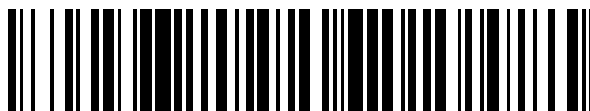


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 626 599**

51 Int. Cl.:

**F03D 17/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.11.2011** **E 11009426 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.03.2017** **EP 2479425**

54 Título: **Procedimiento para la supervisión de una estabilidad estática y/o dinámica de una instalación de energía eólica**

30 Prioridad:

**04.12.2010 DE 102010053523**

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

**25.07.2017**

73 Titular/es:

**NORDEX ENERGY GMBH (100.0%)  
Langenhorner Chaussee 600  
22419 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:

**DROSSEL, DETLEF y  
HARMS, ULRICH**

74 Agente/Representante:

**ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María**

**ES 2 626 599 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

Procedimiento para la supervisión de una estabilidad estática y/o dinámica de una instalación de energía eólica

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para la supervisión de una estabilidad estática y/o dinámica de una instalación de energía eólica.

Por el documento DE 202 21 562 U1 se conoce una instalación de energía eólica con una supervisión de la oscilación de la torre. La instalación de energía eólica está equipada con un dispositivo de control para la gestión del funcionamiento de la instalación de energía eólica, así como con un dispositivo para la detección del modo de oscilación de la torre. La instalación de energía eólica está equipada con medios para detectar una oscilación de la torre. Cuando se constata que la oscilación de la torre y/o la desviación absoluta de la torre sobrepasa un primer valor límite predeterminable se modifica la gestión del funcionamiento, de manera que se evita una excitación adicional de la oscilación de la torre. Además, se conoce medir la primera frecuencia propia de la torre con la ayuda de los medios para la detección de la oscilación de la torre.

Por el documento EP 2 103 915 A1 se conoce un procedimiento para la determinación de una primera frecuencia propia de la torre. Para ello se evalúan los valores de aceleración medidos con la ayuda de una transformada de Fourier y se determinan las frecuencias propias de la torre a través de un vector espectral.

Por el documento EP 2 063 110 A1 se conoce un procedimiento para la amortiguación de las oscilaciones en la torre de una instalación de energía eólica. Para ello la velocidad de giro del rotor se modifica en función de la oscilación de la torre mediante la modificación del ángulo de paso de pala.

Por el documento DE 10 2007 063 082 A1 se conoce un procedimiento para el funcionamiento de una instalación de energía eólica, en el que el ángulo de paso de pala se modifica para cada pala de rotor en función de una oscilación lateral de la torre, a fin de amortiguar la oscilación lateral de la torre inducida por el movimiento del viento exterior.

Por el documento DE 28 23 525 B1 se conoce un procedimiento para la erección de una instalación de energía eólica, en el que durante la erección una torre se soporta mediante cables tensados de manera que su primera frecuencia de oscilación propia no se excita durante un montaje de la góndola.

Por el documento DE 197 39 164 B4 se conoce una instalación de energía eólica con un rotor, en el que se detecta el momento real de guiñada y/o cabeceo ejercido sobre el rotor y se reduce mediante el ajuste del ángulo de paso de pala.

Por el documento EP 1 959 134 A2 se conoce un procedimiento para el reconocimiento de una aceleración de torre lateral, que se usa para el reconocimiento de una acumulación de hielo asimétrica en las palas de rotor. Para ello se compara la aceleración lateral de la torre con la frecuencia de las palas de rotor.

Por el documento EP 1 643 122 A2 se conoce un procedimiento para la amortiguación de las oscilaciones de una instalación de energía eólica, en el que el momento del generador se regula en función de la velocidad de giro del generador y una frecuencia de resonancia.

Por el documento US 7,400,055 B2 se conoce una instalación de energía eólica, en la que se mide una oscilación de la torre lateral y se amortigua mediante la regulación del momento para el generador y del ángulo de paso de pala.

Por el documento US 6,891,280 B1 se conoce un procedimiento para el funcionamiento de una instalación de energía eólica offshore, en el que una velocidad de giro, que puede conducir a una excitación de la frecuencia propia crítica de la torre, se evita mediante un control de la instalación de energía eólica.

La invención tiene el objetivo de crear un procedimiento para la supervisión de una estabilidad estáticas y/o dinámica de una instalación de energía eólica, que reconoce de forma fiable errores y modificaciones en la estabilidad con los medios más sencillos posibles.

Según la invención el objetivo se resuelve mediante un procedimiento con las características de la reivindicación 1. Configuraciones ventajosas forman el objetivo de las reivindicaciones independientes.

El procedimiento según la invención sirve para la supervisión de una estabilidad estática y/o dinámica de una

instalación de energía eólica. La instalación de energía eólica presenta una torre, una góndola portada por la torre y un rotor montado en o sobre la góndola con palas de rotor ajustables alrededor de su eje longitudinal. Según la invención están previstas las siguientes etapas del procedimiento:

- 5 En una primera etapa se realiza una excitación de la instalación de energía eólica para una oscilación en al menos una dirección. En una segunda etapa siguiente se detecta una frecuencia de la oscilación excitada de la instalación de energía eólica. En una tercera etapa se realiza una comparación de la frecuencia detectada con una frecuencia predeterminada. En una cuarta etapa se genera una señal de alarma, cuando la frecuencia detectada se desvía de una frecuencia predeterminada en más de un valor de diferencia. La invención se basa en el conocimiento de que el
- 10 cambio de la estabilidad estática y/o dinámica de la instalación de energía eólica conduce a una modificación de una frecuencia propia de la instalación de energía eólica. Por ello el procedimiento según la invención prevé medir una frecuencia propia de la instalación de energía eólica durante una oscilación y comparar la frecuencia medida con una frecuencia predeterminada. De esta manera se puede constatar si se han producido modificaciones en la estabilidad de la instalación de energía eólica y en particular de su torre. Una modificación de la estabilidad de la
- 15 instalación de energía eólica conduce obligatoriamente a una modificación de la frecuencia con la que reacciona la instalación de energía eólica a una excitación de oscilaciones. Al contrario que en los procedimientos conocidos por el estado de la técnica, que usan una frecuencia propia medida para la gestión del funcionamiento de la instalación de energía eólica, en el procedimiento según la invención se usa una frecuencia medida para el examen de la estabilidad de la instalación de energía eólica y de forma independiente de la gestión del funcionamiento de la
- 20 instalación de energía eólica y de los parámetros predeterminados por la gestión del funcionamiento se genera una señal de alarma que muestra las modificaciones en la estabilidad de la instalación de energía eólica.

- En el procedimiento según la invención se realiza simultáneamente un ajuste del ángulo de paso de pala de todas las palas de rotor, por lo que se modifica la fuerza de cizallamiento que actúa sobre la instalación de energía eólica y
- 25 por consiguiente la torre se excita de forma reproducible a una oscilación. De este modo la oscilación se realiza principalmente en la dirección perpendicular a la superficie barrida por la pala de rotor. La frecuencia de la oscilación así excitada de la instalación de energía se detecta y evalúa en el procedimiento según la invención. Según la invención se ajusta no sólo el ángulo de paso de pala de una pala de rotor, sino por razones de una excitación reproducible de la oscilación de la instalación de energía eólica se ajustan todas las palas de rotor simultáneamente
- 30 en su ángulo de paso de pala.

- En una forma de realización preferida, el ángulo de paso de pala se ajusta en al menos un ángulo predeterminado, por ejemplo 45°, para la excitación de la oscilación. Preferiblemente la pala de rotor se ajusta completamente a su posición de bandera.
- 35

- Para excitar suficientemente la instalación de energía eólica con su torre para una oscilación, en el caso de la modificación del ángulo de paso de pala se selecciona una velocidad de regulación de pala predeterminada que es tan grande que la torre se excita a una oscilación cuya amplitud permita una evaluación.
- 40

- Para la detección de la frecuencia de la oscilación excitada de la instalación de energía eólica se usa preferiblemente un sensor de aceleración dispuesto en la góndola. Los valores de aceleración detectados por el sensor de aceleración para la góndola se convierten de manera conocida en sí en una frecuencia de la oscilación. En este caso la frecuencia detectada se puede pasar por un filtro paso bajo para suprimir las influencias perturbadoras.
- 45

- La frecuencia predeterminada, con la que se compara la frecuencia detectada, es preferiblemente la primera frecuencia propia de la torre. Las frecuencias propias de la torre de la instalación de energía eólica son conocidas muy exactamente por el cálculo teórico, de modo que una desviación de la frecuencia detectada de una frecuencia propia de la torre calculada en la fase inicial ofrece una indicación de que la estabilidad real de la instalación de
- 50 energía eólica se desvía de la estabilidad esperada.

- Preferiblemente el procedimiento según la invención prevé que sólo se genere una señal de alarma luego cuando la frecuencia detectada se desvía de la frecuencia predeterminada en más de una diferencia predeterminada. Preferiblemente para ello está previsto un primer valor de diferencia, en el que la frecuencia detectada debe ser mayor que la frecuencia predeterminada y un segundo valor de diferencia en el que la frecuencia detectada debe ser menor que la frecuencia predeterminada.
- 55

En una configuración preferida la señal de alarma se genera igualmente cuando la frecuencia detectada queda por debajo de una distancia mínima respecto a una frecuencia de excitación predeterminada, por ejemplo, una

frecuencia de excitación 1P o una 3P. La excitación 1P se origina, por ejemplo, debido a masas centrífugas excéntricas. La excitación 3P designa la excitación de la instalación de energía por el movimiento de las palas de rotor debido a una distribución de la velocidad del viento desigual que puede ser producida, por ejemplo, por la torre, ráfagas, gradientes de altura en la velocidad del viento y afluencia oblicua.

5

Para garantizar una evaluación fiable de la frecuencia detectada también se detecta la amplitud de la oscilación excitada y sólo se genera una alarma luego cuando la amplitud sobrepasa un valor mínimo predeterminado. En esta configuración del procedimiento se desechan aquellas oscilaciones que no conducen a un valor de amplitud suficientemente grande en la oscilación de la torre.

10

La invención se explica más en detalle a continuación mediante los dibujos. Muestran:

Fig. 1 a un desarrollo temporal del ajuste del ángulo de paso,

15

Fig. 1 b un desarrollo temporal de una oscilación de la torre,

Fig. 2 un diagrama de flujo para la evaluación de las señales de aceleración detectadas, y

Fig. 3 una instalación de energía eólica en una vista esquemática desde un lado.

20

Las fig. 1 a y b muestran cada vez en un diagrama la excitación de oscilación de una instalación de energía eólica respecto al tiempo  $t$ . En la fig. 1 a está representado el ajuste del ángulo de paso de pala 10 respecto al tiempo. Mediante un ajuste rápido de un pequeño ángulo de paso de pala de aproximadamente  $0^\circ$  a un ángulo de paso de pala de aproximadamente  $90^\circ$  se excita la instalación de energía eólica a una excitación en la dirección Z. A este respecto, la dirección Z es aquella dirección que está perpendicular al plano fijado por las palas de rotor. La oscilación se capta con la ayuda de un sensor de aceleración, cuyos valores de aceleración están representados como la curva 12 en la fig. 1 b. Se produce una oscilación sinusoidal que está trazada respecto al tiempo  $t$ . Para obtener un valor de frecuencia significativo se somete la señal 12 a un filtro paso bajo. De este modo se garantiza que se supriman las fluctuaciones de alta frecuencia en la señal de aceleración 12. Además, para los valores de aceleración 12 detectados se garantiza que los valores de amplitud posean una tamaño suficiente para poderse evaluar. Para ello puede estar definido que se debe sobrepasar un valor mínimo para la cuantía de un valor de amplitud. Para excluir errores puede estar previsto además que tampoco se debe sobrepasar un valor máximo para la cuantía de un valor de amplitud.

25

35

La fig. 2 muestra el desarrollo del procedimiento según la invención para el desencadenamiento de la señal de alarma. El procedimiento comienza con la etapa 14. En la etapa 15 se excita una oscilación de la torre de la instalación de energía eólica. Las señales de aceleración se detectan en la etapa 16 y en otra etapa 18 se pasa por un filtro paso bajo. Con una consulta 20 subsiguiente se verifican las señales de aceleración filtradas respecto a su evaluabilidad. A este respecto, se examina si la amplitud máxima ha sobrepasado un primer valor límite predeterminado. Para el caso de que el valor máximo de la amplitud ha sobrepasado el valor límite se verifica a continuación si el valor mínimo de la amplitud ha sobrepasado un valor límite inferior. Cuando ambas condiciones se cumplen, el valor satisface los requisitos y se puede procesar posteriormente en la etapa 22. Por lo demás en la etapa 15 se excita una nueva oscilación de la torre de la instalación de energía eólica.

40

45

En la etapa 22 las señales de aceleración detectadas se convierten en una frecuencia detectada  $f_m$ . A este respecto se determina de manera conocida en sí la frecuencia como valor inverso de la longitud del periodo de las señales detectadas. En esta configuración se puede prescindir de una transformada de Fourier y un costoso análisis de Fourier de las señales. En una etapa 24 siguiente se examina si la frecuencia detectada  $f_m$  es menor que una frecuencia máxima predeterminada y si la frecuencia detectada  $f_m$  es mayor que una frecuencia mínima predeterminada. De esta manera las frecuencias detectadas, que no se basan evidentemente en una oscilación propia de la torre, se pueden excluir de un procesamiento posterior. Si el valor detectado  $f_m$  satisface los requisitos, entonces en la etapa 30 se realiza una decisión de si el valor se debe almacenar en la etapa 32. Esta decisión depende de una entrada manual o un preajuste correspondiente en la etapa 28. A continuación en la etapa 34 el valor de la diferencia entre los valores de frecuencia  $f_m$  y  $f_{ref}$  aplicados se compara con un valor de diferencia  $\Delta f$ . Los valores para  $f_{ref}$  y  $\Delta f$  se introducen en la etapa 26 y ya están almacenados. Si los valores de frecuencia  $f_m$  y  $f_{ref}$  se desvían uno de otro en más de un valor de diferencia  $\Delta f$  predeterminado, entonces en la etapa 36 se desencadena una alarma. De no ser así en la etapa 36 no se desencadena una alarma y finaliza el desarrollo del programa. Si para una torre, por ejemplo, la primera frecuencia propia de la torre es de  $f = 0,3$  Hz, entonces el valor de diferencia  $\Delta f$  predeterminado se puede poner, por ejemplo, en  $\pm 5\%$  de la primera frecuencia propia de la torre, es decir,  $\Delta f =$

50

55

15 mHz.

La frecuencia de la excitación 1P se produce en este caso por la velocidad de giro dividida por 60, dado que la velocidad de giro se indica habitualmente en revoluciones por minuto y la frecuencia en oscilaciones por segundo.

- 5 La excitación 3P, que se aviva en particular en el caso de intensidades de viento desiguales, se produce en el triple de la excitación 1P. En la etapa 34 se puede comparar adicionalmente la frecuencia detectada  $f_m$  con las frecuencias de la excitación 1P y la 3P, para generar así una señal de alarma si la frecuencia propia real de la torre queda por debajo de un valor predeterminado respecto a la frecuencia de excitación 1P o 3P.
- 10 En la fig. 2 en la etapa 32 se almacena la frecuencia predeterminada  $f_{ref}$ , por ejemplo, una frecuencia propia de la torre precalculada. Alternativamente en la etapa 32 también es posible almacenar una de las frecuencias propias de la torre medidas en último término o un valor promedio de estas frecuencias propias de la torre, a fin de realizar así una comparación respecto a la frecuencia  $f_m$  detectada en último término.
- 15 La fig. 3 muestra una instalación de energía eólica en una vista esquemática desde el lado. La instalación de energía eólica posee una torre 40, que porta en su extremo superior una góndola 42. El extremo inferior de la torre 40 está anclado sobre una cimentación (no representada), pudiéndose tratar de una cimentación anclada en tierra u offshore. En la góndola 42 el rotor está montado con sus palas de rotor. El rotor 44 posee tres palas de rotor, de las que en la vista lateral se pueden reconocer dos. Las oscilaciones generadas por un ajuste rápido del ángulo de paso de pala conducen a un movimiento de la góndola 42 esencialmente perpendicularmente al plano fijado por las palas de rotor a lo largo de la flecha doble 46. La dirección de oscilación 46 puede estar superpuesta con otras amplitudes de oscilaciones más pequeñas, de modo que el movimiento de la góndola no se realiza por fuerza de forma unidimensional en la dirección de la flecha doble 46, sino que también puede presentar oscilaciones transversales con una amplitud transversal más pequeña.
- 20
- 25

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para la supervisión de una estabilidad estática y/o dinámica de una instalación de energía eólica, que presenta una torre, una góndola portada por la torre y un rotor montado en o sobre la góndola con al menos una pala de rotor ajustable alrededor de su eje longitudinal, **caracterizado por** las siguientes etapas del procedimiento:

- excitación de la instalación de energía eólica a una oscilación en al menos una dirección,
- detección de una frecuencia ( $f_m$ ) de la oscilación excitada,
- 10 - comparación de la frecuencia detectada con una frecuencia predeterminada ( $f_{ref}$ ) y
- generación de una señal de alarma cuando la frecuencia detectada se desvía de la frecuencia predeterminada en más de un valor de diferencia ( $\Delta f$ ),

**caracterizado porque**

15

la torre se excita de manera reproducible a la oscilación mediante un ajuste de todas las palas de rotor simultáneamente en su ángulo de paso de pala.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el ángulo de paso de pala se ajusta en al menos un ángulo predeterminado.

3. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado porque** la al menos una pala de rotor se ajusta a su posición de bandera.

25 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** la al menos una pala de rotor se ajusta con una velocidad de ajuste de pala predeterminada, que se selecciona tan grande que la torre se excita a una oscilación.

5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** la frecuencia de la oscilación excitada se detecta mediante la evaluación de una señal de sensor de un sensor de aceleración dispuesto en la góndola.

6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** la frecuencia detectada se pasa por un filtro paso bajo.

35

7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** está prevista una primera frecuencia propia de la torre como frecuencia predeterminada.

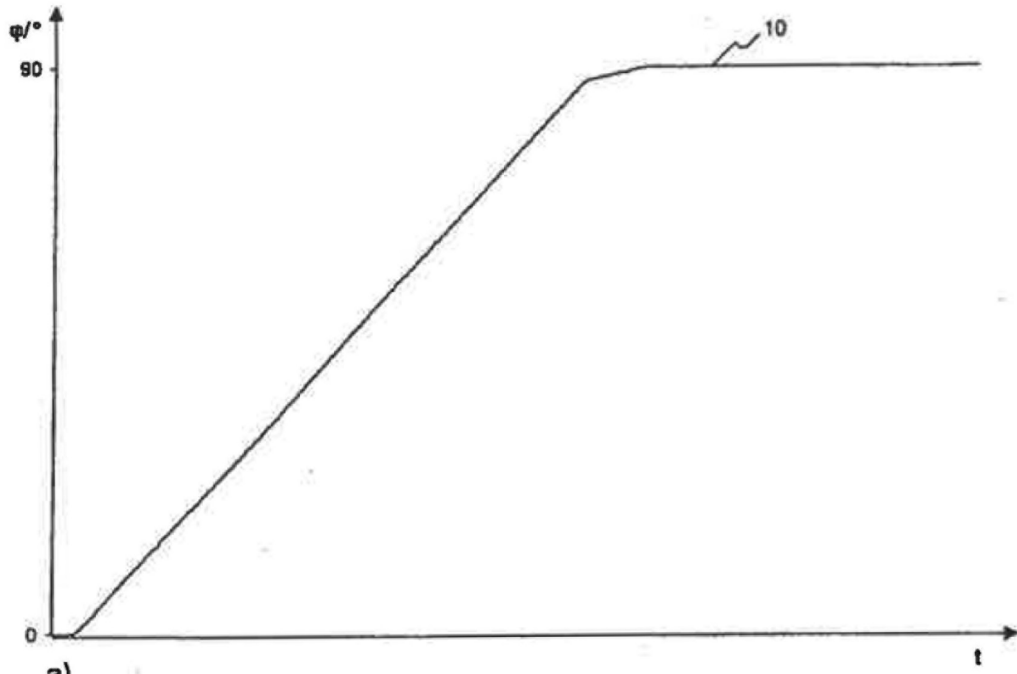
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado porque** la señal de alarma se genera cuando la frecuencia detectada es mayor que la frecuencia predeterminada en más de un primer valor de diferencia o es menor que la frecuencia predeterminada en más de un segundo valor de diferencia.

9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado porque** la señal de alarma se genera cuando la frecuencia detectada queda por debajo de una distancia mínima respecto a una frecuencia de excitación predeterminada.

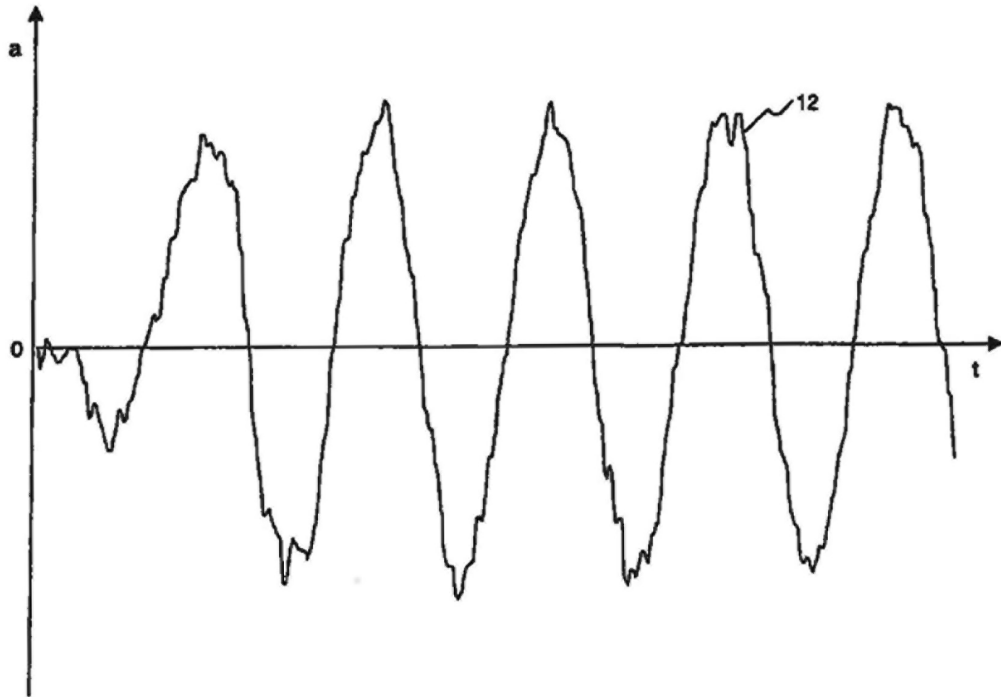
45

10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado porque** se detecta una amplitud de la oscilación excitada y la señal de alarma sólo se genera luego cuando la amplitud sobrepasa un valor mínimo predeterminado.

50



a)



b)

Fig. 1

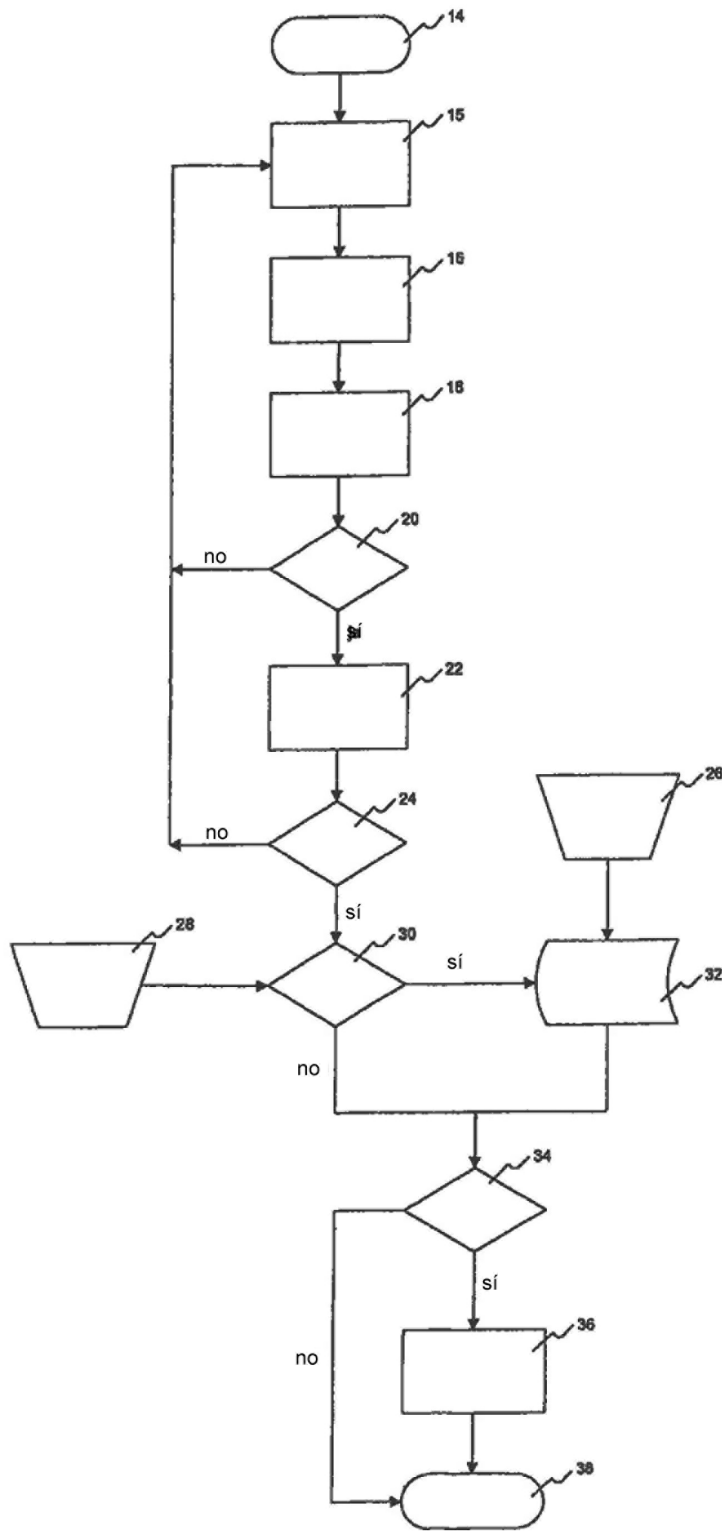


Fig. 2



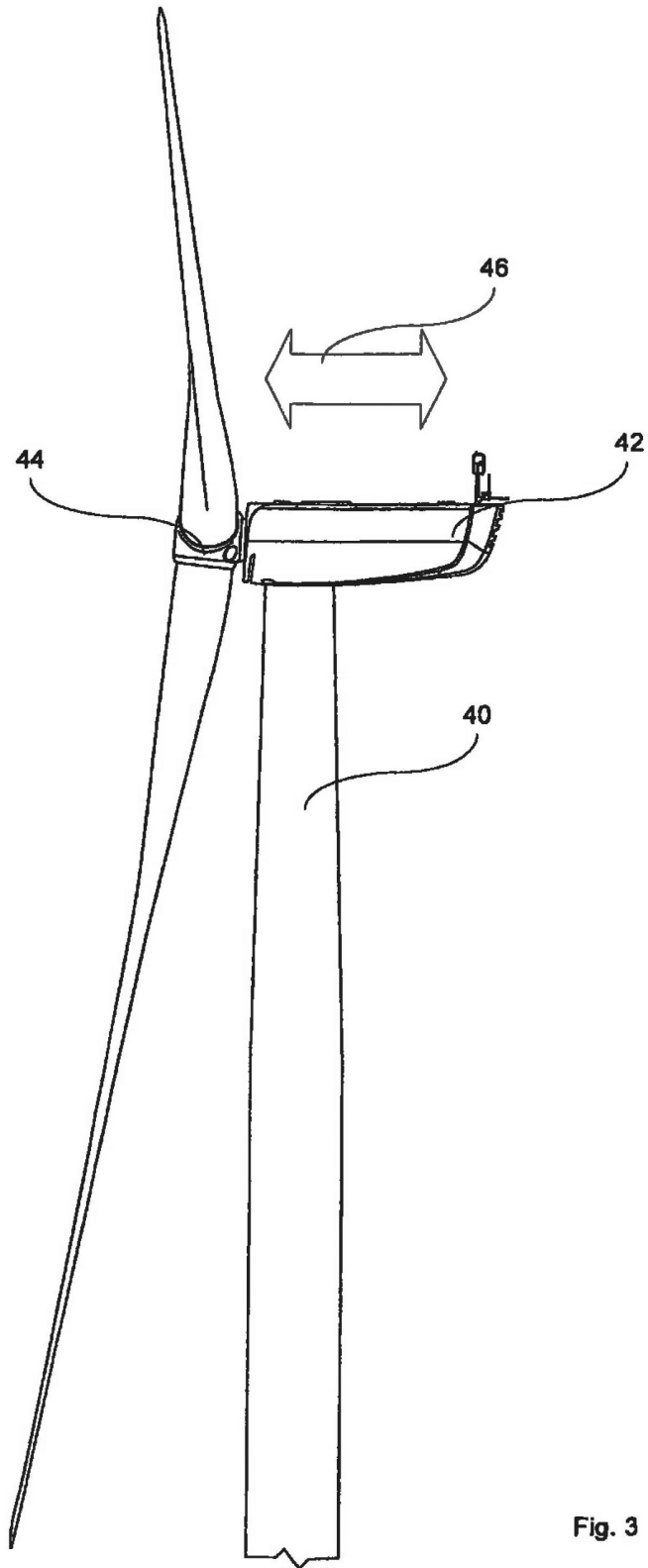


Fig. 3