

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 644 843**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/02**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.11.2008 PCT/DK2008/000420**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.06.2009 WO09068035**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.11.2008 E 08855563 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.09.2017 EP 2232063**

54 Título: **Una turbina eólica, un método para el control de una turbina eólica y uso de la misma**

30 Prioridad:

**30.11.2007 DK 200701713**

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

**30.11.2017**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**NIELSEN, THOMAS STEINICHE BJERTRUP y  
PEDERSEN, BO, JUUL**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

**ES 2 644 843 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

Una turbina eólica, un método para el control de una turbina eólica y uso de la misma

### 5 Antecedentes de la invención

La invención se refiere a una turbina eólica, a un método para el control de una turbina eólica y uso de la misma.

### Descripción de la técnica relacionada

10 Una turbina eólica conocida en la técnica comprende una torre de turbina eólica ahusada y una góndola de turbina eólica situada en la parte superior de la torre. Se conecta un rotor de turbina eólica con un número de palas de turbina eólica a la góndola a través de un árbol de baja velocidad, que se extiende fuera del frente de la góndola tal como se ilustra en la figura 1.

15 Las oscilaciones y vibraciones de las palas de la turbina eólica son indeseables dado que tensionan la pala y la estructura de la turbina eólica innecesariamente lo que en el peor de los casos puede conducir a una vida útil reducida de las palas o de otras partes o de la turbina eólica. En particular las oscilaciones en el sentido del borde son indeseables, dado que la pala tiene poca amortiguación respecto a este modo de oscilaciones. Las oscilaciones en el sentido del borde son oscilaciones a lo largo de la cuerda entre el borde de salida y el borde de ataque de la pala pero que debido al complejo diseño de la pala de las modernas turbinas eólicas y particularmente debido al retorcimiento de la pala en su extensión longitudinal, las oscilaciones en el sentido del borde se combinarán típicamente en algún grado con oscilaciones en el sentido de la hoja, que son oscilaciones entre el lado de presión y el lado de succión de la pala, es decir sustancialmente perpendiculares a la dirección en el sentido del borde.

25 Las oscilaciones en el sentido del borde se ven típicamente tanto en turbinas eólicas con pérdida como con paso controlado cuando el rotor está girando y la turbina eólica está produciendo energía para una red eléctrica, es decir la turbina eólica está en funcionamiento. La turbina de pérdida controlada está viendo principalmente este problema cuando funciona con vientos fuertes más allá del punto de pérdida y la turbina con paso regulado está viendo principalmente este problema cuando funciona con vientos fuertes cuando una ráfaga de viento brusca puede provocar que las palas entren en pérdida momentáneamente.

30 Pero dado que las turbinas eólicas y las palas de turbina eólica están siendo cada vez más grandes, las propiedades de las palas cambian en consecuencia de modo que también se conoce que la amortiguación de la pala y/o las frecuencias Eigen de la pala y por lo tanto las oscilaciones en el sentido del borde tienen lugar en palas de turbinas eólicas que no están funcionando, es decir en turbinas eólicas en las que el rotor está girando en vacío o puesto en parada completa y la turbina eólica no está produciendo sustancialmente energía para la red eléctrica.

40 Las contramedidas conocidas contra las oscilaciones en el sentido del borde se desarrollan todas para turbinas eólicas en operación y por lo tanto son más o menos ineficaces en relación con turbinas eólicas no en operación.

El documento WO 2007/071239 divulga una turbina eólica con las características técnicas del preámbulo de la reivindicación 1.

45 Un objeto de la invención es por lo tanto proporcionar una técnica ventajosa para la amortiguación o eliminación de oscilaciones en el sentido del borde en una pala de la turbina eólica funcionando en una situación de producción de potencia en vacío en relación con una red eléctrica.

### 50 La invención

La invención proporciona una turbina eólica que comprende un rotor que incluye una o más palas de paso controlado, medios de registro para registro de una situación de producción de potencia en vacío de las palas de turbina eólica en relación con una red eléctrica, medios de detección para detección de oscilaciones en el sentido del borde en una o más de las palas, y medios de control para el control del ángulo de paso de las una o más de las palas. Los medios de control se adaptan para cambiar el ángulo de paso de una o más de las palas cuando los medios de registro registran que la turbina eólica está funcionando en una situación de producción de potencia en vacío y los medios de detección detectan oscilaciones en el sentido del borde en una o más de las palas, amortiguando o eliminando de ese modo las oscilaciones en el sentido del borde.

60 Han de estar presentes ciertas condiciones para que tengan lugar oscilaciones en el sentido del borde en las palas de turbina eólica girando en vacío: el viento ha de tener una cierta velocidad del viento crítica, las palas han de tener un cierto diseño, las palas han de colocarse en un cierto ángulo de paso y otras. La mayoría de estas condiciones no pueden controlarse o al menos no pueden controlarse sin coste —excepto el ángulo de paso de las palas—.

65 Las turbinas eólicas con pérdida activa controlada y las turbinas eólicas con paso controlado están provistas por su naturaleza con la capacidad de cambiar el ángulo de paso de las palas para controlar la producción de energía del

rotor o de la turbina eólica durante la operación y para proteger las palas o a la turbina eólica de sobrecargas dañinas.

5 Aunque para otras finalidades, la capacidad de cambiar el paso de las palas de la turbina eólica está ya presente por lo tanto en la mayor parte de las turbinas eólicas modernas y es ventajoso el uso de esta capacidad para alterar al menos una de las condiciones necesarias para que tengan lugar las oscilaciones en el sentido del borde o al menos que se acumulen las oscilaciones en el sentido del borde, de ese modo se proporciona ese medio simple y rentable para amortiguar o eliminar las oscilaciones en el sentido del borde de las palas de una turbina eólica operando en una situación de producción de potencia en vacío en relación con una red eléctrica.

10 Debería remarcarse que con la expresión "*una situación de producción de potencia en vacío de la turbina eólica en relación con una red eléctrica*" se ha de entender que la turbina eólica está en un modo no en operación, es decir sustancialmente no está produciendo energía para la red eléctrica y el rotor se pone en una parada completa o está girando en vacío.

15 En un aspecto de la invención, dichos medios de control comprenden medios para el cambio de paso de dichas palas en una dirección que incrementa el empuje de dichas palas, si dichos medios de detección detectan oscilaciones en el sentido del borde en una o más de dichas palas.

20 Incluso con fuertes velocidades de viento, el rotor de una turbina eólica girando en vacío puede tener una tendencia a estar parado o al menos a girar muy lentamente debido a las palas ajustadas, pero con relación a las vibraciones en un sentido del borde, es ventajoso si el rotor gira al menos en algún grado, porque las condiciones que inducen las vibraciones en el sentido del borde cambiarían de ese modo constantemente, lo que podría amplificar adicionalmente el efecto de amortiguación de la oscilación del cambio de paso de la pala. Adicionalmente un rotor girando impediría elevadas cargas locales durante un largo periodo de tiempo, por ejemplo que conducen a huellas en la caja de engranajes, cojinetes u otros.

25 En un aspecto de la invención, dichos medios de control comprenden medios para el cambio del ángulo de paso de todas las dichas palas de dicho rotor sustancialmente de igual modo, si dichos medios de detección detectan oscilaciones en el sentido del borde en una o más de dichas palas.

30 Puede ser difícil y/o caro determinar cuál de las palas está oscilando en el sentido del borde y es por lo tanto ventajoso cambiar el paso de todas las palas si se detectan oscilaciones en el sentido del borde en cualquiera de las palas del rotor. Podría cambiarse entonces el paso de las palas en diferentes grados o en diferentes direcciones para reducir o incrementar la velocidad de rotación del rotor, por ejemplo dependiendo de la velocidad de rotación actual del rotor o por ejemplo para reducir la carga sobre el freno del rotor si el rotor estaba bloqueado para impedirle que girara durante el mantenimiento.

35 En un aspecto de la invención, dichos medios de detección son uno o más sensores de carga colocados en o sobre dicha pala.

40 Los sensores de carga colocados en o sobre la pala, tal como en o sobre la raíz de la pala, son ventajosos porque dichos sensores son relativamente simples y baratos y si se implementan apropiadamente proporcionan una información fiable de la situación de carga de la pala, incluyendo si la carga se desplaza rítmicamente adelante y atrás entre el lado del borde de salida y el lado del borde de ataque de la pala, indicando de ese modo oscilaciones en el sentido del borde.

45 Además, muchas turbinas eólicas modernas ya están provistas con sensores de carga en o sobre las palas para detectar diferentes cargas durante la operación normal de la turbina eólica, es decir cuando la turbina eólica está produciendo energía para una red eléctrica, y es ventajoso y rentable por lo tanto usar los sensores que ya están presentes.

50 En un aspecto de la invención, dichos medios de detección son uno o más acelerómetros colocados en o sobre dicha pala.

55 Los acelerómetros son excelentes dispositivos para proporcionar información sobre el estado de oscilación de la pala y es por lo tanto ventajoso usar acelerómetros colocados en o sobre la pala como medios de detección.

60 En un aspecto de la invención, dichos medios de detección son uno o más acelerómetros colocados en una góndola de dicha turbina eólica.

65 Normalmente el rotor gira lentamente cuando la turbina eólica está girando en vacío y si una o más de las palas oscila en el sentido del borde, estas oscilaciones podrían transmitirse a la góndola haciendo que la góndola oscile ligeramente alrededor del eje de guiñada especialmente cuando la pala que está oscilando estabilizada está apuntando lateralmente o la góndola podría inclinarse ligeramente en la dirección vertical si la pala que está oscilando estabilizada está apuntando hacia arriba o hacia abajo.

Serían entonces necesarios solamente uno o dos acelerómetros para detectar oscilaciones en el sentido del borde de las palas y dado que la góndola presenta un entorno muy controlado, en el que puede accederse fácilmente al acelerómetro, es ventajoso colocar los sensores de oscilación en la góndola (más fijos).

5 En un aspecto de la invención, dichos medios de control comprenden medios para el cambio de dicho ángulo de paso de una o más de dichas palas entre 0,5° y 30°, preferentemente entre 2° y 15° y más preferido entre 3° y 8° si dichos medios de detección detectan oscilaciones en el sentido del borde en una o más de dichas palas.

10 Si se cambia el paso de las palas demasiado poco, cuando se detectan oscilaciones en el sentido del borde, las oscilaciones podrían no amortiguarse o llevaría un tiempo relativamente largo la detención de las oscilaciones. Si se cambia el paso de las palas demasiado, la pala u otras partes de la turbina eólica podrían tensionarse innecesariamente mucho o el rotor podría comenzar a girar demasiado rápido, lo que podría no ser ventajoso porque un giro demasiado rápido durante el giro en vacío podría tensionar y desgastar diferentes partes de la turbina eólica innecesariamente y podría conducir a que el rotor se acelere.

15 Los intervalos actuales para cambio de los ángulos de paso —cuando se detectan oscilaciones en el sentido del borde— presentan por lo tanto una relación ventajosa entre la eficiencia de la amortiguación y la seguridad.

20 En un aspecto de la invención, dichos medios de control comprenden medios solamente para el cambio del ángulo de paso de una o más de dichas palas si dichas oscilaciones en el sentido del borde detectadas están por encima de un nivel predefinido.

25 El cambio del ángulo de paso de las palas desde su posición de aparcamiento sustancialmente óptima, lo más probable es que incremente la tensión sobre la pala y otras partes de la turbina eólica, de modo que si el tamaño de las oscilaciones en el sentido del borde es solo menor y no dañino o solo tienen lugar durante un periodo de tiempo corto, es ventajoso contenerse respecto al cambio de paso de las palas si el tamaño de las oscilaciones está por debajo de un cierto nivel.

30 En un aspecto de la invención, dichos medios de control comprenden medios para devolver dichas una o más palas a su posición de ángulo de paso original, cuando dichos medios de detección detectan que el tamaño de dichas oscilaciones en el sentido del borde está por debajo del nivel predefinido.

35 Esto es ventajoso, porque las palas se devuelven de ese modo a su posición de aparcamiento rápidamente, reduciendo de ese modo la tensión sobre las palas y otras partes de la turbina eólica.

En un aspecto de la invención, dichos medios de control comprenden adicionalmente un temporizador para dar una señal de alarma si el tamaño de dichas oscilaciones en el sentido del borde no ha caído por debajo del nivel predefinido en un periodo de tiempo predefinido.

40 Si el tamaño de las oscilaciones en el sentido del borde no ha caído por debajo de un nivel predefinido en un periodo de tiempo predefinido, algo podría estar mal o las palas podrían dañarse por las oscilaciones y es por lo tanto ventajoso hacer que los medios de control den una alarma. La señal de alarma podría activar entonces que se iniciaran procedimientos adicionales de amortiguación de las oscilaciones en el sentido del borde o podría transferirse a un centro de supervisión u otros que podrían evaluar la situación y tomar las acciones necesarias.

45 Además, la invención proporciona un método para el control de una turbina eólica en una situación de producción de potencia en vacío con relación a una red eléctrica. El método comprende las etapas de:

- 50 • registro de si la turbina eólica está operando en una situación de producción de potencia en vacío en relación con una red eléctrica,
- establecimiento de un valor de oscilación en el sentido del borde de una pala de turbina eólica de la turbina eólica, y
- 55 • cambio del ángulo de paso de la pala si dicha turbina eólica está funcionando en una situación de producción de potencia en vacío y el valor de la oscilación en el sentido del borde está por encima de un nivel predefinido, amortiguando o eliminando de ese modo la oscilación en el sentido del borde.

De ese modo se proporciona un método simple y rentable para amortiguar o eliminar las oscilaciones en el sentido del borde en las palas de una turbina eólica en una situación de producción de potencia en vacío en relación con una red eléctrica.

60 En un aspecto de la invención, dicha pala se devuelve a su posición de ángulo de paso original, cuando dicho valor de oscilación en el sentido del borde ha caído por debajo de un nivel predeterminado adicional.

65 En un aspecto de la invención, el ángulo de paso de todas las palas de dicha turbina eólica se cambia sustancialmente de igual modo si dicho valor de oscilación en el sentido del borde está por encima de un nivel predefinido.

En un aspecto de la invención, se transmite una señal de alarma si dicho valor de oscilación en el sentido del borde no ha caído por debajo de un nivel predeterminado en un tiempo predeterminado.

5 En un aspecto de la invención, dicho valor de oscilación en el sentido del borde se establece por medio de mediciones de carga de dicha pala.

En un aspecto de la invención, se cambia el paso de dichas palas en una dirección que reduce el empuje de dichas palas, si la velocidad de giro de un rotor que comprende dichas palas está por encima de un nivel predefinido.

10 Las oscilaciones en el sentido del borde de las palas de turbina eólica de una turbina eólica de giro en vacío normalmente solo tienen lugar con velocidades de viento relativamente altas. Si se cambia el paso de las palas en una dirección que incrementa el empuje, cuando se detectan oscilaciones en el sentido del borde, el rotor podría comenzar a girar demasiado rápido y el riesgo de desgaste o sobrecarga de las palas o de la turbina eólica se incrementaría. Es por lo tanto ventajoso cambiar el paso de las palas en una dirección que reduce el empuje de las  
15 palas, si la velocidad de rotación del rotor ya es alta o próxima a una velocidad de rotación máxima predefinida de un rotor en vacío.

20 En un aspecto de la invención, el cambio de paso de dichas palas es en una dirección que incrementa el empuje de dichas palas, si la velocidad de giro de un rotor que comprende dichas palas está por debajo del nivel predefinido.

Normalmente han de estar presentes ciertas condiciones para que tengan lugar y se incrementen las oscilaciones en el sentido del borde, y una de estas condiciones podría ser que los vientos ataquen la pala con un ángulo específico. Mediante el incremento del empuje se incrementa la posibilidad de que gire el rotor, haciendo de ese modo que varíe el ángulo de ataque en un grado que contribuiría a la detención de las oscilaciones o que al menos queden  
25 amortiguadas.

Aún más, la invención proporciona un método de acuerdo con cualquiera de lo anterior, en el que dicha turbina eólica es una turbina eólica de paso o pérdida activa controlada que comprende medios para detección de oscilaciones en el sentido del borde.  
30

Es ventajoso el uso del método previamente mencionado en una turbina eólica de paso o pérdida activa controlada, porque estos tipos de turbinas eólicas están provistas por su naturaleza con medios para el cambio de paso de las palas y, si las turbinas eólicas comprenden adicionalmente medios para la detección de oscilaciones en el sentido del borde en las palas, el uso es incluso más ventajoso.  
35

### Figuras

La invención se describirá en lo que sigue con referencia a las figuras en las que

- 40 la fig. 1 ilustra una turbina eólica en operación moderna grande conocida en la técnica, tal como se ve desde el frente,  
la fig. 2 ilustra una pala de turbina eólica, tal como se ve desde el frente,  
la fig. 3 ilustra una sección transversal de una pala de turbina eólica de giro en vacío en una situación no en pérdida, tal como se ve desde la raíz de la pala,  
45 la fig. 4 ilustra una sección transversal de una pala de turbina eólica de giro en vacío en una situación en pérdida, tal como se ve desde la raíz de la pala,  
la fig. 5 ilustra una sección transversal simplificada de una góndola, tal como se ve desde el lateral.

### Descripción detallada de la técnica relacionada

50 La fig. 1 ilustra una turbina eólica 1 en operación moderna, que comprende una torre 2 y una góndola de turbina eólica 3 situada en la parte superior de la torre 2. El rotor de la turbina eólica 4, que comprende tres palas de turbina eólica 5, se conecta a la góndola 3 a través del árbol de baja velocidad que se extiende fuera del frente de la góndola 3.  
55

En esta realización la turbina eólica 1 comprende tres palas 5 pero en otra realización la turbina eólica 1 podría comprender otro número de palas 5 tal como una, dos, cuatro o más.

### Descripción detallada de la invención

60 La fig. 2 ilustra una pala de turbina eólica 5, tal como se ve desde el lado frontal/de presión 11. La pala de turbina eólica 5 comprende un borde de ataque 6, un borde de salida 7, una punta 8 y una raíz 9. Una pala de turbina eólica 5 conocida en la técnica se fabrica típicamente de un compuesto de fibra de vidrio y resina reforzado con fibra de carbono, madera reforzada con fibra de carbono o una combinación de los mismos.  
65

Una pala de turbina eólica 5 tiene típicamente un centro de elasticidad que está más próximo al borde de ataque 6

que al borde de salida 7, al menos con relación a la mayor parte de la pala 5. Si tienen lugar oscilaciones en el sentido del borde a una frecuencia en o próxima a la primera frecuencia natural en el sentido del borde de las palas, especialmente el borde de salida 7 está por lo tanto expuesto a una tensión considerable, que bajo ciertas condiciones podría reducir la vida útil de la pala 5.

5 La fig. 3 ilustra una sección transversal de una pala 5 de turbina eólica de giro en vacío en una situación no en pérdida, tal como se ve desde la raíz de la pala 5.

10 En esta realización la pala 5 es una pala 5 de una turbina eólica 1 de paso regulado ordinaria en la que la pala 5 está estabilizada, es decir la pala 5 se muestra en una posición de aparcamiento en donde la pala 5 cambia su paso de modo que la cuerda C de la pala 5 está sustancialmente en paralelo con el viento incidente. Debido a que las palas de turbina eólica 5 conocidas en la técnica se retuercen a todo lo largo de su extensión longitudinal, normalmente solo será en algunas partes de la pala 5 que la cuerda C es sustancialmente paralela al viento incidente cuando se pone en la posición de aparcamiento.

15 Una pala 5 de una turbina eólica 1 de paso controlado cambia el paso típicamente de modo que el borde de ataque 6 esté mirando al viento incidente, cuando la pala 5 se deja estabilizada mientras una pala 5 de una turbina eólica 1 de pérdida activa regulada típicamente hará que el borde de salida 7 mire al viento incidente, cuando la pala 5 se deja estabilizada pero por lo demás es sustancialmente el mismo mecanismo el que afecta a la pala 5 de los dos tipos de turbina eólica cuando están girando en vacío.

20 Cuando la turbina eólica 1 de paso controlado está produciendo energía durante la operación normal, el controlador electrónico de las turbinas comprueba la producción de potencia de la turbina 1, por ejemplo varias veces por segundo. Cuando la producción de potencia se hace demasiado alta, el controlador envía una orden al mecanismo 25 13 de paso de las palas, que inmediatamente cambia el paso de (gira) las palas del rotor 5 ligeramente fuera del viento. De la misma forma, las palas 5 se giran de vuelta hacia el viento siempre que el viento caiga de nuevo. Durante la operación las palas 5 de una turbina eólica 1 de paso controlado normalmente solo cambian su paso una fracción de grado cada vez —y se girará al mismo tiempo el rotor 4—.

30 Si la velocidad del viento incidente se incrementa por encima de un cierto nivel, tal como 25 m/s, el controlador estabilizará las palas 5 para hacer que el rotor 4 pare de girar o al menos lo haga en vacío y la turbina eólica detendrá la producción de energía para la red eléctrica. Esto se realiza entre otras razones para proteger a las palas 5 y al resto de la turbina eólica 5 de daños de sobrecarga con altas velocidades de viento.

35 Si el rotor 4 no está directamente fijo contra el giro cuando la turbina eólica 1 está en girando en vacío, la situación de giro en vacío no significa necesariamente que el rotor 4 pare de girar. Realmente el rotor 4 girará lentamente más frecuentemente que no girar y también ocurrirá que el rotor 4 esté girando hacia atrás con relación a la dirección de giro, cuando la turbina eólica 1 no está en girando vacío, es decir cuando está produciendo energía para la red eléctrica.

40 La fig. 4 ilustra una sección transversal de una pala 5 de turbina eólica de giro en vacío en una situación en pérdida, tal como se ve desde la raíz 9 de la pala 5.

45 La pala 5 ilustrada en la fig. 4 es una pala 5 estabilizada en una turbina eólica 1 en vacío de pérdida activa regulada, ilustrada durante una ráfaga de viento brusca que crea una situación de pérdida indeseada. En otra realización podría ser también una pala 5 en una turbina eólica 1 de paso regulado en vacío.

50 Técnicamente una turbina eólica 1 de pérdida activa controlada se asemeja a una turbina eólica 1 de paso controlado, en que ambas tienen palas que pueden cambiar su paso, y para obtener un par (fuerza de giro) razonablemente grande a bajas velocidades de viento, la turbina eólica 1 de pérdida activa controlada se programará normalmente para cambiar el paso de las palas 5 muy similarmente a una turbina eólica 1 de paso controlado con bajas velocidades de viento. Cuando la turbina eólica 1 de pérdida activa controlada alcanza su potencia nominal, sin embargo, se notará una diferencia importante respecto a las turbinas eólicas 1 de paso controlado. Si el generador 17 está a punto de la sobrecarga, la turbina eólica 1 de pérdida activa controlada cambiará el paso de sus 55 palas 5 en la dirección opuesta respecto a la que lo hace una turbina eólica 1 de paso controlado. En otras palabras, incrementará el ángulo de ataque de las palas del rotor 5 para hacer que las palas del rotor 5 entren en una pérdida más profunda, desechando así el exceso de energía en el viento.

60 Las palas estabilizadas 5 en una turbina eólica 1 de pérdida controlada o de paso controlado normalmente no entran en pérdida, porque el viento pasará por la pala 5 sustancialmente sin perturbar y el mecanismo de guiñada de la turbina eólica 1 se asegurará de que el plano del rotor es siempre sustancialmente perpendicular a la dirección del viento incidente, haciendo que el viento pase por las palas 5 sustancialmente como se ilustra en la fig. 3 y si las palas 5 estabilizadas entraran en pérdida es normalmente de muy poca o ninguna consecuencia.

65 Sin embargo, bajo ciertas sustancias pueden surgir ráfagas de viento desde direcciones variables tan rápido, que el sistema de control de las turbinas 1 o el mecanismo de guiñada no será capaz de reaccionar suficientemente rápido

y durante un corto periodo de tiempo puede tener lugar la entrada en pérdida. Estos cortos períodos de pérdida pueden inducir oscilaciones en el sentido del borde de la pala 5, que potencialmente pueden ser muy dañinos. Particularmente si estas ráfagas suceden rítmicamente a una frecuencia en o próxima a la primera frecuencia natural de las palas 5 en el sentido del borde la energía de las oscilaciones en el sentido del borde puede acumularse.

5 De la misma forma, los fenómenos aerodinámicos como la calle de vórtices de Von Kármán, separación de flujo periódica, turbulencias o vértices locales pueden bajo ciertas circunstancias inducir oscilaciones en el sentido del borde en la pala 5 estabilizada, particularmente si este fenómeno sucede periódica o rítmicamente o en fase con una frecuencia en o cerca de la primera frecuencia natural de las palas 5 en el sentido del borde.

10 La fig. 5 ilustra una sección transversal simplificada de una góndola 3 de una turbina eólica 1 de paso o pérdida activa regulada, tal como se ve desde el lateral. Las góndolas 3 existen en una multitud de variaciones y configuraciones pero en la mayor parte de los casos el tren de accionamiento de la góndola 3 comprende uno o más de los siguientes componentes: un engranaje 15, un acoplamiento (no mostrado), alguna clase de sistema de frenado 16 y un generador 17. Una góndola 3 de una turbina eólica 1 moderna puede incluir también un convertidor 18 (también llamado inversor) y adicionalmente equipo periférico tal como equipo de gestión de la potencia adicional, cabinas de control, sistemas hidráulicos, sistemas de refrigeración y otros más.

20 El peso de toda la góndola 3 incluyendo los componentes de la góndola 15, 16, 17, 18 es soportado por una estructura resistente 19. Los componentes 15, 16, 17, 18 se colocan normalmente sobre y/o conectados a esta estructura 19 de soporte de carga común. En esta realización simplificada la estructura resistente 19 solo se extiende a lo largo de la parte inferior de la góndola 3, por ejemplo en la forma de un bastidor de lecho al que se conectan algunos o todos los componentes 15, 16, 17, 18. En otra realización la estructura resistente 19 podría comprender una campana de engranajes que transfiere la carga del rotor 4 a la torre 2, o la estructura 19 de soporte de carga podría comprender varias partes interconectadas tal como una estructura reticular.

25 En esta realización de la invención el tren de accionamiento se establece en un ángulo con relación a un plano horizontal. El tren de accionamiento está en ángulo para entre otras razones, permitir que el rotor 4 pueda estar en ángulo correspondientemente, por ejemplo para asegurar que las palas 5 no inciden en la torre 2, para compensar las diferencias en velocidad del viento en la parte superior e inferior del rotor 4 y otras.

30 En esta realización de la invención los medios de detección 21 son acelerómetros 22 colocados en cada una de las palas 5 para detectar si la pala 5 individual oscila en el sentido del borde. Dado que la amplitud de las oscilaciones en el sentido del borde de la pala 5 se incrementará con la distancia desde la raíz 9 de la pala 5, los medios de detección 21 son en esta realización de la invención acelerómetros colocados dentro de las palas 5 a una distancia dada desde la raíz 9 de la pala 5.

40 Los medios de detección 21 podrían colocarse también en la parte posterior de la góndola 3 en la forma de uno o más acelerómetros 22 fijos a la parte posterior de la estructura resistente 19. El acelerómetro 22 se montaría entonces de tal manera que se detectaran las oscilaciones en el sentido del borde de las palas 5 que conducen a oscilaciones horizontales o sustancialmente horizontales de la góndola y/o a oscilaciones verticales que tratan de inclinar la góndola verticalmente.

45 Las oscilaciones en el sentido del borde de las palas 5 pueden inducir oscilaciones de la góndola 3 por ejemplo haciendo que la góndola 3 oscile ligeramente alrededor del centro de la torre 2, es decir en la dirección de guiñada, que es por lo que estas oscilaciones pueden detectarse de modo relativamente fiable en la parte posterior de la góndola 3. Las frecuencias típicas de las oscilaciones en el sentido del borde (primera frecuencia natural) están en el intervalo de 0,9 - 1,8 Hz.

50 En otra realización de la invención los medios de detección 21 podrían ser otros tipos de sensores distintos a acelerómetros 22 —tales como micrófonos, extensómetros, fibra óptica u otros, el o ellos pueden colocarse de modo diferente en las palas 5 o los sensores de oscilación 21 podrían colocarse fuera de las palas 5 tal como en o dentro del eje de rotación 26 de un rotor 4, por ejemplo en el centro del buje 14 o en la góndola 3.

55 Los medios de detección 21 podrían ser simplemente medios ya presentes en la turbina eólica 1 para detección de cargas u otros durante la operación normal de la turbina eólica 1 tales como sensores de oscilación de la torre colocados normalmente en la parte superior de la torre para detectar si oscila la torre, en el que las oscilaciones en el sentido del borde de las palas 5 podrían transmitirse a través de la góndola 3 a la torre 2 y detectarse como ligeras vibraciones de la torre 2. Podrían ser también sensores de carga colocados en la raíz 9 de la pala 5 para detectar la carga sobre la pala 5 durante la operación normal.

60 Los medios de detección 21 están en esta realización de la invención conectados a los medios de control 14. Si se detectan oscilaciones en el sentido del borde de las palas 5 o si se detectan oscilaciones en el sentido del borde por encima de un cierto nivel, los medios de control 14 pueden iniciar que se controle el paso de una o más de las palas 5.

Como se ha explicado previamente, las palas 5 de una turbina eólica 1 de pérdida activa regulada o una turbina eólica de paso regulado se proporcionan con un mecanismo de paso 13. En la realización ilustrada las palas 5 de la turbina eólica 1 se conectan al buje 14 a través de cojinetes de paso 23, que permiten que las palas 5 puedan girar alrededor de su eje longitudinal.

5 En esta realización el mecanismo de paso 13 comprende medios para el giro de las palas en la forma de accionadores lineales 20 conectados al buje 14 y a las palas respectivas 5.

10 En una realización preferida los accionadores lineales 20 son cilindros hidráulicos. En otra realización el mecanismo de paso 13 podría comprender motores paso a paso u otros medios para el giro de las palas 5.

15 La turbina eólica 1 está también provista con medios de registro 24 para la detección de si la turbina eólica 1 está operando en una situación de producción de potencia en vacío con relación a la red eléctrica, es decir si la turbina eólica 1 no está produciendo sustancialmente energía para la red eléctrica, a la que la turbina eólica 1 entregaría energía durante la operación normal de la turbina eólica 1.

20 En esta realización los medios de registro 24 son un amperímetro que mide si hay producción eléctrica desde el convertidor 18 o al menos si la producción eléctrica está por debajo de un cierto nivel bajo e insignificante, pero en otra realización los medios de registro 24 podrían ser un voltímetro u otros y los medios de registro 24 podrían medir o registrar en cualquier lugar tal como sobre el generador 17, en las líneas de potencia en o fuera de la turbina eólica 1, en una unidad de potencia central fuera de la turbina eólica 1 o en cualquier otro lado.

25 Los medios de registro 24 incluyen también medios que solo detectan indirectamente si la turbina eólica 1 está girando en vacío, por ejemplo codificadores, tacómetros u otros que detectan si el árbol principal u otras partes ordinariamente en giro están girando o a qué velocidad están girando. Si estas partes no giran o solo giran a muy baja velocidad podría indicar que la turbina eólica 1 estaba girando en vacío.

30 En esta realización los medios de control 14 se colocan en el buje 14 pero en una realización más preferida los medios de control 14 se colocarían en la góndola 3, en la torre 2, en un alojamiento vecino o cualquier otro lado, por ejemplo en la misma localización que los medios de control de paso generales (no mostrados) para el control del paso en relación con la carga, potencia u otros durante la operación normal de la turbina eólica 1 o incluso integrados en estos medios de control de paso generales.

35 En esta realización los medios de control 14 se conectan a accionadores lineales 20 para el control del ángulo de paso de las palas 5 en respuesta a las mediciones de los medios de detección 21 y de los medios de registro 24.

40 Si las oscilaciones en el sentido del borde no han caído por debajo del nivel predeterminado en un periodo de tiempo predeterminado, los medios de control 14 podrían comprometer medios para el envío de una alarma que indique que se iniciaron los procedimientos de amortiguación. De la misma forma, si las oscilaciones en el sentido del borde continúan creciendo en tamaño —incluso aunque se haya cambiado el paso de las palas 5 para contrarrestar las oscilaciones— podría transmitir una señal de alarma a una unidad de supervisión externa u a otra.

45 En una realización de la invención las palas 5 se devuelven a su posición original o sustancialmente a su posición de aparcamiento original, inmediatamente o después de un tiempo predeterminado específico pero en una realización preferida las palas 5 se devuelven, cuando los medios de detección 21 detectan que el tamaño de las oscilaciones ha caído de nuevo por debajo de un cierto nivel predefinido.

50 En una realización adicional las palas 5 podrían mantenerse también en su nuevo ángulo de paso y a continuación moverse solamente de nuevo si se detectaran oscilaciones adicionales en el sentido del borde, si el rotor estuviese marchando demasiado rápido, lento o en la dirección incorrecta, si la turbina eólica fue devuelta al modo de operación o si otras condiciones necesitan un cambio del ángulo de paso. De ese modo el ángulo de paso solo se cambia cuando es absolutamente necesario, por lo que se ahorra energía y se reduce el desgaste.

55 En esta realización de la invención los medios de control 14 comprenden adicionalmente una banda muerta u otro método de control que asegure que la diferencia en el ángulo de paso solo se crea cuando las oscilaciones en el sentido del borde de las palas 5 están por encima de un cierto nivel predefinido.

60 En otra realización de la invención los medios de control 14 podrían comprender también medios para incrementar la ganancia de los medios de control si el tamaño de las oscilaciones se alcanzan por encima de un cierto nivel predefinido, si el tamaño de las oscilaciones no se ha amortiguado por debajo del nivel predefinido en un cierto tiempo predefinido tal como entre 1 y 1000 segundos, preferentemente entre 10 y 500 segundos o si el tamaño de las oscilaciones ha estado por encima de un cierto nivel predefinido durante al menos un cierto tiempo predefinido.

65 La ganancia es la parte del algoritmo de control en los medios de control 14 que controla el tamaño de la reacción en un nivel de oscilación dado, por ejemplo mediante el control de hasta cuánto se amplifica la señal de entrada procedente de los medios de detección 21 (por ejemplo, la amplitud de las oscilaciones en el sentido del borde) en el

algoritmo de control en los medios de control 14, controlando de ese modo en qué cantidad se cambia el paso de la pala con una señal de entrada dada.

Si los medios de detección 21 detectan oscilaciones en el sentido del borde en una pala 5, los medios de control 14 podrían iniciar que solo se cambiara el paso de esta pala 5 pero si las condiciones del viento y otras son tales que una pala 5 comienza a oscilar, es también factible que palas adicionales 5 comiencen a oscilar y es por lo tanto posible que se cambie el paso de más de una pala 5 fuera de la posición de aparcamiento al mismo tiempo y es posible también naturalmente que se cambie cada vez solo el ángulo de paso de una pala 5, dejando el ángulo de paso de las palas 5 restantes sin cambiar durante un intento para amortiguar o eliminar las oscilaciones en el sentido del borde de las palas 5.

El nivel predefinido anteriormente mencionado, por ejemplo la determinación de si las palas 5 deberían devolverse a su posición de ángulo de paso original, la determinación de si debería cambiarse el ángulo de paso, la determinación de si debiera iniciarse un procedimiento de alarma y otros podría determinarse como un cierto porcentaje de exceso de una carga conocida, por ejemplo si se detectó que el empuje de la gravedad en las palas 5 daría como resultado una carga máxima dada medida por los sensores de carga en la raíz 9 de la pala 5, este nivel predefinido podría ser que esta carga máxima dada se excediera en al menos un 5 % y preferiblemente en al menos el 15 % tal como en el 20 %, indicando que la pala 5 está influida por otros factores distintos a la gravedad, es decir la pala 5 podría estar oscilando en el sentido del borde particularmente si estos excesos de carga suceden rítmicamente y dentro de uno o más intervalos de frecuencia tales como entre 0,1 y 5 Hz, preferentemente entre 0,5 y 3 Hz indicando que los excesos se originan a partir de oscilaciones en el sentido del borde y no solamente a partir de algunos fenómenos aerodinámicos breves.

De la misma forma, si los medios de detección 21 eran uno o más acelerómetros colocados en las palas 5, en el buje, en la góndola 3 o en la torre 2 los niveles predeterminados podrían definirse también como un cierto porcentaje de exceso de un nivel de aceleración conocido.

Los niveles podrían definirse también como porcentajes de una carga o aceleración aceptable o basarse simplemente en valores estadísticos o empíricos o basándose en ensayos prácticos.

La invención se ha ejemplificado anteriormente con referencia a ejemplos específicos de turbinas eólicas 1, medios de detección 21, realizaciones de un método para amortiguación de oscilaciones en el sentido del borde y otros. Sin embargo, debería entenderse que la invención no está limitada a los ejemplos particulares descritos anteriormente sino que puede diseñarse y alterarse en una multitud de variedades dentro del alcance de la invención tal como se especifica en las reivindicaciones.

#### Lista

1. Turbina eólica
2. Torre
3. Góndola
4. Rotor
5. Pala
6. Borde de ataque
7. Borde de salida
8. Punta
9. Raíz
10. Rotura
11. Lado de presión
12. Lado de succión
13. Mecanismo de paso
14. Medios de control
15. Engranaje
16. Sistema de frenado
17. Generador
18. Convertidor
19. Estructura resistente
20. Accionador
21. Medios de detección
22. Acelerómetro
23. Cojinete de paso
- C. Cuerda

**REIVINDICACIONES**

1. Una turbina eólica (1) que comprende un rotor (4) que incluye una o más palas (5) de paso variable,  
 5 medios de registro (24) para registro de una situación de producción de potencia en vacío de dicha turbina eólica (1) en relación con una red eléctrica,  
 medios de control (14) para el control del ángulo de paso de una o más de dichas palas (5),  
 estando la turbina eólica (1) caracterizada por que comprende adicionalmente  
 10 medios de detección (21) para detección de oscilaciones en el sentido del borde en una o más de dichas palas (5), y por que dichos medios de control (14) se adaptan para cambiar el ángulo de paso de una o más de dichas palas (5) cuando dichos medios de registro (24) registran que dicha turbina eólica (1) está funcionando en una situación de producción de potencia en vacío y dichos medios de detección (21) detectan oscilaciones en el sentido del borde en una o más de dichas palas (5), amortiguando o eliminando de ese modo las oscilaciones en el sentido del borde.
- 15 2. Una turbina eólica (1) de acuerdo con la reivindicación 1, en la que dichos medios de control (14) comprenden medios para el cambio de paso de dichas palas (5) en una dirección que incrementa el empuje de dichas palas (5), si dichos medios de detección (21) detectan oscilaciones en el sentido del borde en una o más de dichas palas (5).
- 20 3. Una turbina eólica (1) de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en la que dichos medios de control (14) comprenden medios para el cambio del ángulo de paso de todas las dichas palas (5) de dicho rotor (4) sustancialmente de igual modo, si dichos medios de detección (21) detectan oscilaciones en el sentido del borde en una o más de dichas palas (5).
- 25 4. Una turbina eólica (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dichos medios de detección (21) son uno o más acelerómetros (22) colocados en una góndola (3) de dicha turbina eólica (1).
5. Una turbina eólica (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dichos medios de control (14) comprenden medios para el cambio de dicho ángulo de paso de una o más de dichas palas (5) entre  
 30 0,5° y 30°, preferentemente entre 2° y 15° y más preferido entre 3° y 8° si dichos medios de detección (21) detectan oscilaciones en el sentido del borde en una o más de dichas palas (5).
6. Una turbina eólica (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dichos medios de control (14) comprenden medios para devolver dichas una o más palas (5) a su posición de ángulo de paso  
 35 original, cuando dichos medios de detección (21) detectan que el tamaño de dichas oscilaciones en el sentido del borde están por debajo de un nivel predefinido.
7. Una turbina eólica (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dichos medios de control (14) comprenden medios solamente para el cambio del ángulo de paso de una o más de dichas palas (5) si  
 40 dichas oscilaciones en el sentido del borde detectadas están por encima de un nivel predefinido.
8. Una turbina eólica (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dichos medios de control (14) comprenden adicionalmente un temporizador para dar una señal de alarma si el tamaño de dichas  
 45 oscilaciones en el sentido del borde no ha caído por debajo de un nivel predefinido en un periodo de tiempo predefinido.
9. Un método para el control de una turbina eólica (1), comprendiendo dicho método las etapas de:
- registro de si dicha turbina eólica (1) está operando en una situación de producción de potencia en vacío en  
 50 relación con una red eléctrica,
  - establecimiento de un valor de oscilación en el sentido del borde de una pala de turbina eólica (5) de dicha turbina eólica (1), y
  - cambio del ángulo de paso de dicha pala (5) si dicha turbina eólica (1) está funcionando en una situación de  
 55 producción de potencia en vacío y dicho valor de la oscilación en el sentido del borde está por encima de un nivel predefinido, amortiguando o eliminando de ese modo dichas oscilaciones en el sentido del borde.
10. Un método de acuerdo con la reivindicación 9, en el que dicha pala (5) se devuelve a su posición de ángulo de paso original, cuando dicho valor de oscilación en el sentido del borde ha caído por debajo de un nivel  
 60 predeterminado adicional.
11. Un método de acuerdo con la reivindicación 9 o 10, en el que el ángulo de paso de todas las palas (5) de dicha turbina eólica (1) se cambia sustancialmente de igual modo si dicho valor de oscilación en el sentido del borde está  
 por encima de un nivel predefinido.
- 65 12. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en el que se transmite una señal de alarma si dicho valor de oscilación en el sentido del borde no ha caído por debajo de un nivel predeterminado en un tiempo

predeterminado.

- 5 13. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, en el que dicho valor de oscilación en el sentido del borde se establece por medio de mediciones de carga de dicha pala (5).
14. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9 a 13, en el que se cambia el paso de dichas palas (5) en una dirección que reduce el empuje de dichas palas (5), si la velocidad de giro de un rotor (4) que comprende dichas palas (5) está por encima de un nivel predefinido.
- 10 15. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9 a 14, en el que se cambia el paso de dichas palas (5) en una dirección que incrementa el empuje de dichas palas (5), si la velocidad de giro de un rotor (4) que comprende dichas palas (5) está por debajo de un nivel predefinido.

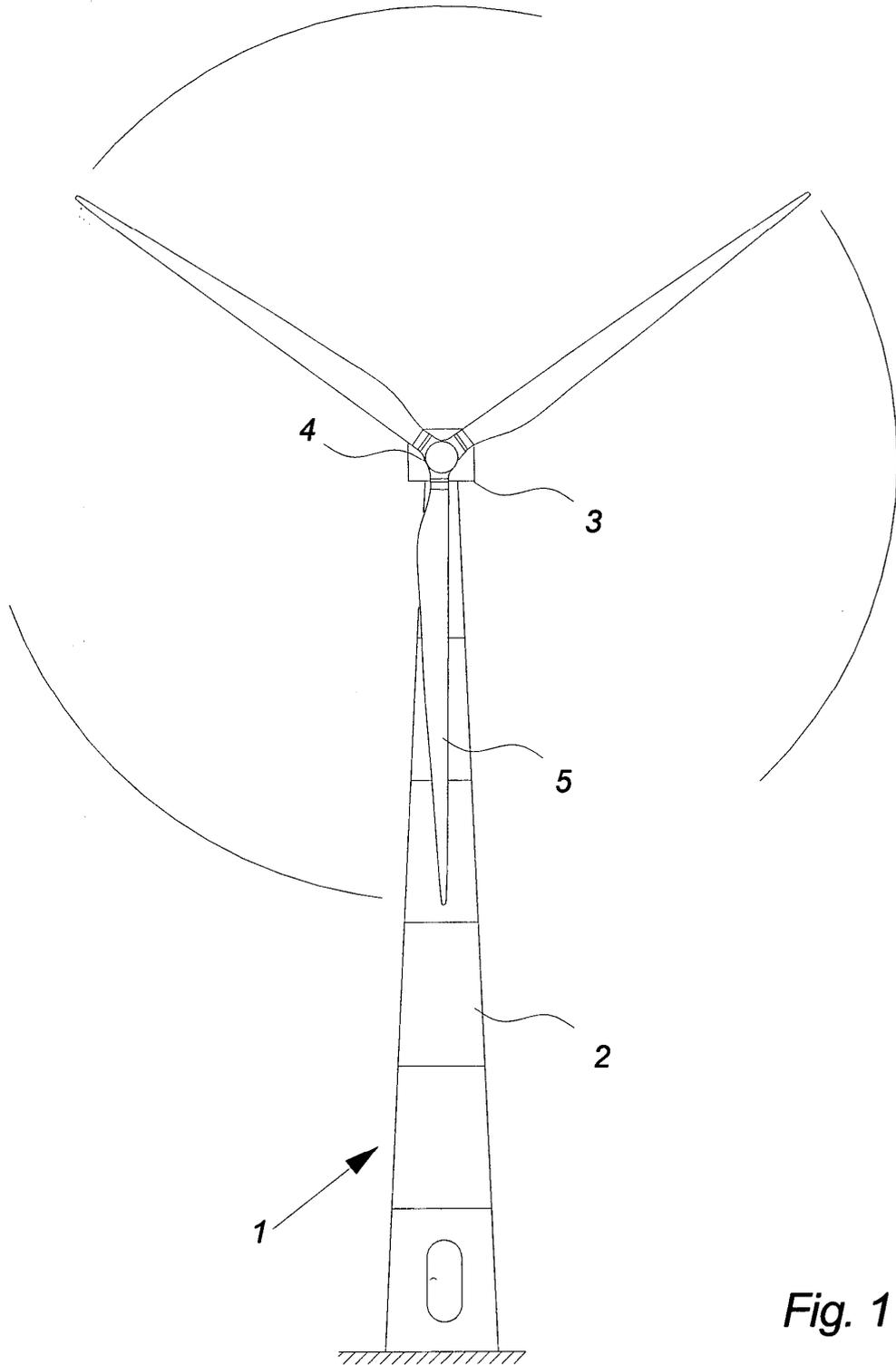
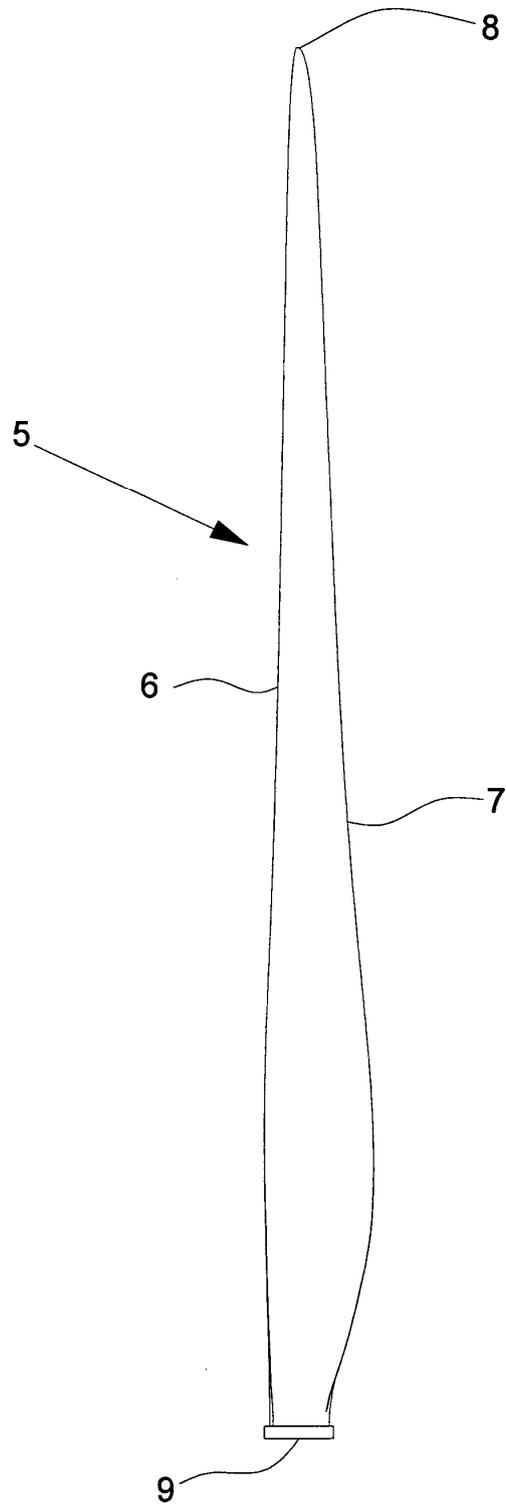
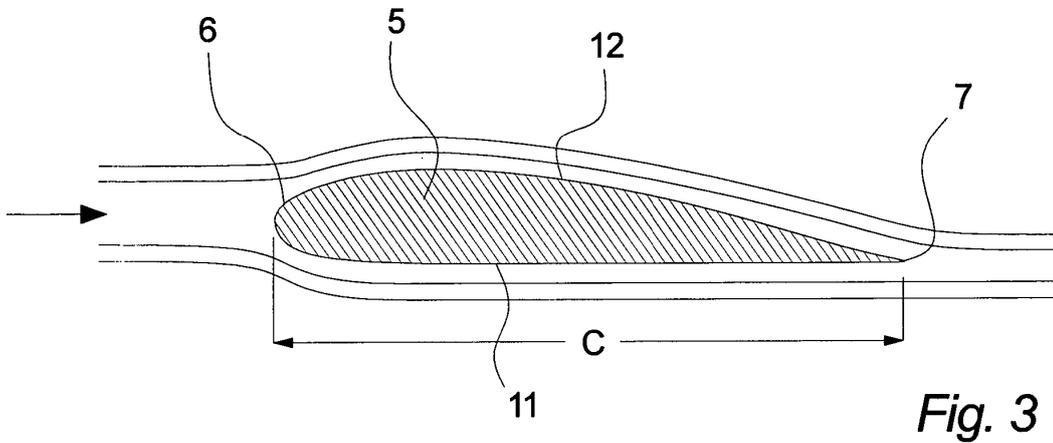


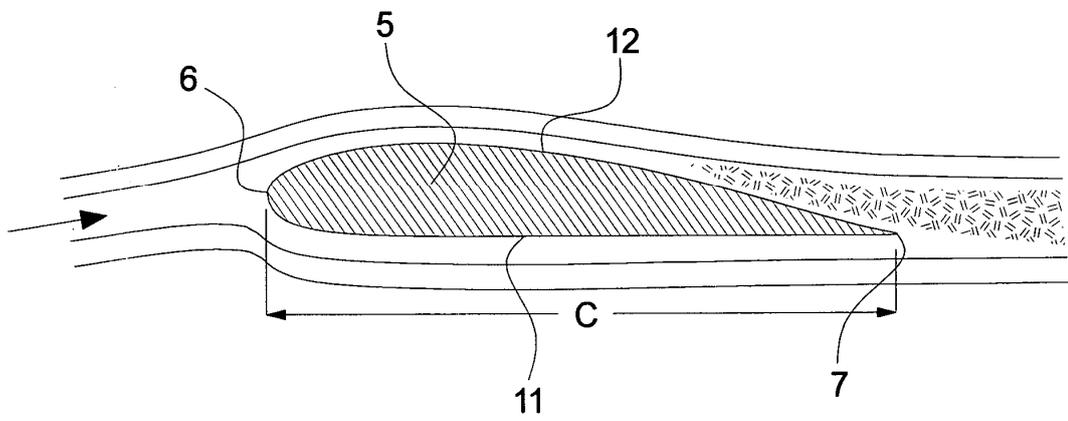
Fig. 1



*Fig. 2*



*Fig. 3*



*Fig. 4*

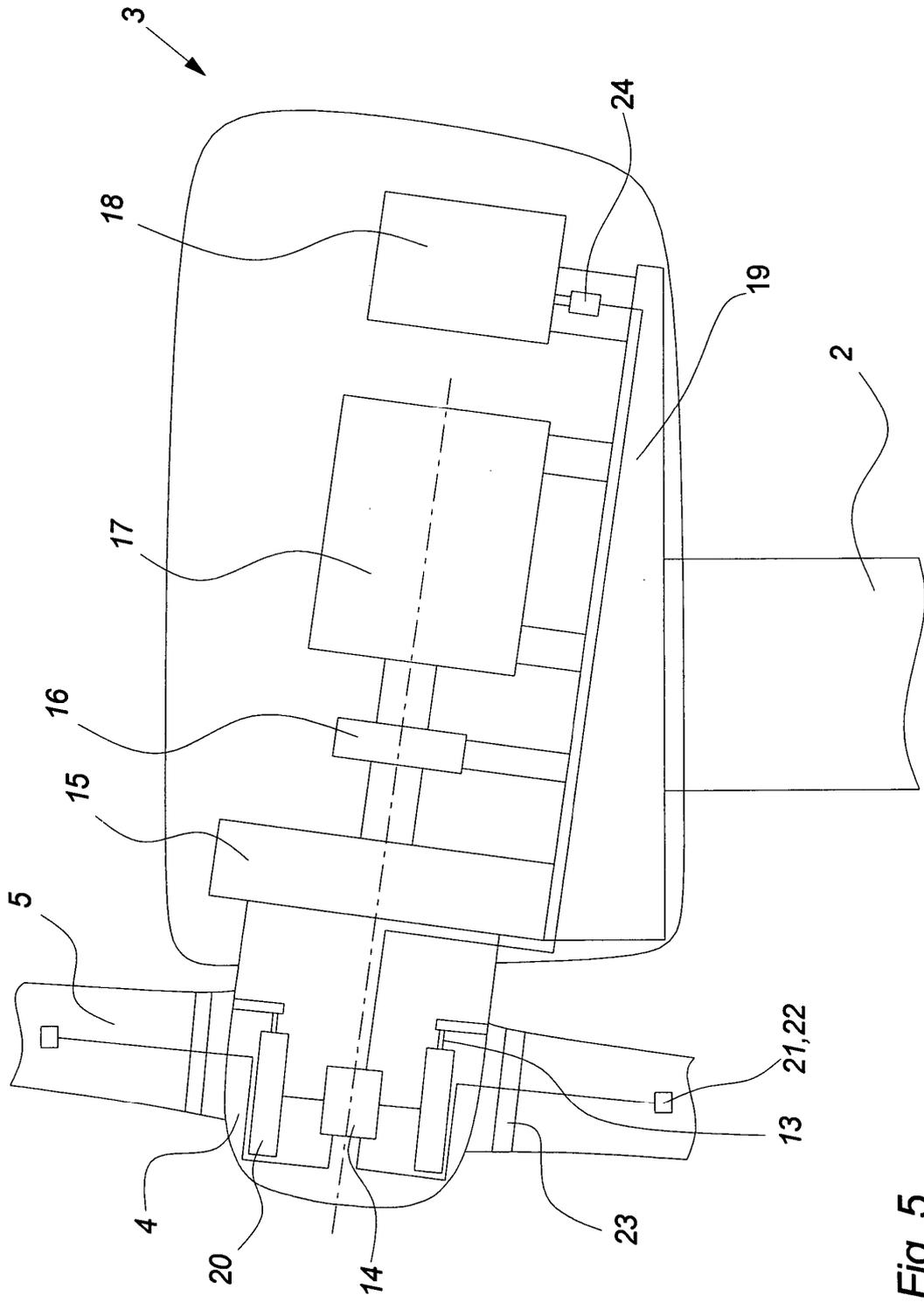


Fig. 5