



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 357 077**

51 Int. Cl.:
F03D 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08748799 .7**

96 Fecha de presentación : **21.05.2008**

97 Número de publicación de la solicitud: **2153062**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **17.02.2010**

54 Título: **Procedimiento para el funcionamiento de una turbina eólica, turbina eólica y utilización del procedimiento.**

30 Prioridad: **31.05.2007 DK 2007 00787**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
18.04.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
18.04.2011

73 Titular/es: **VESTAS WIND SYSTEMS A/S**
Alsvej 21
8940 Randers, DK

72 Inventor/es: **Godsk, Kristian Balschmidt;**
Nielsen, Thomas Steiniche Bjertrup y
Sloth, Erik Billeskov

74 Agente: **Curell Aguilá, Marcelino**

ES 2 357 077 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).

que, de ese modo, es posible reducir el tamaño del margen de seguridad y reducir, por lo tanto, la emisión de ruido a partir de la turbina eólica o incrementar la salida global de la turbina eólica.

5 Cabe destacar que esto no limita el hecho de que las palas funcionen a un ángulo de ataque constante en todo momento. Por ejemplo, a través de una estrategia de control del paso colectivo a más largo plazo los ángulos de paso de las palas se pueden ajustar con relación a la velocidad del viento, la salida de energía o bien otros y el presente procedimiento, por lo tanto, únicamente intenta asegurar un ángulo de ataque sustancialmente constante durante por lo menos un giro completo, esto es compensar los efectos del rotor inclinado.

10 También debe destacarse que la expresión "el eje de giro del rotor está inclinado con relación a la dirección del viento incidente" se refiere a que el eje de giro del rotor no es paralelo a la dirección del viento incidente, es decir, el plano del rotor, el cual es el plano en el que giran las palas del rotor, está colocado de modo que el ángulo del viento incidente no es perpendicular al dicho plano del rotor.

En un aspecto de la invención, se asegura que dicho ángulo de ataque sea constante para reducir la emisión de ruidos de dicho rotor.

15 A menudo, las turbinas eólicas modernas funcionan cerca de los límites de sus capacidades para hacer máxima la salida global de la turbina. Pero para hacer eso hay que asegurar que la propagación del ruido de las turbinas eólicas se mantiene a un nivel aceptable. Por lo tanto, resulta ventajoso reducir la emisión de ruido asegurando un ángulo de ataque sustancialmente constante.

20 En un aspecto de la invención, se asegura que dicho ángulo de ataque sea constante para mantener la misión de ruido por debajo de un nivel previamente definido.

De este modo, se consigue una forma de realización ventajosa de la invención.

En un aspecto de la invención, se asegura que dicho ángulo de ataque sea constante para mejorar la relación de la emisión de ruido/salida de las turbinas eólicas.

25 En algunas circunstancias, la emisión de ruido de la turbina eólica es un factor principal en la limitación de la salida global de energía de la turbina eólica y por lo tanto, resulta ventajoso mejorar la relación de la emisión de ruido/salida de las turbinas eólicas.

30 En un aspecto de la invención, el ángulo de paso de dichas palas se ajusta de modo que el borde de salida se desplace en la dirección del viento incidente y el borde de ataque se desplace en la dirección opuesta por lo menos un cierto punto cuando dicho ángulo azimutal de las palas está comprendido entre 0° y 180°, es decir, cuando las palas se desplazan hacia abajo.

35 Desplazando el borde de salida dentro del viento incidente cuando las palas se desplazan hacia abajo la posición de las palas con relación al viento incidente se hace menos agresiva en el sentido de que el ángulo de ataque de las palas se reduce en una pala de una turbina eólica moderna. Esto resulta ventajoso en el sentido de que la emisión de ruido por este medio se puede reducir sustancialmente sin cambiar la salida.

En un aspecto de la invención, el ángulo de paso de dichas palas se ajusta, de modo que el borde de ataque se desplace en la dirección del viento incidente y el borde de salida se desplace en la dirección opuesta por lo menos un cierto punto cuando dicho ángulo azimutal de las palas está comprendido entre 180° y 360°, es decir, cuando las palas se desplazan hacia arriba.

40 Desplazando el borde de ataque dentro del viento incidente cuando las palas se desplazan hacia arriba, la posición de las palas con relación al viento incidente se hace más agresiva en el sentido de que el ángulo de ataque de las palas se aumenta en una pala en una turbina eólica moderna. Esto resulta ventajoso en el sentido de que la salida de las palas y la salida de potencia de la turbina eólica puede aumentar sustancialmente sin cambiar la emisión de ruido desde la pala.

45 En un aspecto de la invención, dicho ángulo de paso de dichas palas se ajusta además según la velocidad actual del viento incidente.

50 Un conjunto de factores afectan al ángulo de ataque de las palas y, por lo tanto, no es necesariamente posible predecir cuánto debe ser ajustado el ángulo de paso a un ángulo azimutal determinado para obtener un resultado más óptimo. Por lo tanto, resulta ventajoso tener en cuenta la velocidad actual del viento incidente en el sentido de que de ese modo es posible reducir la emisión de ruido incluso más o aumentar la salida incluso más.

En un aspecto de la invención, dicho ángulo de paso de dichas palas se ajusta además según la velocidad de giro actual de dicho rotor.

Resulta ventajoso tener en cuenta la velocidad de giro actual del rotor en el sentido de que, de

este modo, es posible reducir la emisión de ruido incluso más o incrementar la salida incluso más.

En un aspecto de la invención, dicho ángulo de paso se ajusta cuando dicho ángulo azimutal está comprendido entre 10° y 170° y entre 190° y 350°, preferentemente entre 30° y 150° y entre 210° y 330° y más preferentemente entre 60° y 120° y entre 240° y 300°.

5 Cuanto más cerca está la pala de un ángulo azimutal de 90° y 270°, más se desplaza la pala en la dirección del viento y las gamas del ángulo actual, por lo tanto, presentan intervalos ventajosos para el ajuste del ángulo azimutal.

En un aspecto de la invención, dicho ángulo de paso de dichas palas se puede ajustar individualmente.

10 El ángulo de paso de las palas se puede ajustar colectivamente para simplificar el funcionamiento de la turbina eólica pero para incrementar los efectos positivos del presente procedimiento con respecto a la emisión de ruido, a la salida o a ambas, resulta ventajoso que las palas se puedan ajustar individualmente.

15 En un aspecto de la invención, dicho eje de giro del rotor está inclinado de modo que la parte inferior del plano del rotor se desplace en la dirección del viento incidente y la parte superior del plano del rotor se desplace en la dirección alejándose del viento incidente.

20 Las palas de las turbinas eólicas modernas son muy largas y delgadas y por lo tanto relativamente flexibles. Para asegurar que la pala no choque contra la torre incluso cuando está pesadamente cargada con velocidades altas del viento la palas tiene que pasar por la torre a una distancia segura en todo momento. Esto se puede asegurar colocando el cubo del rotor a una gran distancia de la parte superior de la torre, pero esto puede complicar el diseño de la turbina eólica y comporta momentos de torsión grandes. Por lo tanto, resulta ventajoso inclinar el eje de giro del rotor de modo que las palas pasen por la torre a una distancia segura.

25 En un aspecto de la invención, dicho rotor es cónico en el sentido de que una o más de dichas palas están formando total o parcialmente un ángulo hacia delante en la dirección del viento incidente, tal como, por ejemplo, entre 1° y 7° hacia delante con relación al plano del rotor.

30 Tal como se ha explicado anteriormente, las palas de las turbinas eólicas modernas son muy flexibles y para asegurar que las palas pasan por la torre a una distancia segura es ventajoso que las palas estén montadas, de modo que apunten ligeramente hacia delante en la dirección del viento incidente, haciendo el plano del rotor ligeramente cónico. Sin embargo, si las palas forman un ángulo demasiado grande hacia delante su rendimiento se reduce y la gama de ángulos actuales, por lo tanto, proporciona un intervalo ventajoso con relación a la seguridad y la funcionalidad.

La invención también proporciona una turbina eólica que comprende unos medios de control para realizar un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

35 El hecho de proporcionar una turbina eólica con unos medios de control para realizar el procedimiento anteriormente descrito es ventajoso en el sentido de que, de ese modo, es posible de una manera simple y rentable reducir la emisión de ruido desde la turbina eólica o incrementar la salida de la turbina eólica.

40 En un aspecto de la invención, dicha turbina eólica comprende unos medios para el ajuste del ángulo de paso de las palas individualmente.

En un aspecto de la invención, dicha turbina eólica es una turbina eólica de paso de velocidad variable.

45 La emisión de ruido de una turbina eólica de paso de velocidad variable suele ser más impredecible que la emisión de ruido de otros tipos de turbinas eólicas y por lo tanto, resulta particularmente ventajoso que la turbina eólica sea una turbina eólica de paso de velocidad variable.

Incluso además la invención prevé la utilización de un procedimiento según cualquiera de los procedimientos anteriormente mencionados para reducir la emisión de ruido desde la turbina eólica.

50 El ángulo de ataque de las palas es un factor primordial en el control de la emisión de ruido de las palas y ajustar el ángulo de paso de las palas según el ángulo azimutal para asegurar un ángulo de ataque sustancialmente constante por lo menos durante un giro completo del rotor inclinado es, por lo tanto, un procedimiento ventajoso para reducir la emisión de ruido desde la turbina eólica.

FIGURAS

La invención se describirá a continuación haciendo referencia a las figuras en las cuales,

la figura 1 ilustra una turbina eólica moderna grande en vista frontal,

la figura 2 ilustra una sección transversal de una forma de realización de una góndola simplificada conocida en la técnica, en vista lateral,

5 la figura 3 ilustra una turbina eólica moderna grande con una pala en una posición azimutal de 90°, en vista frontal,

la figura 4 ilustra una sección transversal de la pala ilustrada en una posición azimutal de 90° de la figura 3, en vista lateral,

la figura 5 ilustra una turbina eólica moderna grande con una pala en una posición azimutal de 270°, en vista frontal,

10 la figura 6 ilustra una sección transversal de la pala ilustrada en una posición azimutal de 270° de la figura 5, en vista lateral,

la figura 7 ilustra la emisión de ruido en diferentes momentos por una turbina eólica de la técnica anterior y una turbina eólica según la invención,

15 la figura 8 ilustra en un sistema de coordenadas la relación del ángulo de ataque sobre la envergadura del ala con respecto al ángulo azimutal para velocidades del viento de 8 metros/segundo, y

la figura 9 ilustra en un sistema de coordenadas la relación del ángulo de ataque sobre la envergadura del ala con respecto al ángulo azimutal para velocidades del viento de 11 metros/segundo.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

20 La figura 1 ilustra una turbina eólica 1 que comprende una torre 2 y una góndola de la turbina eólica 3 colocada en la parte superior de la torre 2. El rotor de la turbina eólica 4, que comprende tres palas de la turbina eólica 5 montadas en un cubo 6, está conectado a la góndola 3 a través del árbol de baja velocidad el cual se extiende fuera de la parte delantera de la góndola 3.

En otra forma de realización el rotor de la turbina eólica 4 puede comprender otro número de palas 5, tal como, por ejemplo, una, dos o cuatro.

25 La figura 2 ilustra una sección transversal simplificada de una góndola 3 de una turbina eólica 1 de la técnica anterior, como se ve desde el lado. Las góndolas 3 existen en una multitud de variaciones y configuraciones, pero la mayor parte de los casos el tren de accionamiento en la góndola 3 casi siempre comprende uno o más de los siguientes componentes: una caja de engranajes 15 (típicamente una caja de engranajes epicicloidial), un acoplamiento (no representado), algún tipo de sistema de frenado 16 y un generador 17. Una góndola 3 de una turbina eólica moderna 1 también puede incluir un convertidor 18 (también denominado un inversor) y equipo periférico adicional, tal como, por ejemplo, un equipo de manipulación de la energía adicional, armarios de control, sistemas hidráulicos, sistemas de refrigeración y otros.

35 El peso de la góndola entera 3 que incluye los componentes de la góndola 15, 16, 17, 18 es transportado por una estructura de la góndola 19. Los componentes 15, 16, 17, 18 generalmente están colocados en o conectados a esta estructura común de la góndola que transporta la carga 19. En esta forma de realización simplificada, la estructura de la góndola que transporta la carga 19 únicamente se extiende a lo largo de la parte inferior de la góndola 3, por ejemplo, en forma de un bastidor de bancada al cual algunos o todos los componentes 15, 16, 17, 18 están conectados. En otra forma de realización, la estructura que transporta la carga 19 puede comprender una correa de engranajes, la cual a través de los rodamientos principales puede transferir la carga del rotor 4 a la torre 2, o la estructura que transporta la carga 19 puede comprender varias piezas interconectadas en forma de una celosía.

40 La góndola 3 comprende asimismo un rodamiento principal (no representado) para asegurar que el rotor 4 pueda girar sustancialmente libremente con relación a la estructura de la góndola 19 y las piezas de un tren de accionamiento fijas 15, 16, 17, 18 de la góndola 3. En esta forma de realización del tren de accionamiento, el rodamiento principal está integrado en la caja de engranajes 15 en el sentido de que el rotor 4 está conectado directamente a la caja de engranajes 15 a través del cubo 6. Puesto que el engranaje principal 14 está incorporado en la caja de engranajes 15, la estructura de la caja de engranajes tiene que ser capaz de transferir la carga entera del rotor 4 a la torre 2 por medio de la estructura de refuerzo de la góndola 19.

45 En esta forma de realización, el tren de accionamiento está establecido a un ángulo de funcionamiento normal NA de 6° en relación con un plano perpendicular al eje central a través de la torre 2, es decir, un plano horizontal. En otra forma de realización, el rotor 4 o el tren de accionamiento puede estar inclinado entre 1° y 10° y preferentemente entre 1,5° y 8°.

Al inclinar el tren de accionamiento, el plano del rotor 24, se inclina, de manera correspondiente, haciendo que el viento incidente 13 llegue al plano del rotor 24 en un ángulo distinto de la perpendicular. Es evidente por un experto en la materia que incluso aunque el plano del rotor 24 esté inclinado un NA en ciertas condiciones puede ocurrir que el viento incidente 13 llegue al plano del rotor 24 sustancialmente perpendicularmente en el sentido de que la dirección del viento puede cambiar por ejemplo debido a una alta turbulencia, cambios en la dirección del viento, obstáculos, cambios en el terreno o bien otros.

El rotor 4 está inclinado, por ejemplo, para asegurar que las palas 5 no choquen contra la torre 2, para compensar las diferencias en la velocidad del viento en la parte superior y la parte inferior del rotor 4 o bien otros motivos.

Para asegurar además el huelgo entre la torre y las palas 5, las palas 5 de la mayor parte de las turbinas eólicas modernas 1 también son cónicas.

En esta forma de realización de una turbina eólica 1, el eje longitudinal 8 de las palas 5 es sustancialmente perpendicular al eje de giro 7 del rotor 4. Pero en otra forma de realización, las palas 5 pueden estar montadas con un ángulo que les haga apuntar ligeramente hacia delante en relación con el eje de giro del rotor 7 (esto es las palas son ligeramente cónicas) o el rotor 4 puede estar provisto de unos medios para el ajuste del ángulo del eje longitudinal 8 de las palas 5 con relación al eje de giro del rotor 7. Esta conicidad se puede establecer proporcionando a las palas de un cierto ángulo de curvatura a lo largo de la longitud de la pala o estableciendo el cubo 6 o la superficie de montaje del cubo 6 en el ángulo deseado. Tradicionalmente, las palas 5 forman una conicidad de aproximadamente 2° y aproximadamente 4° es el ángulo de conicidad máximo en la mayor parte de los casos.

En otra forma de realización de la invención, el ángulo de conicidad de las palas 5 se puede establecer o controlar individualmente.

En una forma de realización adicional, la turbina eólica 1 puede comprender dos palas 5 rígidamente unidas en el eje de giro del rotor 7, o en la proximidad del mismo en el que las palas 5 estarán conectadas al cubo 6 a través de algún tipo de articulación, permitiendo que las dos palas 5 simultáneamente se puedan inclinar ligeramente con relación al eje de giro del rotor 7. Esta inclinación puede ser controlada activamente o puede ocurrir como una reacción a una turbina eólica específica o a las condiciones del viento.

La figura 3 ilustra una turbina eólica moderna grande 1 con una pala 5 en una posición azimutal A de 90° , en vista frontal.

En esta forma de realización de una turbina eólica 1 según la invención una de las palas de la turbina eólica 5 está ilustrada en un ángulo azimutal A de 90° .

Dado el sentido de giro 14 del rotor 4 de la presente turbina eólica 1 y puesto que el plano del rotor 24 está inclinado, la pala 5 en el ángulo azimutal A de 90° se desplaza hacia abajo y de ese modo ligeramente al interior del viento incidente 13.

La figura 4 ilustra una sección transversal de la pala 5 ilustrada en una posición azimutal A de 90° en la figura 3, como se ve desde el lado.

Cuando la pala 5 está girando, el NA de inclinación y la conicidad del rotor 4 resulta en un componente de la velocidad en la dirección axial 22, que cambia constantemente de magnitud para la pala 5 como una función de la posición azimutal A.

Cuando la pala 5 está en la posición azimutal A de 90° la velocidad axial 20 de la pala 5 es máxima debido a la inclinación y debido al NA de inclinación y porque la pala 5 se desplaza hacia abajo, la dirección de esta velocidad axial 20 es contra el viento incidente 23. Esto comporta que la pala 5 "ve" una velocidad del viento incidente más alta 23 y por lo tanto un ángulo de ataque AoA mayor y también una velocidad del viento relativa más alta 21 que pasa por la pala 5.

Como se ha explicado anteriormente, uno de los factores más importantes con respecto a la emisión de ruido es el ángulo de ataque AoA de las palas y la pala 5 en la turbina eólica actual 1 producirá por lo tanto más ruido cuando se desplace hacia abajo y particularmente cuando la pala 5 esté en el ángulo azimutal A de 90° y en la proximidad del mismo.

Mediante el procedimiento según la invención, se intenta compensar este componente axial de la velocidad extra 20 intentando mantener el ángulo de ataque AoA a un ángulo deseado sustancialmente constante ajustando el ángulo de paso de la pala 5 de modo que el borde de salida 26 se desplace en la dirección del viento incidente 13 y el borde de ataque 23 se desplace ligeramente fuera del viento incidente 13 cuando el ángulo azimutal A está comprendido entre 0° y 180° esto es cuando las palas se desplazan hacia abajo.

Es importante señalar que debido a otros esquemas de control puede resultar ventajoso hacer

que el ángulo de ataque AoA varíe incluso en un único giro del rotor, pero según la presente invención resulta ventajoso mantener el ángulo de ataque AoA sustancialmente constante a un nivel fuera de la influencia del plano del rotor 24 un NA inclinado y por lo menos visto sobre un giro del rotor 4 nivelar el ruido o la generación de energía de la pala 5.

5 Cuánto y cuándo se ajusta exactamente el ángulo de paso A depende de una serie de factores. En primer lugar, depende del ángulo azimutal A y como se ha explicado anteriormente está en un ángulo azimutal de 90° y 270° o en la proximidad del mismo cuando el problema es más profundo, cuando el plano del rotor 24 está inclinado de modo que el viento incidente 13 no es perpendicular al plano del rotor 24. Cuánto y cuándo se ajusta exactamente el ángulo de paso A también depende del ángulo de paso real de la pala 5 en la situación determinada y el ángulo de paso real puede depender, por ejemplo, de la velocidad del viento incidente 23, la velocidad de giro del rotor 4, el diseño de la pala y otros factores.

10 La figura 5 ilustra una turbina eólica moderna grande 1 con una pala 5 en una posición A de un ángulo azimutal de 270°, como se ve desde delante.

15 En esta forma de realización de una turbina eólica 1 según la invención una de las palas de la turbina eólica 5 está ilustrada en un ángulo azimutal A de 270°.

 Dado el sentido de giro 14 del rotor 4 de la turbina eólica actual 1 y puesto que el plano del rotor 24 está inclinado la pala 5 en el ángulo azimutal A de 270° se desplaza hacia arriba y por lo tanto ligeramente fuera del viento incidente 13.

20 La figura 6 ilustra una sección transversal de la pala 5 ilustrada en una posición azimutal A de 270° en la figura 5, como se ve desde el lado.

 Cuando la pala 5 está en la posición azimutal A de 270° la situación del flujo es opuesta a lo que se ha descrito en la figura 4. La velocidad axial 20 de la pala 5 es máxima debido al NA de inclinación y la dirección se aleja del viento incidente 13. Esto significa que la pala 5 "ve" una velocidad del viento incidente más baja 23 y por lo tanto un ángulo de ataque AoA menor y también una velocidad del viento relativa más baja 21 que pasa por la pala 5.

25 Puesto que el ángulo de ataque AoA de las palas es menor que el promedio en esta situación, lo más probablemente es que la pala genere menos ruido o el nivel de ruido por lo menos no se elevará. Sin embargo, el ángulo de ataque AoA menor puede derivar en una salida inferior de la pala 5 porque la pala 5 deja de funcionar en el ángulo de ataque AoA óptimo.

30 En esta forma de realización de la invención, el ángulo de paso de la pala 5, por lo tanto, se ajusta de modo que el borde de ataque 25 se desplace en la dirección del viento incidente 13 y el borde de salida 26 se desplace en la dirección opuesta por lo menos hasta un cierto punto cuando el ángulo azimutal A de las palas está comprendido entre 180° y 360° esto es cuando la pala 5 se desplaza hacia arriba.

35 La figura 7 ilustra la emisión de ruido en diferentes momentos para una turbina eólica 1 de la técnica anterior y una turbina eólica según la invención.

 En el presente sistema de coordenadas, el eje de abscisas representa la cantidad de ruido que emite la pala 5 NE y el eje de ordenadas representa el tiempo T.

40 La línea de puntos superior 10 ilustra un nivel de ruido crítico específico que no debe ser excedido si la turbina eólica 1 quiere cumplir con los requisitos de máxima emisión de ruido establecidos para el lugar específico.

 La distancia 9 ilustra el margen de seguridad para la emisión de ruido máxima permisible 10, la cual normalmente se mantiene para permitir picos repentinos en la emisión de ruido por ejemplo debido a ráfagas de viento sin que se exceda la emisión máxima de ruido permisible 10.

45 La curva de puntos 11 ilustra la emisión de ruido desde una pala específica 5 de una turbina eólica 1 de la técnica anterior con un plano del rotor inclinado 24 durante cinco giros completos. Como se ilustra, la emisión de ruido fluctúa mucho con el ángulo azimutal A de la pala 5 haciendo que el nivel de ruido promedio relativamente bajo y por lo tanto por lo menos hasta cierto punto causando también que la salida de la pala 5 sea relativamente baja.

50 La curva continua 12 ilustra la emisión de ruido desde una pala específica 5 de una turbina eólica 1 según la invención con un plano del rotor inclinado 24 también durante cinco giros completos. Cuando el ángulo de paso de la pala 5 se ajusta ocasional o constantemente para conseguir un ángulo de ataque AoA más constante de la pala 5, la emisión de ruido de la pala 5 también se hace más constante y previsible y, por lo tanto, es posible que funcione la pala 5 a una emisión de ruido promedio más alta y de ese modo, una salida promedio más alta sin aumentar el riesgo de exceder la emisión de ruido máxima permisible 10.

55

Las figuras 8 y 9 ilustran en dos sistemas de coordenadas la relación del ángulo de ataque AoA sobre la envergadura del ala respecto al ángulo azimutal A para velocidades del viento de 8 metros/segundo y 11 metros/segundo respectivamente.

5 El eje de abscisas representa el ángulo de ataque AoA y el eje de ordenadas representa la envergadura del ala en donde 0 es equivalente a la raíz de la pala 5 y 1 es equivalente a la punta de la pala 5.

La primera curva (continua) 27 ilustra un ángulo azimutal A de 90°, la segunda curva (línea discontinua) 28 ilustra un ángulo azimutal A de 0°, la tercera curva (líneas y puntos) 29 ilustra un ángulo azimutal A de 180° y la cuarta curva (línea de puntos) 30 ilustra un ángulo azimutal A de 270°.

10 Los dos sistemas de coordenadas ilustran que la variación del ángulo azimutal A produce una gran variación del ángulo de ataque AoA cuando la pala 5 está en o cerca de la posición azimutal A de 90° y 270°. La diferencia en el ángulo de ataque AoA es especialmente grande en la parte interior de la pala 5 debido a la influencia de la velocidad axial 20 a partir del NA de inclinación que tiene una influencia relativamente mayor en la parte interior de la pala 5 debido a la velocidad mucho menor.

15 La diferencia entre la posición azimutal de 0° y 180° (la pala en la posición superior y en la posición inferior) es debida a la inclinación, la conicidad o la combinación de la inclinación y la conicidad del rotor 4.

20 La invención se ha ejemplificado anteriormente en la presente memoria haciendo referencia a ejemplos específicos de unas turbinas eólicas 1, unas palas 5, unos procedimientos de control y otros. Sin embargo, se debe comprender que la invención no está limitada a los ejemplos particulares descritos anteriormente en la presente memoria, sino que puede ser diseñada y modificada en multitud de variedades dentro del alcance de la invención tal como se especifica en las reivindicaciones.

LISTA

- 1. Turbina eólica
- 25 2. Torre
- 3. Góndola
- 4. Rotor
- 5. Pala
- 6. Cubo
- 30 7. Eje de giro del rotor
- 8. Eje longitudinal de la pala
- 9. Margen de seguridad del ruido
- 10. Emisión de ruido máxima permitida previamente definida
- 11. Curva de emisión de ruido de una turbina eólica conocida
- 35 12. Curva de emisión de ruido de una turbina eólica según la invención
- 13. Viento incidente
- 14. Sentido de giro
- 15. Caja de engranajes
- 16. Sistema de frenado
- 40 17. Generador
- 18. Convertidor
- 19. Estructura de la góndola
- 20. Componente axial de la velocidad
- 21. Velocidad relativa del viento

- 5
- 22. Velocidad tangencial de la pala
 - 23. Velocidad del viento del viento incidente
 - 24. Plano del rotor
 - 25. Borde de ataque
 - 26. Borde de salida
 - 27. Curva que ilustra un ángulo azimutal de 90°
 - 28. Curva que ilustra un ángulo azimutal de 0°
 - 29. Curva que ilustra un ángulo azimutal de 180°
 - 30. Curva que ilustra un ángulo azimutal de 270°
- 10
- NA Ángulo de funcionamiento normal
 - AoA Ángulo de ataque
 - NE Emisión de ruido
 - T Tiempo
 - A Ángulo azimutal

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para el funcionamiento de una turbina eólica (1) que comprende un rotor (4) con una serie de palas de la turbina eólica (5), en el que dicho eje de giro (7) de dicho rotor está inclinado con relación a la dirección del viento incidente (13), comprendiendo dicho procedimiento las etapas siguientes:

- 5
- determinar el ángulo azimutal (A) de las palas (5) y
 - ajustar el ángulo de paso de dichas palas (5) según dicho ángulo (A) azimutal para asegurar un ángulo de ataque (AoA) sustancialmente constante durante por lo menos un giro completo de dicho rotor (4).

10 2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que el ángulo de paso de dichas palas (5) se ajusta, de tal modo que el borde de salida (26) se desplace en la dirección del viento incidente (13) y el borde de ataque (25) se desplace en la dirección opuesta por lo menos hasta un cierto punto cuando dicho ángulo azimutal (A) de dichas palas (5) está comprendido entre 0° y 180° , es decir, cuando las palas (5) se desplazan hacia abajo.

15 3. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, en el que el ángulo de paso de dichas palas (5) se ajusta, de tal modo que el borde de ataque (25) se desplace en la dirección del viento incidente (13) y el borde de salida (26) se desplace en la dirección opuesta por lo menos hasta un cierto punto cuando dicho ángulo azimutal (A) de dichas palas (5) está comprendido entre 180° y 360° , es decir, cuando las palas (5) se desplazan hacia arriba.

20 4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho ángulo de paso de dichas palas (5) se ajusta además según la velocidad actual (23) del viento incidente (13).

5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho ángulo de paso de dichas palas (5) se ajusta además según la velocidad de giro actual de dicho rotor (4).

25 6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho ángulo de paso se ajusta además cuando dicho ángulo azimutal (A) está comprendido entre 10° y 170° y entre 190° y 350° , preferentemente entre 30° y 150° y entre 210° y 330° y más preferentemente entre 60° y 120° y entre 240° y 300° .

7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho ángulo de paso de dichas palas (5) se puede ajustar individualmente.

30 8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho eje de giro del rotor (7) está inclinado de tal modo que la parte inferior del plano del rotor (24) se desplace en la dirección del viento incidente (13) y la parte superior del plano del rotor (24) se desplace en la dirección alejándose del viento incidente (13).

35 9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho rotor (4) es cónico en el sentido de que una o más de dichas palas (5) forma total o parcialmente un ángulo hacia delante en la dirección del viento incidente (13) tal como entre 1° y 7° hacia delante con relación al plano del rotor (24).

10. Turbina eólica (1) que comprende unos medios de control para realizar un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

40 11. Turbina eólica (1) según la reivindicación 10, en la que dicha turbina eólica (1) comprende medios para el ajuste del ángulo de paso de las palas (5) individualmente.

12. Turbina eólica (1) según la reivindicación 10 u 11, en la que dicha turbina eólica (1) es una turbina eólica de paso de velocidad variable (1).

13. Utilización de un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9 para reducir la emisión de ruido desde una turbina eólica (1).

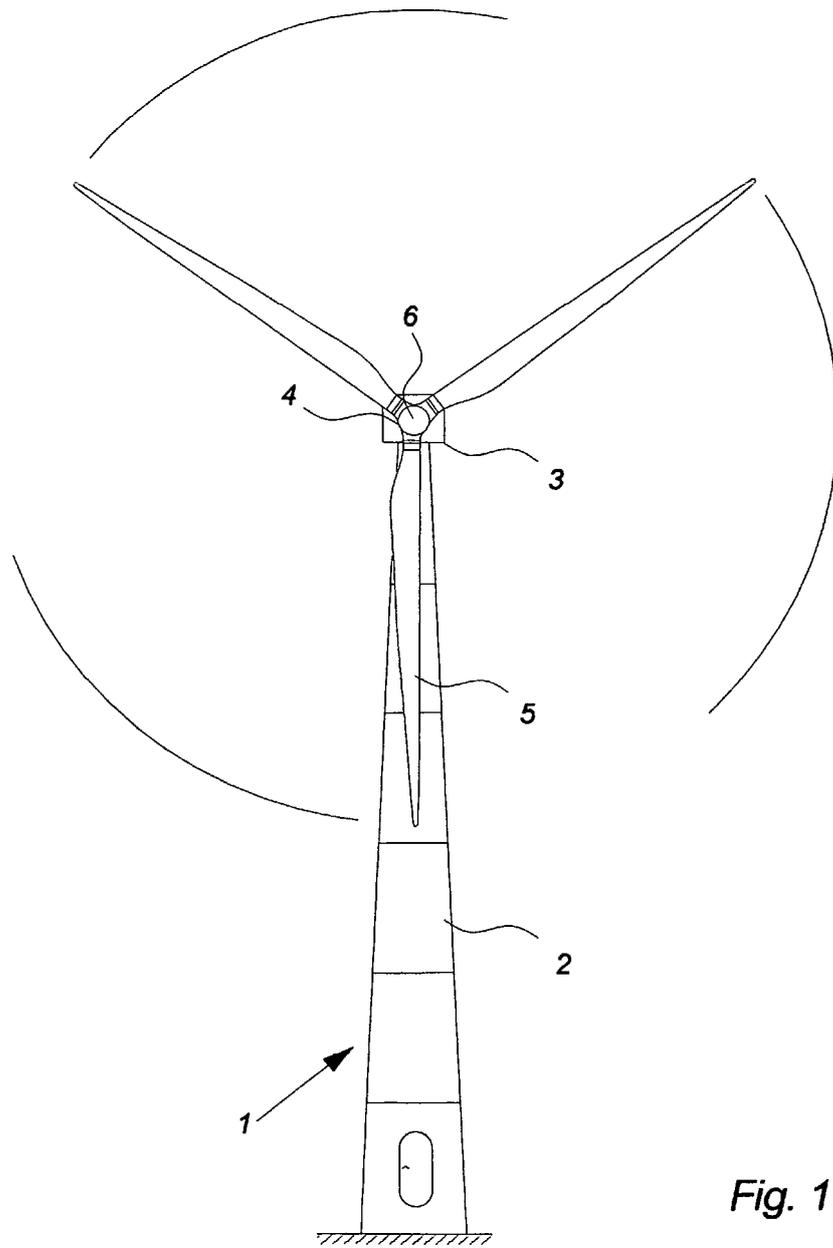


Fig. 1

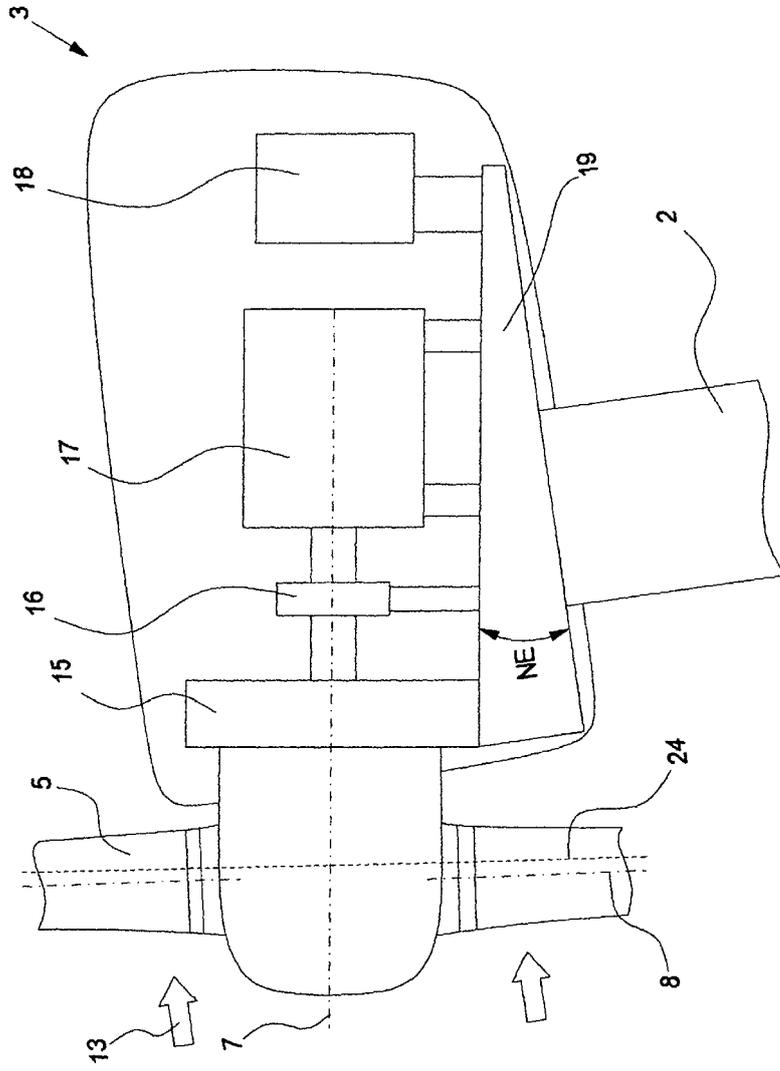
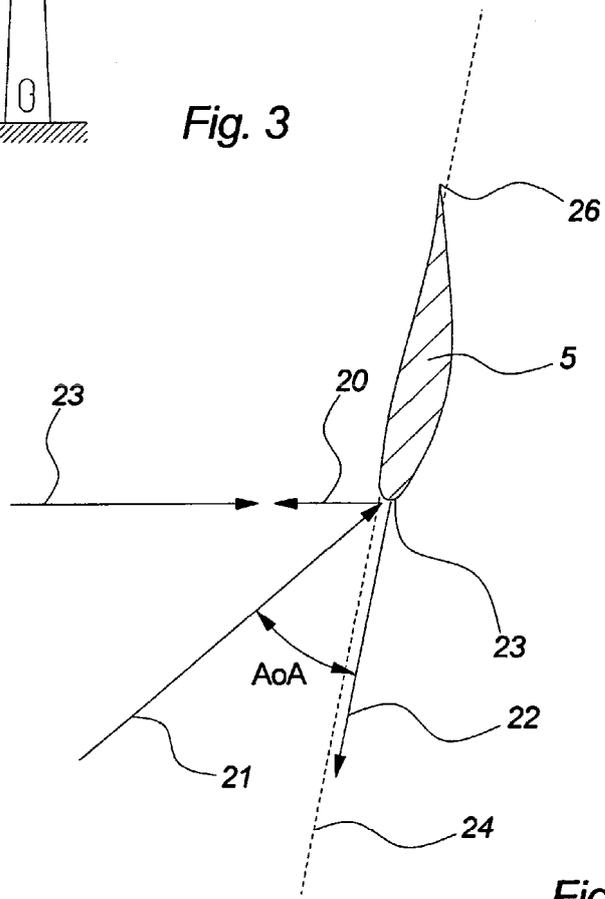
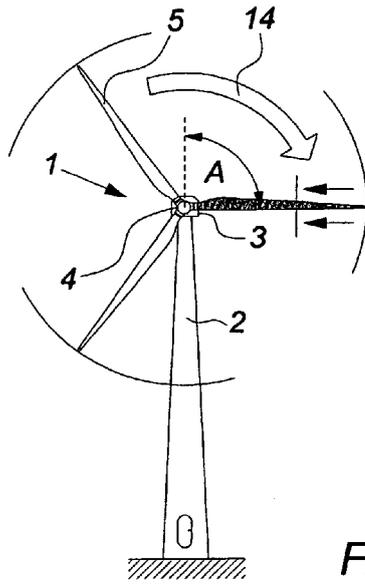
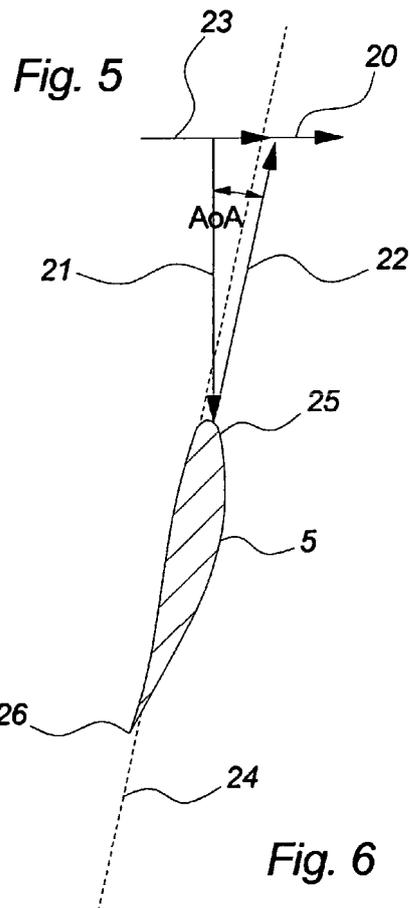
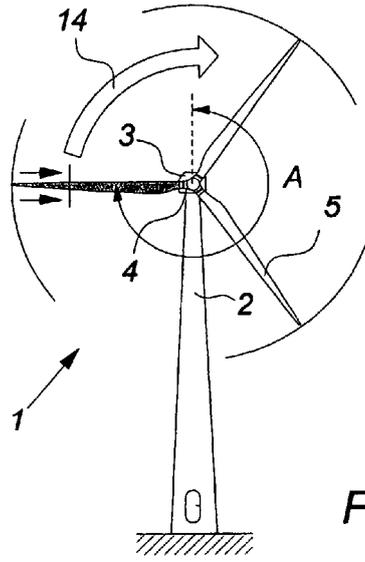


Fig. 2





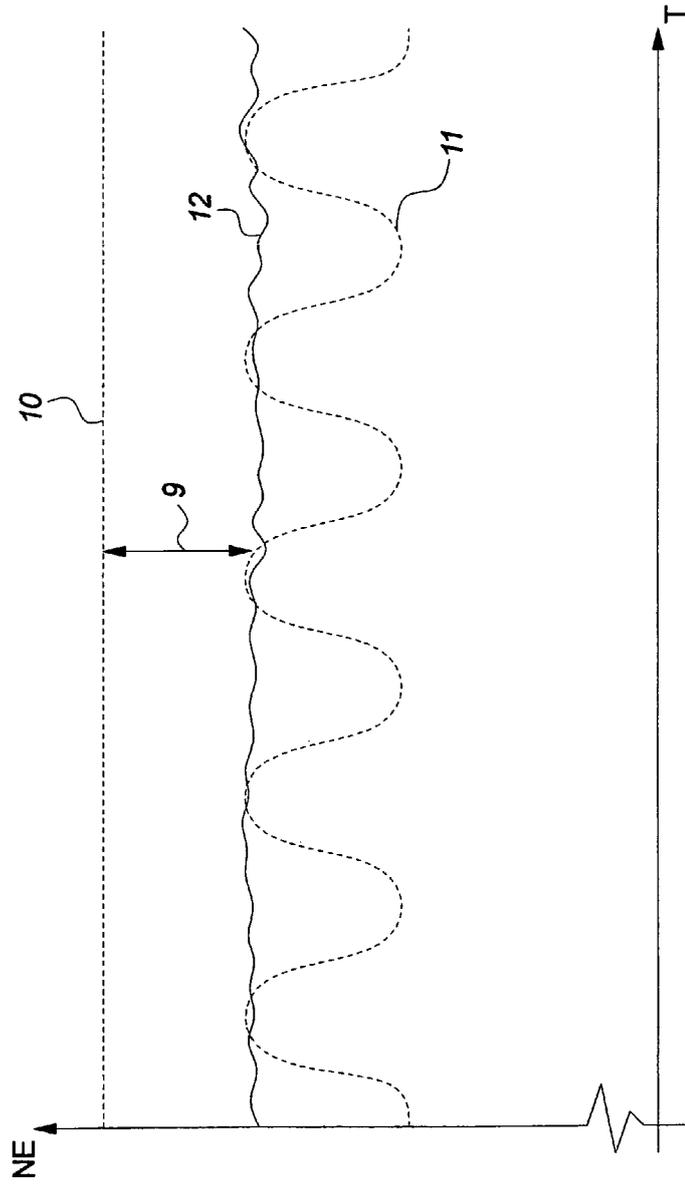


Fig. 7

Fig. 8

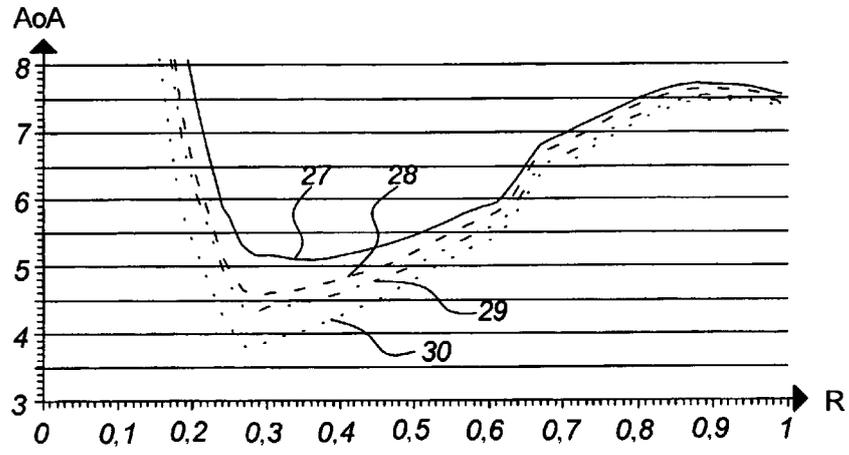


Fig. 9

