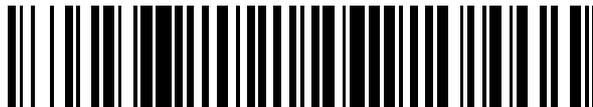


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 602 138**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.04.2012 PCT/DK2012/050134**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.11.2012 WO12146252**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.04.2012 E 12718588 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.10.2016 EP 2712401**

54 Título: **Métodos de control de ruido de turbina eólica mejorados**

30 Prioridad:

28.04.2011 DK 201170203

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

17.02.2017

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**ABDALLAH, IMAD;
GODSK, KRISTIAN;
ROMBLAD, JONAS y
LIM, CHEE KANG**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 602 138 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

Métodos de control de ruido de turbina eólica mejorados

Campo de la invención

5 Esta invención se refiere en general a turbinas eólicas, y específicamente al control de ruido emitido por turbinas eólicas.

Antecedentes de la invención

10 La figura 1 ilustra una turbina eólica 1 convencional. La turbina eólica 1 comprende una torre de turbina eólica 2 en la que está montada una góndola 3. Un rotor 4 que comprende al menos una pala 5 está montado en un buje 6. El buje 6 está conectado a la góndola 3 a través de un árbol de baja velocidad (no mostrado) que se extiende desde la parte delantera de la góndola. La turbina eólica ilustrada en la figura 1 puede ser un modelo pequeño destinado a uso doméstico o utilitarios ligeros, o puede ser un modelo grande, tal como aquellos que pueden generar varios MW de potencia y son adecuados para su uso en generación de electricidad a gran escala por ejemplo en un parque eólico. En el último caso, el diámetro del rotor puede ser tan grande como 150 metros o más.

15 La mayoría de las turbinas eólicas modernas se controlan y se regulan de manera continua durante el funcionamiento con el objetivo de garantizar rendimiento óptimo en todas las condiciones de funcionamiento, tales como perfiles o velocidades del viento diferentes o sometidas a demandas diferentes de la red eléctrica. La turbina eólica también puede regularse para tener en cuenta variaciones locales rápidas en la velocidad del viento, provocadas por ráfagas de viento. Además, como las cargas sobre cada una de la palas varían debido al paso de la torre o a la variación de la velocidad del viento real con la distancia al suelo (el perfil del viento), la capacidad para regular cada una de las palas de rotor de manera individual es ventajosa ya que permite que las cargas de viento se equilibren y reduce las cargas de inclinación y guiñada sobre el rotor.

20 Existen diferentes maneras de cambiar la forma y la posición, incluyendo control de regulación de paso y control de alabeo. El control de regulación de paso implica hacer girar la pala 5 alrededor de su eje longitudinal en la unión con el buje 6. El control de alabeo se realiza cambiando la superficie aerodinámica de parte de o la totalidad de la longitud de la pala, aumentando o disminuyendo así la sustentación y arrastre de la pala de manera correspondiente.

30 Las turbinas eólicas pueden emitir ruido, las fuentes de ruido aerodinámicas incluyendo ruido de flujo separado/de pérdida, ruido de borde de salida (roma y de otras formas), ruido de emisión de vórtices de capa límite laminar, ruido de punta, ruido de imperfecciones de superficie (tal como sensores, daños, adhesiones indeseadas), ruido de giro de pala, ruido de sustentación/carga de superficie de control, ruido de la interacción entre las palas y el vórtice en la estela (ruido de carga inestable), ruido de la interacción de la palas con turbulencias atmosféricas (ruido de flujo de entrada turbulento), y ruido de la pala que pasa la torre de turbina eólica. Las turbinas eólicas también producen ruido mecánico, por ejemplo de la caja de engranajes.

35 La producción de ruido aerodinámico depende altamente de la velocidad relativa del viento y las palas de turbina eólica. Una velocidad relativa más rápida da como resultado una mayor producción de ruido. Por este motivo, reducir simplemente la velocidad de la pala mediante la restricción o reducción de las RPM (o par del generador) de la turbina eólica es actualmente un método preferido de control de ruido. Esto es en general un método eficaz, pero da como resultado una potencia de salida reducida. De manera similar, el paso de pala puede reducirse para reducir la carga de la pala, reduciendo de nuevo la producción de ruido pero reduciendo también potencia de salida.

40 El documento US 2010/158687A1 da a conocer la modificación de la longitud de una pala de rotor para reducir ruido o para optimizar beneficios o ambos. Los controles pueden basarse en datos de diversos tipos de sensores incluyendo acelerómetros, fonómetros, galgas extensométricas y similares.

45 El documento EP 2 000 665 A2 da a conocer una turbina eólica antiruido que comprende un rotor de pala que activa un generador eléctrico y mecanismos de control para dicho rotor en el que la palas incluyen mecanismos que permiten la reducción de su sustentación sobre una longitud, medida desde la punta, inferior o igual a su radio R y dichos mecanismos de control permiten que se activen dichos mecanismos de reducción de sustentación de manera cíclica durante el paso de cada pala a través de un sector circular S inferior o igual a 160 grados.

50 Dado que es deseable extraer tanta energía del viento como sea posible, hacer funcionar una turbina eólica a menos de máxima potencia de salida posible debido a problemas de ruido es altamente indeseable. La invención pretende abordar esta desventaja.

Sumario de la invención

Según un primer aspecto de la invención se proporciona un método para hacer funcionar una turbina eólica que comprende al menos una superficie de control de borde de salida en al menos una pala de rotor, que comprende hacer funcionar la turbina eólica en un primer modo, en el que un ángulo de ataque de pala de rotor y una desviación

5 de superficie de control de borde de salida se establecen según uno o más parámetros de control de turbina eólica, y hacer funcionar de manera selectiva la turbina eólica en un segundo modo de ruido reducido, en el que para un conjunto de parámetros de control de turbina eólica dado, la desviación de superficie de control de borde de salida se aumenta hacia el lado de presión y el ángulo de ataque de pala de rotor se disminuye con respecto al primer modo. Esto puede proporcionar un método de reducción del impacto del ruido de una turbina eólica a la vez que se maximiza su potencia de salida.

Preferiblemente, al menos una de las superficies de control de borde de salida está situada en una mitad exterior de la pala.

10 Preferiblemente, los parámetros de control de turbina eólica comprenden velocidad del viento, ángulo azimutal de pala, y/o momento del día.

Preferiblemente, una potencia de salida de la turbina eólica es la misma en el primer modo y el segundo modo. Esto es una realización preferida en la que no hay pérdida de potencia de salida debido a funcionar en un modo de ruido limitado.

15 Preferiblemente, la una o más superficies de control de borde de salida comprenden uno o más aletas de borde de salida y/o aletas Gurney. Realizaciones preferidas usan aletas de borde de salida o aletas Gurney ya que pueden variar significativamente las propiedades aerodinámicas de la pala de turbina eólica.

Preferiblemente, el método se lleva a cabo por un controlador de turbina eólica.

20 Preferiblemente, el controlador de turbina actúa para reducir un nivel de ruido dentro de un intervalo de decibelios específico o a una frecuencia específica. Preferiblemente, el controlador de turbina actúa para reducir la ponderación A de ruido emitido por una turbina eólica. Estos enfoques reducen el impacto medioambiental de la turbina eólica. Dado que algunas frecuencias son más disruptivas para el medio ambiente que otras, puede ser deseable reducir la potencia de salida de ruido dentro de un intervalo específico o a una frecuencia específica.

25 Preferiblemente, el controlador de turbina realiza el método de forma periódica regular, o de forma cíclica. Este método permite que la potencia de salida de ruido se controle para una variedad de variables que afectan al ruido, tal como velocidad del viento, tiempo, o turbulencia.

Preferiblemente, el controlador de turbina realiza el método de forma cíclica. Este método permite que la potencia de salida de ruido se controle para variables tales como cizalladura del viento y variación del viento debido a una torre de turbina eólica.

30 Preferiblemente, el método comprende calcular un valor teórico de una potencia de salida de ruido para determinar si, y como, modificar uno o más parámetros de funcionamiento de turbina eólica. Esto proporciona información sobre en qué basar cambios en condiciones de funcionamiento, y puede ser más sencillo y fácil que medir la potencia de salida de ruido.

35 Preferiblemente, se usa un sensor de ruido para determinar si, y como, modificar uno o más parámetros de funcionamiento de turbina eólica. Esto puede ser preferible a usar un cálculo teórico de una potencia de salida de ruido dado que proporciona los niveles reales de ruido.

Un tercer aspecto de la invención comprende un controlador para una turbina eólica configurado para llevar a cabo las etapas de uno o más de los métodos mencionados anteriormente. Un cuarto aspecto de la invención comprende una turbina eólica controlada por el controlador.

40 Debe observarse que lo que aquí se denomina controlador puede realizarse como una única unidad, o una pluralidad de unidades que pueden disponerse en ubicaciones diferentes en la turbina eólica, y adaptarse para compartir información entre sí. Por ejemplo, puede haber un controlador de aleta de borde de salida local o un controlador independiente para atenuación de carga rápida.

Breve descripción de los dibujos

45 Se describirá ahora una realización de la invención, únicamente a modo de ejemplo, y con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

la figura 1 (mencionada anteriormente) ilustra una turbina eólica conocida;

la figura 2 ilustra una vista en sección transversal en el sentido de la cuerda a través de una pala de turbina eólica;

la figura 3 ilustra una vista en sección transversal en el sentido de la cuerda a través de una pala de turbina eólica con un aleta en una posición diferente.

50 La figura 4 es un gráfico que muestra la distribución de nivel de ruido en diferentes ángulos de aleta; y

La figura 5 ilustra la distribución de carga a lo largo de la longitud de la envergadura de una pala de turbina eólica.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

Una realización de la invención se refiere a una turbina eólica que tiene un rotor con una o más palas, en la que una o más de las palas incluye al menos una superficie de control.

5 El término superficie de control se refiere a una superficie móvil de la pala de turbina eólica para modificar el perfil aerodinámico de la pala de turbina eólica. Los ejemplos de superficies de control incluyen alerones, aletas de borde de ataque o de salida, aletas auxiliares de borde de ataque, aletas Krueger, aletas Gurney (aletas wickerbill), aletas de inducción de pérdida, generadores de vórtice para controlar la separación de capa límite, elementos elásticos adaptativos incorporados en la superficie de pala, medios para cambiar la rugosidad de la superficie, orificios o aberturas ajustables, o lengüetas móviles. Una pala puede tener una o más superficies de control de este tipo, y cada superficie de control se extenderá normalmente solo a lo largo de parte de la longitud de la envergadura de una pala.

15 La figura 2 muestra una pala de rotor de turbina eólica 5 en un primer modo de funcionamiento. La ala 5 describe un ángulo de ataque A a la dirección del viento. La aleta de borde de salida 10 se une a la pala 5 y describe una desviación B en relación con la línea de cuerda de perfil alar. La desviación B puede ser 0, o alternativamente la desviación B puede diferir del ángulo de ataque A, por ejemplo para alterar la carga aerodinámica en parte de la pala.

20 La figura 3 muestra una pala de turbina eólica 5 con una aleta de borde de salida 10 unida. La pala 5 está ahora en un segundo modo de funcionamiento. En comparación con la figura 2, el ángulo de ataque A se reduce, y la desviación B se aumenta. Esto mejora los espectros de ruido de la turbina eólica, y puede reducir adicionalmente la cantidad global de ruido emitido por la turbina eólica. Pueden usarse diversas combinaciones de ángulo de ataque A y desviación B para lograr las fuerzas y momentos aerodinámicos deseados.

25 El ángulo de ataque A normalmente varía entre -35 y 45 grados, o más preferiblemente entre -15 y 25 grados, o lo más preferiblemente entre 2 y 12 grados. La desviación B puede variar entre -90 y 90 grados, o más preferiblemente entre -30 y 45 grados, o lo más preferiblemente entre -20 y 20 grados. En una realización en la que la desviación B solo se varía hacia el lado de presión de la pala, la desviación B puede variar entre 0 y 90 grados, o preferiblemente entre 0 y 45 grados, o lo más preferiblemente entre 0 y 20 grados.

30 Mientras superficies de control pueden colocarse en cualquier lugar a lo largo de la longitud de la pala, tendrán una mayor influencia cuando se colocan próximas a la punta de la pala. En esta zona, la velocidad de giro es superior, y las superficies de control por tanto tienen más influencia. La invención puede implementarse usando una única superficie de control, pero el uso de una pluralidad de superficies de control permite mayor flexibilidad para variar carga, ruido y potencia de salida. Actualmente, se considera preferible disponer la superficie o superficies de control en la mitad más exterior de la pala, pero cuando se implantan un número de superficies de control al menos una de estas puede estar en la mitad más interior de la pala.

35 Una realización preferida de esta invención usa una o más aletas de borde de salida o aletas Gurney. Esto se debe a que las propiedades aerodinámicas de la pala deben alterarse considerablemente para modificar significativamente la emisión de ruido (potencia de salida de ruido).

40 La figura 4 muestra los espectros de ruido de perfil alar. El espectro de ruido o espectro de emisión de ruido es normalmente la potencia de salida de ruido global a lo largo del intervalo de frecuencia audible completo, aunque puede definirse solo como parte del espectro audible o extenderse más allá del espectro audible. Intervalos típicos son de 10 a 20.000 Hz, 20 a 15.000 Hz, 50 a 10.000 Hz y 100 a 5.000 Hz. En algunas realizaciones, el espectro de emisión puede medirse sobre uno o más intervalos específicos, tales como 1.000 a 4.000 Hz, para cumplir normas locales.

45 La variación en el espectro de emisión de ruido cuando se cambia la desviación de aleta puede verse en la figura 4. El eje de ordenadas es el SPL, o nivel de presión de sonido, en decibelios. El eje de abscisas es logarítmico y muestra la frecuencia en hercios. Pueden verse claramente cuatro curvas en el gráfico, mostrando cada una una desviación de aleta diferente (similar a la desviación B en las figuras 2 y 3). A una desviación de aleta de 0 grados, el espectro de ruido se muestra mediante una línea de rombos. A una desviación de aleta de 10 grados, el espectro de ruido se muestra mediante una línea de cuadrados. Las otras líneas muestran otras desviaciones de aleta.

50 Cuando la aleta está a un ángulo de 0 grados, puede verse un pico a aproximadamente 1 a 2 kHz. Cuando la aleta está a un ángulo de 10 grados, este pico tiene un nivel inferior y se ha movido a una frecuencia inferior, y se aumenta significativamente la producción de ruido en la región de 10 a 200 Hz en comparación con los niveles para mediciones de desviación de aleta inferiores.

55 El rango de audición humano puede extenderse desde aproximadamente 20 Hz hasta 20 kHz. Sin embargo, la sensibilidad es inferior en los extremos de este rango. El pico de sensibilidad humana está en el intervalo de 1-4 kHz, de modo que el chillido agudo producido por el pico en la figura 4 a aproximadamente 1-2 kHz es más probable

que sea mucho más molesto que ronroneos graves producidos en el intervalo de 10-100 Hz. Por tanto, incluso cuando la producción de sonido global no se reduce, reducir las frecuencias de emisión dominantes o cambiar las frecuencias de emisión dominantes a una frecuencia menos incómoda de este modo es un resultado deseable.

5 Algunas mediciones y regulaciones de ruido usan una integración de nivel de ruido para diferentes frecuencias, con diferentes ponderaciones para diferentes frecuencias. Un esquema de ponderación es el esquema de "ponderación A", que intenta imitar la sensibilidad de la audición humana. Bajo tal esquema, reducir un pico o protuberancia en los espectros, tal como el pico alrededor de 1-2 kHz en la figura 4, solo da resultado si el ruido en las frecuencias alrededor del pico no se eleva demasiado. Puede merecer la pena cambiar el ruido de una banda de frecuencia de "alta sensibilidad" a frecuencias en las que la sensibilidad, y por tanto la ponderación, es inferior.

10 Una reducción en la potencia de salida tal como se describe anteriormente puede ser menor que la reducción que resulta de métodos de reducción o control de ruido conocidos. En una realización preferida, la potencia de salida puede mejorar en al menos el 2%.

15 Las estrategias de control de turbina eólica puede incluir varias estrategias de control de ruido diferentes, y disminuir el paso de pala y aumentar la desviación de la aleta tal como se muestra en la figura 3 es solo un posible método de control. Existen varias maneras en las que los diversos mecanismos de control de turbina eólica pueden usarse para mejorar la producción de energía y control de la potencia de salida de ruido. Todos de los siguientes métodos proporcionan una estrategia de control mediante la cual puede mejorarse la potencia de salida a un volumen de ruido o nivel de molestia de ruido dado.

20 Las RPM de la turbina eólica puede reducirse, y la desviación de uno o más aletas puede aumentarse. En cuanto a la potencia de salida, el aumento en el alabeo puede anular parcial o completamente la disminución en las RPM de la turbina eólica, por tanto mantener parcial o completamente la misma producción de energía. En esta realización, el propio paso de la pala puede mantenerse inalterado. Como con los otros métodos de control de ruido dados a conocer en el presente documento, esto reduce significativamente, o elimina totalmente, la necesidad de reducir la potencia de salida de la turbina eólica para reducir la emisión de ruido.

25 La figura 5 muestra la distribución de carga a lo largo de la longitud de una pala de turbina eólica. El eje de ordenadas indica carga, y el eje de abscisas muestra la distancia desde el buje. La figura 5A muestra una distribución típica de la carga en un modo de funcionamiento normal, en el que la carga se concentra en gran medida hacia la punta de la pala. La figura 5B muestra la distribución de carga en un modo de control de ruido, en el que la distribución de carga se altera de modo que la carga en las partes más exteriores de la pala próximas a la punta se reduce en comparación con la carga en el modo de funcionamiento normal.

30 La figura 6 ilustra una pala de turbina eólica 5 en una realización de la invención. Se proporciona una pluralidad de aletas 10 en el borde de salida de la pala 5, preferiblemente en la mitad exterior de la pala; es decir, la parte de la pala situada más cerca de la punta de pala 12 que de la raíz de pala 14. La alteración de la distribución de carga puede realizarse mediante la manipulación de estas aletas 10. Las aletas pueden moverse de manera individual o conjunta. Por ejemplo, estas aletas pueden ser de aproximadamente 1 metro de largo en la dirección de la envergadura.

35 En funcionamiento normal, la carga de pala tendrá un pico normalmente a aproximadamente el 85% (quizá del 80% al 90%) de la distancia desde el buje hasta la punta. Cambiar la distribución de carga para mejorar la potencia de salida de ruido tal como se ha descrito anteriormente moverá normalmente la posición de carga de pico más cerca del buje, por ejemplo, a un punto a aproximadamente el 70% (quizá del 60% al 85%) de la distancia desde el buje hasta la punta de pala. La modificación de carga real variará enormemente dependiendo de la estructura física de la pala, y algunas palas tendrán una distribución de carga muy diferente a la mostrada en la figura 5. No obstante, la amplia idea de redistribución de carga mediante manipulación de aletas funcionará en la mayoría de los tipos de pala de turbina eólica.

45 Como la velocidad relativa de la parte exterior de la pala con respecto al viento es mayor lejos del buje, la mayoría del ruido se produce por las regiones exteriores de la pala, aumentando normalmente la emisión de ruido por unidad de carga por unidad de longitud a medida que la distancia desde el buje aumenta. La reducción de la carga en las partes exteriores de la pala tal como se muestra en la figura 5 puede tener un efecto ventajoso en la emisión de ruido. En otras palabras, mover el punto de carga promedio cerca del buje es ventajoso en cuanto a la modificación del ruido emitido. En particular, un cambio en la distribución de carga radial por medio de aletas de borde de salida afecta la fuerza de vórtice de punta y por consiguiente modifica el ruido de vórtice.

50 La reducción de la carga en la punta de pala puede lograrse mediante la manipulación de aletas; o bien reduciendo la desviación de aletas cerca de la punta de pala, o bien aumentando la desviación de aletas cerca del buje, o mediante una mezcla de ambos. En algunas realizaciones, alterar el paso de la pala también podría ayudar a alterar la distribución de carga de pala.

55 Las aletas cerca del buje se denominan comúnmente aletas internas, y aletas cerca de la punta de pala se denominan comúnmente aletas externas. En una realización preferida, la desviación de una o más aletas internas se aumenta y la desviación de una o más aletas externas se disminuye. En otra realización preferida, las aletas internas

son más rígidas que las aletas externas. Realizar las aletas externas más flexibles amortigua el ruido de borde de salida de la punta. También puede proporcionarse asistencia adicional para amortiguar el ruido de borde de salida mediante diferentes geometrías de aleta externa, o el uso de agujeros o cepillos como parte de la aleta.

5 Aumentar la sustentación en una sección de la pala moviendo una aleta hacia el lado de presión aumenta la proporción de la carga tomada por esa sección de la pala. Si la aleta está más cerca del buje que el punto de carga promedio de la pala (es decir el punto en el que una línea vertical en la figura 5A bisecaría la curva, dejando dos áreas bajo la curva igualmente dimensionados), entonces el punto de carga promedio de la pala se movería hacia el buje. Esto también aumentaría la sustentación global de la pala.

10 Alternativa o adicionalmente, una aleta más lejos del buje que el punto de carga promedio de la pala puede moverse hacia el lado de succión. Esto también movería el punto de carga promedio de la pala hacia el buje y reduciría la sustentación global de la pala. Si una aleta se moviera hacia el lado de succión (lejos del lado de presión) de este modo, y otra aleta se moviera hacia el lado de presión tal como se ha descrito en el párrafo anterior, entonces cualquier cambio en la sustentación global de la pala podría reducirse o eliminarse totalmente.

15 Una pala de turbina eólica tiene normalmente una forma sustancialmente fija para la mayoría de su longitud (en este contexto, la naturaleza fija de la pala no incluye ningún aleta unida a la pala). Dado que la velocidad debido al giro aumenta a lo largo la envergadura de las palas rotatorias, la forma de las palas se tuerce normalmente para tener el ángulo de ataque local deseado a lo largo de la longitud de la pala.

20 La modificación de la distribución de carga radial tal como se ilustra en la figura 5 puede llevarse un paso más allá, y las aletas pueden activarse de tal manera que se modifica la torsión geométrica eficaz de la pala. La turbina usará entonces preferiblemente un conjunto diferente de parámetros de funcionamiento de modo que la turbina funcione de manera óptima con respecto a ruido, producción de energía y cargas con la nueva combinación de desviaciones de aleta.

25 Es beneficioso determinar los niveles de ruido producidos por las turbinas eólicas para ayudar a determinar la mejor reacción de control. Sin embargo, es difícil medir el ruido directamente a partir de una fuente de ruido específica con cualquier grado de precisión, y por tanto se considera que en funcionamiento normal, el uso de modelos teóricos para proporcionar una estimación de la potencia de salida de ruido de turbina eólica es tan preciso como el uso de sensores externos. Pueden usarse diversos factores para ayudar a estimar la potencia de salida de ruido, incluyendo las RPM de turbina eólica, pasos de pala, desviaciones de aleta, y velocidades del viento. No obstante, puede ser ventajoso en algunos casos medir ruido en lugar de estimarlo, y en una realización preferida de la invención, un controlador de turbina eólica usa una señal de uno o más sensores de ruido para determinar si y como deben modificarse las RPM de turbina eólica, pasos de pala, y/o desviaciones de aleta. Puede proporcionarse un conjunto de valores predeterminados para las RPM de turbina eólica, paso de pala y desviación de aleta, detallando como debe implementarse la turbina eólica en respuesta a factores tales como velocidad del viento, momento del día, dirección del viento u otros parámetros medioambientales tales como temperatura o humedad.

35 Tal como se ha mencionado previamente, las turbinas eólicas generan un gran número de fuentes de ruido aerodinámicas diferentes. Las diversas fuentes de ruido diferentes pueden abordarse mediante una variedad de estrategias de control diferentes, que pueden usarse solas o en combinación.

40 Normalmente, la duración más larga entre una reevaluación de control (acoplada con cualquier ajuste posterior) y la siguiente sería de una hora o un día. Esto puede implicar simplemente cambiar a una configuración de ruido inferior durante la noche para reducir la potencia de salida de ruido cuando la gente normalmente duerme. Ajustes de condiciones meteorológicas pueden también realizarse por hora o por día. Una respuesta de condición meteorológica típica sería cambiar a una configuración de ruido inferior cuando la velocidad del viento es alta, dado que la potencia de salida de ruido de las turbinas eólicas es superior con vientos más fuertes. Una configuración de ruido inferior podría usarse también en condiciones turbulentas, cuando la potencia de salida de ruido podría ser más grande que la normal.

45 Las respuestas de control a turbulencias se realizan de manera útil de manera más frecuente que por hora o por día. Es común implementar configuraciones de turbina eólica tales como la modificación de paso en promedios de 10 minutos, y esta escala de tiempo también puede ser apropiada para realizar modificaciones en respuesta a niveles de turbulencia. Las modificaciones en respuesta a cambios meteorológicos variables también pueden realizarse usando promedios de 10 minutos.

55 Además, existen varias aplicaciones posibles para el control de nivel rotatorio (cíclico). La barrera de viento proporcionada por la torre tiende a dar como resultado condiciones de viento diferentes a medida que cada pala pasa la torre en cada giro. El cambio en condiciones da como resultado comúnmente un ruido "swach" cada vez que la pala pasa la torre. Es a menudo ventajoso modificar el perfil de las palas a medida que pasan la torre para minimizar el impacto provocado por el cambio en condiciones, reduciendo o modificando por tanto esta emisión de ruido cíclica.

Las condiciones de cizalladura pueden producir velocidades del viento significativamente mayores en el punto más alto de la turbina eólica que en el suelo. Esto puede significar que una pala entraría dentro de parámetros de emisión

de ruido permitidos mientras está cerca del suelo en la parte más baja de su recorrido, pero que en las velocidades del viento más altas mientras está en la parte alta de su recorrido, el ruido emitido está más allá de un nivel aceptable. Los métodos de control anteriormente descritos pueden usarse en un nivel cíclico para reducir la potencia de salida de ruido durante la parte alta de recorrido de una pala, mientras que mantiene una potencia de salida óptima del recorrido de la pala más cercana al suelo.

Finalmente, la emisión de ruido no se distribuye uniformemente sobre la turbina eólica, o en función de la posición en relación con la cara de la turbina eólica. Ni se distribuye de manera uniforme en cuanto a la distancia al receptor. Manipulación de la aleta de borde de salida de nivel de rotación puede usarse para igualar ruido desequilibrado y cíclico tal como variaciones de efecto Doppler y variaciones de ruido debido a directividad, produciendo por tanto una potencia de salida de ruido más consistente, lo que es por tanto menos evidente en la zona circundante.

La discusión anterior se centra en superficies de control inclinadas. Para aletas Gurney, la desviación de aleta es, estrictamente hablando, constante. Para los objetivos de esta solicitud, la extensión a la que una aleta Gurney se extiende se define como el grado de desviación, por motivos de brevedad. Por tanto una aleta Gurney desviada 20 grados se extiende realmente dos veces más que una aleta Gurney desviada 10 grados, en vez de tener su ángulo alterado. Diversas modificaciones a las realizaciones descritas son posibles y se les ocurrirán los expertos en la técnica sin alejarse de la invención que se define mediante las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Método para hacer funcionar una turbina eólica (1) que comprende al menos una superficie de control de borde de salida en al menos una pala de rotor (5), comprendiendo hacer funcionar la turbina eólica en un primer modo, en el que un ángulo de ataque de pala de rotor (A) y una desviación de superficie de control de borde de salida (10) se establecen según uno o more parámetros de control de turbina eólica, y caracterizado por hacer funcionar de manera selectiva la turbina eólica en un segundo modo de ruido reducido, en el que para un conjunto de parámetros de control de turbina eólica dado, la desviación de superficie de control de borde de salida (10) se aumenta hacia el lado de presión y el ángulo de ataque de pala de rotor se disminuye con respecto al primer modo.
2. Método según la reivindicación 1, en el que al menos una de las superficies de control de borde de salida está situada en una mitad exterior de la pala.
3. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los parámetros de control de turbina eólica comprenden velocidad del viento, ángulo azimutal de pala, y/o momento del día.
4. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que una potencia de salida de la turbina eólica es la misma en el primer modo y el segundo modo.
5. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la una o más superficies de control de borde de salida comprenden uno o más aletas de borde de salida y/o aletas Gurney.
6. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el método se lleva a cabo por un controlador de turbina eólica.
7. Método según la reivindicación 6, en el que el controlador de turbina actúa para reducir un nivel de ruido dentro de un intervalo de decibelios específico o a una frecuencia específica.
8. Método según la reivindicación 6 ó 7, en el que el controlador de turbina actúa para reducir la ponderación A de ruido emitido por una turbina eólica.
9. Método según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, en el que el controlador de turbina realiza el método de forma periódica regular.
10. Método según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9, en el que el controlador de turbina realiza el método de forma cíclica.
11. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende calcular un valor teórico de una potencia de salida de ruido para determinar si, y como, modificar uno o más parámetros de funcionamiento de turbina eólica.
12. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que se usa un sensor de ruido para determinar si, y como, modificar uno o más parámetros de funcionamiento de turbina eólica.
13. Controlador para una turbina eólica configurado para llevar a cabo las etapas del método de cualquier reivindicación anterior.
14. Turbina eólica (1) controlada por un controlador según la reivindicación 13.

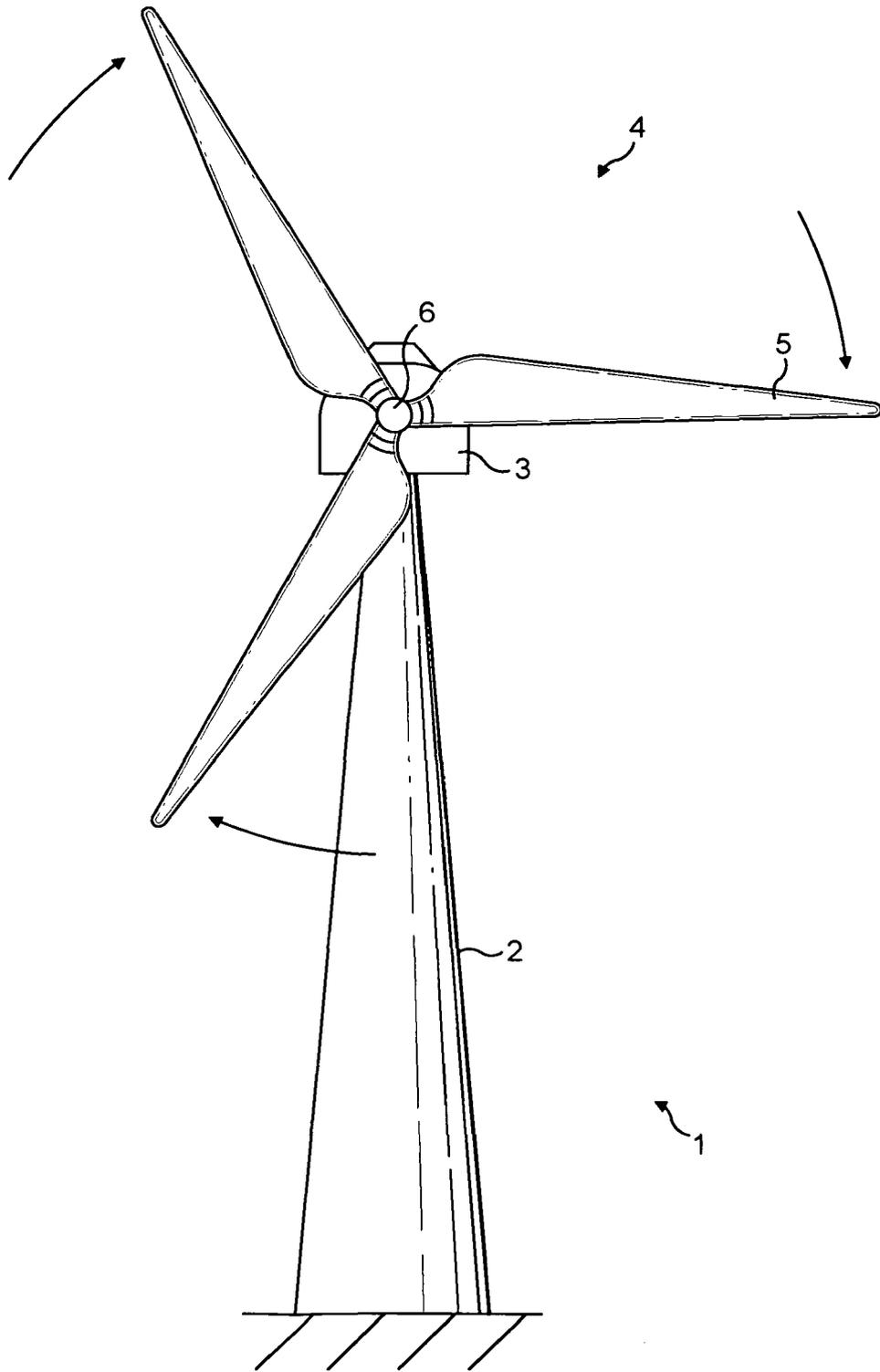
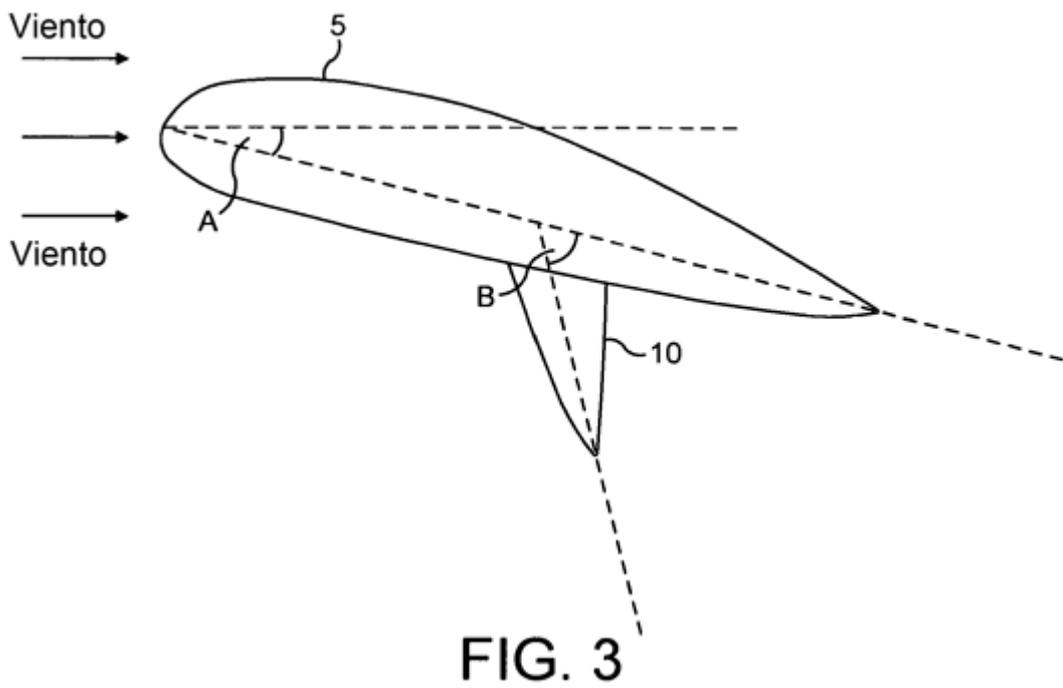
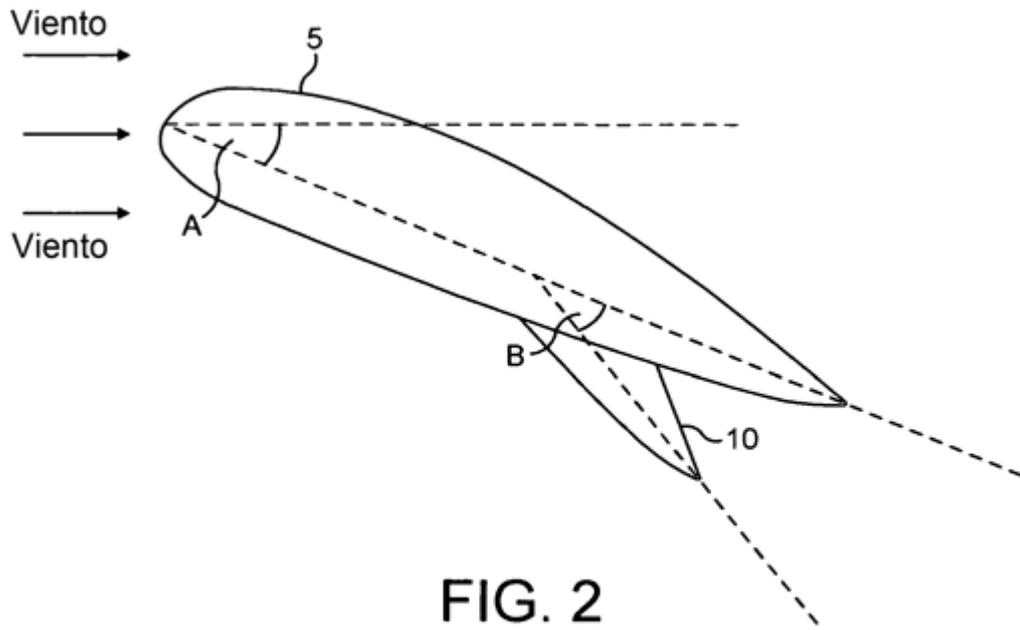


FIG. 1



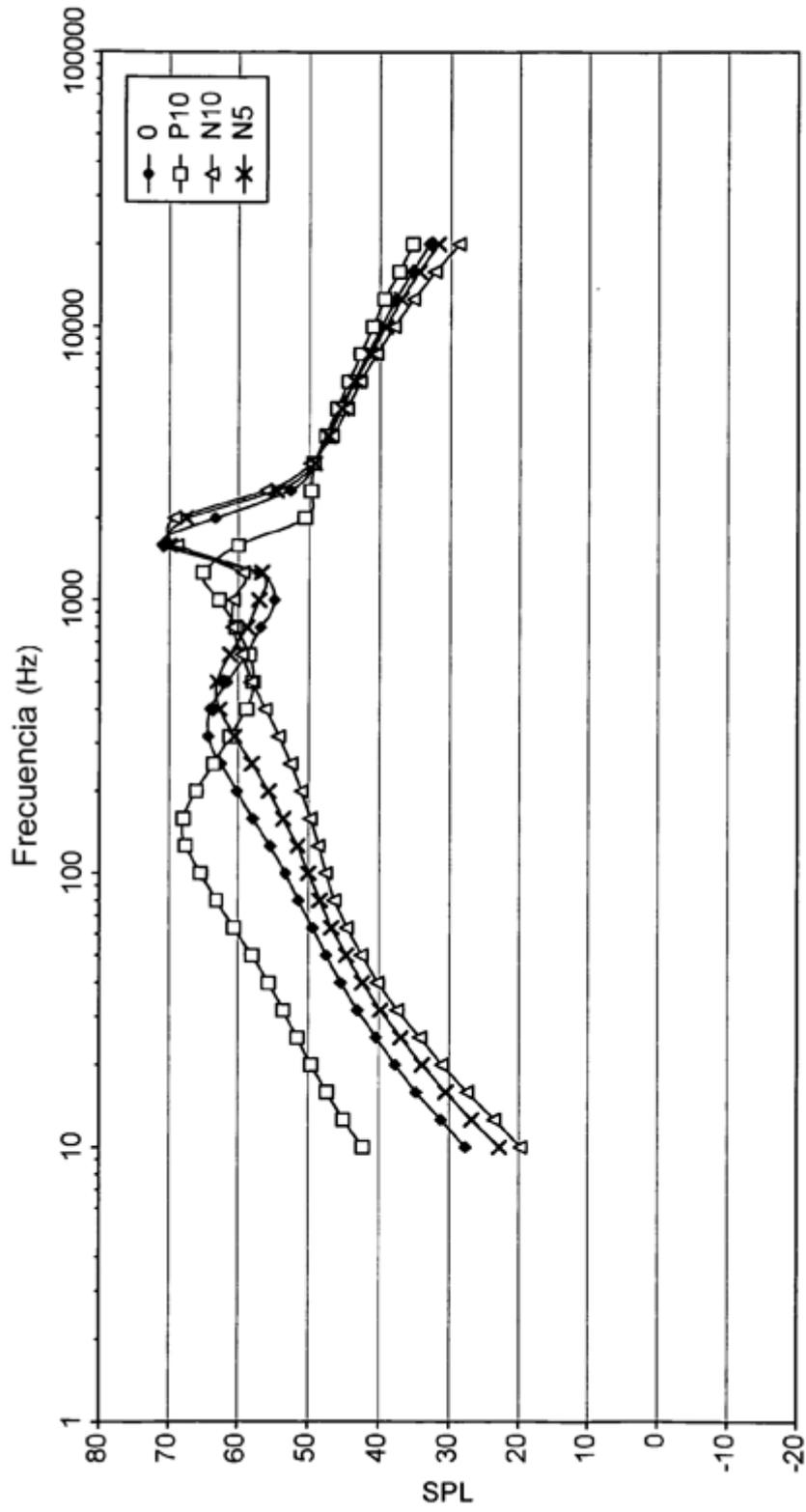


FIG. 4

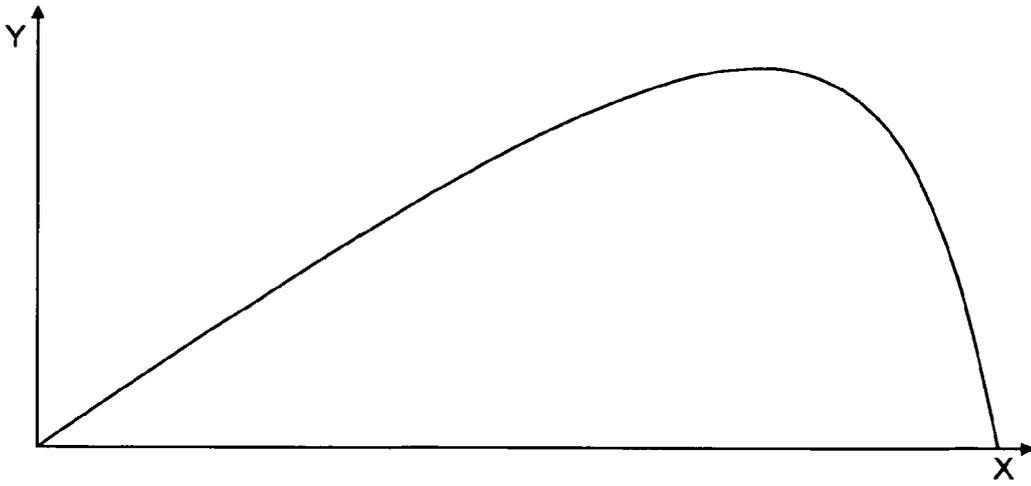


FIG. 5A

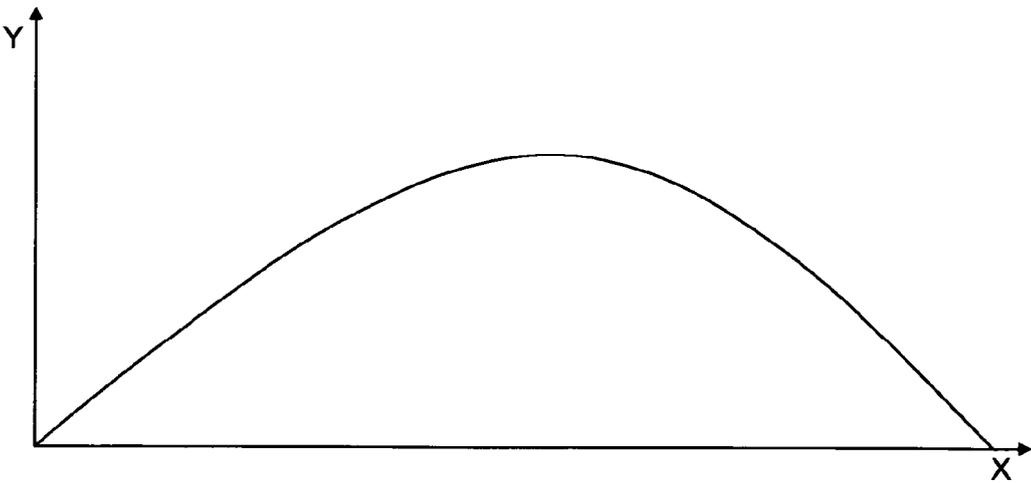


FIG. 5B

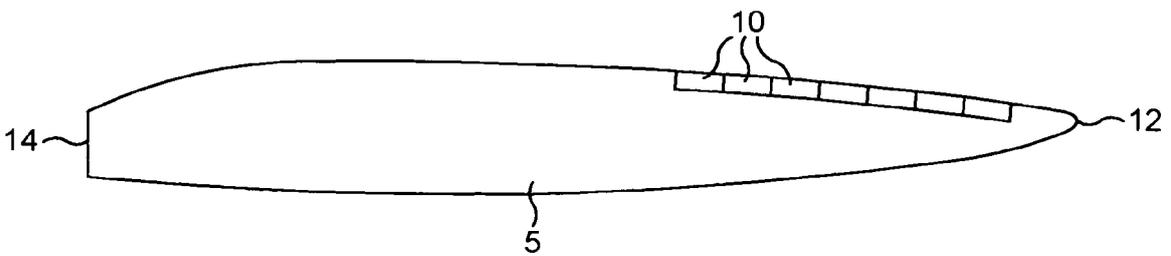


FIG. 6