

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 639 847**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/02**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.09.2007 PCT/DK2007/000403**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.04.2008 WO08040347**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.09.2007 E 07801371 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.08.2017 EP 2084400**

54 Título: **Una turbina eólica y un método para amortiguar oscilaciones de los bordes en una o más palas de una turbina eólica cambiando el paso de pala**

30 Prioridad:

**02.10.2006 DK 200601273**

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

**30.10.2017**

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)  
Hedeager 44  
8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:

**NIELSEN, THOMAS, STEINICHE, BJERTRUP y  
SPRUCE, CHRISTOPHER, JOHN**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

**ES 2 639 847 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 y un método para amortiguar oscilaciones de los bordes en una o más palas de una turbina eólica cambiando el paso de pala

### Antecedentes de la invención

- 5 La invención se refiere a una turbina eólica según el preámbulo según la reivindicación 1, a un método para amortiguar oscilaciones de los bordes en una o más palas de una turbina eólica y al uso de la misma.

### Descripción de la técnica relacionada

- 10 Una turbina eólica conocida en la técnica comprende una torre de turbina eólica cónica y una góndola de turbina eólica colocada en la parte superior de la torre. Un rotor de turbina eólica con varias palas de turbina eólica está conectado a la góndola a través de un árbol a baja velocidad, que se extiende fuera de la parte frontal de la góndola tal como se ilustra en la figura 1.

- 15 Las oscilaciones y vibraciones de las palas de turbina eólica no son deseables porque en el peor de los casos pueden dañar las palas. En particular, las oscilaciones de los bordes, que son oscilaciones a lo largo de la cuerda entre el borde de salida y el borde de ataque de la pala, pueden dañar la pala, porque la pala tiene poca amortiguación hacia este modo de oscilaciones.

Además, las oscilaciones de los bordes son particularmente dañinas, porque, entre otras cosas, pueden provocar grietas en la raíz de la pala o a lo largo del borde de salida. En casos conocidos, tales oscilaciones han provocado que la pala falle hasta tal grado que la pala se ha desprendido de la turbina.

- 20 Tanto las turbinas eólicas con paso de pala controlado como de entrada en pérdida corren el riesgo de verse dañadas por oscilaciones de los bordes. La turbina con control de entrada en pérdida acusa más este problema cuando funciona en vientos fuertes más allá del punto de entrada en pérdida y la turbina con regulación de paso acusa más este problema en viento fuerte cuando ráfagas de viento repentinas pueden provocar que las palas entren en pérdida momentáneamente.

- 25 Para eliminar oscilaciones dañinas de las palas, se conoce detener la turbina eólica durante un periodo de tiempo, si se detectan oscilaciones de los bordes de las palas potencialmente dañinas. Pero si estas oscilaciones se detectan a menudo, este método reducirá drásticamente la potencia global de la turbina eólica.

También se conoce dotar a las palas de diferentes formas de amortiguadores mecánicos, en su mayoría basándose en el principio de una masa montada en resorte combinada con un dispositivo de amortiguación o pueden dotarse de diferentes clases de amortiguadores líquidos.

- 30 Un ejemplo de un amortiguador líquido se da a conocer en el documento WO 99/32789, en el que las puntas de las palas están dotadas de un sistema de amortiguador líquido sintonizado. Un líquido fluye libremente en varias cámaras colocadas lo más cerca posible de la punta de la pala. Las cámaras tienen una longitud específica, que se adapta a la frecuencia de los bordes natural del tipo de pala específico. A pesar de que estas clases de amortiguadores de frecuencia específica pesan menos que los amortiguadores de múltiples frecuencias tradicionales, siguen presentando la desventaja de añadir un peso considerable a la punta de la pala, donde el peso es menos deseable y bajo ninguna circunstancia es deseable proporcionar cualquier cosa que pueda romperse en las palas, tanto porque puede dificultar el acceso a la parte interna de las palas como porque no es deseable cualquier peso extra en las palas.

- 40 El documento WO 97/01709 da a conocer una pala de turbina eólica que tiene un dispositivo para cambiar las propiedades aerodinámicas de la pala en función de la aceleración y/o velocidad de un dispositivo deslizante.

Un objeto de la invención es proporcionar una turbina eólica que comprende medios para amortiguar o eliminar oscilaciones de los bordes en las palas, que no presente las desventajas mencionadas.

Además, un objeto de la invención es proporcionar una técnica económica y sencilla para amortiguar o eliminar oscilaciones de los bordes de una o más palas de una turbina eólica.

### 45 La invención

La invención proporciona una turbina eólica según la reivindicación 1.

- 50 Deben estar presentes determinadas condiciones para que se produzcan oscilaciones de los bordes en las palas de turbina eólica: el viento debe tener una velocidad y/o inestabilidad determinada, las palas deben tener un determinado diseño, las palas deben colocarse en un determinado ángulo de paso, etc. La mayor parte de estas condiciones no pueden controlarse o al menos no pueden controlarse de manera no costosa, excepto el ángulo de paso de las palas.

Por naturaleza, las turbinas eólicas con control de entrada en pérdida y las turbinas eólicas con paso de pala controlado activas están dotadas de la capacidad para cambiar el ángulo de paso de las palas para controlar la salida de potencia del rotor o la turbina eólica y para proteger las palas o la turbina eólica frente a sobrecargas dañinas.

5 Por tanto, la capacidad de regular el paso de las palas de turbina eólica ya está presente en la mayor parte de las turbinas eólicas actuales y utilizar esta capacidad para alterar al menos una de las condiciones requeridas para que se produzcan oscilaciones de los bordes o al menos para que se incrementen las oscilaciones de los bordes es ventajoso, porque en el presente documento se proporcionan medios económicos y sencillos para amortiguar o eliminar las oscilaciones de los bordes en las palas de una turbina eólica.

10 En un aspecto de la invención, dichos medios de control comprenden medios para regular el paso de dichas palas en una dirección que reduce la inclinación de dichas palas durante el funcionamiento normal, si dichos medios de detección detectan oscilaciones de los bordes en una o más de dichas palas.

Habitualmente, las oscilaciones de los bordes en palas de turbina eólica solamente se producen a velocidades del viento relativamente elevadas. Si, durante el funcionamiento normal de las palas, se regulara el paso de las palas en una dirección que aumenta la inclinación, cuando se detectan oscilaciones de los bordes, el riesgo de sobrecargar las palas o la turbina eólica aumentaría significativamente.

15 Por tanto, es ventajoso regular el paso de las palas en una dirección que reduce la inclinación de las palas, es decir, girar las palas en la turbina eólica con paso de pala controlado más hacia fuera del viento relativo, reduciendo de este modo el rozamiento y haciendo que la cuerda de los bordes de las palas sea más paralela a la dirección del viento relativo.

20 En un aspecto de la invención, dichos medios de control comprenden medios para cambiar el ángulo de paso de todas las palas de dicho rotor de manera sustancialmente igual, si dichos medios de detección detectan oscilaciones de los bordes en una o más de dichas palas.

25 Puede ser difícil y/o costoso determinar cuál de las palas es la que oscila en los bordes, y por tanto, es ventajoso regular el paso de todas las palas si se detectan oscilaciones de los bordes en cualquiera de las palas de rotor.

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

30 Al colocar un sensor de oscilación en la góndola, es posible detectar oscilaciones de los bordes de las palas de manera muy sencilla. Además, la totalidad del rotor rota durante el funcionamiento normal y, por tanto, es ventajoso colocar los sensores de oscilación en la góndola (más fija).

En un aspecto de la invención, dichos sensores de oscilación son uno o más acelerómetros conectados a la estructura de refuerzo de dicha góndola.

35 Los acelerómetros son una manera económica y sencilla de detectar vibraciones y, colocando uno o más acelerómetros en la estructura de refuerzo de la góndola, se garantiza que las oscilaciones de los bordes de las palas se transfieran relativamente sin perturbar al sensor, proporcionando mediciones de sensor claras y fiables.

En un aspecto de la invención, dichos medios de control comprenden medios para cambiar dicho ángulo de paso de una o más de dichas palas entre 0,5° y 30°, preferiblemente entre 2° y 15° y lo más preferiblemente entre 3° y 8° si dichos medios de detección detectan oscilaciones de los bordes en una o más de dichas palas.

40 Si se realiza muy poca regulación de paso de las palas, cuando se detectan oscilaciones de los bordes, las oscilaciones pueden no amortiguarse o conlleva un periodo de tiempo relativamente largo que las oscilaciones se detengan. Si se realiza demasiada regulación de paso de las palas, la producción de energía se detiene o se reduce relativamente mucho.

Los presentes intervalos para cambiar los ángulos de paso, cuando se detectan oscilaciones de los bordes, presentan por tanto una relación ventajosa entre la eficacia de amortiguación y la salida de potencia.

45 Debe enfatizarse que este cambio en el ángulo de paso es relativo, es decir, hay un cambio extra además del cambio del ángulo de paso que se realiza para optimizar el ángulo de las palas con respecto al viento entrante en relación con la salida de potencia, carga, ruido, etc.

50 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 de los bordes está por debajo de un nivel predefinido.

Esto es ventajoso porque la salida de potencia de la turbina eólica se restablece rápido, garantizando de este modo que la salida de potencia global de la turbina eólica se mantiene a un nivel elevado.

En un aspecto de la invención, dichos medios de control comprenden medios solamente para cambiar el ángulo de paso de una o más de dichas palas si dichas oscilaciones de los bordes detectadas están por encima de un nivel predefinido.

5 Al cambiar el ángulo de paso de las palas de su posición sustancialmente óptima con respecto a la producción de potencia, obviamente se reducirá la salida de potencia de la turbina eólica, de modo que si el tamaño de las oscilaciones de los bordes es solamente pequeño y no dañino, es ventajoso abstenerse de regular el paso de las palas si el tamaño de las oscilaciones está por debajo de un nivel determinado.

10 En un aspecto de la invención, dichos medios de control comprenden además un temporizador para aportar una señal de alarma si el tamaño de dichas oscilaciones de los bordes no ha caído por debajo de un nivel predefinido dentro de un periodo de tiempo predefinido.

15 Si el tamaño de las oscilaciones de los bordes no ha caído por debajo de un nivel predefinido dentro de un periodo de tiempo predefinido, ha podido producirse un error o pueden haberse dañado las palas por las oscilaciones y, por tanto, es ventajoso hacer que los medios de control aporten una alarma. Esta señal de alarma puede entonces iniciar el apagado de la turbina eólica o puede transferirse a un centro de vigilancia u otro que pueda evaluar la situación y llevar a cabo las acciones necesarias.

La invención proporciona además un método según la reivindicación 10.

El método según la reivindicación 10 proporciona un método económico y sencillo para amortiguar o eliminar oscilaciones de los bordes en palas de turbina eólica.

20 En un aspecto de la invención, dicho ángulo de paso de dichas una o más palas solamente se cambia si el tamaño de dichas oscilaciones de los bordes está por encima de un nivel predefinido en una o más de dichas palas.

En un aspecto de la invención, dichas una o más palas se devuelven a su posición de ángulo de paso original, cuando la magnitud de dichas oscilaciones de los bordes ha caído por debajo de un nivel predeterminado.

En un aspecto de la invención, el ángulo de paso de todas dichas palas de dicha turbina eólica se cambia de manera sustancialmente igual si se detectan oscilaciones de los bordes en una o más de dichas palas.

25 En un aspecto de la invención, se crea una señal de alarma si la magnitud de dichas oscilaciones de los bordes no ha caído por debajo de un nivel predeterminado dentro de un periodo de tiempo predeterminado.

En un aspecto de la invención, se realiza la regulación de paso de dichas palas en una dirección que reduce la inclinación de dichas palas durante el funcionamiento normal, si dichos medios de detección detectan oscilaciones de los bordes en una o más de dichas palas.

### 30 Figuras

La invención se describirá a continuación con referencia a las figuras en las que

la figura 1 ilustra una turbina eólica actual grande conocida en la técnica, vista desde la parte frontal,

la figura 2 ilustra una pala de turbina eólica, vista desde la parte frontal,

35 la figura 3 ilustra una sección transversal de una pala de turbina eólica en una situación de no entrada en pérdida, vista desde la raíz de la pala,

la figura 4 ilustra una sección transversal de una pala de turbina eólica en una situación de entrada en pérdida, vista desde la raíz de la pala,

la figura 5 (no es parte de la invención) ilustra una sección transversal de una pala de turbina eólica en una situación de entrada en pérdida profunda, vista desde la raíz de la pala, y

40 la figura 6 ilustra una sección transversal simplificada de una góndola, vista desde el lateral.

### Descripción detallada

45 La figura 1 ilustra una turbina eólica actual 1, que comprende una torre 2 y una góndola de turbina eólica 3 colocada en la parte superior de la torre 2. El rotor de turbina eólica 4, que comprende tres palas de turbina eólica 5, está conectado a la góndola 3 a través del árbol a baja velocidad que se extiende fuera de la parte frontal de la góndola 3.

La figura 2 ilustra una pala de turbina eólica 5, vista 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 está realizada normalmente de fibra de vidrio y compuesto de resina reforzado con fibra de carbono, madera reforzada con fibra de carbono o una combinación de los mismos.

Una pala de turbina eólica 5 conocida en la técnica tiene un centro elástico que está más próximo al borde de ataque 6 que al borde de salida 7, al menos con respecto a la mayoría de las partes de la pala 5. Si se producen oscilaciones de los bordes a una frecuencia de o próxima a la primera frecuencia de los bordes natural de las palas, especialmente el borde de salida 7 se expone por tanto a un esfuerzo considerable, que bajo determinadas condiciones puede dañar la pala 5 y dar como resultado grietas 10 a lo largo del borde de salida 7.

La figura 3 ilustra una sección transversal de una pala de turbina eólica 5 en una situación de no entrada en pérdida, vista desde la raíz 9 de la pala 5.

La pala 5 ilustrada en la figura 3 es una pala 5 en una turbina eólica con regulación de paso 1 habitual, mostrada durante el funcionamiento normal.

En una turbina eólica con paso de pala controlado 1, el controlador electrónico de turbinas comprueba la salida de potencia de la turbina 1 por ejemplo varias veces por segundo. Cuando la salida de potencia se vuelve demasiado elevada, el controlador envía una orden al mecanismo de regulación de paso de la pala 13, que inmediatamente realiza la regulación de paso (gira) las palas de rotor 5 ligeramente fuera del viento. Del mismo modo, las palas 5 se giran de vuelta al viento cuando el viento caiga de nuevo. Durante el funcionamiento normal, las palas 5 de una turbina eólica con regulación de paso 1, habitualmente sólo realizarán la regulación de paso una fracción de un grado al mismo tiempo, y el rotor 4 girará al mismo tiempo.

Las turbinas eólicas con paso de pala controlado 1 más conocidas no comprenden medios de detección 21 para detectar oscilaciones de los bordes de las palas 5 y por tanto tampoco comprenden medios activos para amortiguar o eliminar estas vibraciones. Cuando una turbina eólica con paso de pala controlado 1 está dotada de medios según la invención, es por tanto posible aumentar la salida de las palas 5, porque es posible reducir el margen de seguridad con respecto a la entrada en pérdida, porque de este modo se proporcionan medios a la turbina eólica 1 para amortiguar o eliminar oscilaciones de los bordes dañinas en caso de que se produzcan.

En una turbina eólica con paso de pala controlado 1, el controlador generalmente realizará la regulación de paso de las palas 5 ligeramente cada vez que el viento cambia con el fin de mantener las palas de rotor 5 en el ángulo óptimo con el fin de maximizar la salida para todas las velocidades de viento o al menos hasta una determinada velocidad de viento tal como 25 metros/seg., cuando las palas 5 se giran completamente fuera del viento, haciendo que la cuerda de pala C (la línea entre el borde de salida 7 y el borde de ataque 6) sea sustancialmente paralela con la dirección del viento, haciendo que el rotor 4 deje de rotar o al menos haciendo que se mantenga en estado inactivo. Al hacer esto, se protegen las palas 5 frente a sobrecargas dañinas a velocidades de viento elevadas y este es uno de los motivos por los que las palas 5 de una turbina eólica con paso de pala controlado 1 pueden realizarse de manera relativamente larga y delgada, en comparación con las palas 5 de una turbina eólica con regulación de entrada en pérdida activa 1.

Habitualmente, las palas 5 en una turbina eólica con paso de pala controlado 1 no entran en pérdida durante el funcionamiento normal, porque se realiza la regulación de paso de las palas 5 fuera del viento antes de que pueda producirse la entrada en pérdida. Pero, bajo determinadas circunstancias, pueden levantarse ráfagas de viento tan rápidamente que el control de las turbinas 1 no puede reaccionar lo suficientemente rápido y durante un periodo de tiempo corto puede producirse la entrada en pérdida. Estos periodos de entrada en pérdida cortos pueden provocar oscilaciones de los bordes en la pala 5, lo que potencialmente puede ser muy dañino. Particularmente, si estas ráfagas se producen rítmicamente a una frecuencia de o próxima a la primera frecuencia de los bordes natural de las palas 5, puede incrementarse la energía de las oscilaciones de los bordes.

La figura 4 ilustra una sección transversal de una pala de turbina eólica 5 en una situación de entrada en pérdida, vista desde la raíz 9 de la pala 5.

La pala 5 ilustrada en la figura 4 es una pala 5 en una turbina eólica con regulación de paso 1, ilustrada durante una ráfaga de viento repentina que crea una situación de entrada en pérdida no deseada.

Técnicamente, una turbina eólica con control de entrada en pérdida activa 1 (no es parte de la invención) se parece a una turbina eólica con paso de pala controlado 1 porque ambas tienen palas cuyo paso puede regularse, y con el fin de conseguir un par motor razonablemente grande (fuerza de giro) a velocidades de viento bajas, la turbina eólica con control de entrada en pérdida activa 1 habitualmente estará programada para regular el paso de las palas 5 de manera muy similar a una turbina eólica con paso de pala controlado 1 a velocidades de viento bajas. Sin embargo, cuando la turbina eólica con control de entrada en pérdida activa 1 alcanza su potencia nominal, podrá apreciarse una diferencia importante con las turbinas eólicas con paso de pala controlado 1: Si el generador está a punto de sobrecargarse, la turbina eólica con control de entrada en pérdida activa 1 realizará la regulación de paso de sus palas 5 en el sentido opuesto al que lo hace una turbina eólica con paso de pala controlado 1. Dicho de otro modo, aumentará el ángulo de ataque de las palas de rotor 5 con el fin de hacer que las palas 5 entren en una entrada en pérdida más profunda, desperdiciando por tanto la energía en exceso en el viento. Por tanto, a velocidades de viento elevadas, las palas 5 de una turbina eólica con control de entrada en pérdida activa 1 deberán poder soportar una carga extrema mucho más elevada que las palas 5 de una turbina eólica con paso de pala controlado 1, tanto solamente para impedir que las palas 5 se rompan como para impedir que las palas 5 se doblen tanto que exista

riesgo de que impacten contra la torre 2. Por tanto, las palas 5 de una turbina eólica con control de entrada en pérdida activa 1 se realizan más robustas y pesadas que las palas 5 de una turbina eólica con paso de pala controlado 1.

5 Además, la entrada en pérdida crea ruido y, para reducir la emisión de ruido procedente de la turbina eólica con control de entrada en pérdida activa 1, el rotor 4 rota más despacio que el rotor 4 de una turbina eólica con paso de pala controlado 1. Por tanto, las palas 5 de una turbina eólica con control de entrada en pérdida activa 1 deben ser más grandes y anchas para poder utilizar la energía del viento de manera eficaz.

10 Una de las ventajas de turbinas eólicas con control de entrada en pérdida activas 1 (no son parte de la invención) en comparación con turbinas eólicas con control de entrada en pérdida pasivas 1 es que la salida de potencia puede controlarse de manera más precisa, para evitar pasarse de la potencia nominal de la turbina eólica 1 al comienzo de una ráfaga de viento. Otra ventaja es que las turbinas eólicas con control de entrada en pérdida activas 1 pueden hacerse funcionar de manera casi exacta a una potencia nominal en todas las velocidades de viento elevadas al menos hasta una velocidad de viento máxima determinada. Habitualmente, una turbina eólica con control de entrada en pérdida pasiva corriente 1 tendrá una caída en la salida de potencia eléctrica para velocidades de viento más elevadas, a medida que las palas de rotor 5 entran en una entrada en pérdida más profunda.

15 La figura 5 (no es parte de la invención) ilustra una sección transversal de una pala de turbina eólica 5 en una situación de entrada en pérdida profunda, vista desde la raíz 9 de la pala 5.

La pala 5 ilustrada en la figura 5 (no es parte de la invención) es una pala 5 en una turbina eólica con regulación de entrada en pérdida activa 1, mostrada durante el funcionamiento a velocidades de viento muy elevadas.

20 En esta realización, se realiza la regulación de paso de la pala 5 hacia el viento haciendo que entre en pérdida y pierda sustancialmente toda la energía del viento para proteger la turbina eólica 1 frente a sobrecargas dañinas.

25 La figura 6 ilustra una sección transversal simplificada de una góndola 3 de una turbina eólica 1, vista desde el lateral. Las góndolas 3 existen en multitud de variaciones y configuraciones, pero en muchos casos el tren de transmisión en la góndola 3 comprende uno o más de los siguientes componentes: un engranaje 15, un acoplamiento (no mostrado), algún tipo de sistema de interrupción 16 y un generador 17. Una góndola 3 de una turbina eólica actual 1 también puede incluir un convertidor 18 (también llamado inversor) y equipo periférico adicional tal como equipo de manipulación de potencia adicional, armarios de control, sistemas hidráulicos, sistemas de enfriamiento y más.

30 El peso de la totalidad de la góndola 3 que incluye los componentes de góndola 15, 16, 17, 18 está soportado mediante una estructura de refuerzo 19. Habitualmente, los componentes 15, 16, 17, 18 están colocados en y/o están conectados a esta estructura de soporte de carga 19 común. En esta realización simplificada, la estructura de refuerzo 19 solamente se extiende a lo largo de la parte inferior de la góndola 3, por ejemplo en forma de un armazón de reposo 20 al que están conectados algunos o la totalidad de los componentes 15, 16, 17, 18. En otra realización, la estructura de refuerzo 19 puede comprender una correa de engranaje que transfiere la carga del rotor 4 a la torre 2, o la estructura de soporte de carga 19 puede comprender varias partes interconectadas tales como un enrejado.

35 En esta realización de la invención, el tren de transmisión se establece en un ángulo en relación con un plano horizontal. El tren de transmisión forma un ángulo que, entre otras razones, permite que el rotor 4 pueda formar un ángulo de manera correspondiente por ejemplo para garantizar que las palas 5 no impacten contra la torre 2, para compensar las diferencias en la velocidad de viento en la parte superior e inferior del rotor 4, etc.

En esta realización de la invención, están colocados medios de detección 21 en la parte trasera de la góndola en forma de un acelerómetro 22 conectado a la parte trasera del armazón de reposo 20. En esta realización, el acelerómetro 22 está montado de tal manera que se detectan las oscilaciones de la góndola horizontales o sustancialmente horizontales, que se originan a partir de oscilaciones de los bordes de las palas.

45 Las oscilaciones de los bordes de las palas 5 hacen que la góndola 3 oscile ligeramente alrededor del centro de la torre, es decir en la dirección de guiñada, motivo por el que estas oscilaciones pueden detectarse de manera relativamente fiable en la parte trasera de la góndola 3. Las frecuencias de oscilaciones de los bordes típicas (primera frecuencia natural) se encuentran en el intervalo de 0,9 - 1,8 Hz. Como ejemplo, las frecuencias de oscilaciones de los bordes para algunas turbinas eólicas Vestas son: V90: 1,45 Hz, V100: 1,08 Hz y V120: 1,00 Hz.

50 En otra realización de la invención, los medios de detección 21 pueden ser otros tipos de sensores diferentes de acelerómetros 22, tales como micrófonos, galgas extensiométricas, fibras ópticas, etc., y puede(n) colocarse de manera diferente en la góndola 3 o los medios de detección 21 pueden colocarse en el exterior de la góndola 3 tal como en el buje o en una o más de las palas 5.

55 En esta realización de la invención, los medios de detección 21 están conectados a los medios de control 25. Si se detectan oscilaciones de los bordes de las palas 5 o si se detectan oscilaciones de los bordes por encima de un nivel determinado, los medios de control 25 pueden iniciar la regulación de paso de las palas 5.

Tal como se explicó anteriormente, las palas 5 de una turbina eólica con regulación de entrada en pérdida activa 1 o una turbina eólica con regulación de paso están dotadas de un mecanismo de regulación de paso 13. En la realización ilustrada, las palas 5 de la turbina eólica 1 están conectadas al buje a través de cojinetes de regulación de paso 23, que permiten que las palas 5 puedan rotar alrededor de su eje longitudinal.

5 En esta realización, el mecanismo de regulación de paso 13 comprende medios para hacer rotar las palas en forma de actuadores lineales 24 conectados al buje y a las palas 5 respectivas. En una realización preferida, los actuadores lineales 24 son cilindros hidráulicos. En otra realización, el mecanismo de regulación de paso 13 puede comprender motores paso a paso u otros medios para hacer rotar las palas 5.

10 En esta realización, los medios de control 25 están colocados en el buje, pero en una realización más preferida los medios de control 25 se colocarían en la góndola 3, en la torre 2 en una casa en las proximidades o en cualquier otro sitio, por ejemplo en la misma ubicación que los medios de paso de pala controlado generales (no mostrados) para el control del paso en relación con la carga o potencia o incluso integrados en estos medios de paso de pala controlado generales.

15 En esta realización, los medios de control están conectados a los actuadores lineales 24 para controlar el ángulo de paso de las palas 5 en respuesta a las mediciones de los medios de detección 21.

20 Si el tamaño de las oscilaciones de los bordes, detectado por el acelerómetro 22 en la góndola 3, está por encima de un nivel determinado tal como  $0,35 \text{ metros/seg}^2$ , los medios de control 25 proporcionan una señal que garantiza que se realiza la regulación de paso de todas las palas 5 por ejemplo de  $6,5^\circ$  en una dirección que reduce la capacidad de las palas 5 de "absorber" la energía del viento, es decir, las palas se giran en una dirección que hace que la cuerda de pala C sea más paralela con la dirección del viento relativo en una turbina eólica con paso de pala controlado 1 y en una dirección que hace que la cuerda de pala C sea más perpendicular con la dirección del viento relativo en una turbina eólica con control de entrada en pérdida activa 1 (no es parte de la invención).

25 En otra realización de la invención, los medios de detección 21 pueden colocarse en las palas 5, permitiendo que el tamaño de las oscilaciones de los bordes pueda detectarse para cada pala 5 de manera individual. De este modo, también se permite que solamente se realice la regulación de paso de la pala 5 o palas 5 específica(s) que oscilan por encima de un nivel predeterminado.

30 En una realización de la invención, las palas 5 se devuelven a su posición original o a su posición sustancialmente original, inmediatamente o después de un periodo de 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 determinado nivel predefinido.

Si las oscilaciones de los bordes no se eliminan o han caído por debajo de un nivel predeterminado dentro de un periodo de tiempo predeterminado, los medios de control 25 enviarán una alarma. Del mismo modo, si las oscilaciones de los bordes continúan aumentando de tamaño, a pesar de que los medios de control 25 han enviado una señal para regular el paso de las palas 5, se envía una señal de alarma.

35 La invención se ha ejemplificado anteriormente con ejemplos específicos de turbinas eólicas 1, medios de detección 21, métodos para amortiguar oscilaciones de los bordes, etc. Sin embargo, debe entenderse que la invención no se limita 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**

- 40 1. Turbina eólica
- 2. Torre
- 3. Góndola
- 4. Rotor
- 5. Pala
- 45 6. Borde de ataque
- 7. Borde de salida
- 8. Punta
- 9. Raíz
- 10. Grieta
- 50 11. Lado de presión

- 12. Lado de sotavento
- 13. Mecanismo de regulación de paso
- 14.
- 15. Engranaje
- 5 16. Sistema de interrupción
- 17. Generador
- 18. Conversor
- 19. Estructura de refuerzo
- 20. Armazón de reposo
- 10 21. Medios de detección
- 22. Acelerómetro
- 23. Cojinete de regulación de paso
- 24. Actuador
- 25. Medios de control
- 15 C. Cuerda

**REIVINDICACIONES**

1. Turbina eólica con paso de pala controlado (1) que comprende un rotor (4) que incluye una o más palas cuyo paso puede regularse (5), y medios de detección (21) para detectar oscilaciones de los bordes en una o más de dichas palas (5),  
5  
medios de control (25) para cambiar el ángulo de paso de una o más de dichas palas (5),  
caracterizada porque  
los medios de control (25) están configurados para cambiar el ángulo de paso de las palas (5) girando las palas en una dirección que hace que la cuerda de pala (C) sea más paralela con la dirección del viento relativo si dichos medios de detección (21) detectan oscilaciones de los bordes en una o más de dichas palas (5), amortiguando o eliminando de este modo dichas oscilaciones de los bordes y en la que dichos medios de detección (21) son uno o más sensores.  
10
2. Turbina eólica (1) según la reivindicación 1, en la que dichos medios de control (25) comprenden medios para regular el paso de dichas palas (5) en una dirección que reduce la inclinación de dichas palas (5) durante el funcionamiento normal, si dichos medios de detección (21) detectan oscilaciones de los bordes en una o más de dichas palas (5).  
15
3. Turbina eólica (1) según la reivindicación 1 ó 2, en la que dichos medios de control (25) comprenden medios para cambiar el ángulo de paso de todas las palas (5) de dicho rotor (4) de manera sustancialmente igual, si dichos medios de detección (21) detectan oscilaciones de los bordes en una o más de dichas palas (5).
- 20 4. Turbina eólica (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dichos medios de detección (21) son uno o más sensores de oscilación colocados en una góndola (3) de dicha turbina eólica (1).
5. Turbina eólica (1) según la reivindicación 4, en la que dichos sensores de oscilación son uno o más acelerómetros (22) conectados a la estructura de refuerzo (19) de dicha góndola (3).
- 25 6. Turbina eólica (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dichos medios de control (25) comprenden medios para cambiar dicho ángulo de paso de una o más de dichas palas (5) entre 0,5° y 30°, preferiblemente entre 2° y 15° y lo más preferiblemente entre 3° y 8° si dichos medios de detección (21) detectan oscilaciones de los bordes en una o más de dichas palas (5).
- 30 7. Turbina eólica (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dichos medios de control (25) comprenden medios para devolver dichas una o más palas (5) a su posición de ángulo de paso original, cuando dichos medios de detección (21) detectan que el tamaño de dichas oscilaciones de los bordes está por debajo de un nivel predefinido.
8. Turbina eólica (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dichos medios de control (25) comprenden medios solamente para cambiar el ángulo de paso de una o más de dichas palas (5) si dichas oscilaciones de los bordes detectadas están por encima de un nivel predefinido.  
35
9. Turbina eólica (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dichos medios de control (25) comprenden además un temporizador para aportar una señal de alarma si el tamaño de dichas oscilaciones de los bordes no ha caído por debajo de un nivel predefinido dentro de un periodo de tiempo predefinido.
- 40 10. Método para amortiguar oscilaciones de los bordes en una o más palas (5) de una turbina eólica con paso de pala controlado (1) según la reivindicación 1, comprendiendo dicho método las etapas de
  - detectar si una o más de dichas palas (5) presenta oscilación de los bordes por medio de uno o más sensores, y
  - cambiar el ángulo de paso de una o más de dichas palas (5) girando las palas en una dirección que hace que la cuerda de pala (C) sea más paralela con la dirección del viento relativo si se detectan oscilaciones de los bordes en una o más de dichas palas (5).
- 45
11. Método según la reivindicación 10, en el que dicho ángulo de paso de dichas una o más palas (5) solamente se cambia si el tamaño de dichas oscilaciones de los bordes está por encima de un nivel predefinido en una o más de dichas palas (5).
- 50 12. Método según la reivindicación 10 u 11, en el que dichas una o más palas (5) se devuelven a su posición de

ángulo de paso original, cuando la magnitud de dichas oscilaciones de los bordes ha caído por debajo de un nivel predeterminado.

- 5
13. Método según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, en el que se cambia el ángulo de paso de todas dichas palas (5) de dicha turbina eólica (1) de manera sustancialmente igual si se detectan oscilaciones de los bordes en una o más de dichas palas (5).
14. Método según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, en el que se crea una señal de alarma si la magnitud de dichas oscilaciones de los bordes no ha caído por debajo de un nivel predeterminado dentro de un periodo de tiempo predeterminado.
- 10
15. Método según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 14, en el que se realiza la regulación de paso de dichas palas (5) en una dirección que reduce la inclinación de dichas palas (5) durante el funcionamiento normal, si dichos medios de detección (21) detectan oscilaciones de los bordes en una o más de dichas palas (5).

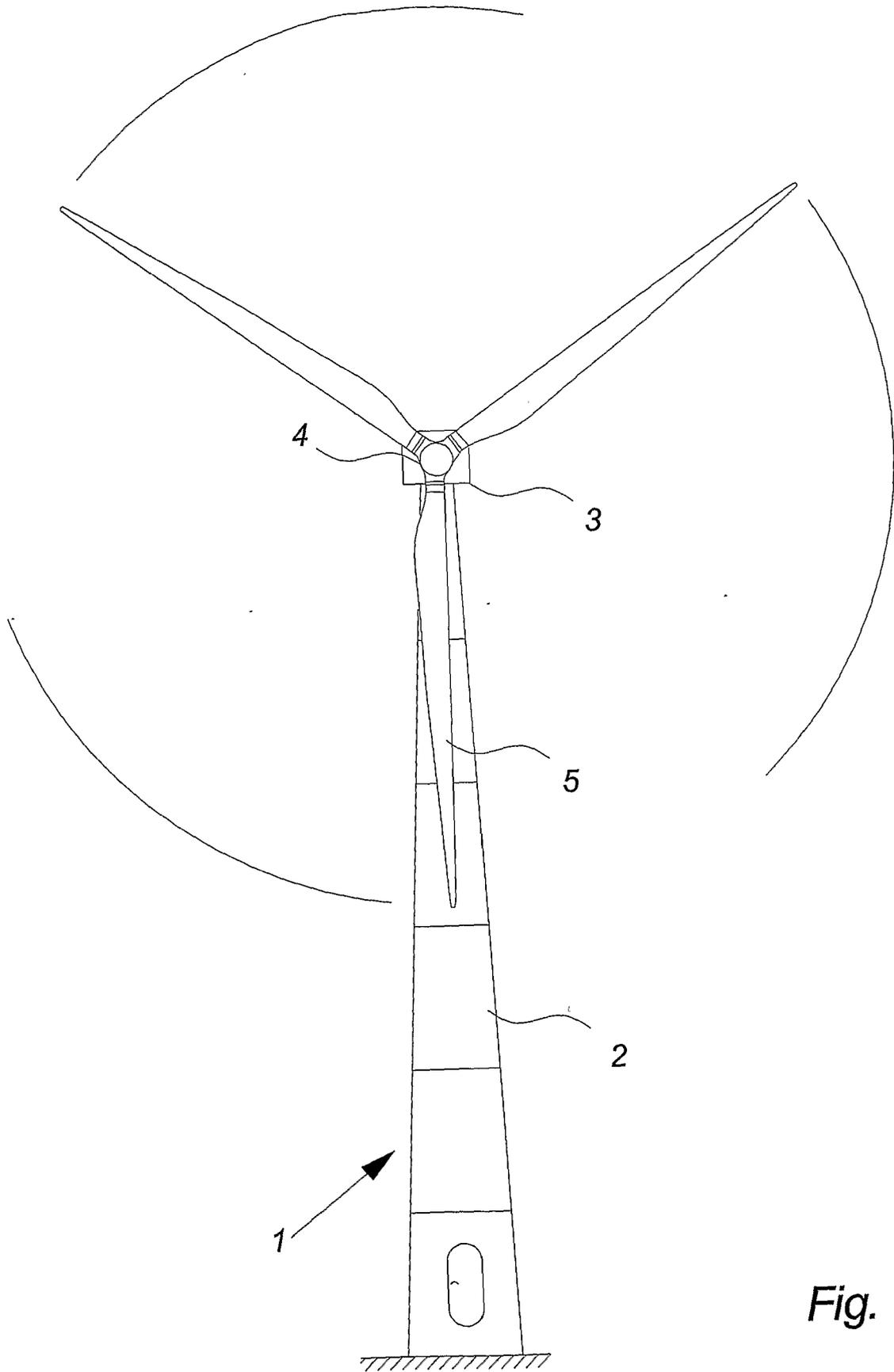
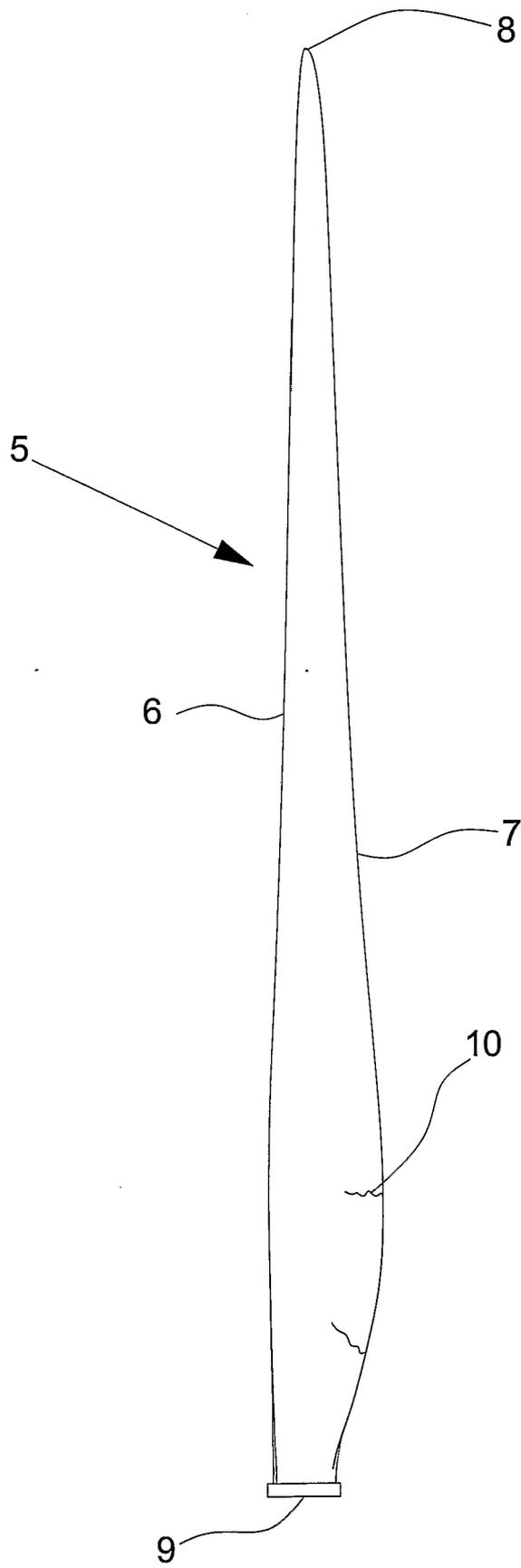
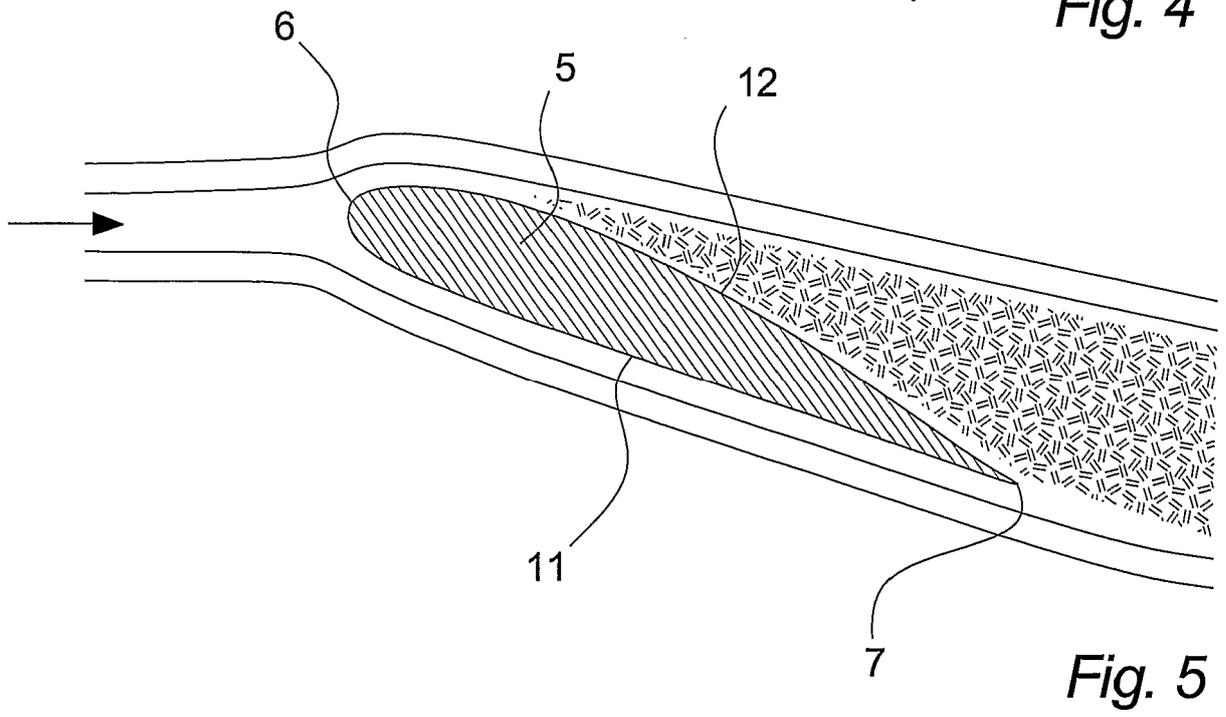
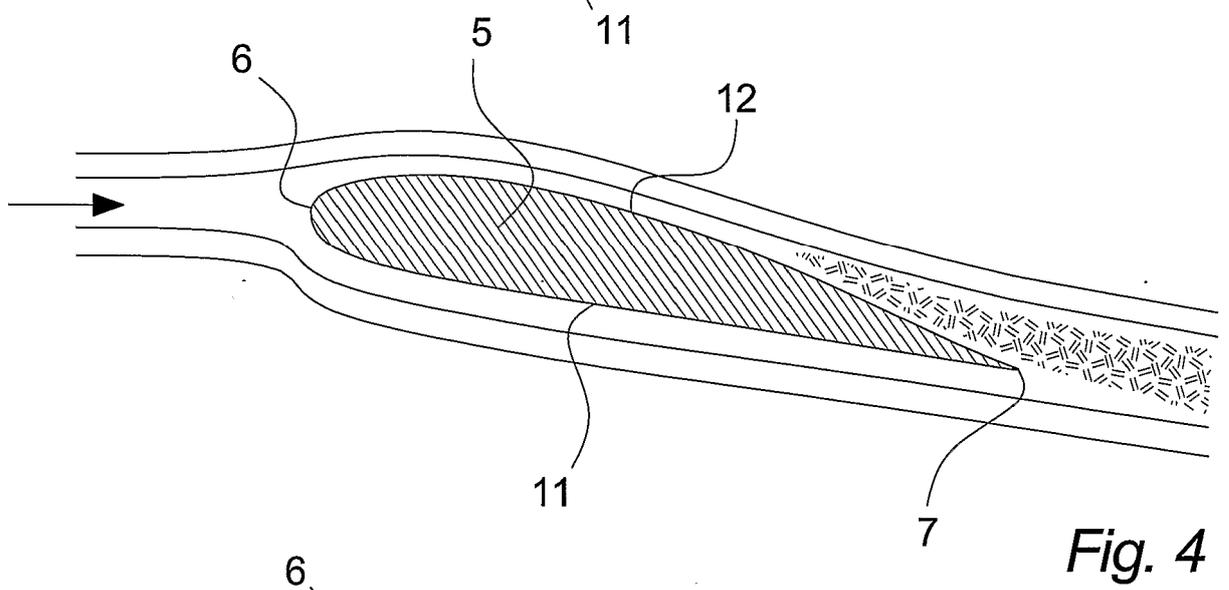
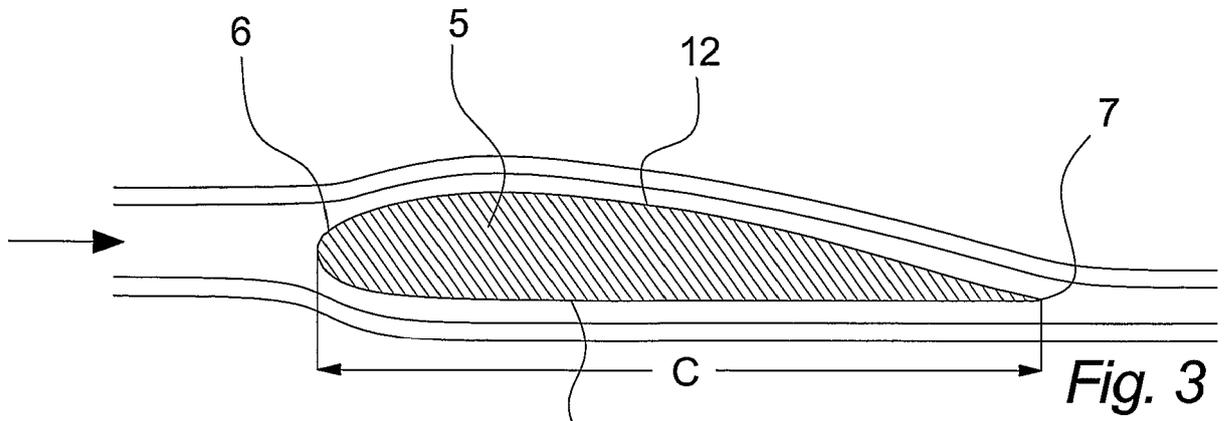


Fig. 1



*Fig. 2*



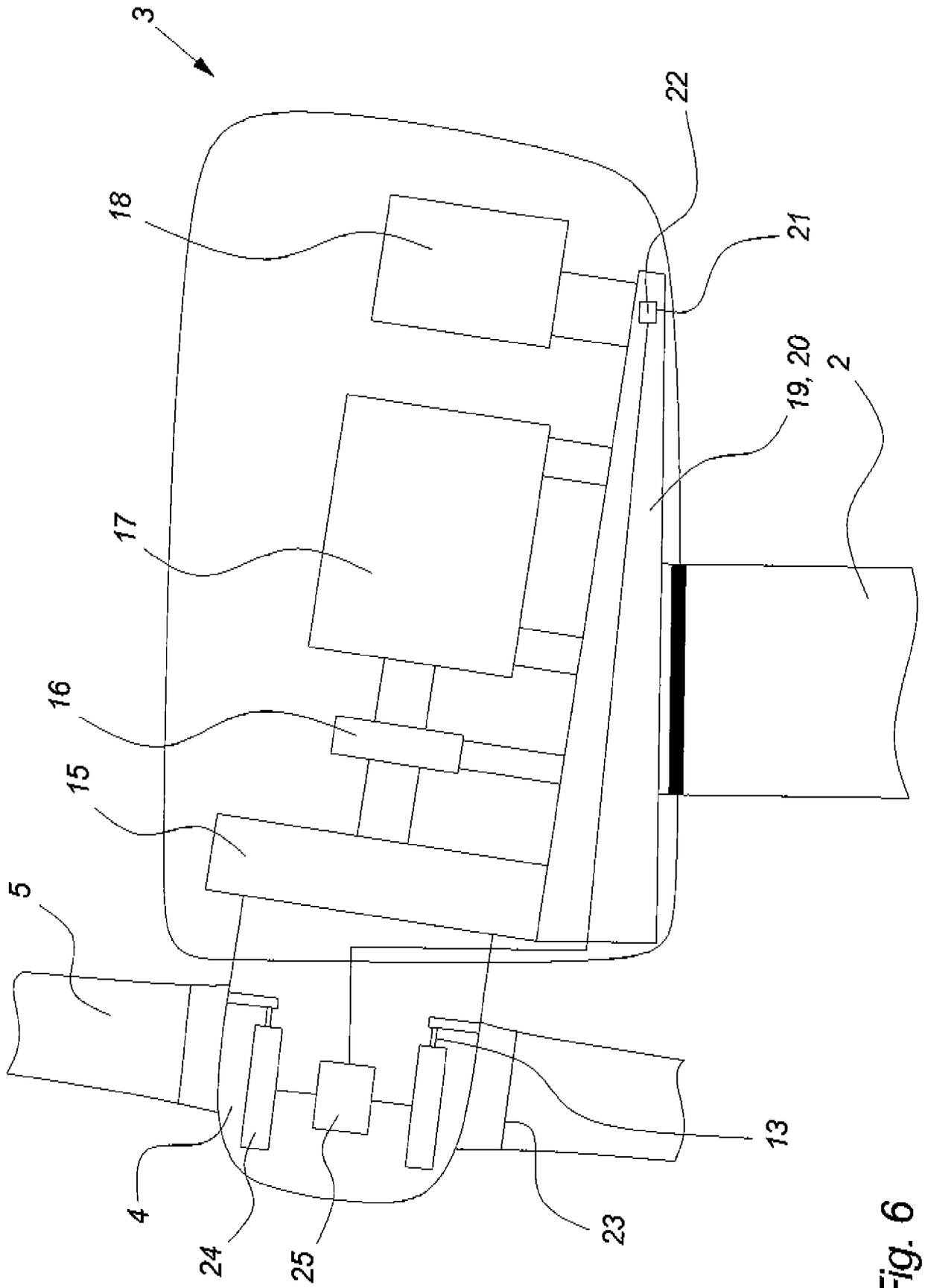


Fig. 6