

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 776 633**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.12.2016 PCT/NL2016/050887**

87 Fecha y número de publicación internacional: **22.06.2017 WO17105244**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.12.2016 E 16825914 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.02.2020 EP 3390815**

54 Título: **Diseño biomimético de aerogeneradores con desprendimiento de flujo periódico que mejora la sustentación**

30 Prioridad:

18.12.2015 NL 2015992

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

31.07.2020

73 Titular/es:

**RIJKSUNIVERSITEIT TE GRONINGEN (100.0%)
Broerstraat 5
9712 CP Groningen, NL**

72 Inventor/es:

STAMHUIS, EIZE JAN

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 776 633 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

Diseño biomimético de aerogeneradores con desprendimiento de flujo periódico que mejora la sustentación

Antecedentes

5 En uso, los aerogeneradores extraen como máximo aproximadamente el 50 % de la energía eólica disponible, incluso en las condiciones más favorables, mientras que el 59 % es el máximo teórico. A altas velocidades eólicas, esto se debe principalmente al perfil aerodinámico de las palas de turbina (ya que generalmente están optimizadas para velocidades eólicas medias), al descargar las palas de turbina para evitar daños estructurales y por las limitaciones del generador de energía. A bajas velocidades eólicas, los aerogeneradores a menudo tienen problemas para arrancar debido a que el perfil aerodinámico de las palas de turbina está optimizado para la velocidad eólica media. La energía solo se producirá a bajas velocidades eólicas cuando se alcance una velocidad de corte, que es aproximadamente el 10 40 % de la velocidad eólica media. Además, la producción de energía generalmente permanece subóptima hasta que se alcanza la máxima potencia extraíble.

15 El perfil aerodinámico generalmente se diseña para una velocidad eólica media de acuerdo con las condiciones de flujo local. En algunos aerogeneradores, el desprendimiento de flujo se usa para evitar que la turbina gire en exceso durante velocidades eólicas muy altas.

Compendio

Según un primer aspecto de la invención, un aerogenerador comprende un rotor; una pala; y un sistema de desprendimiento de flujo periódico que mueve selectivamente al menos parte de la pala en un movimiento oscilante por el que un ángulo de incidencia varía continuamente para invocar un desprendimiento de flujo periódico.

20 Al usar un sistema de desprendimiento de flujo periódico que mueve selectivamente al menos parte de la pala en un movimiento oscilante o armónico para variar continuamente un ángulo de incidencia para invocar un desprendimiento de flujo periódico, el aerogenerador puede producir más energía, particularmente a bajas velocidades. Al invocar el desprendimiento de flujo periódico, la fuerza aerodinámica instantánea aumenta enormemente, lo que aumenta la fuerza aerodinámica media y el rendimiento de potencia. El aerogenerador puede utilizar el sistema de desprendimiento de flujo periódico para arrancar y extraer energía a bajas velocidades eólicas, lo que anteriormente no era posible utilizando solo la aerodinámica en estado estable.

30 Según una realización, la pala comprende además un alerón y el sistema de desprendimiento de flujo periódico mueve selectivamente el alerón. Opcionalmente, el alerón se extiende sobre solo una porción de la pala. Además, opcionalmente, el alerón se extiende sobre aproximadamente 60 % - 80 % de la pala. Tal sistema de desprendimiento de flujo periódico puede usarse con palas que ya tienen alerones, y/o en sistemas donde los alerones son deseables. El alerón se puede mover mediante un sistema de movimiento de alerón estándar o mediante un sistema de movimiento específico para el sistema de desprendimiento de flujo periódico. Un alerón que se extienda sobre aproximadamente el 60 % - 80 % de la longitud de pala debería cubrir entre aproximadamente el 85 % - 95 % del área de plano de rotor de donde se extrae la energía.

35 Según una realización, el sistema de desprendimiento de flujo periódico mueve selectivamente toda la pala. Esto se puede hacer con un sistema ya presente en el aerogenerador, por ejemplo, un mecanismo de paso (*pitch*), o con un sistema de movimiento separado.

40 De acuerdo con una realización, el sistema de desprendimiento de flujo periódico mueve selectivamente solo una porción externa de toda la pala. Esto puede ser, por ejemplo, el 60 % externo, que aún representaría más del 85 % del área cosechable. Mover solo una porción externa de la pala puede ser más fácil debido a la menor masa y los menores pares de inercia.

45 Según una realización, el sistema de desprendimiento de flujo periódico comprende un mecanismo de control de movimiento activo para controlar activamente el movimiento de al menos parte de la pala. Opcionalmente, el mecanismo de control de movimiento activo controla el movimiento de al menos parte de la pala según las condiciones del viento. Además, opcionalmente, el mecanismo de control de movimiento activo puede incluir un procesador, otros sistemas en el aerogenerador tales como el mecanismo de paso o el mecanismo de control de alerón, uno o más sensores y/u otros componentes para el control y movimiento activo. Tal sistema de control activo permite un control más preciso de los movimientos de al menos una parte de la pala, lo que permite arrancar cuando sea necesario y apagarse cuando el sistema ya no sea necesario.

50 Según una realización, el sistema de desprendimiento de flujo periódico comprende un sistema de control de movimiento pasivo. Opcionalmente, el sistema de control de movimiento pasivo está vinculado al rotor de tal manera que el movimiento selectivo es inducido por la rotación de rotor. Tal sistema de control de movimiento pasivo es un sistema simple que requiere poco mantenimiento.

55 Según una realización, el sistema de desprendimiento de flujo periódico mueve selectivamente al menos parte de la pala en un movimiento oscilante o armónico para variar continuamente el ángulo de incidencia entre aproximadamente

8 grados y aproximadamente 20 grados. Opcionalmente, el ángulo de incidencia podría controlarse para variar en otros intervalos. Al variar continuamente el ángulo de incidencia desde un ángulo de incidencia normal a un ángulo de incidencia más alto, se puede invocar el desprendimiento de flujo periódico. El ángulo vuelve a la normalidad antes de que el desprendimiento de flujo golpee por completo.

- 5 Según una realización, el aerogenerador comprende además una pluralidad de palas, y en donde el sistema de desprendimiento de flujo periódico mueve selectivamente al menos parte de cada una de la pluralidad de palas en un movimiento oscilante o armónico por el que un ángulo de incidencia varía continuamente para invocar un desprendimiento de flujo periódico

- 10 De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, un método para inducir un desprendimiento de flujo periódico que mejora la sustentación en un aerogenerador con un rotor y al menos una pala comprende mover selectivamente al menos parte de la al menos una pala en un movimiento oscilante por el que un ángulo de incidencia varía continuamente para invocar el desprendimiento de flujo periódico. Al mover al menos parte de la al menos una pala en un movimiento oscilante para variar continuamente el ángulo de incidencia para invocar el desprendimiento de flujo periódico, se puede lograr un aumento de la eficiencia aerodinámica general de la turbina. Los movimientos oscilantes que invocan el desprendimiento de flujo periódico, aumentando la fuerza aerodinámica media, dan como resultado rendimientos más altos, particularmente a bajas velocidades eólicas. Esto también puede permitir el arranque y la producción de energía a velocidades eólicas más bajas.

- 15 Según una realización, la etapa de mover selectivamente al menos parte de la al menos una pala en un movimiento oscilante comprende mover al menos parte de la al menos una pala a través de un mecanismo de control de movimiento activo para controlar activamente el movimiento. Opcionalmente, el método comprende además controlar el movimiento de acuerdo con las condiciones del viento. Un mecanismo de control de movimiento activo que puede usar el viento puede permitir un control preciso del desprendimiento de flujo periódico, asegurando así el uso adecuado y los beneficios de extracción de energía del sistema.

- 20 Según una realización, la etapa de mover selectivamente al menos parte de la al menos una pala en un movimiento oscilante o armónico comprende mover al menos parte de la al menos una pala a través de un mecanismo de control de movimiento pasivo. Opcionalmente, la etapa de mover selectivamente al menos parte de la al menos una pala en un movimiento oscilante o armónico moviendo al menos parte de la al menos una pala a través de un mecanismo de control de movimiento pasivo comprende mover al menos parte de al menos una pala con la rotación del rotor. Tal mecanismo de control de movimiento pasivo puede proporcionar los beneficios de un sistema de desprendimiento de flujo periódico con un número limitado de partes y sistemas, lo que permite hacer un mecanismo de movimiento muy eficiente y de bajo mantenimiento.

- 25 De acuerdo con una realización, la al menos una pala comprende un alerón, y la etapa de mover selectivamente al menos parte de la al menos una pala en un movimiento oscilante o armónico por el que un ángulo de incidencia varía continuamente comprende mover selectivamente el alerón.

- 30 Según una realización, la etapa de mover selectivamente al menos parte de la al menos una pala en un movimiento oscilante o armónico por el que un ángulo de incidencia varía continuamente comprende mover selectivamente la pala entera. Opcionalmente, la etapa de mover selectivamente toda la pala comprende mover selectivamente toda la pala usando un mecanismo de paso del aerogenerador.

- 35 Según una realización, la etapa de mover selectivamente al menos parte de la al menos una pala en un movimiento oscilante o armónico por el que un ángulo de incidencia varía continuamente comprende mover selectivamente una porción externa de la pala.

- 40 Tal sistema que mueve el alerón, la pala completa o una porción externa de la pala puede trabajar con las palas actualmente en uso, aplicando los movimientos de desprendimiento de flujo periódico a las palas y sistemas existentes, lo que resulta en un sistema que se implementa más fácilmente con las turbinas y/o las palas existentes. Mover solo una porción externa de la pala, por ejemplo, el 60 % externo puede resultar en un sistema que es más fácil de mover debido a las masas más pequeñas pero que aún representa una gran cantidad del área cosechable, lo que simplifica la construcción, la dirección y la energía involucradas en mover selectivamente la pala.

- 45 Según una realización, la etapa de mover selectivamente al menos parte de la al menos una pala en un movimiento oscilante o armónico por el que un ángulo de incidencia varía continuamente comprende mover selectivamente al menos parte de la al menos una pala en un movimiento oscilante o armónico para variar continuamente el ángulo de incidencia entre aproximadamente 8 grados y aproximadamente 20 grados. Tal intervalo puede variar el ángulo de incidencia desde una pala de estado normal a una pala de estado de desprendimiento de flujo y luego nuevamente hacia atrás, invocando de ese modo un desprendimiento de flujo periódico limitado y evitando un desprendimiento de flujo completo.

- 50 Según una realización, el método comprende además dejar de mover al menos parte de la al menos una pala en el movimiento oscilante. El movimiento puede detenerse cuando ya no se necesita, por ejemplo, debido a la velocidad eólica y/o la velocidad de rotación.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 muestra una vista en perspectiva de un aerogenerador con un sistema de desprendimiento de flujo periódico.

5 La figura 2 muestra una vista de una primera realización de una pala adecuada para su uso en el aerogenerador de la figura 1, la pala mostrada en dos posiciones diferentes.

La figura 3A muestra una vista en perspectiva de una pala alternativa adecuada para su uso en el aerogenerador de la figura 1a.

La figura 3B muestra una vista de la pala de 3A con un alerón mostrado en dos posiciones diferentes.

Descripción detallada

10 La figura 1 muestra una vista en perspectiva de un aerogenerador 10 con un sistema de desprendimiento de flujo periódico. El aerogenerador 10 incluye tres palas 12 y un rotor 14. Cada pala 12 incluye un borde de ataque 16 y un borde de salida 18. Otros aerogeneradores 10 podrían incluir más o menos palas 12.

15 Las palas 12 están conectadas al rotor 14 y giran para convertir la energía eólica en energía rotacional. Como se explica en los antecedentes, el perfil aerodinámico de un aerogenerador y las palas en particular se diseñan típicamente para una velocidad eólica media de acuerdo con las condiciones de flujo local. Esto a menudo significa que los aerogeneradores tienen problemas para arrancar a bajas velocidades eólicas. Además, la producción de energía solo ocurre cuando se alcanza cierta velocidad. Por lo tanto, esto da como resultado que los aerogeneradores solo extraigan como máximo aproximadamente el 50 % de la energía eólica disponible.

20 La presente invención utiliza un sistema de desprendimiento de flujo periódico para mover selectivamente al menos una parte de una pala en un movimiento oscilante o armónico para variar continuamente un ángulo de incidencia para invocar un desprendimiento de flujo periódico. Esto aumenta la fuerza aerodinámica neta promedio, incluso a bajas velocidades eólicas, lo que puede aumentar el rendimiento energético durante el tiempo operativo.

25 Durante el inicio del desprendimiento de flujo, cuando el aire se desvía por primera vez en mayor medida y posteriormente se forma un vórtice de borde de ataque debido al inicio de la separación, la circulación unida aumentará drásticamente, resultando en aumentos de sustentación de corta duración, hasta el doble de la sustentación normal en un ángulo de incidencia normal. Las palas de esta invención son capaces de cosechar este aumento. Normalmente, cuando se acumula hasta desprendimiento de flujo, después de un tiempo, el vórtice de borde de ataque habrá crecido hasta un tamaño tal que se separará, arruinando la circulación y causando de ese modo un desprendimiento de flujo total. Sin embargo, las oscilaciones relativamente rápidas de las palas de la presente invención provocan que los perfiles vuelvan a un ángulo de incidencia normal antes de que se establezca el desprendimiento de flujo total, preservando de ese modo la circulación a niveles normales y reestabilizando el patrón de flujo constante. Tan pronto como se haya logrado eso, tiene lugar la siguiente oscilación, elevando nuevamente las fuerzas aerodinámicas a niveles mucho más altos (hasta dos veces lo normal). Las fuerzas aerodinámicas promedio aumentan, por ejemplo, hasta un 25 %, debido a esta oscilación y su desprendimiento de flujo periódico asociado. La frecuencia de abandono de vórtices, que es una función de la distancia a través del aire que recorre la pala, dicta la frecuencia de oscilación en cierta medida. Como el desprendimiento de flujo tarda un tiempo en desarrollarse, durante ese corto tiempo de desarrollo, las fuerzas aerodinámicas, especialmente las fuerzas de sustentación, aumentan dramáticamente, y las palas de la invención actual oscilan dentro de este marco de tiempo para cosechar el aumento periódico en la sustentación.

40 El sistema de desprendimiento de flujo periódico se muestra en varias realizaciones en las figuras 2-3B.

45 La figura 2 muestra una pala 12 en una primera posición 12a y en una segunda posición 12b, con un borde de ataque 16, un borde de salida 18 y líneas de incidencia geométrica 20a, 20b. La pala 12 está conectada al rotor 14 de una manera conocida en la técnica de modo que pueda oscilar. Alternativamente, la pala 12 podría dividirse de modo que solo haya una porción externa rotando como se muestra en la figura 2. Esto podría ser, por ejemplo, el 60 % externo de la pala, con el 40 % de la pala más cercano al rotor 14 fijo al rotor y no rotando como en la figura 2. Este movimiento de la pala 12, en su totalidad o solo en una porción externa, puede realizarse a través de un mecanismo de paso ya existente de un aerogenerador 10, o puede realizarse a través de otros mecanismos.

50 En esta realización, ya sea la pala 12 completa o una porción exterior de la pala 12 se mueve en un movimiento oscilante o armónico para variar continuamente el ángulo de incidencia. Esta variación puede ser, por ejemplo, entre aproximadamente 8 grados y aproximadamente 20 grados. La pala 12 se muestra en un ángulo de incidencia de aproximadamente 8 grados, y la pala 12b se muestra en un ángulo de incidencia de aproximadamente 20 grados.

55 Los movimientos oscilatorios continúan a bajas velocidades eólicas para invocar periódicamente el desprendimiento de flujo, pero se detienen para restablecer el flujo normal antes de que ocurra un desprendimiento de flujo completo. Esto se ha medido para dar como resultado una fuerza aerodinámica media para aumentar aproximadamente un 25 % desde un valor normal.

- El movimiento oscilante o armónico se puede inducir de varias maneras, incluso a través de un sistema de control activo y a través de un sistema de control pasivo. En un sistema de control activo, se puede medir la velocidad eólica para determinar cuándo usar el sistema de desprendimiento de flujo periódico de acuerdo con las condiciones del viento. Si una velocidad eólica medida está en un nivel en el que el sistema de desprendimiento de flujo periódico sería útil, por ejemplo, velocidades eólicas bajas, el sistema de control activo induciría los movimientos oscilantes en la pala 12. El sistema de control activo podría entonces controlar el sistema de desprendimiento de flujo periódico para detener las oscilaciones cuando ya no sea necesario, por ejemplo a velocidades eólicas normales o altas. El sistema de control activo podría incluir, por ejemplo, un sensor para detectar la velocidad eólica, un microprocesador, un sistema de control de paso y/u otros componentes.
- En un sistema controlado pasivamente, el movimiento de toda o una porción externa de la pala 12 y el cambio del ángulo de incidencia pueden realizarse vinculando el movimiento de la porción móvil de la pala 12 a la rotación del rotor 14. Las rotaciones del rotor 14 pueden inducir movimiento en toda o una porción externa de la pala 12, variando continuamente el ángulo de incidencia a medida que la pala 12 gira con el rotor 14. Tal sistema sería un sistema simple de bajo mantenimiento, aunque resultaría en una menor capacidad para un control preciso que un sistema controlado activamente.
- La frecuencia de las oscilaciones es una función de la distancia local recorrida a través del aire por la pala 12 y se mide en longitudes de cuerda recorridas. Esto también depende de la velocidad de aire de la pala 12, así como de la forma del perfil local de la pala 12, y por lo tanto variará. Para muchos cuerpos de sustentación, la distancia recorrida antes de que el desprendimiento de flujo golpee por completo (lo que debe evitarse en este caso) es de aproximadamente 3-7 longitudes de acorde. Cuando un aerogenerador tiene una cuerda a 2/3 de la longitud de pala 12 de, por ejemplo, el 5 % de la longitud de la pala, esto da como resultado aproximadamente 12 oscilaciones por ciclo de rotación. Esto permanece constante con la velocidad rotacional, por lo que al duplicar la velocidad rotacional debido al aumento de la fuerza del viento, todavía habrá aproximadamente 12 oscilaciones por ciclo, lo que da como resultado una duplicación de la frecuencia oscilatoria. En un sistema de control pasivo, el número de oscilaciones dependería mucho de la geometría de la pala 12, del tamaño del aerogenerador 10, etc.; y podría ser de alrededor de 8 a 16 oscilaciones por rotación.
- Al tener un sistema de desprendimiento de flujo periódico para mover selectivamente toda o una porción externa de la pala 12 en un movimiento oscilante, se puede invocar el desprendimiento de flujo periódico, lo que puede aumentar la fuerza aerodinámica instantánea en gran medida (por ejemplo, hasta el 200 % de la fuerza máxima original), lo que resulta en un aumento promedio de la fuerza aerodinámica en comparación con la aerodinámica constante. Esto puede ser un aumento de aproximadamente el 125 % de la fuerza aerodinámica media, y puede deberse a un inicio mucho más tardío y a efectos mucho más débiles de separación en ángulos de incidencia elevados. Este movimiento oscilante invocado por el sistema de desprendimiento de flujo periódico da como resultado un aumento de potencia, aumentando el rendimiento a velocidades eólicas que no podían producir energía en sistemas anteriores, y un aumento general en la eficiencia aerodinámica del aerogenerador 10.
- Al mover solo una porción externa de la pala 12, inducir el movimiento es más fácil debido a una masa más pequeña y pares de inercia más pequeños sin perder una gran porción del área cosechable. Por ejemplo, si solo se girara el 60 % externo, todavía se usaría aproximadamente el 85 % del área cosechable. Por lo tanto, solo girar una porción externa de la pala 12 puede simplificar el sistema, reducir la energía requerida para inducir el movimiento mientras se mantiene gran parte de la energía máxima obtenible.
- La figura 3A muestra una vista en perspectiva de una pala alternativa 12' adecuada para su uso en el aerogenerador 10, y la figura 3B muestra una vista de la pala 12' con el alerón 22 mostrado en dos posiciones diferentes. La pala 12' incluye el borde de ataque 16, un borde de salida 18 y las líneas de incidencia geométrica 20a, 20b. El alerón 22 se ubica en el borde de salida 18, y puede extenderse, por ejemplo, alrededor del 60 %, aproximadamente el 80 % de la longitud de pala 12', o en algunas realizaciones podría extenderse en menos o más de la longitud de la pala 12'. La pala 12' puede conectarse al rotor 14 de una manera conocida en la técnica.
- En esta realización, el sistema de desprendimiento de flujo periódico mueve selectivamente el alerón 22 de la pala 12' en un movimiento oscilante o armónico para variar continuamente el ángulo de incidencia, haciendo que la pala 12' pase de la geometría normal a una geometría de desprendimiento de flujo mientras gira con el rotor 14, como se muestra por líneas de incidencia 20a, 20b. Esta variación puede estar entre aproximadamente 8 grados y aproximadamente 20 grados, como en la realización mostrada en la figura 2. El movimiento del alerón 22 se realiza de tal manera que el perfil de la pala 12' todavía está suavemente combada, pero efectivamente obtiene un mayor ángulo de incidencia que aumenta la probabilidad de desprendimiento de flujo y, por lo tanto, induce un desprendimiento de flujo periódico que mejora la sustentación.
- Los movimientos oscilantes del alerón 22 se pueden hacer con un sistema de movimiento activo o con un sistema de movimiento pasivo, los cuales se describen en relación con la figura 2. El sistema de movimiento activo puede confiar en la velocidad eólica y la detección de otros factores para mover activamente el alerón 22 según las condiciones. Un sistema de movimiento pasivo podría mover el alerón 22 de acuerdo con las rotaciones con el rotor 14. Como se discutió anteriormente, el ángulo de incidencia, los movimientos y las oscilaciones variarían dependiendo de la geometría de la pala 12', el tamaño de la turbina y otros factores.

5 Al formar un aerogenerador 10 con un sistema de desprendimiento de flujo periódico que mueve selectivamente al menos parte de una pala 12 en un movimiento oscilante o armónico para variar continuamente el ángulo de incidencia, el aerogenerador 10 puede producir más energía, particularmente a bajas velocidades eólicas. Mover selectivamente al menos parte de la pala 12 (un alerón 22, porción entera o exterior de la pala 12); invoca el desprendimiento de flujo periódico, lo que puede dar como resultado un aumento promedio de la fuerza aerodinámica y aumentar la potencia. Tal sistema puede extraer más energía de las velocidades eólicas donde los sistemas anteriores tendrían problemas o serían incapaces de arrancar y/o producir energía. El sistema de desprendimiento de flujo periódico tiene varias opciones de implementación, incluido mover solo una parte o una pala completa; utilizando sistemas ya presentes (como un mecanismo de paso o un sistema de movimiento de alerones); y sistemas de control activo o pasivo de movimientos. Al invocar y utilizar una dinámica de fluido inestable (desprendimiento de flujo periódico de corta duración), las fuerzas máximas dinámicas de fluido pueden aumentar sobre las fuerzas de estado estable, lo que aumenta la fuerza promedio y la potencia inducida, y en general aumenta la eficiencia aerodinámica del aerogenerador 10.

15 Si bien esto se ha demostrado y discutido en relación con aerogeneradores, también puede aplicarse a otros sistemas o dispositivos basados en la creación o inducción de fuerzas de sustentación o basados en deflexión de flujo con palas /perfiles aerodinámicos, por ejemplo, ventiladores, hélices, rotores de helicóptero, otros impulsores, turbinas y cualquier otro sistema que funcione en un fluido como el aire o el agua. Estos sistemas pueden ver un aumento del rendimiento bruto logrado al implementar el desprendimiento de flujo periódico que mejora la sustentación.

20 Si bien la invención se ha descrito con referencia a realizaciones ejemplares, los expertos en la técnica entenderán que se pueden hacer varios cambios y se pueden sustituir equivalentes por elementos de la misma sin apartarse del alcance de la invención. Además, se pueden hacer muchas modificaciones para adaptar una situación o material particular a las enseñanzas de la invención sin apartarse del alcance esencial de la misma. Por lo tanto, se pretende que la invención no se limite a las realizaciones particulares descritas, sino que la invención incluirá todas las realizaciones que caen dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

25

REIVINDICACIONES

1. Un aerogenerador (10) que comprende:
un rotor (14);
una pala (12); y
- 5 un sistema de desprendimiento de flujo periódico que mueve selectivamente al menos parte de la pala en un movimiento oscilante por el que un ángulo de incidencia varía continuamente para invocar un desprendimiento de flujo periódico.
2. El aerogenerador de la reivindicación 1, en donde la pala comprende además un alerón y el sistema de desprendimiento de flujo periódico mueve selectivamente el alerón.
- 10 3. El aerogenerador de la reivindicación 2, en donde el alerón se extiende sobre solo una porción de la pala, preferiblemente en donde el alerón se extiende sobre aproximadamente el 60 % - 80 % de la pala.
4. El aerogenerador de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el sistema de desprendimiento de flujo periódico mueve selectivamente toda la pala o solo una porción externa de la pala.
- 15 5. El aerogenerador de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el sistema de desprendimiento de flujo periódico comprende un mecanismo de control de movimiento activo para controlar activamente el movimiento de al menos parte de la pala, preferiblemente de acuerdo con las condiciones del viento.
6. El aerogenerador de cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en donde el sistema de desprendimiento de flujo periódico comprende un sistema de control de movimiento pasivo, preferiblemente vinculado al rotor de tal manera que el movimiento selectivo es inducido por la rotación del rotor.
- 20 7. El aerogenerador de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el sistema de desprendimiento de flujo periódico mueve selectivamente al menos parte de la pala en un movimiento oscilante o armónico para variar continuamente el ángulo de incidencia varía entre aproximadamente 8 grados y aproximadamente 20 grados.
8. El aerogenerador de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además una pluralidad de palas, y en donde el sistema de desprendimiento de flujo periódico mueve selectivamente al menos parte de cada una de la pluralidad de palas en un movimiento oscilante o armónico por el que un ángulo de incidencia varía continuamente a invocar desprendimiento de flujo periódico
- 25 9. Un método para inducir desprendimiento de flujo periódico que mejora la sustentación en un aerogenerador (10) con un rotor (14) y al menos una pala, el método comprende: mover selectivamente al menos parte de la al menos una pala en un movimiento oscilante o armónico por el que un ángulo de incidencia varía continuamente para invocar el desprendimiento de flujo periódico.
- 30 10. El método de la reivindicación 9, en donde la etapa de mover selectivamente al menos parte de la al menos una pala en un movimiento oscilante o armónico comprende mover al menos parte de la al menos una pala a través de un mecanismo de control de movimiento activo para controlar activamente el movimiento, preferiblemente según las condiciones del viento.
- 35 11. El método de la reivindicación 9, en donde la etapa de mover selectivamente al menos parte de la al menos una pala en un movimiento oscilante o armónico comprende mover al menos parte de la al menos una pala a través de un mecanismo de control de movimiento pasivo, que comprende preferiblemente mover al menos parte de al menos una pala con la rotación del rotor.
- 40 12. El método de cualquiera de las reivindicaciones 9-11, en donde al menos una pala comprende un alerón, y la etapa de mover selectivamente al menos parte de la al menos una pala en un movimiento oscilante o armónico por el que un ángulo de incidencia varía continuamente comprende mover selectivamente el alerón.
13. El método de cualquiera de las reivindicaciones 9-11, en donde la etapa de mover selectivamente al menos parte de la al menos una pala en un movimiento oscilante o armónico por el que un ángulo de incidencia varía continuamente comprende mover selectivamente la pala entera o una porción externa de la pala, preferiblemente usando un mecanismo de paso del aerogenerador.
- 45 14. El método de cualquiera de las reivindicaciones 9-13, en donde la etapa de mover selectivamente al menos parte de la al menos una pala en un movimiento oscilante o armónico por el que un ángulo de incidencia varía continuamente comprende mover selectivamente al menos parte de la al menos una pala en un movimiento oscilante o armónico para variar continuamente el ángulo de incidencia entre aproximadamente 8 grados y aproximadamente 20 grados.
- 50

15. El método de cualquiera de las reivindicaciones 9-13, y que comprende además: dejar de mover al menos parte de la al menos una pala en el movimiento oscilante o armónico, preferiblemente basado en la velocidad eólica.

Fig. 1

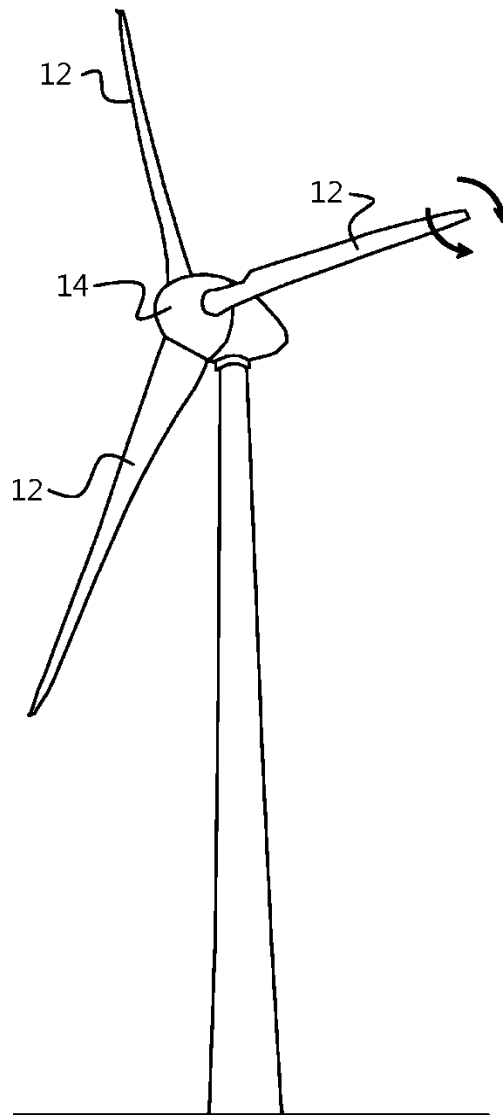


Fig. 2

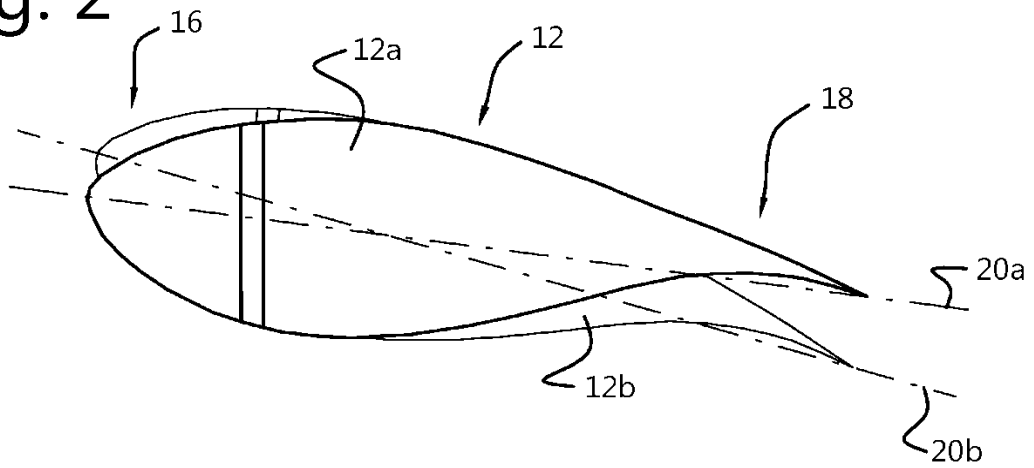


Fig. 3a

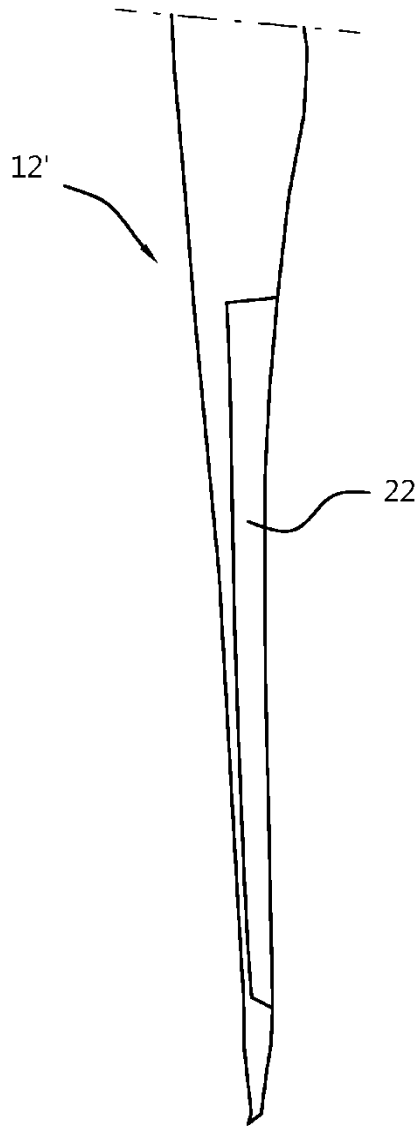


Fig. 3b

