

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 678 397**

51 Int. Cl.:

F03D 13/00 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 1/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.06.2015 PCT/EP2015/062564**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.12.2015 WO15185720**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.06.2015 E 15726623 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.05.2018 EP 3152438**

54 Título: **Instalación de energía eólica con sensores de presión ópticos, así como procedimiento para el funcionamiento de una instalación de energía eólica**

30 Prioridad:
06.06.2014 DE 102014210949

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.08.2018

73 Titular/es:
**WOBEN PROPERTIES GMBH (100.0%)
Borsigstrasse 26
26607 Aurich, DE**

72 Inventor/es:
**ALTMIKUS, ANDREE;
KUHN, MARVIN;
NAPIERALA, CHRISTIAN y
STOLTENJOHANNES, JÜRGEN**

74 Agente/Representante:
ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María

ES 2 678 397 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

Instalación de energía eólica con sensores de presión ópticos, así como procedimiento para el funcionamiento de una instalación de energía eólica

5

La invención se refiere a una instalación de energía eólica con sensores de presión, así como un procedimiento para el funcionamiento de una instalación de energía eólica de este tipo.

Según el estado de la técnica las instalaciones de energía eólica están expuestas a vientos con diferentes propiedades, que inciden en particular sobre las palas de rotor de la instalación de energía eólica desde diferentes direcciones y con diferentes intensidades. En el caso de estas condiciones de viento diferentes, las instalaciones de energía eólica convierten la energía cinética que se extrae del viento en energía eléctrica y la alimentan en una red de suministro. Durante la transformación de la energía del viento en energía eléctrica, la instalación de energía eólica se hace funcionar en distintos puntos de funcionamiento en función de las condiciones del viento y una potencia eléctrica a alimentar predeterminada, determinándose cada punto de funcionamiento en particular mediante un ángulo de ajuste de pala y un par generador para ajustar.

El punto de funcionamiento se ajusta en este caso de la forma más ideal posible con el fin de posibilitar un funcionamiento eficiente teniendo en cuenta una larga vida útil y también cada vez con más frecuencia respetando un bajo nivel de ruidos de funcionamiento. De forma eficiente significa en particular generar una energía lo más elevada posible a partir del viento disponible. Los ruidos de funcionamiento, que se originan particularmente por las turbulencias en las palas de rotor, se deben minimizar en este caso en particular luego cuando la instalación de energía eólica está colocada en el área de zonas residenciales, de modo que los vecinos no sean molestados por los ruidos de las palas de rotor de la instalación de energía eólica.

25

Habitualmente las palas de rotor se desarrollan y simulan –para satisfacer las condiciones previas mencionadas para el funcionamiento–, p. ej. de forma asistida por ordenador, verificándose también el comportamiento real de las palas de rotor desarrolladas con ello con modelos a través de ensayos prácticos en el canal de viento. Durante el desarrollo las palas de rotor se desarrollan p. ej. de forma adaptada a las condiciones de viento habitualmente predominantes en el lugar de colocación.

30

Los dispositivos de control y/o dispositivos de regulación de una instalación de energía eólica, que ajustan y/o regulan el punto de funcionamiento ideal de la instalación, se adaptan por tanto a las propiedades de la pala de rotor correspondiente. Para ello en el dispositivo de control y/o los dispositivos de regulación se deposita un tipo de modelo de pala de rotor, que se compone en el caso más sencillo de una o varias tablas de conversión. Con el modelo de pala de rotor y luego teniendo cuenta adicionalmente de condiciones de viento medidas se ajusta y/o regula entonces un punto de funcionamiento, de modo que se obtiene una situación de afluencia estimada de la pala de rotor. Bajo situación de afluencia se debe entender aquí en particular el desarrollo de flujo en la pala de rotor.

35

Por tanto, los dispositivos de control y/o dispositivos de regulación de una instalación de energía eólica tienen en cuenta el comportamiento predeterminado de las palas de rotor instaladas cada vez en la instalación de energía eólica para el ajuste de los puntos de funcionamiento de la instalación de energía eólica. No obstante, en este tipo de regulación y/o control se produce el problema técnico de que el comportamiento de las palas de rotor se modifica en el curso de la vida útil y por ello el punto de funcionamiento ya no se puede ajustar idealmente solo teniendo en cuenta el modelo de pala de rotor predeterminado.

45

Además, un proceso de envejecimiento de este tipo de las palas de rotor tampoco se puede tener en cuenta en el modelo de pala de rotor, dado que este depende de una pluralidad de factores, también al azar. Así p. ej. la erosión, a saber, en particular un desprendimiento de capas de laca en la pala de rotor, que aparece en los bordes de ataque de la pala de rotor, en particular en la zona exterior de la pala de rotor, tiene una fuerte influencia sobre el comportamiento de flujo en la superficie de la pala de rotor o la pared de la pala de rotor. No obstante, la erosión depende en particular de la cantidad y naturaleza de las partículas en el aire ambiente de la instalación de energía eólica correspondiente, de modo que no es predecible la erosión que se produce.

50

Por tanto la situación de afluencia predeterminada de las palas de rotor en los puntos de funcionamiento regulados y/o ajustados tras un tiempo de funcionamiento propio ya no se corresponde con la situación de afluencia real.

55

La Oficina Alemana de Patentes y Marcas ha investigado en la solicitud de prioridad el siguiente estado de la técnica: WO 2012 / 122 669 A1 y US 7 159 468 B2. Además, el documento EP 1 975 589 A2 muestra un procedimiento para la determinación de la fuerza del viento sobre instalaciones de energía eólica, así como un

60

dispositivo de medición de presión con un sensor de deformación óptico para ello.

El objetivo de la presente invención es por ello encontrar una instalación de energía eólica y un procedimiento para su funcionamiento, que posibiliten –en particular independientemente del comportamiento de la pala de rotor variable con la vida útil– hacer funcionar la instalación de energía eólica en un punto de funcionamiento esencialmente ideal u óptimo.

La presente invención consigue el objetivo mediante una instalación de energía eólica según la reivindicación 1, así como un procedimiento para el funcionamiento de una instalación de energía eólica según la reivindicación 13.

Para ello la invención se refiere a una instalación de energía eólica con al menos una parte giratoria, en particular un rotor, con al menos una pala de rotor. Además, la instalación de energía eólica presenta al menos un sensor de presión óptico dispuesto en la pala de rotor. Como sensor de presión óptico sirve en este caso cualquier sensor de presión óptico, que mediante una fibra óptica modifica una luz preconfigurada, es decir, luz con propiedades predeterminadas, como una longitud de onda predeterminada en función de una presión ejercida sobre el sensor.

Los sensores de presión ópticos presentan para la modificación de las propiedades de la luz p. ej. espejos o rejillas de interferencia, que se mueven mecánicamente por la influencia de la presión. Ventajosamente los sensores de este tipo presentan la propiedad de que están libres de partes y/o componentes metálicos y por consiguiente presentan una elevada compatibilidad electromagnética. La luz con propiedades modificadas porta por consiguiente informaciones sobre la presión ejercida realmente y/o fluctuaciones de presión sobre el sensor y por consiguiente sobre la pala de rotor, pudiéndose valorar estas informaciones. Las fluctuaciones de presión en la superficie de la pala de rotor, que también se denomina pared de pala de rotor, también se denominan fluctuaciones de presión de pared.

Además, la presente invención se basa en el conocimiento de que las modificaciones de presión ejercidas sobre la pala de rotor, que dan lugar en valores de presión transitorios, permiten colegir acerca de las distintas situaciones de afluencia de la pala de rotor. Para la evaluación se forman espectros y/o en particular espectros de densidades de potencia de los valores de presión de un sensor. La situación de afluencia de la pala de rotor se puede determinar por tanto a partir de estos espectros y/o espectros de densidades de potencia. Así, el rango de integración presenta diferentes densidades de potencia en función de la topología del flujo (capa límite laminar o turbulenta).

Por tanto los valores de presión o diferencias de presión que actúan sobre la pala de rotor se pueden medir con los sensores de presión ópticos, de modo que se puede medir la situación de afluencia real de la o de las palas de rotor y no se debe deducir de un modelo. Por consiguiente se puede tener en cuenta la situación de afluencia real en la regulación, de modo que en particular también se pueden tener en cuenta procesos de envejecimiento de las palas de rotor. Además, es posible un uso permanente de los sensores de presión ópticos al contrario de los sensores convencionales en las palas de rotor, dado que estos son insensibles frente a la carga electrostática y/o descargas de rayos.

Según una primera forma de realización ventajosa, al menos una pala de rotor de la instalación de energía eólica presenta al menos dos sensores de presión ópticos en el lado de presión y/o aspiración de la pala de rotor. Según otra forma de realización ventajosa, al menos una pala de rotor presenta cuatro sensores de presión ópticos distribuidos en el lado de presión y aspiración.

Mediante la disposición de varios sensores de presión distribuidos se pueden medir los desarrollos de presión en diferentes zonas de la superficie de la pala de rotor y por consiguiente medirse diferentes situaciones de flujo local, p. ej. de forma laminar y turbulenta o ángulo de ataque local efectivo y velocidad de afluencia, y por consiguiente también se pueden limitar localmente las zonas de transición de la situación de flujo. Se puede usar la información para la distribución de la velocidad de afluencia y del ángulo de ataque sobre la periferia del rotor para evaluar el campo de viento con respecto al cizallamiento del viento (es decir, la modificación de la velocidad del viento con la altura) así como la modificación de la dirección del viento con la altura. Estas informaciones se pueden usar para hacer funcionar la instalación de forma óptima, p. ej. con vistas a la potencia, ruido o carga.

Según otra forma de realización ventajosa, el o al menos uno de los sensores de presión ópticos está dispuesto en la zona del borde de fuga p. ej. en el 98 % de la profundidad de perfil de la pala de rotor. Según una forma de realización especialmente ventajosa, la disposición se realiza sobre el 30 al 40 % situado radialmente exteriormente de la pala de rotor.

Con un sensor de presión óptico en la zona del borde de fuga de la pala de rotor se pueden determinar valores de

- presión transitorios que actúan sobre la pala de rotor, en particular en el borde de fuga. Los sensores de presión en esta zona sirven por ello ventajosamente en particular para determinar las turbulencias en el borde de fuga de pala. Estas fluctuaciones de presión permiten sacar una conclusión sobre la potencia sonora emitida por las palas de rotor. Para ello se forman, por ejemplo, de nuevo espectros o espectros de densidades de potencia de los valores de presión de los sensores de presión, representando la potencia en rangos de frecuencia determinados –dependientes de la geometría de pala– una medida de la potencia sonora emitida. En particular se origina una potencia sonora emitida aumentada, cuando el ángulo de ajuste de pala y/o el par generador no están adaptados óptimamente a las condiciones de viento y de este modo se originan turbulencias y/o efectos de desprendimiento de flujo indeseados sobre la pared de la pala de rotor. Por tanto las fluctuaciones de presión identificadas con los sensores de presión ópticos en el borde de fuga se deben tener en cuenta ventajosamente en el ajuste del punto de funcionamiento para la reducción del ruido, en tanto que p. ej. en función de las amplitudes o de la potencia de los espectros o de los espectros de densidades de potencia se adaptan los valores de consigna de regulación o magnitudes de ajuste. Las emisiones de ruido de la instalación de energía eólica se pueden minimizar por ello ventajosamente.
- 5 10 15 20 25 30 35 40
- Según otra forma de realización ventajosa de la invención, al menos una pala de rotor presenta varios sensores de presión ópticos dispuestos decalados en la dirección de flujo. A este respecto, el ángulo de decalado se selecciona en particular de manera que los sensores de presión posicionados aguas abajo no se ven influidos por las cuñas de transición que aparecen de los sensores de presión posicionados aguas arriba.
- Por tanto, los sensores de presión están dispuestos de manera que las cuñas de transición, es decir, un cambio brusco configurado en forma de cuña de un flujo laminar a uno turbulento, que pueden aparecer debido a un sensor de flujo en la dirección de flujo o aguas abajo detrás del sensor de presión, no influyen en los valores de medición de los sensores de presión que continúan aguas abajo o no falsean sus valores de medición. Según otra forma de realización especial, el ángulo de decalado depende del perfil de la pala de rotor. En este caso el ángulo de decalado dependiente del perfil se sitúa –referido a una línea de intersección de perfil que está orientada perpendicularmente al eje de regulación del ángulo de pala de la pala de rotor– según otra forma de realización especial en el rango de 5 a 20°, preferentemente en 15°, que discurre comenzando en el borde de nariz del perfil de pala (punto de estancamiento) respectivamente en el lado de presión y aspiración a lo largo del borde de fuga.
- Mediante los sensores de presión dispuestos de esta manera en la zona de una sección de pala se pueden determinar los valores de presión, en particular valores de presión transitorios y/o fluctuaciones de presión a lo largo de la sección de pala y pudiéndose identificar de este modo campos de integración de presión transitorios. Con base en estos campos de integración de presión se pueden determinar los puntos de funcionamiento locales de los perfiles de sección aerodinámicos con vistas a la fuerza ascensional, resistencia y momento de vuelco, así como situación de afluencia global de la pala de rotor y por consiguiente el comportamiento local de la o de las zonas correspondientes de la sección de pala. Los sensores de presión sirven por consiguiente también como anemómetros para la determinación de la situación de afluencia global del rotor y en este caso en particular para la determinación de la velocidad el viento. Además, se pueden determinar las capas de transición para poder colegir mediante la determinación de las capas de transición acerca de la formación de hielo, ensuciamiento, erosión o efectos de paso de torre durante el funcionamiento de la instalación de energía eólica.
- Según otra forma de realización de la invención, la pala de rotor presenta una o varias depresiones, teniendo la o cada una de las depresiones una profundidad en particular de cómo máximo 2 mm. Además, la o cada una de las depresiones presenta al menos uno de los sensores de presión ópticos. La disposición de los sensores de presión ópticos en depresiones es ventajosa dado que de este modo se conserva esencialmente la aerodinámica de la pala de rotor.
- Además, según un ejemplo de realización especial, las depresiones son canales incorporados en la pala de rotor, en particular por fresado. Los canales tienen, por un lado, la ventaja de que se pueden generar de forma sencilla, a saber, p. ej. mediante fresado. Por otro lado, los canales tiene la ventaja de que el aire que fluye por delante de la pala de rotor puede llegar esencialmente en la dirección de flujo a las depresiones y por consiguiente a la zona del sensor de presión óptico.
- Según otra forma de realización, la depresión o las depresiones están fabricadas o formadas por una capa de sacrificio retirada en la zona de la depresión correspondiente. Por tanto durante la fabricación de la pala de rotor se aplica una capa adicional –irrelevante para la estabilidad de la pala de rotor– sobre la pala de rotor, en particular en la zona en la que se deben disponer los sensores de presión ópticos. Aun cuando aquí solo se habla de una capa, aquí también están incluidas varias capas de material. Esta capa aplicada adicionalmente se retira durante la fabricación p. ej. mediante fresado en zonas determinadas, de modo que se originan depresiones, en particular canales, en los que se insertan luego uno o varios sensores de presión ópticos.
- 55 60

Debido a las depresiones mediante capas de sacrificio retiradas, la estabilidad de pala se conserva pese a las depresiones en comparación a las palas de rotor sin sensores de presión ópticos.

- 5 Según otra forma de realización, los sensores de presión ópticos están fijados en las depresiones mediante pegado. Mediante el pegado de los sensores de presión ópticos se evitan agujeros roscados u otras modificaciones mecánicas de la pala de rotor, de modo que se conserva esencialmente la estabilidad de pala en comparación con una pala de rotor sin sensores de presión ópticos.
- 10 Según otra forma de realización, la pala de rotor presenta una o varias aberturas para la conexión del entorno exterior y del espacio interior de la pala de rotor. Además, la pala de rotor presenta varios sensores de presión ópticos con respectivamente al menos una fibra óptica. A través de al menos una de las aberturas se guían varias de las fibras ópticas al espacio interior de la pala de rotor. Por tanto así una abertura sirve para las fibras ópticas de varios sensores de presión ópticos, de modo que la pala de rotor presenta menos de una abertura por fibra óptica.
- 15 De este modo se conserva la estabilidad de pala de la pala de rotor con sensores de presión ópticos en comparación con una pala de rotor sin sensores de presión ópticos.

Según otra forma de realización, la parte giratoria de la instalación de energía eólica presenta junto a la pala de rotor un carenado y un buje de rotor. Además, las fibras ópticas discurren para la transmisión de información de las señales de los sensores de presión ópticos en el espacio interior de la pala de rotor hasta una zona en el carenado y/o el buje de rotor. Por consiguiente en la zona de la pala de rotor solo discurren conductores ópticos para la transmisión de las señales, valores y/o información de los sensores de presión ópticos. Estos conductores ópticos son invulnerables frente a la radiación electromagnética y por consiguiente p. ej. robustos frente a rayos u otras fuentes de perturbación electromagnética.

- 20 Según otra forma de realización, cada sensor óptico presenta dos fibras ópticas. Una primera fibra óptica sirve para el suministro de luz con propiedades predefinidas, que se genera p. ej. en la zona del carenado y/o del buje de rotor, y una segunda fibra óptica sirve para el retorno de la luz con propiedades modificadas por el sensor de presión.
- 25 Según otra forma de realización de la invención, la instalación de energía eólica presenta junto a una parte giratoria una parte estacionaria. Esta parte estacionaria de la instalación de energía eólica comprende en particular la góndola de una instalación de energía eólica, en la que se realiza p. ej. un control y regulación de la instalación de energía eólica. Según esta forma de realización, la instalación de energía eólica está concebida para transmitir señales, valores y/o informaciones identificados mediante los sensores de presión ópticos de la parte giratoria a la estacionaria. Para ello la instalación de energía eólica presenta p. ej. una transmisión inalámbrica de las señales, valores y/o informaciones o una transmisión de las informaciones a través de anillos rozantes.
- 30 Según otra forma de realización de la invención, la instalación de energía eólica presenta junto a una parte giratoria una parte estacionaria. Esta parte estacionaria de la instalación de energía eólica comprende en particular la góndola de una instalación de energía eólica, en la que se realiza p. ej. un control y regulación de la instalación de energía eólica. Según esta forma de realización, la instalación de energía eólica está concebida para transmitir señales, valores y/o informaciones identificados mediante los sensores de presión ópticos de la parte giratoria a la estacionaria. Para ello la instalación de energía eólica presenta p. ej. una transmisión inalámbrica de las señales, valores y/o informaciones o una transmisión de las informaciones a través de anillos rozantes.
- 35 Para ello la instalación de energía eólica presenta p. ej. una transmisión inalámbrica de las señales, valores y/o informaciones o una transmisión de las informaciones a través de anillos rozantes.

En una transmisión de este tipo de las informaciones de la parte giratoria a la estacionaria de la instalación de energía eólica es ventajoso que el control de las señales, valores y/o informaciones así como la regulación y control se realice en una zona central de la instalación de energía eólica y por consiguiente no se deba prever ninguna electrónica adicional en la pala de rotor.

Según una forma de realización, antes de la transmisión las señales, valores y/o informaciones de los sensores de presión ópticos se convierten en señales eléctricas en la zona del carenado y/o del buje de rotor y según otra forma de realización más especial se amplifican las señales eléctricas y/o las señales ópticas. Por consiguiente se minimiza la propensión a fallos de las señales, valores y/o información, en particular en la transmisión y/o la conversión.

Según otra forma de realización, la instalación de energía eólica presenta al menos un dispositivo de procesamiento de señales, en particular en la parte estacionaria de la instalación de energía eólica. El dispositivo de procesamiento de señales está concebido para recibir los valores o valores de presión, que aquí también se designan como informaciones o señales de los sensores de presión, y proporcionarlos y/o evaluarlos en particular para el procesamiento posterior. En particular el dispositivo de procesamiento de señales sirve para identificar a partir de los valores la situación de afluencia global –o al menos una zona parcial de esta situación de afluencia– de la o de las palas de rotor. Por ello el dispositivo de procesamiento de señales pone a disposición las señales, en particular preparadas y/o valoradas, de los sensores de presión ópticos para otros dispositivos de la instalación de energía eólica, a fin de adaptar p. ej. el comportamiento de funcionamiento de una instalación de energía eólica conforme a las señales y/o informaciones recibidas a la situación de afluencia real de las palas de rotor.

60 Según una forma de realización, la instalación de energía eólica presenta una regulación del ángulo de pala,

estando conectado el dispositivo de procesamiento de señales con la regulación del ángulo de pala, a fin de tener en cuenta las señales de los sensores de presión ópticos, evaluadas por el dispositivo de procesamiento de señales, en la regulación del ángulo de pala, en particular para la adaptación de los valores de consigna de la regulación.

5 Según otra forma de realización, la instalación de energía eólica presenta una regulación del par generador, estando conectado el dispositivo de procesamiento de señales con la regulación del par generador. La conexión sirve para tener en cuenta las señales de los sensores de presión ópticos, evaluadas por el dispositivo de procesamiento de señales, en la regulación del par generador.

10 Por tanto, son posibles una regulación del ángulo de pala y/o una regulación del par generador en función de las informaciones o señales de los sensores de presión ópticos, de modo que el punto de funcionamiento de la instalación de energía eólica se puede ajustar y/o regular de forma óptima o ideal.

Además, la invención comprende un procedimiento para el funcionamiento de una instalación de energía eólica, en particular de una instalación de energía eólica según una de las formas de realización mencionadas anteriormente.

Según un primer ejemplo de realización del procedimiento, con al menos un sensor de presión óptico dispuesto en al menos una de las palas de rotor se detectan valores de presión, en particular valores de presión transitorios. Además, se determinan los espectros de frecuencia y/o espectros de densidades de potencia de los valores de presión y a partir de los espectros, los espectros de densidades de potencia y/o espectrogramas formados por ellos respecto al tiempo, se identifican modelos de afluencia de la pala de rotor, que representan la situación de afluencia actual o el desarrollo de la situación de afluencia.

Con los modelos de afluencia identificados se puede determinar si el ángulo de ajuste de la pala de rotor está ajustado de forma óptima para el cumplimiento de las condiciones previas requeridas y se puede modificar en el caso de un ajuste no óptimo, de modo que se obtiene un punto de funcionamiento ideal u óptimo.

Con los modelos de afluencia identificados se puede determinar además si el rotor está orientado de forma óptima respecto a la dirección de viento principal. Eventualmente se pueden comparar desviaciones no ventajosas mediante el seguimiento de góndola acimutal.

Según otra forma de realización de la invención, mediante el modelo de afluencia se detecta un flujo turbulento en la zona del borde de fuga de la pala de rotor y por consiguiente, en particular con ayuda de un modelo de la pala de rotor, es decir p ej. de la geometría de la pala de rotor, se identifica la potencia sonora generada por la pala de rotor. La potencia sonora determinada se le suministra a la regulación del ángulo de pala y en la regulación del ángulo de pala se ajusta un valor de consigna del ángulo de ajuste de pala de la regulación del ángulo de pala en función de la potencia sonora, así como en particular también la velocidad del viento. Mediante la regulación del ángulo de pala teniendo en cuenta la potencia sonora emitida actual identificada, que se calcula con el modelo de afluencia, es posible una reducción de la potencia sonora que se emite por la instalación de energía eólica.

Según otra forma de realización, mediante el modelo de afluencia se adaptan los valores de consigna de la regulación del ángulo de pala y/o de la regulación del par generador de la instalación de energía eólica. De este modo se obtiene un punto de funcionamiento óptimo de la instalación de energía eólica teniendo en cuenta el comportamiento actual de la pala de rotor –en particular también en palas de rotor “envejecidas” –.

Según otra forma de realización ventajosa, mediante el modelo de afluencia se detecta el flujo turbulento en la zona del borde de fuga, en particular en el lado de aspiración, y mediante un dispositivo de procesamiento de señales se determinan las amplitudes de las fracciones de baja frecuencia en el espectro de densidades de potencia de las fluctuaciones de presión de pared, en particular en el rango de frecuencia por debajo de 1000 Hz. Las fracciones de baja frecuencia en el espectro de densidades de potencia se le suministran a una regulación del ángulo de pala y en la regulación del ángulo de pala de la instalación de energía eólica se ajusta el valor de consigna de la regulación del ángulo de pala para la pala en cuestión o para todas las palas, de modo que se minimizan las amplitudes de las fracciones de baja frecuencia en el espectro de potencia de las fluctuaciones de presión de pared.

Las amplitudes aumentadas de las fracciones de baja frecuencia en el espectro de densidades de potencia de las fluctuaciones de presión de pared son a saber un signo de un desprendimiento de flujo indeseado en la pala y resultan del ajuste erróneo del ángulo de pala, de modo que en el caso de minimización de las amplitudes mencionadas mediante la regulación del ángulo de pala se contrarresta un desprendimiento de flujo en la pala de rotor.

60

De este modo es posible una optimización adicional del funcionamiento o de los puntos de funcionamiento de la instalación de energía eólica.

Otras ventajas y ejemplos de realización de la invención se explican más en detalle a continuación en referencia a los dibujos.

La fig. 1 muestra una vista esquemática de una instalación de energía eólica según un ejemplo de realización, la fig. 2 una vista del lado de aspiración de una pala de rotor representada esquemáticamente según un ejemplo de realización,

10 la fig. 3 una vista esquemática de una sección de pala de una pala de rotor según un ejemplo de realización, la fig. 4 un primer espectro de densidades de potencia registrado con los sensores de presión ópticos y la fig. 5 un segundo espectro de densidades de potencia registrado con los sensores de presión ópticos.

La fig. 1 muestra una instalación de energía eólica 100 con una torre 102 y una góndola 104. En la góndola está
15 dispuesto un rotor 106 con tres palas de rotor 108 y un carenado 110. Además, el rotor 106 presenta un buje de rotor 112, en el que están fijadas las palas de rotor 108. Se puede regular el ángulo de pala, es decir, el ángulo de giro alrededor de un eje de regulación de la pala de rotor, que está esencialmente perpendicularmente al eje de giro del rotor.

20 El rotor 106 con las palas de rotor 108, el carenado 110 y el buje de rotor 112 también se designa como parte giratoria y la góndola 104 con la torre 102 como parte estacionaria de la instalación de energía eólica 100. El rotor 106 se hace girar durante el funcionamiento por el viento y acciona de este modo un generador (no representado) en la góndola 104.

25 La fig. 2 muestra una vista en planta del lado de aspiración de una pala de rotor 108. La pala de rotor 108 presenta un borde de nariz de pala 10, que también se denomina de forma acortada nariz de pala o borde de ataque de pala, así como un borde de fuga de pala 12. La pala de rotor 108 se orienta conforme a la dirección del viento, de manera que el viento barre del borde de nariz de pala 10 en la dirección del borde de fuga de pala 12, es decir, la dirección de afluencia 14, que se corresponde con la dirección de flecha 14, a lo largo de la superficie de la pala. Además,
30 está representado un adaptador de pala 16, con el que se fija la pala de rotor 108 en el buje de rotor 112.

Además, están representados esquemáticamente sensores de presión ópticos 18 mediante cruces, que están dispuestos de forma decalada en la dirección de afluencia 14 unos tras otros con un ángulo de decalado 19. A este respecto, el ángulo de decalado 19 está seleccionado de modo que los sensores de presión 18 posicionados aguas
35 abajo no se influyen por las cuñas de transición que aparecen eventualmente de sensores de presión 18 dispuestos aguas arriba. Aun cuando los sensores de presión 18 están representados aquí con un elevado ángulo de decalado 19 para la visión general mejorada, entonces se selecciona preferiblemente un ángulo de decalado 19, que depende del perfil, en el rango de 5 hasta 20°, partiendo de una línea de intersección de perfil 20.

40 Desde los sensores de presión 18 pasan las fibras ópticas 21, que también se denominan líneas de fibra óptica, a través del adaptador de pala 16 al buje de rotor 112 y allí están conectadas con un convertidor 22, que convierte las señales ópticas de los sensores de presión ópticos en señales eléctricas y/o se amplifican después de la transformación. El convertidor 22 está conectado con un dispositivo emisor 24, que transforma las señales eléctricas, que se obtienen a partir de las señales ópticas, en señales de radio y se transmiten a un dispositivo receptor 26.

45 El dispositivo receptor 26 se sitúa en la parte estacionaria, p. ej. en la góndola 104 de la instalación de energía eólica 100. El dispositivo receptor 26 convierte las señales recibidas por el dispositivo receptor 24 de nuevo en señales eléctricas. Además, el dispositivo receptor 26 está conectado con un dispositivo de procesamiento de señales 28, a fin de transmitirle a este las señales convertidas de los sensores de presión ópticos 18.

50 En el dispositivo de procesamiento de señales 28 se procesan las señales, informaciones o valores o valores de presión recibidos de los sensores ópticos 18 y/o a partir de ellos se identifica o genera p. ej. un modelo de afluencia de la pala de rotor 108. El modelo de afluencia o al menos los valores individuales extraídos o rangos de valores o desarrollos temporales del modelo de afluencia se le suministran luego a una regulación del ángulo de pala 30 y/o a
55 una regulación del par generador 32. En función del modelo de afluencia, en la regulación del ángulo de pala 30 se adapta el valor de consigna de la regulación del ángulo de pala para regular y/o en la regulación del par generador 32 se adapta el valor de consigna del par generador a regular teniendo en cuenta el modelo de afluencia.

La fig. 3 muestra a modo de ejemplo una sección de pala, estando dispuestos sensores de presión 18 en la pared de
60 pala 34 de forma periférica en el lado de aspiración 36 y lado de presión 38. La pared de pala 34 separa un lado

interior 35 de un lado exterior 37 de la pala de rotor 108.

Los sensores de presión ópticos 18 están empotrados en canales fresados no representados y allí están pegados, de modo que estos no sobresalen de la pared de pala. Para ello sobre la superficie de la pala de rotor 108 durante la fabricación de la pala de rotor 108 se ha aplicado una capa de sacrificio no representada, que se retira mediante fresado en la zona de los sensores de presión ópticos 18.

La fig. 4 muestra en un diagrama los espectros de densidades de potencia de cuatro sensores de presión 18. Los espectros de densidades de potencia se identifican con los sensores de presión 18, en tanto que se miden o identifican los valores de presión que aparecen en la pared de pala 34. Estos valores de presión son transitorios y se modifican por tanto visto respecto al tiempo, pudiéndose representar la modificación temporal de los valores de presión mediante un espectro del sensor de presión 18 correspondiente. El espectro se forma p. ej. en el dispositivo de procesamiento de señales para cada sensor de presión 18. Mediante la densidad de potencia espectral, que se puede determinar a partir del espectro correspondiente de un sensor, se pueden detectar las amplitudes o amplitudes variables de frecuencias y/o rangos de frecuencia determinados. En particular también se puede evaluar el rango de integración del espectro de densidades de potencia.

Se conoce que las distintas situaciones de afluencia se pueden identificar esencialmente de forma unívoca mediante evaluación de los espectros de los valores de presión. Así el rango de integración presenta en función de la topología de flujo (capa límite laminar o turbulenta) distintas densidades de potencia.

Por tanto mediante la disposición de los sensores de presión 18 se pueden comparar entre sí los espectros de densidades de potencia de los sensores, según ocurre en la fig. 4. Bajo determinadas condiciones previas, p. ej. mediante espectros de densidades de potencia que se diferencian de manera determinada de sensores de presión posicionados de forma definida se puede colegir acerca de la posición de una capa de transición. Una capa de transición describe una capa sobre la pala, en la que p. ej. el flujo laminar cambia repentinamente a un flujo turbulento. En la fig. 4 están representados a modo de ejemplo los espectros de densidades de potencia 40-46. Se puede reconocer que el espectro de densidades de potencia 40 se desvía esencialmente de los espectros de densidades de potencia 42, 44, 46, por lo que se puede colegir acerca de la posición de una capa de transición.

Por tanto la curva superior 40 representa en este caso el espectro de densidades de potencia 40 de un sensor de presión óptico 18, en cuyo rango predomina un flujo turbulento. Las tres curvas inferiores 42 a 46 se corresponden con el espectro de densidades de potencia 42 a 44, tal y como aparece en los sensores de presión 18 en cuya zona se sitúa un flujo laminar. Por consiguiente es posible una determinación de la capa de transición durante el funcionamiento de la pala de rotor 108 con los sensores de presión ópticos 18, con el fin de ajustar óptimamente el punto de funcionamiento de la instalación de energía eólica.

La fig. 5 muestra en un diagrama tres espectros de densidades de potencia de los mismos sensores de presión 18 con diferentes ángulos de ajuste de pala. En un rango de frecuencia 48 aparece una amplitud proporcionalmente elevada. Este rango 48 se desprecia aquí como un tipo de perturbación.

No obstante, las amplitudes de diferente altura de los espectros en el rango de bajas frecuencias en el caso de diferentes ángulos de pala son un signo de la potencia sonora emitida de la pala de rotor 108. Las curvas presentan por tanto diferentes valores para diferentes ángulos de ajuste de pala. Por tanto el ángulo de la pala de rotor se puede ajustar de manera que estas amplitudes permanezcan por debajo de un valor umbral predeterminado o al menos mínimas, con el fin de minimizar con ello la potencia sonora emitida de la pala de rotor 108.

Por tanto las amplitudes de frecuencias determinadas o de rangos de frecuencias determinados de un sensor de presión óptico 18, en particular en la zona del borde de fuga de pala 12, son un signo de la potencia sonora emitida que parte de la pala de rotor. Estas amplitudes aumentan con potencia sonora emitida creciente. Con los espectros o espectros de densidades de potencia identificados de los sensores ópticos 18 individuales, que se identifican en el dispositivo de procesamiento de señales 28 a partir de los valores de presión variables temporalmente de los sensores de presión ópticos 18, por tanto se puede generar el modelo de afluencia de la pala de rotor en el dispositivo de procesamiento de señales. El modelo de afluencia se corresponde por consiguiente con una representación de la distribución de presión predominante en la pared de pala de una pala de rotor 108.

El modelo de afluencia comprende así p. ej. una pluralidad de espectros de densidades de potencia, según están representados en las figuras 4 y 5. En particular para cada sensor se registra un espectro de densidades de potencia, de modo que para cada instante se puede formar el modelo de afluencia a partir de un espectro de densidades de potencia para cada sensor.

El modelo de afluencia generado se puede usar por consiguiente en la regulación global de la instalación de energía eólica 100, con el fin de ajustar óptimamente el punto de funcionamiento, en particular mediante regulación de las palas de rotor y/o del par generador, de modo que la instalación de energía eólica 100 trabaja de la forma más eficiente y silenciosa posible y a este respecto la sollicitación mecánica es lo más baja posible.

5

REIVINDICACIONES

1. Instalación de energía eólica (100) con al menos una pala de rotor (108) y al menos un sensor de presión óptico (18) dispuesto en la pala de rotor (108), en la que varios sensores de presión ópticos (18) están dispuestos decalados en la dirección de flujo (14), de manera que los sensores de presión (18) situados aguas abajo no quedan influidos por las cuñas de transición de sensores de presión (18) situados aguas arriba, en la que el ángulo de decalado se sitúa en particular en el rango de 5 hasta 20°, preferentemente en 15°, que discurre comenzando en el punto de estancamiento en el borde de nariz del perfil de pala (punto de estancamiento) respectivamente en el lado de presión y aspiración a lo largo del borde de fuga.
2. Instalación de energía eólica según la reivindicación 1, en la que al menos una pala de rotor (108) presenta al menos dos sensores de presión ópticos (18) en el lado de presión (38) y/o dos sensores de presión ópticos (18) en el lado de aspiración (36) de la pala de rotor (108) o al menos cuatro sensores de presión ópticos (18) distribuidos de forma simétrica en el lado de presión y aspiración (36, 38).
3. Instalación de energía eólica según la reivindicación 1 o 2, en la que el o al menos uno de los sensores de presión ópticos (18) está dispuesto en la zona del borde de fuga de pala (12), en particular en la zona entre el 95 y 100 %, preferentemente en el 98 % de la profundidad de perfil de la pala de rotor (108), en particular en la zona situada radialmente exteriormente de la pala de rotor, p. ej. en el 30 al 40 % situado radialmente exteriormente de la pala de rotor (108).
4. Instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones anteriores, en la que al menos una pala de rotor (108) presenta una o varias depresiones, que tienen una profundidad en particular de como máximo 2 mm, en la que en la o las depresiones está dispuesto el o respectivamente al menos uno de los sensores ópticos (18).
5. Instalación de energía eólica según la reivindicación 4, en la que la depresión o las depresiones en la pala de rotor (108) son canales incorporados, en particular por fresado.
6. Instalación de energía eólica según la reivindicación 4 o 5, en la que la depresión o las depresiones están fabricadas o formadas mediante una capa de sacrificio retirada en la zona de la depresión correspondiente.
7. Instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones 4 a 6, en la que el o los sensores de presión ópticos (18) están fijados mediante pegado en la o las depresiones.
8. Instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones anteriores, en la que al menos una pala de rotor (108) presenta una o varias aberturas para la conexión del entorno exterior (37) y del espacio interior (35) de la pala de rotor (108), la pala de rotor (108) presenta varios sensores de presión ópticos (18) con respectivamente al menos una fibra óptica (21) y a través de al menos una de las aberturas se guían varias de las fibras ópticas (21) al espacio interior (35).
9. Instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones anteriores, en la que la parte giratoria presenta junto a la pala de rotor (108) un carenado (110) y un buje de rotor (112) y las fibras ópticas (21) discurren para la transmisión de información de los sensores de presión ópticos (18), en particular en el espacio interior (35) de la pala de rotor (108), hasta una zona en el carenado (110) y/o el buje de rotor (112) y/o en la que la instalación de energía eólica (100) presenta junto a una parte giratoria una parte estacionaria y la instalación de energía eólica está concebida para transmitir informaciones obtenidas de los sensores de presión (18) de la parte giratoria a la parte estacionaria.
10. Instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones anteriores, en la que la instalación de energía eólica (100) presenta un amplificador para la amplificación de las señales de los sensores de presión (18) y/o un convertidor (22) para la conversión de las señales ópticas en señales eléctricas y/o presenta al menos un dispositivo de tratamiento de señales (28) para recibir las señales de los sensores de presión ópticos (18) y proporcionarlas y/o prepararlas en particular para un procesamiento posterior.
11. Instalación de energía eólica según la reivindicación 10, en la que la instalación de energía eólica presenta una regulación del ángulo de pala (30) y el dispositivo de procesamiento de señales (28) está conectado con la regulación del ángulo de pala (30), para tener en cuenta las señales evaluadas y/o proporcionadas de los sensores de presión ópticos en la regulación del ángulo de pala.

12. Instalación de energía eólica según la reivindicación 10 u 11, en la que la instalación de energía eólica presenta una regulación del par generador (32) y el dispositivo de procesamiento de señales (28) está conectado con la regulación del par generador (32), para tener en cuenta las señales evaluadas y/o preparadas de los sensores de presión ópticos en la regulación del par generador.
- 5
13. Procedimiento para el funcionamiento de una instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones 1 a 12, en el que los valores de presión, en particular valores de presión transitorios, se detectan con sensores de presión (18) dispuestos en al menos una de las palas de rotor (108), se determina la modificación temporal de los valores de presión y mediante el desarrollo temporal de los valores de presión se identifican los espectros de frecuencia y/o espectros de densidades de potencia para el o respectivamente cada uno de los sensores de presión y a partir de estos espectros, los espectros de densidades de potencia y/o espectrogramas formados con los espectros se identifica y/o determina un modelo de afluencia de la pala de rotor (108), en particular mediante un dispositivo de procesamiento de señales (28).
- 10
14. Procedimiento según la reivindicación 13, en el que mediante el modelo de afluencia se detectan las propiedades de flujo en la zona del borde de fuga de pala (12) y, por consiguiente, en particular con ayuda de un modelo de la pala de rotor (108), se identifica la potencia sonora generada por la pala de rotor (108) y se le suministra a la regulación del ángulo de pala (30), en el que en la regulación del ángulo de pala (30) de la instalación de energía eólica (100) se ajusta el valor de consigna de la regulación del ajuste del ángulo de pala en función de la potencia sonora identificada, en particular también teniendo en cuenta la velocidad del viento actual.
- 15
15. Procedimiento según la reivindicación 13, en el que mediante el modelo de afluencia se adaptan los valores de consigna de la regulación del ángulo de pala (30) y/o la regulación del par generador (32) de la instalación de energía eólica (100) y/o
- 20
- el flujo, en particular un flujo turbulento, se detecta mediante el modelo de afluencia, en particular en la zona del borde de fuga de pala (12) del lado de aspiración (36), y en cuanto a las fracciones y/o valores de baja frecuencia, en particular en el rango de frecuencia por debajo de 1000 Hz, en el espectro de densidades de potencia de las fluctuaciones de presión de pared se identifican mediante un dispositivo de procesamiento de señales (28), las fracciones y/o valores de baja frecuencia identificados se le suministran a la regulación del ángulo de pala (32) y el
- 25
- valor de consigna de la regulación del ángulo de pala para la pala de rotor (108) en cuestión o para todas las palas de rotor (108) se modifica y/o influye de manera que debido al ángulo de pala resultante se reducen las fracciones y/o valores identificados.
- 30

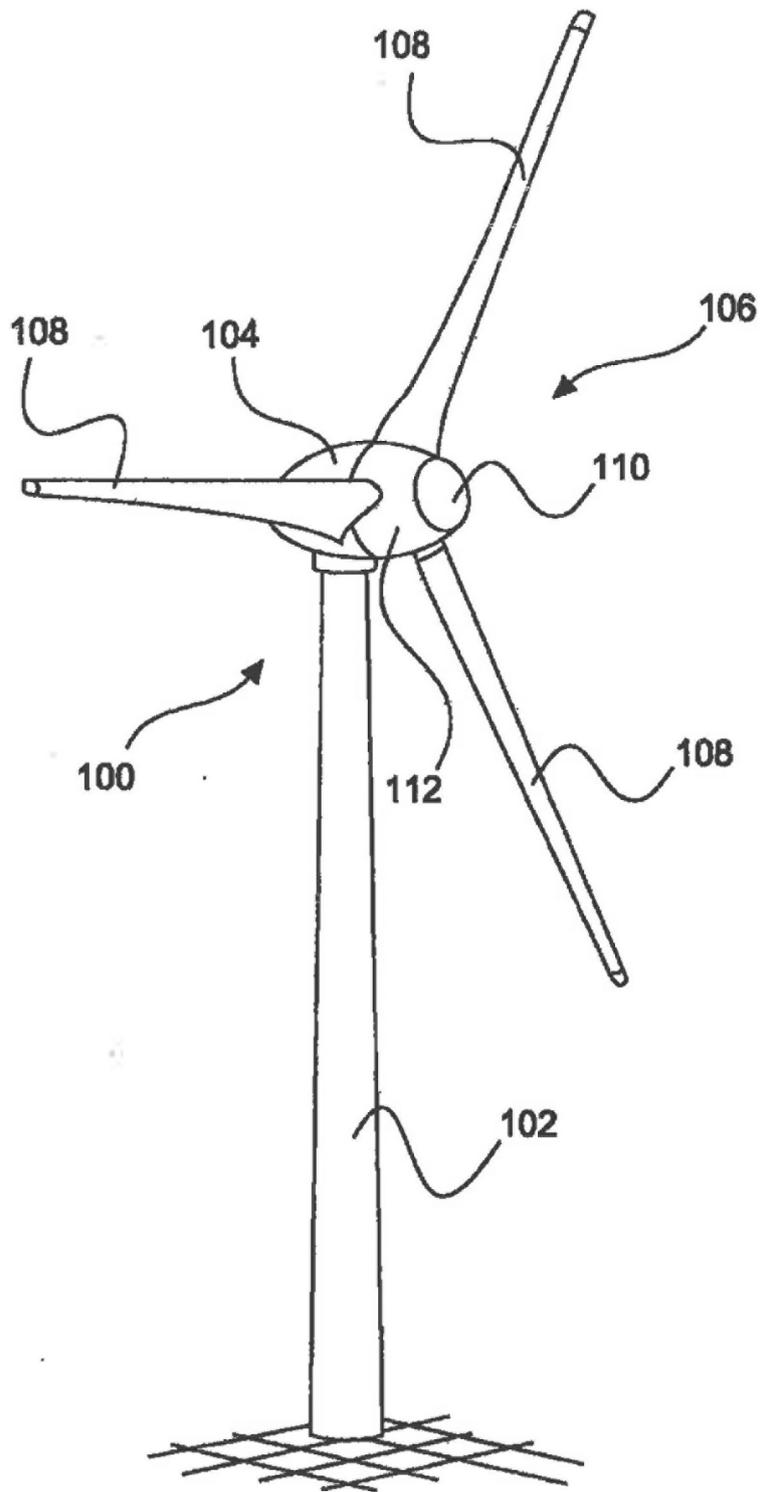


Fig. 1

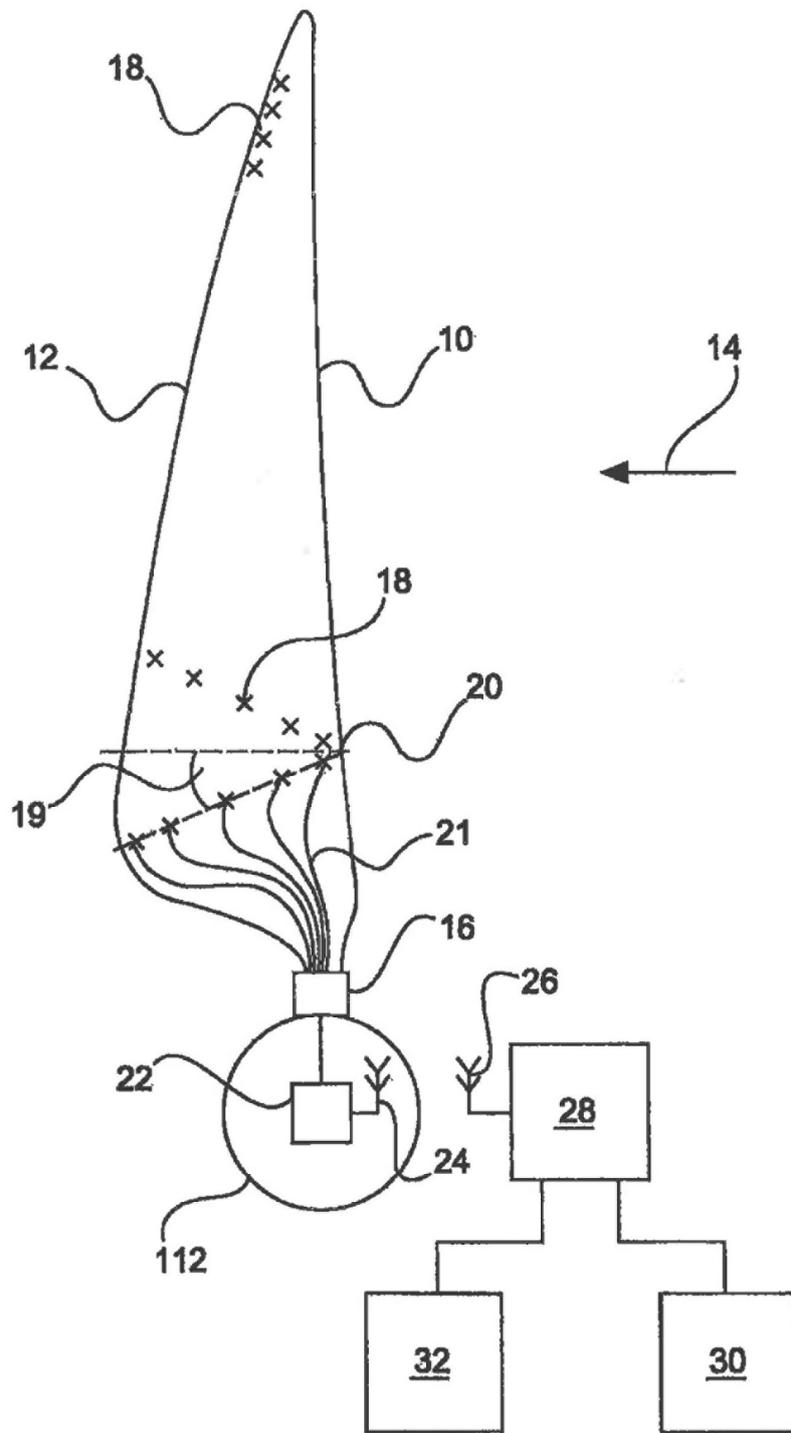


Fig. 2

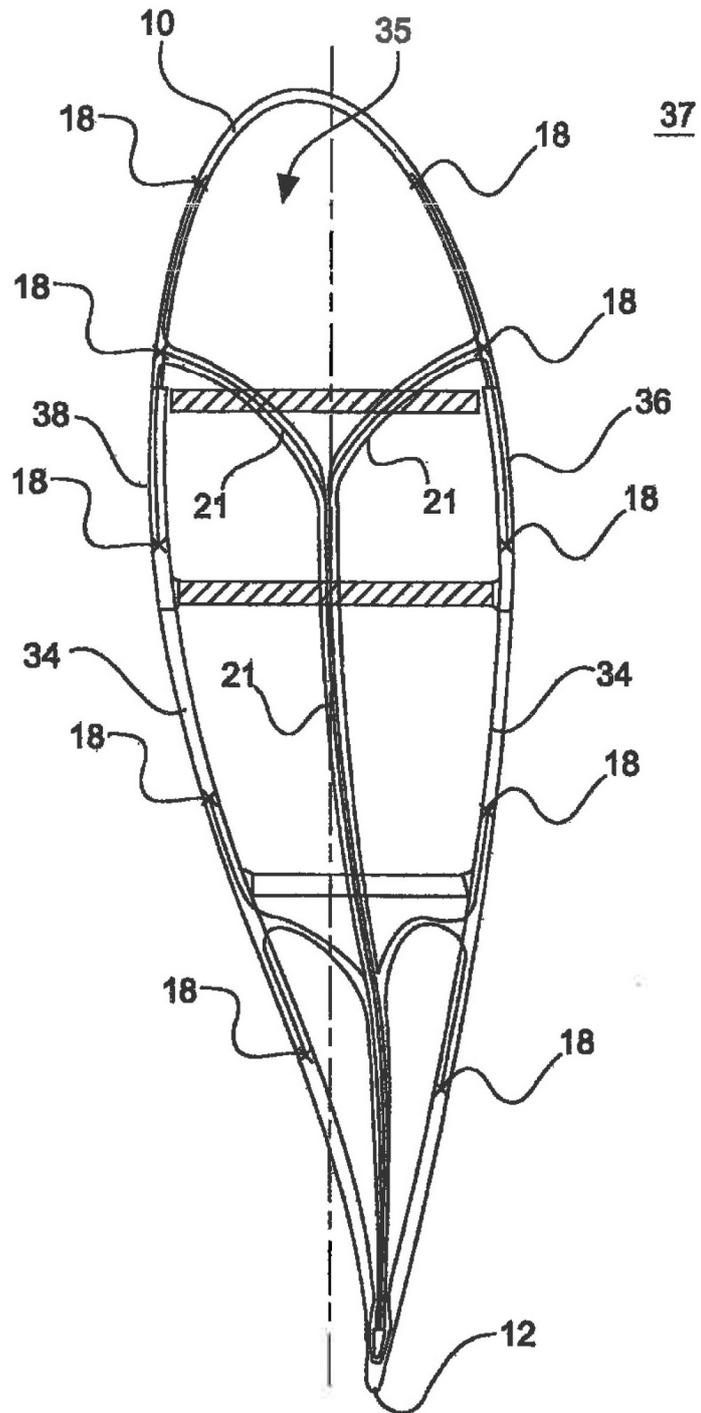


Fig. 3

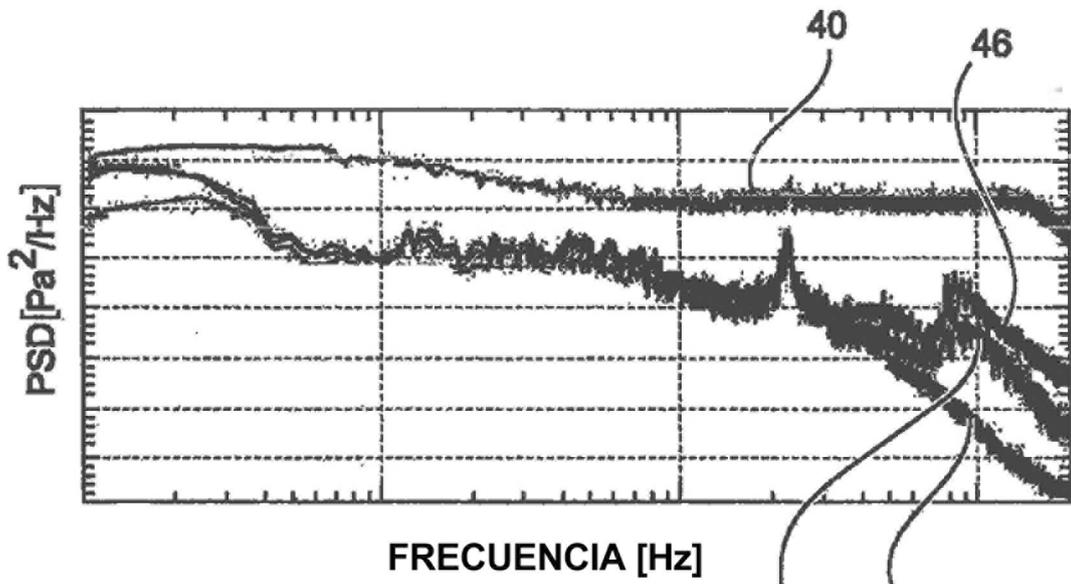


Fig. 4

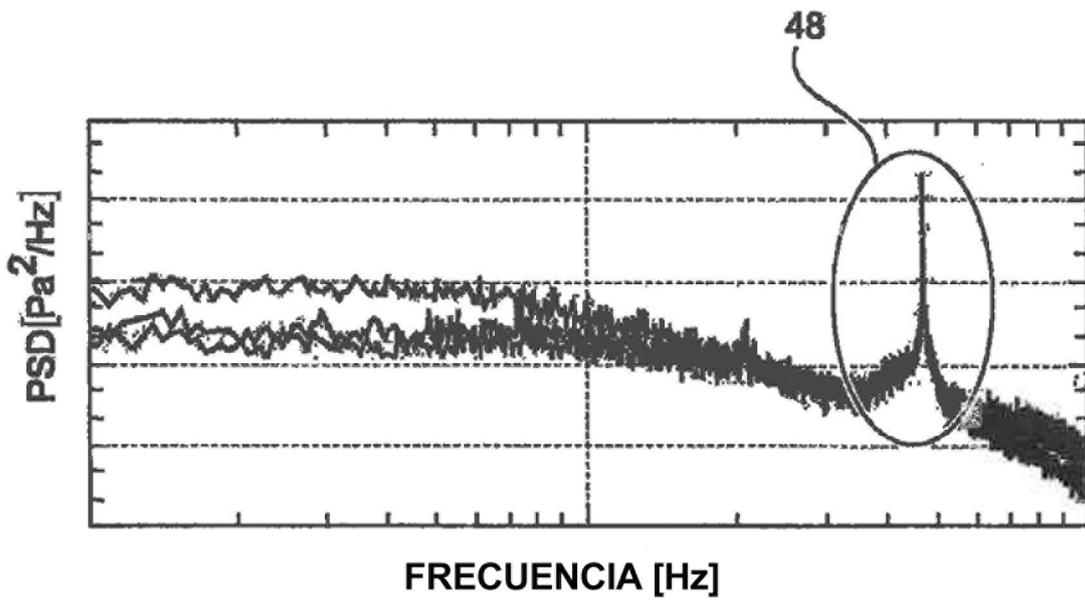


Fig. 5