

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 475 722**

51 Int. Cl.:

F03D 11/00 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.06.2011** **E 11168738 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.04.2014** **EP 2530302**

54 Título: **Turbina eólica y método de control para controlar la misma**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.07.2014

73 Titular/es:

**WILIC S.ÀR.L. (100.0%)
1, Boulevard de la Foire
1528 Luxembourg, LU**

72 Inventor/es:

**CASAZZA, MATTEO;
SABBADIN, AMEDEO y
STOCKNER, GUNTHER**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 475 722 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

Turbina eólica y método de control para controlar la misma

5 La presente invención se refiere a una turbina eólica. En particular, la presente invención se refiere a una turbina eólica que incluye un sistema de control para controlar la turbina eólica, y a un método para el control de la turbina eólica.

10 En general, una turbina eólica comprende una estructura de soporte vertical; una góndola en la cima de la estructura de soporte; un rotor montado de forma giratoria a la góndola y que incluye un cubo, una pluralidad de aspas montadas de forma giratoria al cubo y una pluralidad de activadores de paso para ajustar los ángulos de paso de las aspas. Las turbinas eólicas se controlan normalmente de acuerdo con una estrategia de control sobre la base de uno o más parámetros de control medidos, tales como velocidad del viento, dirección del viento, etc. Por consiguiente, un sistema de control utilizado para las operaciones de control de una turbina eólica está conectado normalmente a uno o más sensores, estando cada sensor dispuesto para medir una condición circundante específica, tal como por ejemplo la velocidad del viento. Sin embargo, las mediciones del parámetro físico, tales como la velocidad del viento son a menudo perturbados por la turbina eólica y sólo son confiables en una cierta medida. Por ejemplo, un sensor de velocidad de viento se coloca normalmente en la góndola y es perturbado por el rotor y no es capaz de detectar las diferencias a lo largo del área barrida por el rotor. Se han hecho intentos para confiar en los sensores para detectar la deflexión del aspa, por ejemplo en la patente de la Gran Bretaña No. 2.465.790 y la solicitud de patente de los Estados Unidos No. 2006/000269.

20 La a menudo escasa confiabilidad de la información obtenida a través de los sensores convencionales hace difícil un control fino de la turbina eólica.

Un objetivo de la presente invención es proporcionar una turbina eólica que pueda ser controlada en forma fácil y fina.

25 De acuerdo con la presente invención, se proporciona una turbina eólica que comprende un rotor que puede girar alrededor de un eje de rotor y que tiene una pluralidad de aspas encajadas de forma giratoria a un cubo alrededor de un eje de aspa y una pluralidad de activadores de paso para ajustar los ángulos de paso de las aspas; un freno controlado por un activador de frenado para detener el rotor; una máquina eléctrica giratoria conectada al rotor; un inversor para controlar la máquina eléctrica giratoria; y un sistema de control, que comprende una pluralidad de dispositivos de medición de la reflexión de imágenes configurado para detectar las deformaciones de cada aspa, y está configurado para emitir señales de control para controlar selectivamente al menos uno de los activadores de paso; el activador de frenado; y el inversor en función de las deformaciones recuperadas por medio de la pluralidad de dispositivos de medición de reflexión de imágenes; en donde cada dispositivo de medición de reflexión de imágenes se localiza dentro de un aspa y comprende una fuente de luz, al menos dos reflectores de luz espaciados a lo largo de los ejes de las aspas para reflejar los haces, y una cámara para recibir la luz reflejada y emitir señales correlacionadas con las imágenes recuperadas.

35 La información confiable recuperada por los dispositivos de medición de la reflexión de imágenes asociados a todas las aspas del rotor permite recuperar varios parámetros de funcionamiento relacionadas con el rotor. Esta información resulta ser muy valiosa con el propósito de controlar finamente la turbina eólica.

40 Esta disposición permite la recuperación, para cada aspa, de información relevante en relación con al menos dos porciones de cada aspa. Convenientemente, los reflectores de luz están separados entre sí a lo largo de los ejes de las aspas y situados a distancias dadas desde los ejes del rotor; los reflectores de luz están distribuidos con el mismo espaciamiento y las mismas distancias desde el eje del rotor en cada aspa.

En consecuencia, las deformaciones estáticas y dinámicas de cada aspa se pueden comparar de manera significativa con las deformaciones estáticas y dinámicas de las otras aspas.

45 De acuerdo con una forma de realización preferida de la presente invención, cada aspa comprende una porción de encastre, una porción intermedia, y una porción de punta que tiene una estructura configurada para favorecer el giro de la porción de la punta con respecto a la porción intermedia cuando la porción de punta se carga transversalmente hacia el eje del aspa; el aspa cuenta con al menos un reflector de luz en la porción intermedia y al menos un reflector de luz en la porción de la punta.

50 Las porciones de la punta de cada aspa puede girar automáticamente cuando la carga aplicada a la porción de la punta supera un valor dado. El reflector de la luz en la porción de la punta puede recuperar la ocurrencia de este evento y el grado de giro con respecto a la porción intermedia y a la porción de encastre a fin de permitir la evaluación de un nuevo ajuste del ángulo de paso del aspa.

De acuerdo con una forma de realización preferida adicional, cada aspa del rotor está provista de al menos una superficie aerodinámica de accionamiento tal como una aleta conectada de manera pivotante a la estructura del aspa y que se extiende a lo largo del borde de salida de la porción de la punta.

5 El ajuste de la superficie aerodinámica de accionamiento permite la variación de la distribución de la carga a lo largo del aspa. En particular, la superficie aerodinámica de accionamiento se acciona positivamente y se asocia a un reflector de luz adicional del dispositivo de medición de reflexión de la imagen a fin de permitir el control de la posición de la superficie aerodinámica de accionamiento.

10 De acuerdo a una variante, se monta el reflector adicional de luz en la estructura del aspa tal como el larguero en estrecha proximidad a la superficie aerodinámica de accionamiento con el fin de recuperar los efectos producidos por el accionamiento de la superficie aerodinámica de accionamiento.

15 De acuerdo con una forma de realización preferida de la presente invención, el sistema de control comprende una pluralidad de unidades de procesamiento de imágenes, que emiten un conjunto de señales de posición correlacionadas con las posiciones de los reflectores de luz en las aspas; y una unidad de procesamiento de señal configurada para ejecutar una serie de programas de procesamiento de la serie completa de señales de posición o subconjuntos del conjunto de señales de posición y emitir dichas señales de control.

20 En particular, el sistema de control está configurado para adquirir nuevas señales tales como una señal de velocidad correlacionada con la velocidad de rotación del rotor; dichos programas incluyen un programa de detección de desequilibrio del rotor configurado para detectar la desalineación del eje del rotor con respecto a una posición nominal del eje del rotor con base en las señales de oscilación derivados del conjunto de señales de posición y la señal de velocidad.

De acuerdo con el segundo aspecto de la invención, se proporciona un método de control para controlar el funcionamiento de una turbina eólica.

25 De acuerdo con la presente invención, se proporciona un método de control para controlar el parámetro de funcionamiento de la turbina eólica, en el que la turbina eólica comprende un rotor que gira alrededor de un eje de rotor y que tiene una pluralidad de aspas acopladas de forma giratoria a un cubo alrededor de un eje de aspa y una pluralidad de accionadores de paso para ajustar los ángulos de paso de las aspas; un freno controlado por un accionador de freno para detener el rotor; una máquina eléctrica rotativa conectada al rotor; un inversor para controlar la máquina eléctrica rotativa; y un sistema de control, que comprende una pluralidad de dispositivos de medición de la reflexión de la imagen configurados para la detección de las deformaciones de cada aspa; el método comprende las etapas de recuperación de las deformaciones de la pluralidad de las aspas; emisión de señales de control en función de las deformaciones recuperadas por medio de la pluralidad de dispositivos de medición de la reflexión de la imagen; controlar selectivamente al menos uno de los accionadores de paso, el accionador de freno, y el inversor por medio de las señales de control; emisión de un conjunto de señales de posición correlacionadas con la posición de al menos dos reflectores de luz situados en el interior de cada aspa de la pluralidad de aspas por medio de una pluralidad de unidades de procesamiento de imágenes; y procesar el conjunto de señales de posición o el subconjunto del conjunto de señales de posición por medio de una pluralidad de programas para el cálculo y la emisión de dichas señales de control.

Sólo aquellas señales de posición que sean significativas para un parámetro de control operacional dado bajo control se seleccionan con el fin de reducir el número de operaciones requeridas.

40 De acuerdo con una forma de realización preferida de la presente invención, el método comprende las etapas de comparar las señales de posición correlacionadas con la deformación de un aspa con los valores de umbral; y emitir una señal de control para controlar el accionador de paso de dicha aspa o para detener la turbina eólica cuando una de las señales de posición excede el valor umbral relacionado.

Este control permite preservar la integridad del aspa y se ejecuta preferentemente para cada aspa del rotor.

45 De acuerdo con una forma de realización preferida adicional, el método comprende las etapas de procesar el subconjunto de señales de posición de cada aspa a través del tiempo con el fin de recuperar las oscilaciones del aspa y determinar las frecuencias y amplitudes de cada oscilación; la comparación de las frecuencias de oscilación con valores de referencia a fin de evitar frecuencias de oscilación críticas; y emitir una señal de control para controlar el accionador de paso con el fin de modificar la frecuencia de oscilación del aspa cuando las frecuencias de oscilación caen dentro de un intervalo crítico.

50 También, esta forma de realización tiene el propósito de preservar las aspas y la reducción de esfuerzos críticos de las aspas.

5 Una forma de realización preferida de la presente invención contempla el procesamiento de todo el conjunto de señales de posición de todas las aspas; el cálculo de la deformación total del rotor con base en las desviaciones de los valores de posición neutros de todas las aspas; la comparación de la deformación total del rotor y un valor de umbral de referencia; y la emisión de una señal de control para el accionamiento de los accionadores de paso de todas las aspas cuando la deformación total del rotor supera este valor de umbral de referencia.

La forma de realización preferida anterior tiene por objeto evitar esfuerzos excesivos en toda la estructura de la turbina eólica tal como en la estructura vertical, la góndola, el cojinete, etc.

10 Una realización preferida adicional de la presente invención contempla el procesamiento del subconjunto de señales de posición de al menos un aspa para el cálculo de las frecuencias de oscilación del aspa; la adquisición de la salida de energía de la máquina eléctrica rotativa; la comparación de las frecuencias de oscilación calculadas con dicha producción de energía con las frecuencias naturales de oscilación de dicha aspa con la misma salida de energía en ausencia de hielo; y la emisión de una señal de control para detener la turbina eólica y / o iniciar un programa de descongelación cuando las diferencias entre las frecuencias calculadas y las frecuencias naturales exceden valores de umbral dados.

15 Ventajosamente, la comparación entre las frecuencias de oscilación naturales y las frecuencias recuperadas en las mismas condiciones operacionales proporciona información con respecto a la presencia de hielo sobre el aspa.

20 Una realización preferida adicional de la presente invención comprende las etapas de procesamiento de un subconjunto de señales de posición con el fin de calcular las oscilaciones (amplitudes y frecuencias) de al menos un aspa; y emitir una señal de control para el ajuste del inversor y / o el paso de una o más aspas cuando las diferencias de oscilaciones (amplitudes y frecuencias) con el paso del tiempo exceden un rango dado, y el rotor gira a una velocidad de rotación constante.

Tal control permite detectar el desequilibrio del rotor y corregirlo.

25 De acuerdo con una forma de realización preferida de la presente invención, el método comprende las etapas de comparar las señales de posición asociadas a dichos dos reflectores de luz para el cálculo de la torsión de la porción de la punta con respecto a la porción intermedia de un aspa; y emitir una señal de control para controlar el accionador de paso de dicha aspa y ajustar el ángulo de paso de dicha aspa cuando el giro está fuera de un rango dado.

El seguimiento del giro es relevante para el control del aspa o bien el giro automático determinado por la carga sobre el aspa estaría fuera de control.

30 De acuerdo con una realización adicional preferida de la presente invención, el método comprende la etapa de adquisición la posición de dicha superficie accionada aerodinámica y sus efectos sobre la carga del aspa.

La invención se describirá ahora con más detalle con referencia a realizaciones preferidas mostradas en los dibujos anexos en los que:

35 La figura 1 es una vista en elevación lateral, con partes retiradas para mayor claridad, de una turbina eólica de acuerdo con la presente invención;

La figura 2 es una vista lateral, con partes retiradas para mayor claridad, de un aspa de la turbina eólica de la figura 1;

La figura 3 es una vista en sección transversal, con partes retiradas para mayor claridad y en una escala ampliada, del aspa de la figura 2;

40 Las figuras 4 y 5 son vistas en perspectiva, con partes retiradas para mayor claridad y en una escala ampliada, de dos secciones respectivas del aspa de la figura 2;

La figura 6 es una vista esquemática de un sistema de control de la turbina eólica de la figura 1;

La figura 7 es una vista en perspectiva, con partes retiradas para mayor claridad y partes en sección transversal de una variación del aspa de la figura 2; y

45 La figura 8 es una vista en sección transversal, con partes retiradas para mayor claridad, del aspa de la figura 7.

Con referencia a la figura 1, con el número 1 se indica una turbina eólica, en particular para la producción de energía eléctrica. La turbina eólica 1 comprende una estructura vertical 2; una góndola 3 encima de la estructura vertical 2; un rotor 4 adaptado de forma giratoria a la góndola 3 alrededor de un eje A; y una máquina eléctrica giratoria 5 parcialmente montada en el rotor 4 y en parcialmente encajada en la góndola 3. El rotor 4 comprende un cubo 6 y una pluralidad de aspas 7, tres en el ejemplo mostrado, montado de forma giratoria al cubo 6 alrededor de los ejes B que se extiende radialmente desde el eje A; y una pluralidad de accionadores de paso 8 para hacer girar selectivamente cada aspa 7 alrededor del eje B y los ángulos de paso de la misma. La turbina eólica 1 comprende un freno 9 controlado selectivamente por un accionador de freno 10 para bloquear el rotor 4 con respecto a la góndola 3, y un inversor 11 para controlar la máquina eléctrica rotativa 5. La turbina eólica 1 comprende un sensor de velocidad 12 para detectar la velocidad de rotación del rotor 4.

La turbina eólica 1 de la figura 1 es del tipo que tiene un único cojinete 13 que soporta todo el rotor 4, y una máquina eléctrica rotatoria 5 de forma tubular.

Con referencia a la figura 2, cada aspa 7 tiene una porción de encastre 14, una porción intermedia 15, y una porción de punta 16; y comprende un larguero longitudinal 17 que se extiende a lo largo del eje B desde la porción de encastre 14 hasta la porción de la punta 16, y una estructura en forma de superficie de sustentación 18, que está dispuesta alrededor del larguero 17 y está soportada por el larguero 17. Como se muestra mejor en la figura 3, el larguero 17 tiene una sección transversal rectangular y confiere la rigidez necesaria al aspa 7 y transmite la carga desde la estructura en forma de superficie de sustentación 18 hasta el cubo 6 (figura 1). El larguero 17 y la estructura en forma de superficie de sustentación 18 están elaborados de polímero reforzado con fibras con el fin de soportar adecuadamente las tensiones de tracción y de compresión determinadas por la deformación del aspa 7 que normalmente se produce durante el uso ordinario de la turbina eólica 1. La tendencia actual consiste en el aumento de la longitud del radio del rotor 4 con el fin de incrementar la potencia transferida a la máquina eléctrica rotativa 5. Por esta razón, un aspa 7 puede ser incluso más larga que 100 metros. Por lo tanto, la estructura del aspa 7 debe ser elástica y resistente. La disposición y la cantidad de fibras en el larguero 15 tienen una influencia relevante para determinar las deformaciones elásticas del aspa 7 a lo largo del eje B. Por lo general, las fibras se colocan en capas en varias direcciones con el fin de formar un mallado de fibra con un patrón uniforme. Con referencia a la figura 4, una sección del aspa 7 muestra que las fibras 19 del larguero 17 se disponen de acuerdo con el patrón 20 en donde las fibras 19 son predominantemente paralelas al eje B, mientras que en la figura 5 las fibras 19 están dispuestas según un patrón 21 en donde las fibras 19 están predominantemente inclinadas con respecto al eje B. El patrón 20 de la figura 4 ofrece una resistencia a los esfuerzos de tracción que se convierte en una resistencia a la flexión del aspa 7 en respuesta a una carga aplicada perpendicularmente al eje B. El patrón 21 de la figura 5 favorece el giro del aspa 7 como una reacción a una carga aplicada perpendicularmente al eje B. En el uso, el patrón 20 de la figura 4 y el patrón 21 de la figura 5 permiten la deformación elástica del aspa 7, pero hacen que el aspa 7 sufra diferentes tipos de deformaciones elásticas cuando se carga transversalmente al eje B.

Con referencia a la figura 2, se proporciona un larguero 17 con fibras dispuestas de acuerdo con el patrón 20 a lo largo de la porción de encastre 14 y la porción intermedia 15, y fibras dispuestas de acuerdo con el patrón 21 a lo largo de la porción de la punta 16. Esta combinación del patrón 20 y 21 permite que la porción de la punta 16 gire con respecto a la porción intermedia 15 cuando actúan momentos de flexión altos sobre el aspa 7.

Esta disposición determina que la porción intermedia 15 experimente una flexión elástica, mientras que la porción de la punta 16 experimenta deformación elástica de giro además de la deflexión cuando el aspa 7 es sometida a cargas perpendicular al eje B.

Con referencia a la figura 6, la turbina eólica 1 comprende un sistema de control 22 para el control de la turbina eólica 1 con base en una pluralidad de parámetros de funcionamiento. El sistema de control 22 comprende una unidad de procesamiento de señal 23; por lo menos un dispositivo de medición de reflexión de imágenes 24 situado en el interior de cada aspa 7; y una unidad de procesamiento de imágenes 25 para cada dispositivo de medición de la reflexión de imágenes 24. La unidad de procesamiento de señales 23 intercambia señales con los activadores de paso 8, el accionador de freno 10, el inversor 11, el sensor de velocidad 12, y las unidades de procesamiento de imágenes 25.

Con referencia a la figura 2, cada dispositivo de medición de reflexión de imágenes 24 comprende una fuente de luz 26, tal como una lámpara configurada para producir una luz difusa en el interior del aspa 7, una pluralidad de reflectores de luz 27 y 28, y una cámara 29 sobre la cual incide la luz, en particular la luz reflejada por los reflectores de luz 27 y 28. La fuente de luz 26 ilumina el espacio interior del aspa 7, en particular en el interior del larguero 17. La luz es predominantemente reflejada por los reflectores de luz 27 y 28 que aparece como puntos de luz sobre fondo gris en la imagen de la cámara 29. La luz reflejada desde los reflectores de luz incide sobre un área sensible de la cámara 29 que emite señales correlacionadas con las imágenes. Los reflectores de luz 27 y 28 se ubican preferiblemente en la cavidad formada por el larguero hueco 17 a lo largo del eje B. El reflector de luz 27 está situado a lo largo de la porción intermedia 15 a una distancia Z1 del eje A, mientras que el reflector de luz 28 está situado a lo largo de la porción de la punta 16 a una distancia Z2 del eje A, en donde Z2 es mayor que Z1. En otras

palabras, los reflectores de luz 27 y 28 están separados a lo largo del eje B. También es conveniente que los reflectores de luz 27 y 28 estén escalonados en forma radial con respecto al eje B.

5 De acuerdo con una realización preferida, los reflectores de luz 27 están situados a la misma distancia Z1 del eje A en todas las aspas 7 y los reflectores de luz 28 están situados a la misma distancia Z2 en todas las aspas 7 de manera que las deformaciones de cada aspa 7 pueden ser significativamente comparadas con las deformaciones de las otras aspas.

10 Con referencia a la figura 6, cada dispositivo de medición de reflexión de imágenes 24 emite señales correlacionadas con las imágenes recuperadas o, en otras palabras, las señales de las imágenes. Cada unidad de procesamiento de imágenes 25 procesa las señales de las imágenes emitidas por un dispositivo correspondiente de medición de reflexión de imágenes 24, y emite señales de posición correlacionadas con la posición de cada uno de los reflectores de luz 27 y 28 en un aspa correspondiente 7. En otras palabras, la unidad de procesamiento de imágenes 25 emite señales de posición Z1, X1 (t), Y1 (t) correlacionadas con la posición del reflector de la luz 27; y la posición de las señales de Z2, X2 (t), Y2 (t) correlacionadas con la posición del reflector de luz 28.

15 Las unidades de procesamiento de imágenes 25 emiten en total un conjunto de señales de posición que son procesadas por la unidad de procesamiento de señales 23 con el fin de obtener información sobre los parámetros de funcionamiento de la turbina eólica 1.

20 La unidad de procesamiento de señales 23 está configurada para la elaboración de todo el conjunto de señales de posición, parte de las mismas, y posiblemente señales emitidas por los accionadores de paso 8, el inversor 11 y el sensor de velocidad 12. En forma más detallada, la unidad de procesamiento de señales 23 está configurada para ejecutar una serie de programas cada uno dedicado a la evaluación de un parámetro de funcionamiento con base en por lo menos algunas señales del conjunto de señales de posición y posiblemente señales adicionales adquiridas a través del inversor 11 y / o el sensor de velocidad 12.

Los programas almacenados en la unidad de procesamiento de señal incluyen los siguientes:

- programa de evaluación de la tensión del aspa;
- 25 – programa de evaluación de la fatiga del aspa;
- programa de cálculo de la carga;
- programa de detección de hielo;
- programa de detección de desequilibrio del rotor;
- programa de seguimiento y control del acoplamiento rotación - flexión;
- 30 – programa de seguimiento y control de las superficies aerodinámicas accionadas.

35 El programa de evaluación de tensión del aspa está indicado por el bloque 30 en la figura 6 y está destinado a evaluar si cada aspa 7 está sometida a tensiones que puedan perjudicar la integridad de la estructura del aspa 7. Por lo tanto, las señales de posición correlacionadas con la deformación de cada aspa 7 se comparan con valores de umbral con el fin de verificar la ocurrencia de condiciones operativas críticas para el aspa 7. De acuerdo con una forma de realización preferida, las deformaciones corresponden al desplazamiento de las coordenadas X, Y de uno de los reflectores de luz 27 y 28 a partir de un punto de referencia de la posición neutra. Cuando una de las señales de posición X, Y excede un primer umbral, la unidad de procesamiento de señales 23 emite una señal de control para controlar el accionador de paso 8 del aspa 7 con el fin de reducir la carga sobre el aspa 7. Cuando una de las señales de posición X, Y excede un segundo valor de umbral, la unidad de procesamiento de señales 23 emite una señal de control para detener la turbina eólica 1, más precisamente para el accionamiento de todos los accionadores de paso 8, el accionador de freno 10, y el inversor 11 .

En otras palabras, el programa de evaluación de la tensión del aspa se ejecuta cíclicamente para cada aspa 7 y puede convertirse en un ajuste de los ángulos de paso de las aspas 7. El programa de evaluación de la tensión del aspa está destinado a preservar la integridad de las aspas 7 y evitar una carga excesiva en cada aspa 7.

45 El programa de evaluación de la fatiga del aspa está indicado por el bloque 31 en la figura 6 y está configurado para procesar el subconjunto de señales de posición de cada aspa 7 a través del tiempo con el fin de recuperar las oscilaciones del aspa 7 y determinar las frecuencias y amplitudes de cada oscilación. La información recuperada se

5 compara con valores de referencia a fin de evitar frecuencias de oscilación críticas. En los casos en que la frecuencia de oscilación caiga dentro de un intervalo crítico, la unidad de procesamiento de señales 23 emite una señal de control para controlar los accionadores de paso 8 con el fin de modificar la frecuencia de oscilación. En particular, el programa de evaluación de la fatiga está configurado para calcular las cargas de fatiga del aspa durante un cierto período y para comparar estas cargas con cargas esperadas recuperadas a través de cálculos. A partir de la comparación de los datos medidos y los datos esperados, se puede hacer una modificación en el sistema de control.

El programa de evaluación de la fatiga del aspa 31 se ejecuta por separado para cada aspa 7.

10 El programa de cálculo de la carga está indicado por el bloque 32 en la figura 6 y está configurado para procesar todo el conjunto de señales de posición de todas las aspas 7, y comprende la etapa de cálculo de la deformación total sobre la base de las desviaciones de las posiciones neutrales de los reflectores de luz 27 y 28 de todas las aspas 7. Cuanto mayor sea la deformación total, mayor será la carga aplicada al rotor 4. Se puede implementar una comparación entre la deformación total y un valor de umbral de referencia con el fin de operar la turbina eólica 1 por debajo de este valor de umbral de referencia. En este caso, el accionador de paso 8 de todas las aspas 7 se puede accionar con el fin de ajustar los ángulos de paso para reducir la carga total por medio de señales de control emitidas por la unidad de procesamiento de señales 23.

20 El programa de detección de hielo se indica mediante el bloque 33 en la figura 6 y está configurado para comparar la deformación total de las aspas 7, y la producción de energía por la máquina eléctrica rotativa 5; y un sistema de referencia. La detección se basa en el principio según el cual el hielo en las aspas 7 cambia la relación entre la carga aplicada al rotor y las frecuencias naturales en ausencia de hielo. Sin embargo, la carga aplicada al rotor está estrechamente relacionada con la producción de energía por la máquina eléctrica rotatoria 5. Por lo tanto, el programa de detección de hielo evalúa las frecuencias de oscilación de las aspas 7 en relación con la producción de energía por la máquina eléctrica giratoria 5 y el espectro de las frecuencias naturales de las aspas 7. Cuando las variaciones de las frecuencias de oscilación de las aspas 7 con respecto a las frecuencias naturales de oscilación de las aspas 7 con la misma carga en el rotor 4 son significativas (superior a un umbral dado), estas variaciones sólo pueden ser atribuidas a la diferente distribución de masas de las aspas 7 provocada por la formación de hielo a lo largo de las aspas 7. Cuando el programa de detección de hielo 33 detecta una deformación menor de lo esperado de acuerdo con los parámetros anteriormente identificados y con referencia a la producción de energía, la unidad de procesamiento de señales 23 emite una señal de control para detener la turbina eólica 1 y / o iniciar un programa de deshielo.

35 El programa de desequilibrio del rotor está indicado por el bloque 34 en la figura 6 y está dirigido a la recuperación si el eje de rotación A del rotor 4 se inclina con respecto a su posición nominal (figura 1). Esta condición operativa anómala puede ocurrir y puede ser detectada y corregida. El programa de desequilibrio del rotor 34 procesa un subconjunto de señales de posición con el fin de determinar las oscilaciones (amplitudes y frecuencias) de al menos un aspa 7 en relación con la velocidad de rotación del rotor 4. Cuando las diferencias de las oscilaciones (amplitudes y frecuencias) a través del tiempo exceden un intervalo dado y el rotor 4 gira a una velocidad de rotación constante, la unidad de procesamiento de señales 23 está configurada para enviar una señal de control destinada a corregir el desequilibrio por medio del inversor 11 y / o el ajuste del ángulo de paso de una o más aspas 7.

40 El programa de vigilancia y control de acoplamiento de giro - flexión se indica por el bloque 35 en la figura 6, y está encaminado a controlar el giro de la porción de la punta 16 de cada aspa 7. El programa de seguimiento y control de acoplamiento de giro - flexión 35 compara las señales de posición asociadas al reflector de luz 27 y la señal de posición asociada al reflector de luz 28 a fin de identificar la entidad de la rotación de la porción de la punta 16 con respecto a la porción intermedia 15. En caso de que el giro recuperado no cumpla con el conjunto de condiciones operacionales, la unidad de procesamiento de señales 23 emite una señal de control para controlar el accionador de paso 8 y ajustar el ángulo de paso de esa aspa 7. El programa de seguimiento y control de acoplamiento de giro - flexión 35 se ejecuta para cada aspa 7.

50 De esta forma, se pueden llevar a cabo una pluralidad de controles y ajustes de la turbina eólica 1, de una forma sencilla y confiable. Los programas 30, 31, 32, 33, 34, 35 pueden incluir convenientemente el proceso significativo de comparación de las deformaciones estáticas y dinámicas de cada aspa 7 con las deformaciones estáticas y dinámicas de las otras aspas 7.

55 Con referencia a la forma de realización mostrada en las figuras 7, el número de referencia 36 indica un aspa que tiene una estructura sustancialmente similar al aspa 7, en donde se identifican los componentes similares por medio de los mismos números de referencia adoptados con referencia al aspa 7. De hecho, el aspa 36 es una variación del aspa 7 en donde la porción de la punta 16 incluye una superficie aerodinámica accionada tal como las aletas 37 y 38 que se encuentra a lo largo del borde de salida del aspa 36 y pueden ser controladas de manera positiva.

Con referencia a la figura 8, las aletas 37 y 38 están conectados de forma pivotante a la porción de la punta 16,

están provistos de los respectivos brazos 39 y 40 que se extiende dentro del aspa 36, y son accionadas por medio de los respectivos accionadores de la aleta 41 y 42 situados en el interior del aspa 36.

5 Con referencia a la figura 7, las aletas 37 y 38 pueden ser accionadas con el fin de favorecer el giro de la porción de la punta 16 con respecto a la porción intermedia 15. El dispositivo de medición de la reflexión de la imagen 24 comprende, además de los reflectores de luz 27 y 28, más reflectores de luz 43 y 44 ubicados respectivamente en los brazos 39 y 40 con el fin de determinar una relación entre la posición de las aletas 37 y 38 y el efecto de giro en la porción de la punta 16. Los reflectores de luz 43 y 44 permiten un control de bucle cerrado de la posición de las aletas 37 y 38 con el fin de mejorar la precisión del posicionamiento de las aletas 37 y 38.

10 En la figura 6 la unidad de procesamiento de la señal 23 cuenta con un programa de accionamiento y control de la superficie aerodinámica 45 con el fin de controlar con precisión las aletas 37 y 38 y hacer seguimiento a la reacción sobre el giro de la porción de la punta 16 del aspa 36.

La presente invención obviamente se extiende también a formas de realización no descritas en la descripción anteriormente detallada, y a realizaciones equivalentes que caen dentro del alcance de protección de las reivindicaciones acompañantes.

15

REIVINDICACIONES

- 5 1. Una turbina eólica (1) que comprende un rotor (4) que puede girar alrededor de un eje del rotor (A) y que tiene una pluralidad de aspas (7) encastradas de forma giratoria a un cubo (6) alrededor de un eje de aspa (B) y una pluralidad de accionadores de paso (8) para ajustar los ángulos de paso de las aspas (7); un freno (9) controlado por un accionador de freno (10) para detener el rotor (4); una máquina eléctrica rotatoria (5) directamente conectada al rotor (4); un inversor (11) para controlar la máquina eléctrica rotativa (5); y un sistema de control (22), que comprende una pluralidad de dispositivos de medición de la reflexión de imágenes (24) configurado para detectar las deformaciones de cada aspa (7), y está configurado para emitir señales de control para controlar selectivamente al menos uno de los accionadores de paso (8); el accionador de freno (10); y el inversor (11) en función de las deformaciones recuperadas por medio de la pluralidad de dispositivos de medición de la reflexión de imágenes (24); en donde cada dispositivo de medición de la reflexión de imágenes (24) está localizado dentro de un aspa (7; 36) y comprende una fuente de luz (26), **caracterizada porque** comprende además al menos dos reflectores de luz (27, 28; 27, 28, 43, 44) espaciados a lo largo de los ejes del aspa (B) para reflejar haces, y una cámara (29) para recibir la luz reflejada y emitir señales correlacionadas con las imágenes recuperadas.
- 10 2. La turbina eólica como la reivindicada en la Reivindicación 1, en la que los reflectores de luz (27, 28; 27, 28, 43, 44) están separados entre sí a lo largo del eje del aspa (B) y situados a distancias dadas desde el eje del rotor (A); los reflectores de luz (27, 28; 27, 28, 43, 44) se distribuyen con el mismo espaciamiento y las mismas distancias desde el eje del rotor (A) en cada aspa (7; 36).
- 20 3. La turbina eólica como la reivindicada en la Reivindicación 1 o 2, en la que cada aspa (7; 36) comprende una porción de encastre (14), una porción intermedia (15), y una porción de la punta (16) que tiene una estructura configurada para favorecer el giro de la porción de la punta (16) con respecto a la porción intermedia (15) cuando el aspa (7; 36) se carga transversalmente al eje del aspa (B); contando el aspa (7; 36) con al menos un reflector de luz (27) en la porción intermedia (15) y al menos un reflector de luz (28) en la porción de la punta (16).
- 25 4. La turbina eólica como la reivindicada en la Reivindicación 3, en la que el aspa (36) cuenta con al menos una superficie de accionamiento, por ejemplo al menos una aleta (37, 38) conectada de manera pivotante al aspa (36) y que se extiende a lo largo del borde de salida de la porción de la punta (16).
- 30 5. La turbina eólica como la reivindicada en la Reivindicación 4, en la que la aleta (37, 38) se acciona positivamente y está asociada a un reflector de luz adicional (43, 44) del dispositivo de medición de reflexión de las imágenes (24) a fin de permitir el control de la posición de la aleta (37, 38).
- 35 6. La turbina eólica como la reivindicada en cualquiera de las Reivindicaciones anteriores, en la que el sistema de control (22) comprende una pluralidad de unidades de procesamiento de imágenes (25), que emiten un conjunto de señales de posición correlacionadas con las posiciones de los reflectores de luz (27, 28; 27, 28, 43, 44) en las aspas (7; 36); y una unidad de procesamiento de señal (23) configurada para ejecutar una pluralidad de programas (30; 31, 32, 33, 34, 35, 45) para procesar el conjunto completo de señales de posición o subconjuntos del conjunto de señales de posición y la emisión de dichas señales de control.
- 40 7. Un método para el control de una turbina eólica, en el que la turbina eólica comprende un rotor (4) que puede girar alrededor de un eje del rotor (A) y que tiene una pluralidad de aspas (7; 36) acopladas de forma giratoria a un cubo (6) alrededor de un eje de aspa (B) y una pluralidad de accionadores de paso (8) para ajustar los ángulos de paso de las aspas (7); un freno (9) controlado por un accionador de freno (10) para detener el rotor (4); una máquina eléctrica rotatoria (5) conectada al rotor (4); un inversor (11) para controlar la máquina eléctrica rotatoria (5); y un sistema de control (22), que comprende una pluralidad de dispositivos de medición de reflexión de las imágenes (24) configurado para detectar las deformaciones de cada aspa (7); comprendiendo el método las etapas de recuperación de la deformación de la pluralidad de las aspas (7; 27); emitir señales de control correlacionadas con las imágenes recuperadas en función de las deformaciones recuperadas por medio de la pluralidad de dispositivos de medición de la reflexión de las imágenes (24); controlar selectivamente los accionadores de paso (8), el accionador de freno (10), y el inversor (11) por medio de las señales de control; emitir un conjunto de señales de posición correlacionadas con la posición de al menos dos reflectores de luz (27, 28; 27, 28, 43, 44) localizados dentro de cada aspa (7; 36) de la pluralidad de aspas (7; 36) por medio de una pluralidad de unidades de procesamiento de imágenes (25); y el procesamiento del conjunto de señales de posición o subconjunto del conjunto de señales de posición por medio de una pluralidad de programas (30; 31, 32, 33, 34, 35, 45) para el cálculo y la emisión de dichas señales de control.
- 45 8. El método como el reivindicado en la Reivindicación 7 que comprende además la etapa de comparar las señales de posición correlacionadas con la deformación de cada aspa (7) a los valores de umbral; y emitir una señal de control para controlar el accionador de paso (8) del aspa (7) o para detener la turbina eólica (1) cuando una de las
- 50 55 señales de posición excede el valor umbral relacionado.

- 5 9. El método como el reivindicado en la Reivindicación 7 u 8, que comprende además las etapas de procesar el subconjunto de señales de posición de cada aspa (7) a través del tiempo con el fin de recuperar las oscilaciones del aspa (7) y determinar las frecuencias y amplitudes de cada oscilación; comparar las frecuencias de oscilación con valores de referencia a fin de evitar frecuencias de oscilación críticas; emitir una señal de control para controlar el accionador de paso (8) con el fin de modificar la frecuencia de oscilación del aspa (7) cuando las frecuencias de oscilación caen dentro de un intervalo crítico.
- 10 10. El método como el reivindicado en una cualquiera de las Reivindicaciones 7 a 9, que comprende además las etapas de procesamiento de todo el conjunto de señales de posición de todas las aspas (7); el cálculo de la deformación total del rotor (4) con base en las desviaciones de los valores de la posición neutra de todas las aspas (7); la comparación de la deformación total del rotor (4) y un valor de umbral de referencia; y la emisión de una señal de control para el accionamiento de los accionadores de paso (8) de todas las aspas (7) cuando la deformación total del rotor (4) supera este valor de umbral de referencia.
- 15 11. El método como el reivindicado en una cualquiera de las Reivindicaciones 7 a 10, que comprende además las etapas de procesar el subconjunto de señales de posición de al menos un aspa (7) para el cálculo de las frecuencias de oscilación del aspa (7); la adquisición de la producción de energía por la máquina eléctrica rotatoria (5); la comparación de las frecuencias de oscilación calculadas en dicha producción de energía con las frecuencias naturales de oscilación en la misma producción de energía en ausencia de hielo; y emitir una señal de control para detener la turbina eólica (1) y / o iniciar un programa de descongelación cuando las diferencias entre las frecuencias calculadas y las frecuencias naturales exceden los valores de umbral dados.
- 20 12. El método como el reivindicado en una cualquiera de las Reivindicaciones 7 a 11, que comprende además las etapas de procesamiento de un subconjunto de señales de posición con el fin de calcular las oscilaciones (amplitudes y frecuencias) de al menos un aspa (7); y que emite una señal de control para el ajuste del inversor (11) y / o el paso de una o más aspas (7) cuando las diferencias de las oscilaciones (amplitudes y frecuencias) a través del tiempo exceden un rango dado y el rotor (4) gira a velocidad de rotación constante.
- 25 13. El método como el reivindicado en una cualquiera de las Reivindicaciones 7 a 12, en el que cada aspa (7; 36) comprende una porción de encastre (14), una porción intermedia (15), y una porción de la punta (16) que tiene una estructura configurada para favorecer el giro de la porción de la punta (16) con respecto a la porción intermedia (15) cuando el aspa (7; 36) se carga transversalmente al eje del aspa (B); contando el aspa (7; 36) con al menos un reflector de luz (27) en la porción intermedia (15) y al menos un reflector de luz (28) en la porción de la punta (16); el método comprende además las etapas de comparar las señales de posición asociadas a dichos reflectores de luz (27, 28) para el cálculo del giro de la porción de la punta (16) con respecto a la porción intermedia (15) de un aspa (7); y emitir una señal de control para controlar el accionador de paso (8) de dicha aspa (7) y el ajuste del ángulo de paso de dicha aspa (7) cuando el giro está fuera de un rango dado.
- 30 30 14. El método como el reivindicado en una cualquiera de las Reivindicaciones 7 a 12, en el que cada aspa (36) cuenta con al menos una superficie aerodinámica accionada, por ejemplo, al menos una aleta (37, 38) conectada de manera pivotante al aspa (36) y que se extiende a lo largo del borde de salida de la porción de la punta (16) la superficie aerodinámica de accionamiento está conectada a al menos un reflector de luz adicional (43, 44); el método comprendiendo la etapa de adquisición de la posición de dicha superficie aerodinámica accionada.
- 35 40 15. El método como el reivindicado en una cualquiera de las Reivindicaciones 7 a 9, que comprende la etapa de comparar las deformaciones de cada aspa (7; 36) con las deformaciones de las otras aspas (7, 36) del rotor (4).

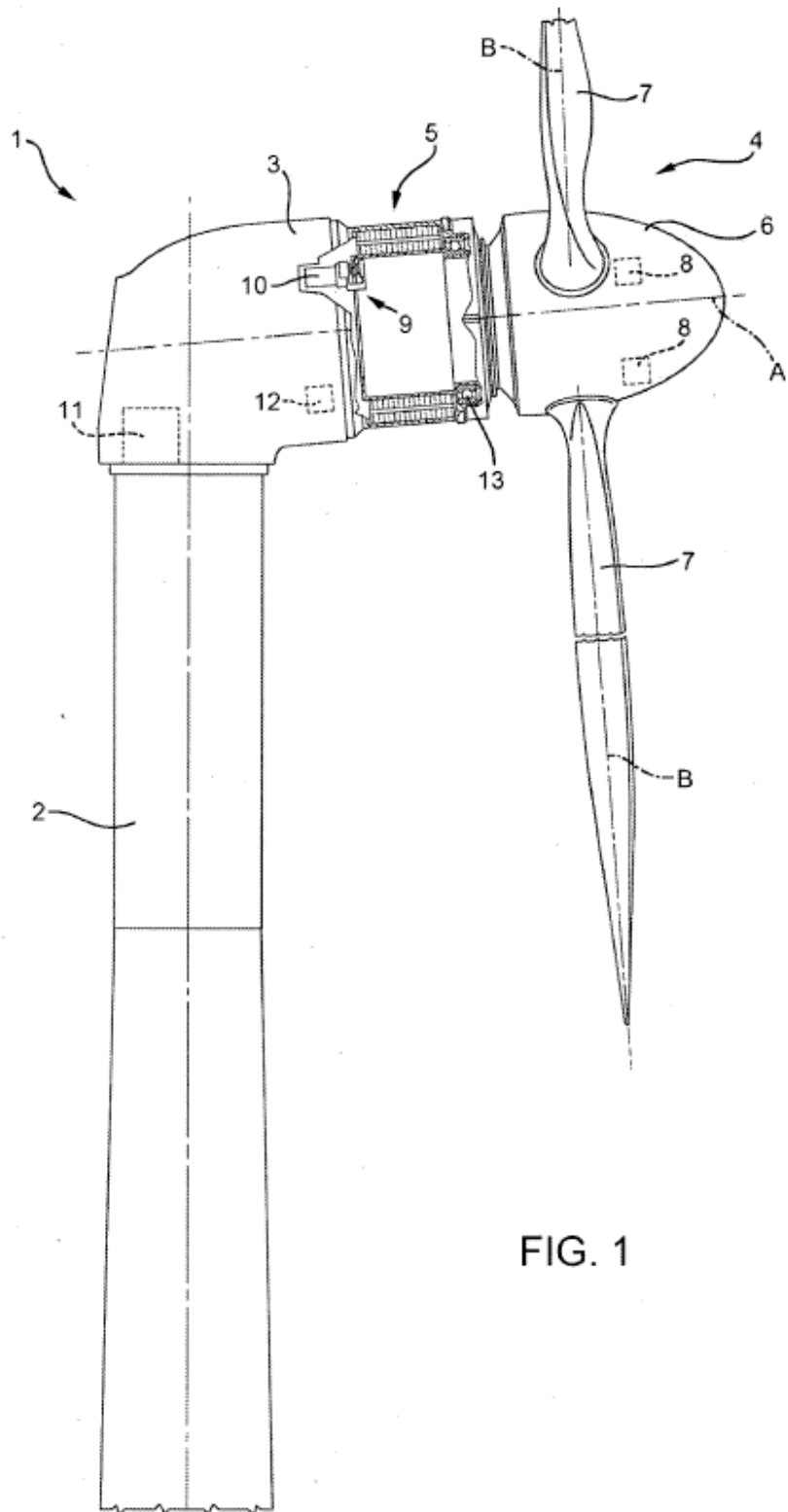


FIG. 1

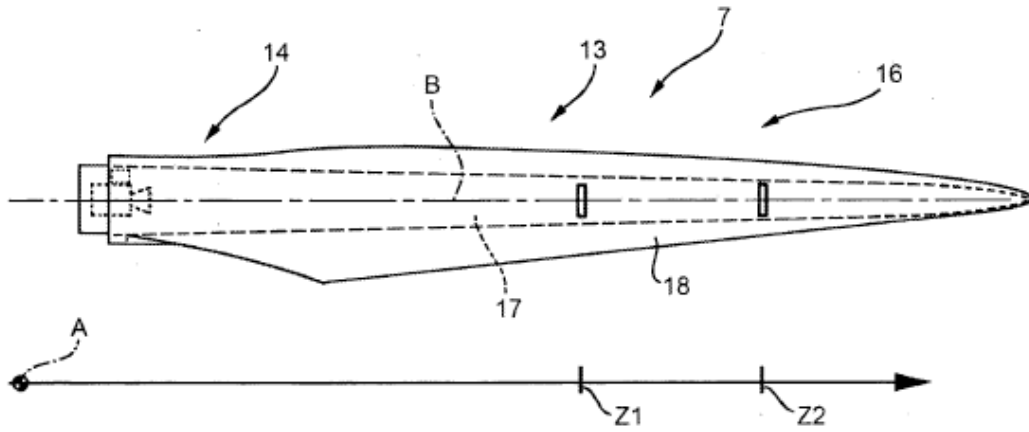


FIG. 2

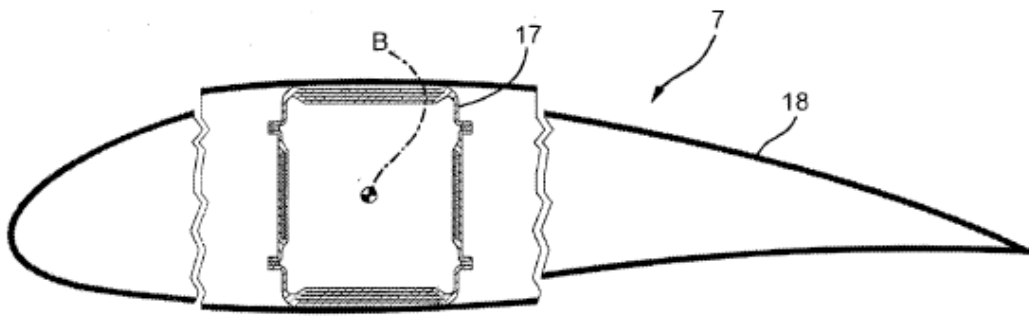


FIG. 3

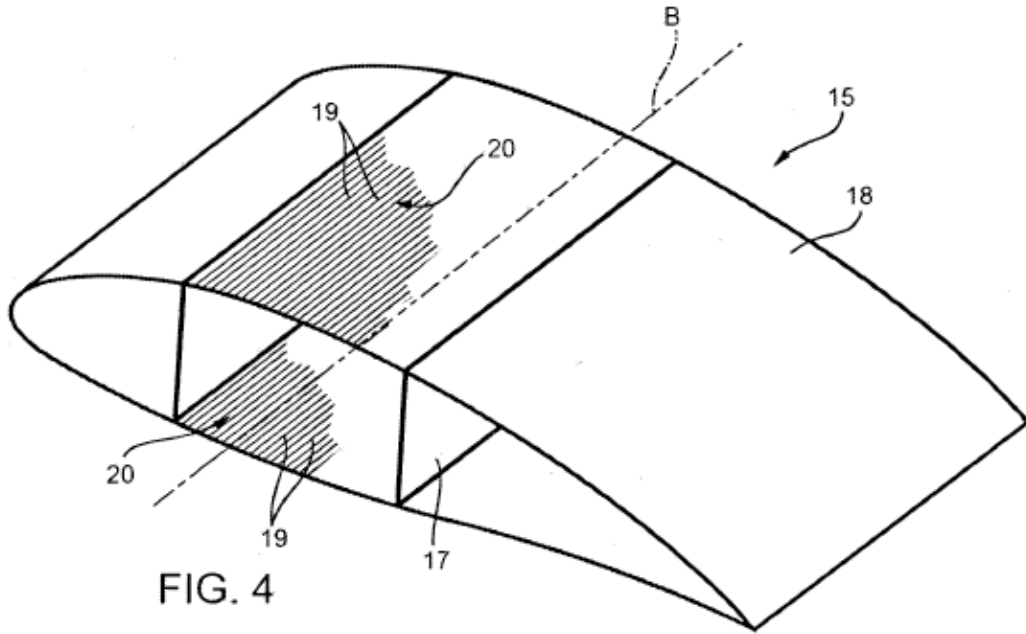


FIG. 4

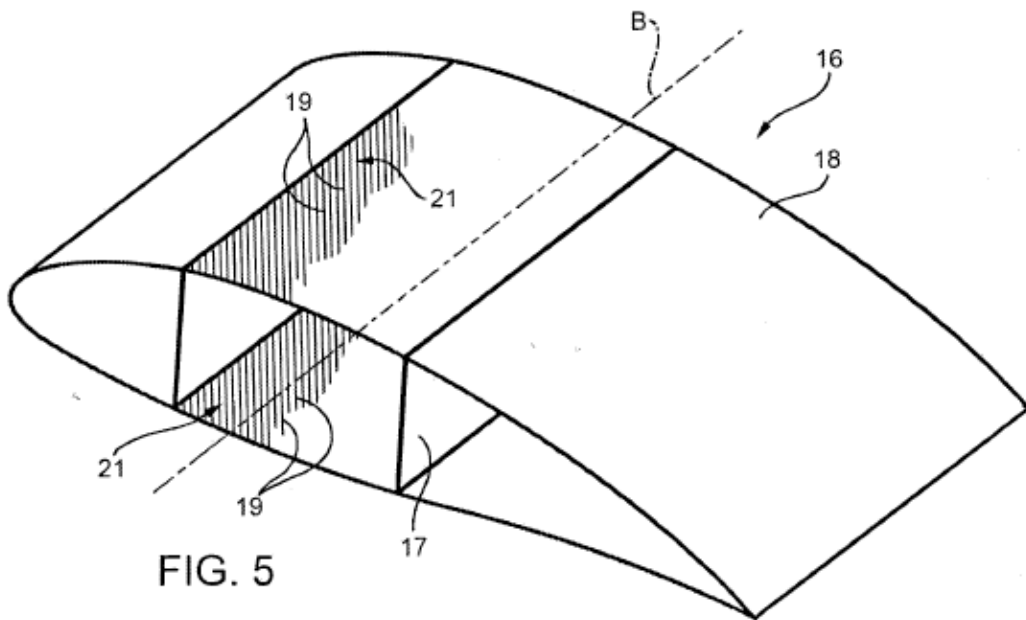
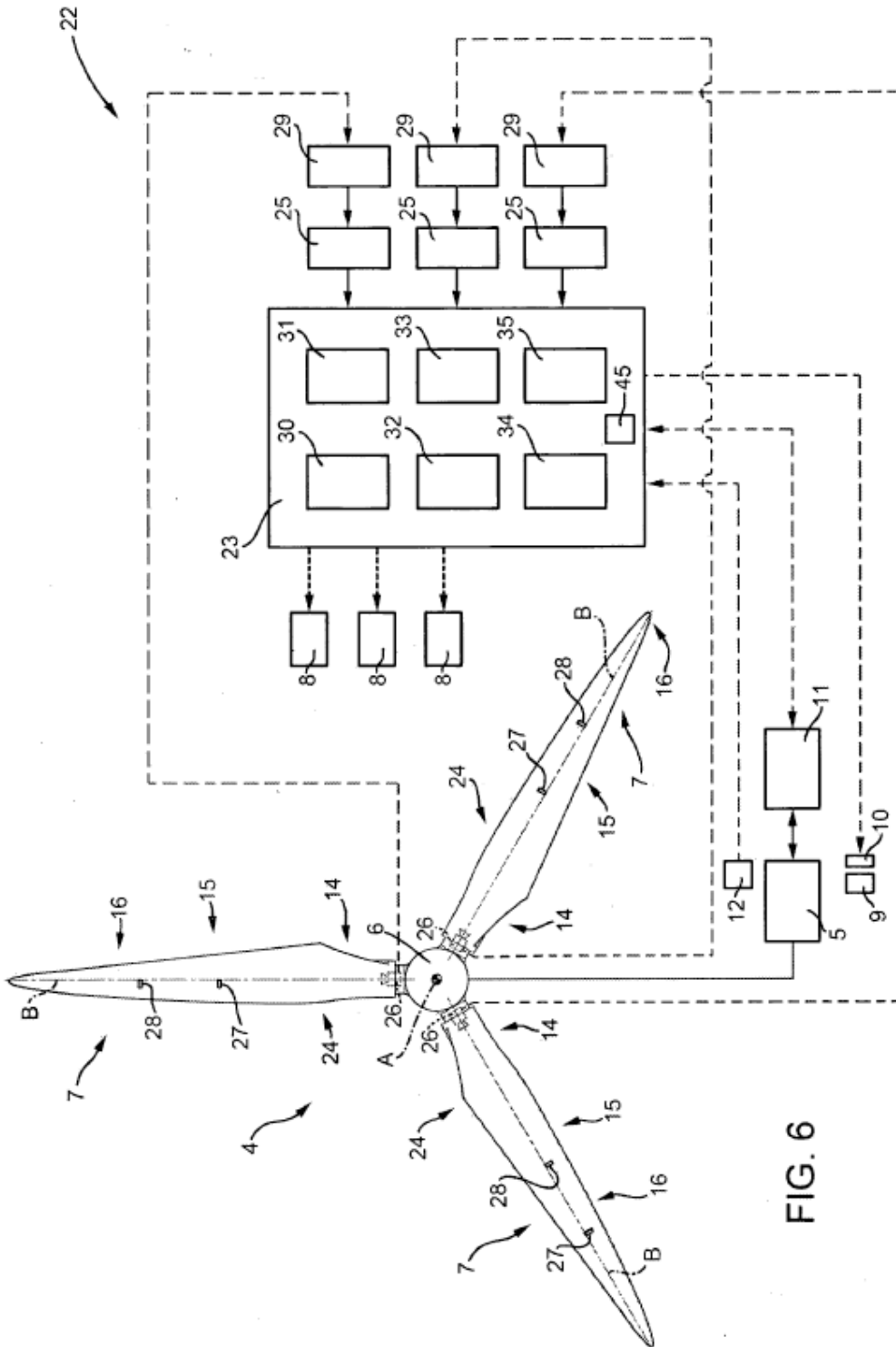


FIG. 5



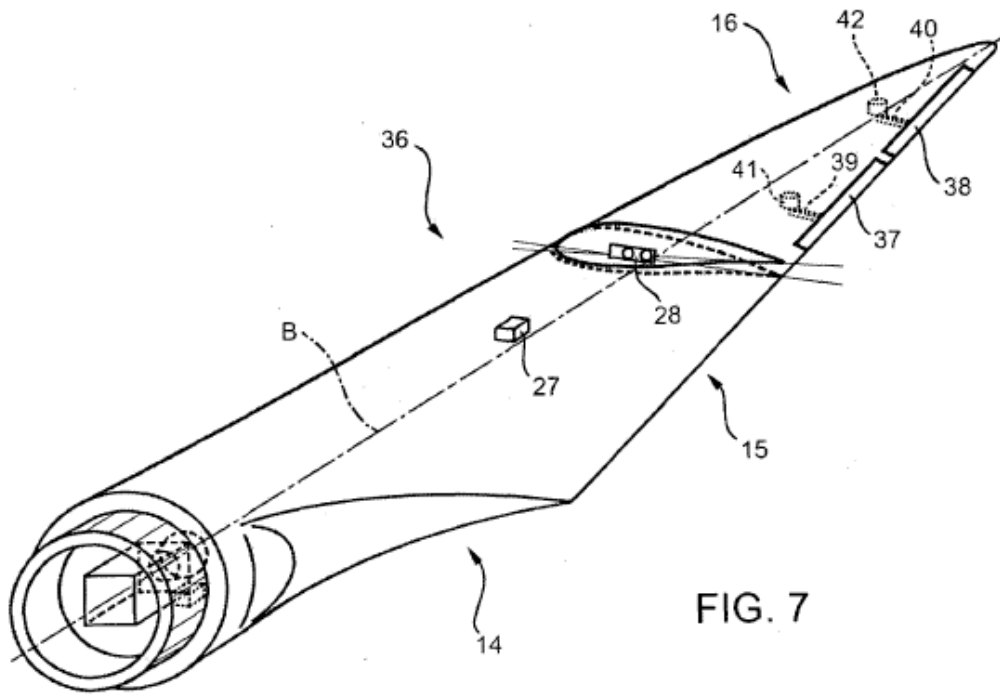


FIG. 7

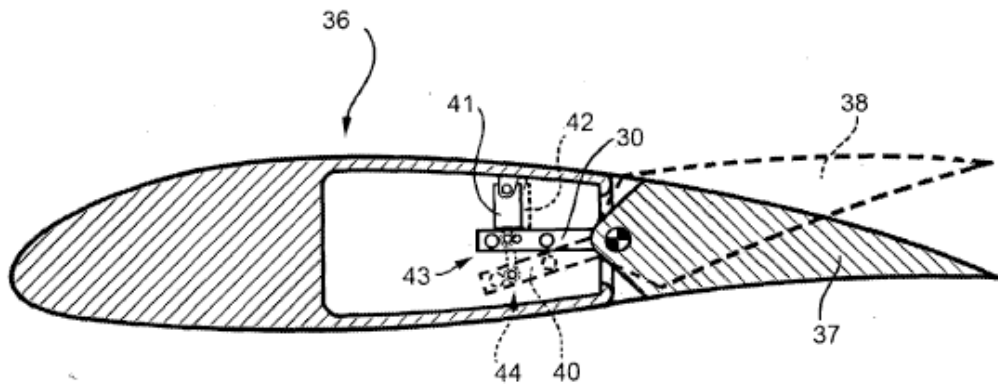


FIG. 8