura 5 muestra el aerogenerador 202, que tiene el buje 204, al que están conectadas las aletas 210 y 212. El buje 204 está conectado al eje 206. Este eje está sostenido por los rodamientos 214 y 216 de la góndola 220. En la góndola están los sensores de desplazamiento 222 y 224, que miden la distancia  $K_o$ .  
30

35 Cuando el aerogenerador está funcionando, la distancia  $K_o$  dependerá de la carga de los rotores 210 y 212. Así, la carga se puede medir como la diferencia entre la distancia real entre los sensores 222 y 224 y el buje 204. Se pueden usar uno, dos o varios sensores de desplazamiento. Para obtener redundancia, se pueden poner dos sensores más o menos en la misma posición. Los sensores se pueden poner en el lado izquierdo de la góndola, cerca del buje.

40 La figura 6 muestra los sensores de desplazamiento montados en el buje. Todos los demás componentes tienen los mismos números ya mencionados. Como otra opción de la invención, los sensores 226 y 228 se colocan en el buje 204 podrían funcionar en sentido contrario. En ese caso, las señales de los sensores se deben transmitir del buje de giro 204 a una unidad de control. Estas señales de medición no supondrán un problema, porque se pueden transmitir por medios de comunicación inalámbricos.

45 La figura 7 muestra otra opción, cuya única diferencia es que los sensores 230 y 232 miden la distancia hacia el generador 240.

50 La flexión del eje principal 206 también influirá en la distancia entre la góndola y el generador. Si los sensores de 230 y 232 se ponen en la parte trasera de la góndola 220, estos sensores 230 y 232 estarán presumiblemente bien protegidos contra viento y otros factores atmosféricos. Se pueden usar uno, dos o varios sensores de desplazamiento. Para obtener redundancia, se deben poner dos sensores más o menos en la misma posición.

La carga del rotor se mide calculando el cambio del desplazamiento entre el generador y la góndola/bastidor principal. Si no hay carga asimétrica en el rotor, el eje se flexionará. Como el generador se coloca en el eje, el generador se desplaza en función de la carga asimétrica. Se pueden usar uno, dos o varios sensores de desplazamiento. Para obtener redundancia se deben poner dos sensores más o menos en la misma posición.

La figura 8 muestra la góndola 220 y el generador 240, donde se colocan dos diferentes sensores 234 y 236 con un desplazamiento de 90 grados. Así, es posible diferenciar el giro de la inclinación en el aerogenerador.

También se pueden calibrar los sensores para que tengan en cuenta la desalineación de los sensores tanto de forma estática como dinámica. Otra calibración puede tener en cuenta los cambios de temperatura. Los sensores de desplazamiento pueden ser resistivos, capacitivos, inductivos, magnéticos, ultrasónicos o láser. Se pueden usar sensores con contacto o sin contacto, incrementales o absolutos. Así, el sistema de medición de cargas podría usarse como sensor principal para el control de giro activo. Si la cizalladura del viento es asimétrica y la góndola no apunta exactamente hacia el viento se podrá medir el desplazamiento del eje generado por las fuerzas de carga desigual en las palas. A continuación, se calcula una señal de error de giro de los sensores de desplazamiento en una señal de demanda para el actuador de giro. Normalmente, esta señal de giro indirecta se debe promediar mucho (filtrar) para diferenciar entre el cambio de dirección del viento y el cambio de cizalladura del viento. Puede aplicarse un sencillo controlador de banda muerta.

La figura 9 muestra un sistema de coordenadas 302, en el que el eje 304 indica el desplazamiento y el otro eje 306 indica la inclinación. La curva 308 indica una relación lineal entre el desplazamiento 304 y la inclinación 306.

En el modo de cambio de paso colectivo, las palas del rotor tienen la misma posición. La cizalladura del viento no es igual en toda la superficie del rotor, por lo que cada pala recibe distintas fuerzas/cargas. Por lo tanto, es necesario controlar cada pala independientemente. En este caso, hay una buena correlación entre el desplazamiento del eje y el momento de flexión del centro del rotor. Se pueden usar distintos puntos de nodo para determinar el desplazamiento relativo entre la estructura principal y el generador.

La figura 10 muestra el diagrama de bloques del sistema 402 de dos palas con cambio de paso individual. La entrada de los sensores de desplazamiento 404 y 406 está en la sección de transformación rotacional 408, donde también está la entrada 409, que representa el ángulo azimut. La salida de la transformación rotacional 408 son las señales 410 y 412, cuyas dos señales 410 y 412 representan el momento de flexión calculado de la pala. En el bloque 414, las señales 410 y 412 que representan el momento de flexión calculado de las palas, se unen para crear la señal de momento combinado  $M_{res}$  415. Esta señal 415 se envía al controlador 416. En este controlador,  $M_{res}$  145 se combina con  $M_{sct}$  417 en una unidad combinada 418 que forma la señal 419. La señal 419 se envía al regulador PI 420, que genera la señal 422 como salida que es un  $\Delta\beta$  que representa la demanda de cambio de paso  $\Delta$ . Esta señal 422 se resta de una unidad de combinación 424, a la que se suma la señal  $\beta$  423. La señal 423 es la demanda de cambio de paso real que se usa como entrada en el sistema. A partir de esta entrada a la unidad de combinación 424, se genera una salida  $\beta_1$  428. Además, la señal  $\Delta\beta$  422 se envía como valor positivo a la unidad de combinación 426, donde la señal 13 423 también constituye una entrada. Las señales 423 y 422 se combinan y generan la señal 132 430, que forma la segunda línea de salida.

La figura 10 muestra un aerogenerador de dos palas con cambio de paso independiente, donde  $\Delta S$  es el desplazamiento medido,  $M$  es el momento de flexión calculado de la pala,  $\beta$  es la

demanda de cambio de paso,  $\theta$  es el ángulo azimut y CPC es el controlador de cambio de paso colectivo.

5 Se supone que  $\Delta S_1$ , y  $\Delta S_2$  son desplazamientos respecto al equilibrio. Se miden los valores de desplazamiento  $S_1$  y  $S_2$  de los sensores, la rotación se transforma y se convierten en el momento  $M_1$  y  $M_2$ . La consigna del regulador  $M_{SET}$  es la referencia para una carga simétrica en el rotor.  $\Delta\beta$  es la demanda de cambio de paso individual.  $\Delta\beta$  se resta a la pala 1 y se suma a la pala 2. La señal decide la dirección del cambio del ángulo de paso. Se calcula el ángulo azimut del rotor  $\theta$  y se usa en el sistema de control con el fin de identificar la pala que hay que ajustar.

10 Obviamente, habrá una relación entre el azimut y las posiciones de las palas; por ejemplo, un azimut igual a cero significa que pala A está en posición vertical hacia arriba.

La figura 11 muestra un diagrama de bloques de módulos idénticos a los nodos de la figura 10. Por lo tanto, no se describe la parte de la figura 11 que está delante del controlador 416. Como

15 ya se ha indicado, el controlador 416 consta de la unidad de combinación de grupo 418, que tiene las líneas de entrada  $M_{res}$  415 y  $M_{set}$  417, y el resultado es la señal combinada 419. La línea 419 es la entrada del módulo de banda muerta 440. Esto genera la señal 441, que se envía al regulador de PI 442. En este regulador se forma la señal 443, que se envía al regulador de mínimo/máximo 444. El regulador de mínimo/máximo 444 forma la señal 445  $\Delta\beta$ ,

20 que es la demanda de cambio de paso  $\Delta$ . La señal 445 se envía a las tablas de consulta 446 y 448. Estas tablas de consulta forman las señales de salida 450 y 452. Estas señales se envían a una primera unidad de combinación 456, donde la señal 452 es una entrada negativo, donde la señal 458 representa  $\beta$ , que es la demanda de cambio de paso real. La unidad de combinación 456 forma la salida 460, que es  $\beta_1$ . La salida de 450 de la tabla de consulta 448 se

25 envía como valor positivo al combinador 454, que tiene la entrada 458  $\beta$ . La unidad de combinación 454 forma la salida  $\beta_2$  462.

En la figura 11 se añade una zona de banda muerta como consecuencia del sistema del paso de la pala. Se implementa un filtro de mínimo/máximo para controlar la velocidad y el ángulo de

30 paso mínimo/máximo. Se usa una tabla de consulta para compensar la posible no linealidad del sistema del paso de la pala. También se pueden integrar otros controladores para compensar la sombra de la torre, que es bien conocida y repetitiva.

La figura 12 muestra un diagrama de bloques del sistema de 502 cuyo sistema 502 es un

35 diagrama de bloques en el que el sensor de desplazamiento se coloca en el buje. Uno o varios sensores de desplazamiento generan la señal 504. La señal 504 forma la entrada en el bloque 508, cuya única función es la de convertir la señal de desplazamiento en el momento de flexión 501  $M_1$ . La señal 510 se transmite al controlador 514. Este controlador 514 genera la salida 516, que es la señal  $\Delta\beta$ , y esta señal  $\Delta\beta$  516 forma una entrada que se usa como entrada

40 negativa en la unidad de combinación 518, donde la señal 13 520 se usa como entrada positiva. Esto genera la salida  $\beta_1$  a través de la línea 522. La señal  $\Delta\beta$  516 se envía a la unidad de combinación 519, donde la señal 519 y la señal  $\beta$  520 se combinan para formar la señal  $\beta_2$  524.

45 En la figura 12 se muestra un diagrama de bloques de un sistema en el que el sensor de desplazamiento se coloca en el buje. En esta situación, se evita la transformación rotacional y solo se necesita un sensor de desplazamiento. Para obtener redundancia, es mejor usar dos sensores.

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Sistema de regulación de cambio de paso independiente de al menos dos palas (10, 12, 110, 112) de un rotor (4, 104) de un generador de aerogenerador, con el rotor (4, 104) conectado a un eje principal (6, 106) sujetado por al menos un primer rodamiento (14, 114) que sostiene el rotor (4, 104) y un segundo rodamiento (16, 116) que sostiene el otro extremo del eje (6, 106), dicho eje (6, 106) que está unido a un generador que consta de un mínimo de dos sensores de desplazamiento (18, 118, 124-130) que proporcionan señales formando una entrada al sistema de regulación del cambio de paso que el sistema de regulación del cambio de paso usa para
- 10 compensar las cargas asimétricas del rotor (4, 404) mediante la regulación del cambio de paso, **caracterizado por que** dichos, al menos dos sensores de desplazamiento (18, 118, 124-130) para medir la flexión del eje (6, 106), midiendo la distancia diferencial entre el bastidor principal de la góndola y el generador, donde dicha diferencia forma la dicha entrada del sistema de regulación del cambio de paso.
- 15 2. El sistema según la reivindicación 1 **se caracteriza por que** el sistema tiene varios sensores de desplazamiento (18, 118, 124-130) para medir la flexión real del eje (6, 106) desde diferentes direcciones, donde los sensores (18, 118, 124-130) están conectados al sistema de regulación de cambio de paso para medir la cantidad y el ángulo reales de la flexión del eje (6, 20 106).
3. El sistema según la reivindicación 1 **se caracteriza por que** se colocan más sensores de desplazamiento en relación con el bastidor principal de la góndola del generador del aerogenerador para medir la distancia diferencial en relación con el buje.
- 25 4. El sistema según la reivindicación 1 **se caracteriza por que** se colocan más sensores de desplazamiento en el buje (4, 104) para medir la distancia diferencial en relación con el bastidor principal de la góndola del generador del aerogenerador.
- 30 5. El sistema según la reivindicación 1 **se caracteriza por que** se colocan más sensores de desplazamiento en relación con el bastidor principal de la góndola del generador del aerogenerador para medir la distancia diferencial en relación con el generador.
- 35 6. El sistema según la reivindicación 1 **se caracteriza por que** los sensores de desplazamiento (18, 118, 124-130) se colocan con un desplazamiento de 90 grados para diferenciar entre el giro y la inclinación.
- 40 7. El método de funcionamiento de los sistemas de regulación del cambio de paso según cualquiera de las reivindicaciones 1-6 **se caracteriza por que** la carga real del rotor (4, 104) se mide con al menos dos sensores de desplazamiento (18, 118, 124-130), que miden la flexión del eje principal (6, 106) para formar una entrada al sistema de regulación del cambio de paso en función de la flexión del eje (6, 106) y el sistema de regulación del cambio de paso regula el cambio de paso de las palas individualmente (10, 12, 110, 112) para compensar la carga asimétrica del rotor (4, 104).
- 45

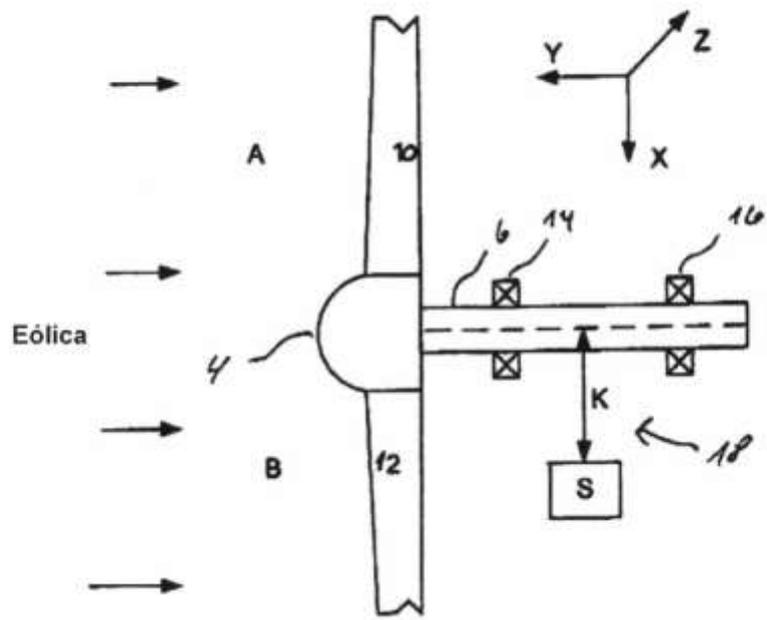
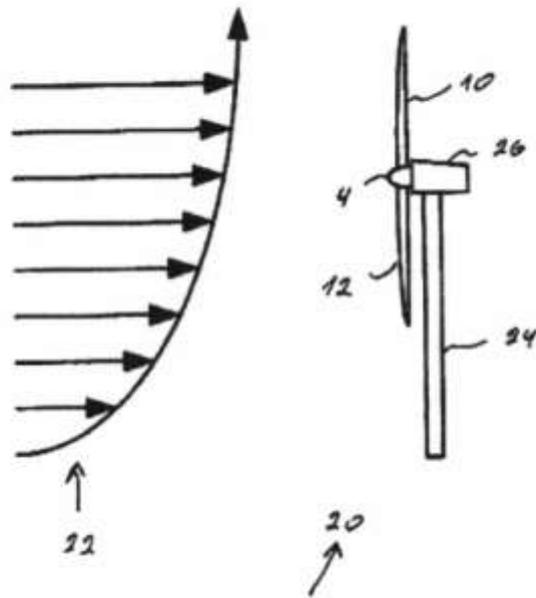


FIG. 1



**FIG. 2**

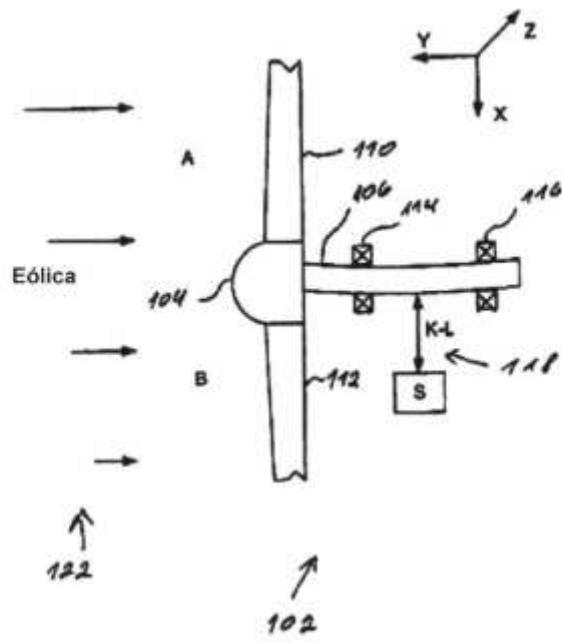


FIG. 3

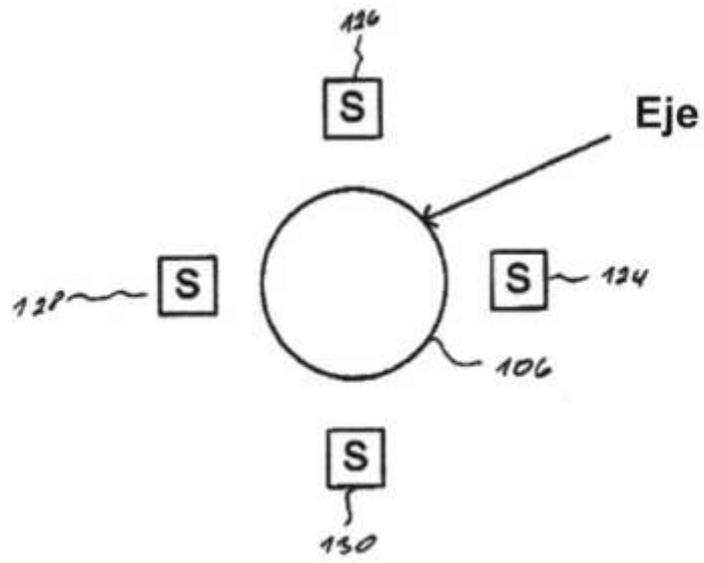


FIG. 4

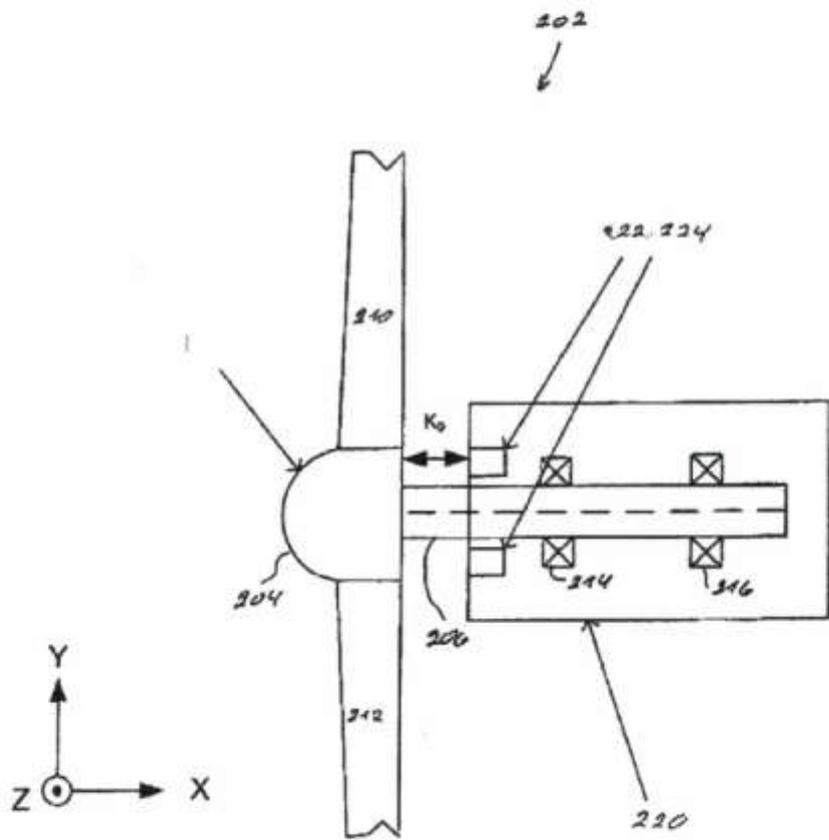
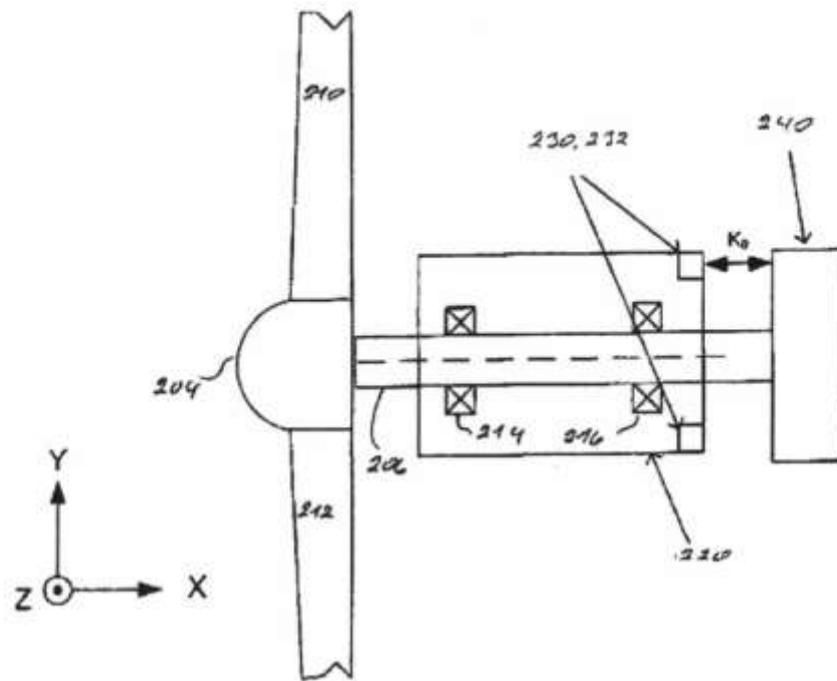


FIG. 5





**FIG. 7**

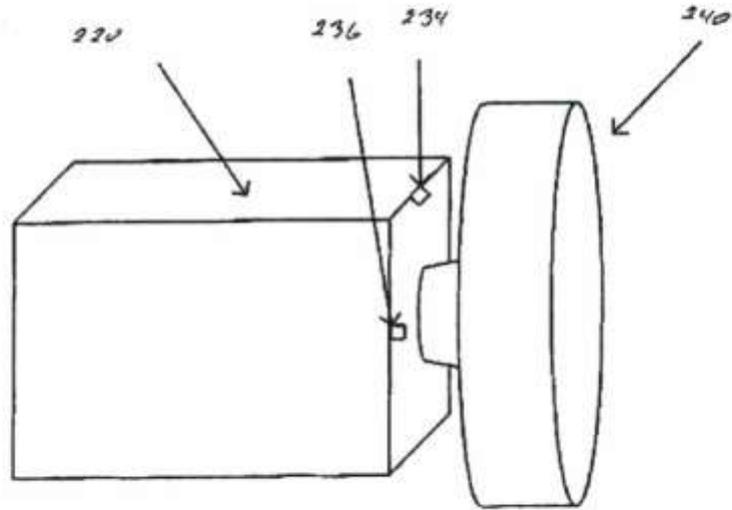


FIG. 8

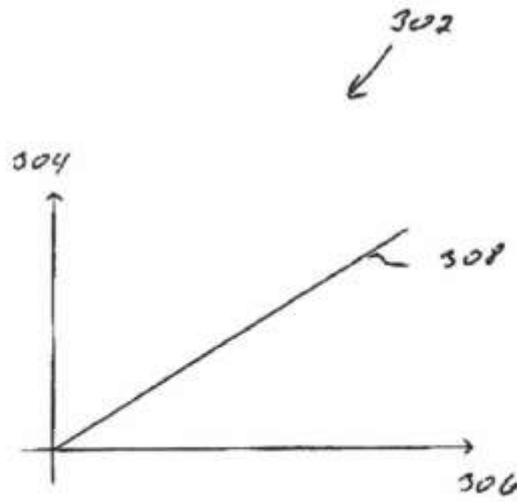


FIG. 9

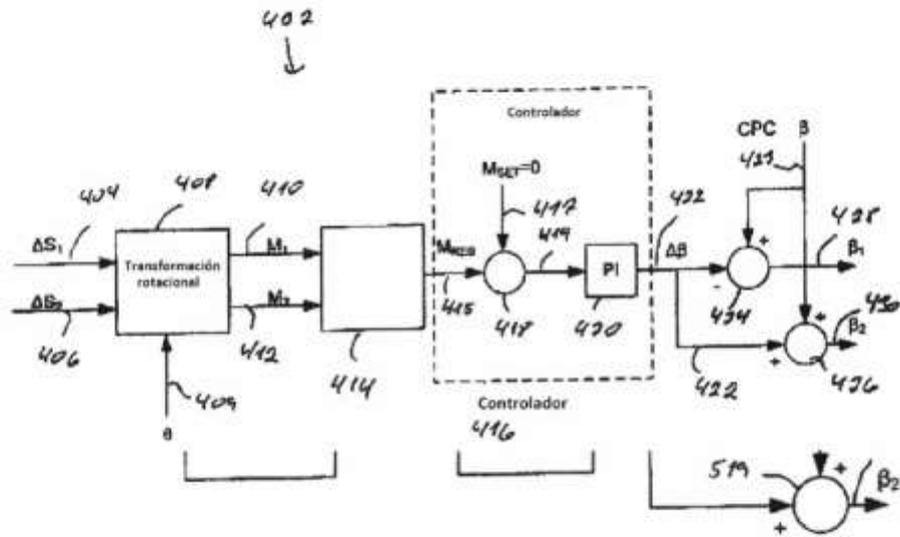


FIG. 10

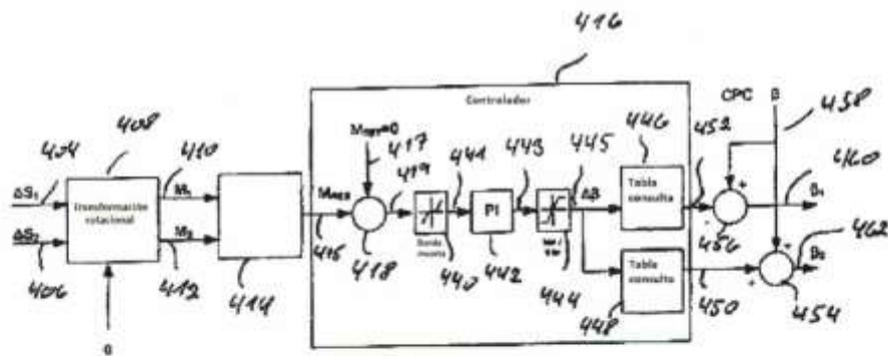


FIG. 11

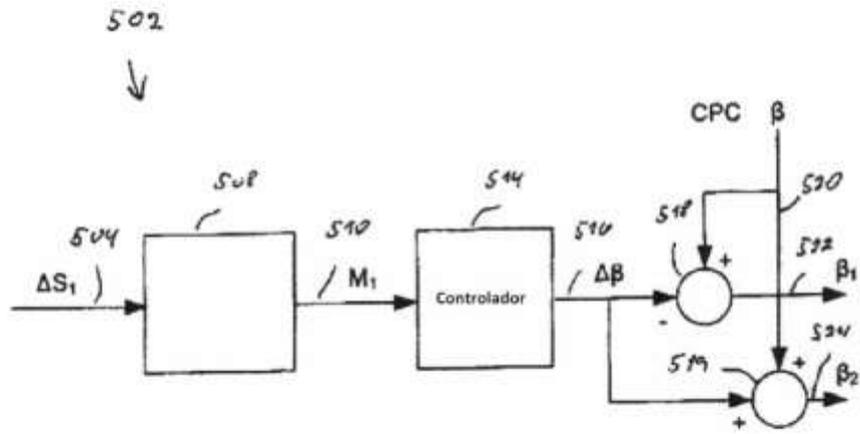


FIG. 12