

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 925 704**

51 Int. Cl.:

F03D 1/06 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.06.2019** **PCT/DK2019/050182**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.12.2019** **WO19238190**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.06.2019** **E 19731591 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.08.2022** **EP 3807520**

54 Título: **Turbina eólica con palas articuladas en una posición intermedia**

30 Prioridad:

14.06.2018 DK PA201870395

13.09.2018 DK PA201870588

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
19.10.2022

73 Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)

Hedeager 42

8200 Aarhus N, DK

72 Inventor/es:

NIELSEN, THOMAS S. BJERTRUP y

ANDERSEN, PETER BJØRN

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 925 704 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Turbina eólica con palas articuladas en una posición intermedia

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a una turbina eólica que comprende una torre, una góndola y un buje que comprende una estructura de soporte de palas. Una o más palas de turbina eólica están conectadas de manera pivotante a la estructura de soporte de palas a través de articulaciones.

10 Antecedentes de la invención

Las turbinas eólicas normalmente se controlan para proporcionar una salida de potencia deseada y para controlar cargas sobre la turbina eólica. Para turbinas eólicas de eje horizontal, es decir, turbinas eólicas con un rotor que rota alrededor de un eje de rotación sustancialmente horizontal, esto puede obtenerse controlando un ángulo de paso de las palas de turbina eólica. En este caso, el ángulo de ataque de las palas de turbina eólica con respecto al viento entrante se ajusta rotando las palas de turbina eólica alrededor de un eje longitudinal.

El control de paso tradicional como se describió anteriormente requiere controladores basados en sensores, así como partes mecánicas, por ejemplo, en forma de cojinetes de regulación de paso y unidades de accionamiento. Tales controladores y piezas mecánicas requieren mantenimiento. Esto puede ser difícil en el caso de que la turbina eólica se coloque en una ubicación remota. En este caso, el fallo o la ruptura pueden conducir a un extenso tiempo de inactividad, por ejemplo, debido al largo tiempo de transporte para el personal de mantenimiento o al largo tiempo de entrega de las piezas de repuesto. Por lo tanto, es deseable proporcionar una turbina eólica que pueda controlarse de manera simple, y donde los requisitos de mantenimiento se reducen en comparación con turbinas eólicas de paso controlado tradicionales.

El documento US 4.632.637 da a conocer una turbina eólica de eje horizontal alta velocidad a sotavento que tiene tres palas ligeras espaciadas circunferencialmente que tienen brazos de soporte internos dispuestos radialmente hacia fuera segmentos de pala que están conectados de manera pivotante a los brazos de soporte, para plegarse directamente a sotavento en condiciones de viento alto o altas velocidades de rotación. Otro ejemplo de una turbina eólica de eje horizontal a sotavento con palas pivotantes se da a conocer en el documento US 2005/196281 A1.

35 Descripción de la invención

Es un objeto de realizaciones de la invención proporcionar una turbina eólica con palas de turbina eólica articuladas, en la que las palas de turbina eólica se pliegan automática y eficientemente hacia dentro a altas velocidades del viento y/o altas velocidades de rotación, y en la que las palas de turbina eólica están configuradas para una extracción eficiente de energía del viento.

Es un objeto adicional de realizaciones de la invención proporcionar una turbina eólica con palas de turbina eólica articuladas, en la que la cantidad de material usado para las palas de turbina eólica se reduce en comparación con turbinas eólicas similares de la técnica anterior.

La invención proporciona una turbina eólica que comprende una torre, una góndola montada en la torre a través de un sistema de guiñada, un buje montado de manera rotatoria en la góndola, comprendiendo el buje una estructura de soporte de palas, y una o más palas de turbina eólica conectadas a la estructura de soporte de palas, en la que cada una de las palas de turbina eólica define un perfil aerodinámico que tiene una cuerda que varía a lo largo de una longitud de la pala de turbina eólica entre un extremo de punta interior y un extremo de punta exterior, y en la que cada una de las palas de turbina eólica está conectada a la estructura de soporte de palas a través de una articulación en una posición de articulación de la pala de turbina eólica, estando dispuesta de este modo cada pala de turbina eólica para realizar movimientos de pivote con respecto a la estructura de soporte de palas entre un ángulo de pivote mínimo y un ángulo de pivote máximo, estando dispuesta la posición de articulación a una distancia del extremo de punta interior y a una distancia del extremo de punta exterior, y en la que la cuerda en la posición de articulación es mayor o igual que la cuerda en el extremo de punta interior y mayor que la cuerda en el extremo de punta exterior.

Por lo tanto, la turbina eólica de la invención comprende una torre con una góndola montada sobre la misma, a través de un sistema de guiñada. Por consiguiente, la góndola puede rotar alrededor de un eje de rotación sustancialmente vertical, con respecto a la torre, con el fin de dirigir un rotor de la turbina eólica al viento entrante. El sistema de guiñada puede ser un sistema de guiñada activo en el que la góndola se rotate manera activa por medio de un mecanismo de accionamiento de guiñada, por ejemplo, basándose en mediciones de la dirección del viento. Como alternativa, el sistema de guiñada puede ser un sistema de guiñada pasiva en el que la góndola rota automáticamente según la dirección del viento sin el uso de un mecanismo de accionamiento de guiñada.

La góndola puede ser una góndola tradicional que tiene una pared exterior que encierra un interior de la góndola, alojando la góndola diversos componentes de la turbina eólica, tal como un generador, tren de accionamiento, etc.

Como alternativa, la góndola puede ser simplemente una estructura que es capaz de realizar movimientos de guiñada con respecto a la torre. En este caso, algunos o todos los componentes descritos anteriormente pueden estar dispuestos fuera de la góndola, por ejemplo, en una parte interior de la torre.

5 Un buje está montado de manera rotatoria en la góndola. El buje comprende una estructura de soporte de palas que tiene una o más palas de turbina eólica conectadas a la misma. Por consiguiente, las palas de turbina eólica rotan junto con el buje y la estructura de soporte de palas en relación con la góndola.

La turbina eólica es preferiblemente una turbina eólica de eje horizontal.

10 Cada una de las palas de turbina eólica define un perfil aerodinámico que tiene una cuerda que varía a lo largo de una longitud de la pala de turbina eólica entre un extremo de punta interior y un extremo de punta exterior.

15 El perfil aerodinámico puede tener un lado de succión y un lado de presión, extendiéndose el lado de succión y el lado de presión entre un borde de ataque y un borde de salida del perfil aerodinámico. Por consiguiente, el lado de succión y el lado de presión se encuentran en el borde de ataque y en el borde de salida. El aire que fluye a través del perfil aerodinámico fluye desde el borde de ataque, a lo largo del lado de succión y el lado de presión, respectivamente, y hacia el borde de salida. En el borde de ataque, el flujo de aire desde el lado de succión y el flujo de aire desde el lado de presión se vuelven a unir. Una diferencia en la distancia recorrida del flujo de aire a lo largo del lado de succión y el lado de presión provoca una sustentación aerodinámica en el perfil aerodinámico, permitiendo así que la pala de turbina eólica extraiga energía del viento. Por lo tanto, el perfil aerodinámico de las palas de turbina eólica garantiza que las palas de turbina eólica sean capaces de extraer energía del viento.

25 El borde de ataque y el borde de salida se extienden cada uno entre el extremo de punta interior y el extremo de punta exterior. Por lo tanto, el borde de ataque así como el borde de salida se extienden a lo largo de toda la longitud de la pala de turbina eólica.

30 En el presente contexto, el término "extremo de punta interior" debe interpretarse que significa una extremidad de la pala de turbina eólica que está dispuesta lo más cerca del buje. De manera similar, en el presente contexto, el término "extremo de punta exterior" debe interpretarse como una extremidad de la pala de turbina eólica que está dispuesta lo más lejos del buje. Debe indicarse que los términos "lo más cerca del buje" y "lo más lejos del buje" se refieren a las posiciones de los extremos de punta dentro de un intervalo de ángulo de pivote que se produce durante el funcionamiento normal de la turbina eólica. Por lo tanto, cada pala de turbina eólica se extiende a lo largo de una dirección longitudinal entre el extremo de punta interior y el extremo de punta exterior de la pala de turbina eólica. En el presente contexto, el término "dirección longitudinal" debe interpretarse que significa una dirección en la que la pala de turbina eólica es más larga que en cualquier otra dirección. Por lo tanto, el extremo de punta interior y el extremo de punta exterior forman extremidades de la pala de turbina eólica en esta dirección longitudinal.

40 En el presente contexto, el término "cuerda" debe interpretarse que significa una distancia entre un borde de ataque y un borde de salida de la pala de turbina eólica. Por consiguiente, esta distancia varía en función de la posición a lo largo de la longitud de la pala de turbina eólica.

45 Cada una de las palas de turbina eólica está conectada a la estructura de soporte de palas a través de una articulación en una posición de articulación de la pala de turbina eólica. De este modo, cada pala de turbina eólica está dispuesta para realizar movimientos de pivote con respecto a la estructura de soporte de palas, a través de la articulación. Los movimientos pivotantes tienen lugar preferiblemente alrededor de un eje de pivote que está dispuesto sustancialmente perpendicular a la dirección longitudinal de la pala de turbina eólica. Por consiguiente, durante los movimientos pivotantes de las palas de turbina eólica, el extremo de punta interior y el extremo de punta exterior son las partes de las palas de la turbina eólica, a cada lado de la posición de articulación, que se mueven la distancia más larga, y la dirección longitudinal de la pala de turbina eólica se hace pivotar.

50 De este modo, se define un ángulo de pivote entre cada pala de turbina eólica y la estructura de soporte de palas, dependiendo de la posición de la articulación y, por lo tanto, de la pala de turbina eólica en relación con la estructura de soporte de palas. Por consiguiente, el ángulo de pivote define la dirección a lo largo de la cual una pala de turbina eólica dada se extiende con respecto a la estructura de soporte de palas, y, por lo tanto, en relación con el buje. Esto, a su vez, determina un diámetro de rotor, y, por lo tanto, la capacidad de la turbina eólica para extraer energía del viento.

60 La articulación puede ser o comprender un cojinete, por ejemplo, en forma de cojinete de deslizamiento, un cojinete de rodillos, o cualquier otro tipo adecuado de cojinete.

El ángulo de pivote puede variar entre un ángulo de pivote mínimo, que define un diámetro de rotor mínimo, y un ángulo de pivote máximo, que define un diámetro de rotor máximo.

65 La posición de articulación está dispuesta en la pala de turbina eólica a una distancia del extremo de punta interior y a una distancia del extremo de punta exterior. Por consiguiente, la pala de turbina eólica está articulada con respecto

a la estructura de soporte de palas en una posición que no está en un extremo de la pala de turbina eólica, a diferencia de las turbinas eólicas de control de paso convencionales, donde las palas de turbina eólica están unidas al buje en un extremo de raíz de la pala de turbina eólica.

- 5 La cuerda en la posición de articulación es mayor o igual que la cuerda en el extremo de punta interior y mayor que la cuerda en el extremo de punta exterior. Esto es posible porque las cargas de pala aumentan hacia la articulación tanto en la parte interior como en la exterior de la pala, y debido a que ni la parte interior, ni la parte exterior de la pala de turbina eólica necesita que se realice un cambio en el perfil aerodinámico hacia una forma circular, que es un requisito para palas de turbina eólica más clásicas conectadas a un buje a través de un sistema de regulación de paso. De este modo, la parte de la pala de turbina eólica que está dispuesta entre la posición de articulación y el extremo de punta exterior, así como la parte de la pala de turbina eólica que está dispuesta entre la posición de articulación y el extremo de punta interior pueden definir perfiles aerodinámicos y geometría de pala óptimos, es decir, perfiles y geometría que contribuyen a extraer más energía del viento. Además, puede evitarse el exceso de material de pala de turbina eólica, por ejemplo, debido a las cargas más bajas y debido a la falta de requisitos para transferir el perfil de pala a una forma circular. De este modo, el peso de las palas de turbina eólica puede reducirse en comparación con las palas de turbina eólica tradicionales. Además, se encuentra que tal forma de la pala de turbina eólica reduce las pérdidas de punta, y basándose en investigaciones en profundidad se encuentra que genera un control de pivote más estable cuando las palas están cerca del ángulo de pivote mínimo.
- 10
- 15
- 20 La posición de articulación de cada una de las palas de turbina eólica puede estar en una posición que define una cuerda máxima. Según esta realización, la posición de articulación define la posición a lo largo de la longitud de la pala de turbina eólica donde la cuerda es la más grande. Por consiguiente, la cuerda será más pequeña en cualquier otra posición distinta a la posición de articulación.
- 25 Como alternativa, puede haber posiciones a lo largo de la longitud de la pala de turbina eólica donde la cuerda es mayor que en la posición de articulación, siempre que la cuerda en la posición de articulación sea mayor o igual que la cuerda en el extremo de punta interior, así como mayor que la cuerda en el extremo de punta exterior.
- 30 La cuerda del perfil aerodinámico de cada una de las palas de turbina eólica puede disminuir desde la posición de articulación hacia el extremo de punta interior y desde la posición de articulación hacia el extremo de punta exterior. Según esta realización, la cuerda es máxima en la posición de articulación, y disminuye continuamente hacia cuerdas mínimas en los extremos de la punta interior y exterior.
- 35 Como alternativa, la cuerda puede variar de manera no monótona desde la posición de articulación hacia el extremo de punta interior y/o hacia el extremo de punta exterior.
- 40 Cada una de las palas de turbina eólica puede tener un centro de masa para la pala de turbina eólica en reposo, estando situado el centro de masa entre la posición de articulación y el extremo de punta interior de la pala de turbina eólica. Según esta realización, el centro de masa para la pala de turbina eólica está dispuesto en una parte de la pala de turbina eólica que está dispuesta más cerca del buje que la posición de articulación. En este caso, cuando el buje rota en relación con la góndola, una fuerza centrífuga actúa sobre cada una de las palas de turbina eólica, en la posición del centro de masa. De este modo, la fuerza centrífuga tenderá a empujar la parte de la pala de turbina eólica dispuesta entre la posición de articulación y el extremo de punta interior, es decir, la parte de la pala de turbina eólica donde está dispuesto el centro de masa, en una dirección hacia fuera. Esto hará que las palas de turbina eólica pivoten a través de las articulaciones de tal manera que las palas de turbina eólica se hagan rotar hacia una posición donde la dirección longitudinal de las palas de turbina eólica está dispuesta sustancialmente paralela al eje de rotación del buje. De este modo, las palas de turbina eólica se hacen pivotar de tal manera que se reduce el diámetro de rotor. Cuanto mayor sea la velocidad de rotación, más pivotarán las palas de turbina eólica hacia esta posición.
- 45
- 50 Por lo tanto, según esta realización, el diámetro de rotor se reduce automáticamente a medida que aumenta la velocidad de rotación del buje. Por consiguiente, el diámetro de rotor, y, por lo tanto, la capacidad de la turbina eólica para extraer energía del viento, se ajusta automáticamente según la velocidad del viento predominante, sin requerir algoritmos de control complicados o mantenimiento que requieran partes mecánicas, tales como mecanismos de regulación de paso, etc.
- 55 Alternativa o adicionalmente, fuerzas aerodinámicas que actúan sobre los perfiles aerodinámicos de las palas de turbina eólica pueden hacer que las palas de turbina eólica pivoten de tal manera que el diámetro de rotor se reduzca a medida que aumenta la velocidad del viento. En una realización preferida, la fuerza centrífuga y las fuerzas aerodinámicas funcionan de manera conjunta para reducir el diámetro de rotor a medida que aumenta la velocidad del viento, es decir, no se contrarrestan entre sí. Para algunas turbinas eólicas, por ejemplo, turbinas eólicas pequeñas, la fuerza centrífuga puede ser el factor dominante con respecto a garantizar que las palas de turbina eólica pivoten hacia un diámetro de rotor más pequeño. Para otras turbinas eólicas, por ejemplo, turbinas eólicas más grandes, las fuerzas aerodinámicas pueden ser el factor dominante.
- 60
- 65 La turbina eólica puede comprender además una masa de equilibrio dispuesta en la góndola en una posición opuesta a una posición de unión del buje. El buje y la masa de equilibrio pueden estar dispuestos preferiblemente en lados

opuestos de la torre en el sentido de que el buje y la masa de equilibrio están dispuestos en partes de la góndola que están posicionadas en lados opuestos de una región de la góndola que define una interfaz hacia la torre. El buje y las palas de turbina eólica conectadas al mismo normalmente serán relativamente pesadas, y la gravedad que actúa sobre el buje y las palas de turbina eólica de ese modo puede introducir cargas sustanciales en la turbina eólica.

5 Posicionando una masa de equilibrio en la góndola de la manera descrita anteriormente, las cargas introducidas por la gravedad que actúa sobre el buje y las palas de turbina eólica, en particular momentos de basculación, se contrarrestan al menos parcialmente. El peso de la masa de equilibrio puede seleccionarse de tal manera que equilibre con precisión el peso del buje y las palas de turbina eólica.

10 La turbina eólica puede ser una turbina eólica a sotavento. Según esta realización, el rotor está orientado en sentido opuesto al viento entrante, es decir, el viento alcanza las palas de turbina eólica después de haber pasado la góndola. Las turbinas eólicas a sotavento son muy adecuadas para aplicar sistemas de guiñada pasiva, es decir, sistemas de guiñada que dirigen automáticamente el rotor de la turbina eólica hacia el viento entrante sin el uso de accionamientos de guiñada y sistemas de control. Esto reduce aún más la necesidad de componentes que sean propensos a requerir mantenimiento. Además, en las turbinas eólicas a sotavento, puede disponerse un sistema de enfriamiento pasivo a barlovento con respecto al rotor, permitiendo de ese modo un enfriamiento mejorado de diversos componentes de turbina eólica.

15 Como alternativa, la turbina eólica puede ser una turbina eólica a barlovento, en cuyo caso el rotor se orienta hacia el viento entrante.

20 Como alternativa, la turbina eólica puede ser una turbina eólica a barlovento, en cuyo caso el rotor se orienta hacia el viento entrante.

La turbina eólica puede comprender además medios de desviación que desvían las palas de turbina eólica hacia una posición que proporciona un diámetro de rotor máximo de la turbina eólica. Según esta realización, las palas de turbina eólica estarán en una posición que proporciona un diámetro de rotor máximo cuando no actúen otras fuerzas sobre las palas de turbina eólica. En particular, cuando la velocidad del viento es baja y el buje, por lo tanto, no rota, o solo rota a una velocidad de rotación baja, ninguna o solo una pequeña fuerza centrífuga actúa sobre las palas de turbina eólica. Dado que los medios de desviación desvían las palas de turbina eólica hacia un diámetro de rotor máximo, el diámetro de rotor es grande en estas condiciones. De este modo, se garantiza que la turbina eólica sea capaz de extraer tanta energía como sea posible del viento. También se garantiza que las palas de turbina eólica estén realmente en una posición en la que sean capaces de atrapar el viento y hacer que el buje rote una vez que aumenta la velocidad del viento.

Por otro lado, cuando la velocidad del viento es más alta, el buje rota a una velocidad de rotación más alta, y, por lo tanto, la fuerza centrífuga que actúa sobre las palas de turbina eólica es mayor. En algún momento, la fuerza centrífuga se vuelve lo suficientemente grande como para superar al menos parcialmente la fuerza de desviación de los medios de desviación, y, por lo tanto, las palas de turbina eólica comenzarán a pivotar hacia una posición que define un diámetro de rotor mínimo, es decir, el diámetro de rotor disminuye. Debido a la fuerza de desviación, se garantiza que esta disminución en el diámetro de rotor se obtenga de manera suave y gradual.

40 Los medios de desviación podrían, por ejemplo, comprender resortes montados en las palas de turbina eólica.

La turbina eólica puede comprender además mecanismos de parada final dispuestos para ralentizar los movimientos de pivote de las palas de turbina eólica en una región cercana al ángulo de pivote mínimo y/o en una región cercana al ángulo de pivote máximo. Según esta realización, se garantiza que los movimientos pivotantes de las palas de turbina eólica no se paren abruptamente en el ángulo de pivote mínimo y/o en el ángulo de pivote máximo. En su lugar, los mecanismos de parada final garantizan que los movimientos pivotantes se paren de manera suave y gradual. Esto protege las palas de turbina eólica, así como las partes dispuestas en las proximidades de las palas de turbina eólica del daño causado por colisiones.

50 El mecanismo de parada final puede comprender un resorte y/o un amortiguador. Por ejemplo, el mecanismo de parada final podría incluir resortes montados en las palas de turbina eólica y/o almohadillas elásticas en las que las palas de la turbina eólica se apoyan en el ángulo de pivote mínimo y/o en el ángulo de pivote máximo. Los resortes podrían, por ejemplo, estar en forma de resortes torsionales dispuestos en la articulación o resortes compresibles montados entre la estructura de soporte de palas y las palas de turbina eólica. Los resortes compresibles podrían, por ejemplo, estar en un estado neutro en un ángulo de pivote medio, en un estado comprimido en ángulos de pivote más pequeños y en un estado estirado en ángulos de pivote más grandes, o viceversa. En este caso, los resortes compresibles son capaces de ralentizar los movimientos pivotantes de las palas de turbina eólica en pequeños ángulos de pivote, así como en grandes ángulos de pivote.

60 La turbina eólica puede comprender además un mecanismo de parada dispuesto para mover las palas de turbina eólica a un ángulo de pivote seguro en el caso de una emergencia. Según esta realización, las palas de turbina eólica están protegidas en caso de emergencia. Tampoco se descarta que el mecanismo de parada se active en el caso de que se desee parar el funcionamiento de la turbina eólica y mover las palas de turbina eólica al ángulo de pivote seguro por otras razones distintas a una emergencia.

65 El ángulo de pivote seguro puede disponer las palas de turbina eólica de tal manera que cada pala de turbina eólica

se extienda a lo largo de una dirección que es sustancialmente paralela a un eje de rotación del buje. Esta posición de las palas de turbina eólica define un diámetro de rotor mínimo y a veces se denomina "modo de barrena". En el caso de que el mecanismo de parada se active por otras razones que no sean una emergencia, el ángulo de pivote seguro puede disponer las palas de turbina eólica en un ángulo pequeño con respecto al eje de rotación del buje. Este ángulo puede depender de la velocidad del viento.

El mecanismo de parada puede comprender un mecanismo de liberación y al menos un cable desviado por resorte que interconecta el mecanismo de liberación y cada una de las palas de turbina eólica. En el presente contexto, el término "cable" debe interpretarse que significa una parte que interconecta el mecanismo de liberación y una de las palas de turbina eólica. El cable puede ser capaz de proporcionar una fuerza de tracción a las palas de turbina eólica. El cable podría, por ejemplo, tener la forma de un cable de acero tradicional, una cuerda, una cadena, una correa, etc. En el caso de que el cable tenga la forma de una correa, puede, por ejemplo, ser una correa de fibra de carbono, que es muy duradero y capaz de resistir el movimiento repetido sobre poleas o similares.

Según esta realización, el cable desviado por resorte mantiene las palas de turbina eólica en una posición deseada durante el funcionamiento normal. Debido a la desviación de resorte, se permite que las palas de turbina eólica, sin embargo, pivoten hacia un diámetro de rotor más pequeño en el caso de que la fuerza centrífuga que actúa sobre las palas de turbina eólica sea suficiente para superar al menos parcialmente la fuerza de desviación del resorte. De este modo, se garantiza que el diámetro de rotor se adapte automáticamente a la velocidad del viento, como se describió anteriormente.

En el caso de que sea necesario parar la turbina eólica, se activa el mecanismo de liberación, y, por lo tanto, el cable desviado por resorte se libera del mecanismo de liberación. De este modo, las palas de turbina eólica ya no se mantienen en posición por el cable, y se mueven inmediatamente hacia la posición segura.

El cable desviado por resorte puede ser un cable rígido que tiene una parte de resorte. Como alternativa, el cable desviado por resorte puede tener la forma de una cuerda elástica.

Cada pala de turbina eólica puede conectarse al mecanismo de liberación a través de un cable desviado por resorte separado. Los cables separados pueden conectarse además a mecanismos de liberación separados. Como alternativa, cada pala de turbina eólica puede estar conectada a un cable común, por ejemplo, extendiéndose dentro de la torre, a través de un cable de conexión separado. En este caso, el cable común puede estar desviado por resorte, mientras que los cables de conexión son rígidos, o los cables de conexión pueden estar desviados por resorte mientras el cable común es rígido. Como alternativa, los cables de conexión, así como el cable común, pueden estar desviados por resorte.

El mecanismo de liberación puede, por ejemplo, tener la forma de un cabrestante sobre el cual se enrolla el cable desviado por resorte. En este caso, el mecanismo de liberación puede liberarse fácilmente retirando un mecanismo de frenado del cabrestante, permitiendo de este modo que rote libremente y libere el cable desviado por resorte. El mecanismo de liberación puede estar dispuesto en una parte inferior de la torre, donde puede accederse fácilmente por el personal de mantenimiento.

La estructura de soporte de palas puede comprender uno o más brazos, y cada una de las palas de turbina eólica puede montarse en uno de los brazos de la estructura de soporte de palas.

Cada una de las palas de turbina eólica puede comprender una parte interior que incluye el extremo de punta interior y una parte exterior que incluye el extremo de punta exterior, y la parte interior y la parte exterior pueden estar unidas entre sí. Según esta realización, las palas de turbina eólica están segmentadas en el sentido de que cada una está hecha de partes separadas que están unidas entre sí para formar la pala de turbina eólica. Esto facilita el transporte de las palas de turbina eólica, dado que las partes de las palas de turbina eólica pueden transportarse por separado, y las palas de turbina eólica pueden ensamblarse en el sitio de la turbina eólica. La parte interior y la parte exterior pueden unirse entre sí en una región en o cerca de la posición de articulación. Dado que la presencia de la articulación en cualquier caso interfiere con la geometría y la estructura de la pala de turbina eólica, unir la parte interior y la parte exterior entre sí en esta región no introduce ninguna interferencia adicional significativa con la geometría y la estructura.

Como alternativa, la parte interior y la parte exterior pueden unirse entre sí en una región alejada de la posición de articulación. Por ejemplo, la posición de articulación puede estar dispuesta en la parte exterior de la pala de turbina eólica, en cuyo caso la unión entre la parte interior y la parte exterior estará dispuesta entre la posición de articulación y el extremo de punta interior. Esto puede dar como resultado que un centro de masa de la pala de turbina eólica se disponga entre la posición de articulación y el extremo de punta interior. Alternativamente, la posición de articulación puede estar dispuesta en la parte interior de la pala de turbina eólica, en cuyo caso la unión entre la parte interior y la parte exterior estará dispuesta entre la posición de articulación y el extremo de punta exterior. Esto puede reducir la longitud máxima de transporte de la parte más larga de la pala de turbina eólica.

Cada una de las palas de turbina eólica puede comprender además una parte de articulación que incluye la posición

de articulación, y la parte de articulación puede interconectar la parte interior y la parte exterior. Según esta realización, la articulación está montada en una parte separada de la pala de turbina eólica, es decir, la parte de articulación. De este modo, la parte de articulación puede diseñarse para cumplir con los requisitos en la posición de articulación, por ejemplo, con respecto a la resistencia y el grosor del material, sin tener que considerar otros requisitos que pueden ser relevantes para otras partes de la pala de turbina eólica, por ejemplo, con respecto al peso, propiedades aerodinámicas, flexibilidad, etc.

La articulación de cada una de las palas de turbina eólica puede estar incorporada en la pala de turbina eólica. Según esta realización, la articulación real no sobresale de una superficie exterior de la pala de turbina eólica, y, por lo tanto, las propiedades aerodinámicas de la pala de turbina eólica se mantienen en la región de articulación, dando como resultado una menor penalización con respecto a la producción de energía. Como alternativa, la articulación puede unirse a una superficie exterior de la pala de turbina eólica.

Cada una de las palas de turbina eólica puede estar dotada de al menos una aleta (del inglés, *winglet*). Puede disponerse una aleta en o cerca del extremo de punta interior y/o en o cerca del extremo de punta exterior de cada una de las palas de turbina eólica. La aleta puede extenderse hacia el lado de succión y/o hacia el lado de presión de la pala de turbina eólica. Dotar a las palas de turbina eólica de al menos una aleta permite un diseño con una pala de turbina eólica más corta, mientras se mantienen las propiedades aerodinámicas de una pala de turbina eólica larga. Esto es especialmente beneficioso en el extremo de punta interior, ya que acortará la pala interior, lo que dará como resultado una distancia mínima posible más grande entre la punta interior y la torre. Tal efecto reducirá la parte en voladizo requerida, es decir, la distancia requerida desde el cojinete principal hasta el centro del buje, y, como tal, reducirá las cargas en el cojinete principal. Una aleta en el extremo de punta exterior es beneficioso ya que esto reducirá la longitud de la parte exterior de pala, lo que dará como resultado un transporte de pala menos complicado y, como tal, menores costes de transporte. La aleta puede, por ejemplo, diseñarse de tal manera que la formación de vórtices de punta se reduzca o altere, reduciendo de ese modo los efectos de deflexión hacia abajo que actúa desde la punta interior y/o exterior hacia la posición de articulación.

Debe indicarse que las aletas pueden tener un ancho que excede la cuerda en el extremo de punta interior o en el extremo de punta exterior, e incluso que excede la cuerda en la posición de articulación, siempre que la cuerda en cada extremo de punta sea menor o igual que la cuerda en la posición de articulación. La cuerda en el extremo de punta en todas las realizaciones con aletas se define como la cuerda de la pala de turbina eólica antes del inicio de la aleta, es decir, la cuerda en el extremo de la estructura de pala que sostiene la aleta. Por ejemplo, el extremo de punta en todas las realizaciones con aletas puede definirse como la posición con la cuerda mínima de la pala de turbina eólica que se encuentra en la pala de turbina eólica más interior de la aleta.

Cada una de las palas de turbina eólica puede estar dotada de una masa de equilibrio. Por ejemplo, la masa de equilibrio puede estar dispuesta en una parte de pala interior, es decir, en una parte de la pala de turbina eólica que está dispuesta entre el extremo de punta interior y la posición de articulación. La aplicación de una masa de equilibrio de esta manera mueve un centro de masa de la pala de turbina eólica en reposo en una dirección hacia el extremo de punta interior, en comparación con una pala de turbina eólica idéntica sin una masa de equilibrio. De este modo, seleccionando y posicionando la masa de equilibrio de una manera apropiada, la posición del centro de masa para la pala de turbina eólica en reposo puede posicionarse en cualquier posición deseada. Por ejemplo, el centro de masa para la pala de turbina eólica en reposo puede estar dispuesto en una parte de la pala de turbina eólica que está dispuesta más cerca del buje que la articulación, garantizando de ese modo que la pala de turbina eólica pivote automáticamente hacia ángulos de pivote más grandes a medida que aumenta la velocidad de rotación, debido a la fuerza centrífuga, como se describió anteriormente.

La masa de equilibrio podría, por ejemplo, estar o estar dispuesto en una aleta proporcionada en o cerca del extremo de punta interior.

La turbina eólica puede comprender además al menos un freno aerodinámico desplegable. Según esta realización, en el caso de que se desee parar el funcionamiento de la turbina eólica, el al menos un freno aerodinámico puede desplegarse, provocando de este modo que los movimientos rotacionales del buje se paren. Puede disponerse un freno aerodinámico desplegable en cada una de las palas de turbina eólica. Alternativa o adicionalmente, uno o más frenos aerodinámicos desplegables pueden estar dispuestos en la estructura de soporte de palas, por ejemplo, uno en cada brazo que soporta las palas de turbina eólica. Los frenos aerodinámicos desplegables pueden, por ejemplo, tener la forma de elementos planos que se retraen en las palas de turbina eólica y/o en la estructura de soporte de palas durante el funcionamiento normal, y que se mueven a una posición donde sobresalen de las palas de turbina eólica o la estructura de soporte de palas cuando se despliegan.

La posición de articulación de cada una de las palas de turbina eólica puede estar en una posición que define un grosor máximo de la pala de turbina eólica. Según esta realización, la articulación está unida a la pala de turbina eólica en una posición donde la cuerda, así como el grosor de la pala de turbina eólica, es máxima. De este modo, se garantiza que las propiedades aerodinámicas óptimas de la pala de turbina eólica se obtienen a lo largo de toda la longitud de la pala de turbina eólica, y puede evitarse cualquier exceso de material de pala.

Alternativa o adicionalmente, la posición de articulación de cada una de las palas de turbina eólica puede estar en una posición que define una relación máxima de grosor con respecto a cuerda. En el presente contexto, el término "relación de grosor con respecto a cuerda" debe interpretarse que significa la relación, en una sección transversal dada que se encuentra a lo largo de la dirección longitudinal de la pala de turbina eólica, entre el grosor del perfil aerodinámico, es decir, la distancia máxima entre el lado de succión y el lado de presión, y la cuerda, es decir, la distancia lineal entre el borde de ataque y el borde de salida. El rendimiento aerodinámico de un perfil aerodinámico depende en gran medida de la relación de grosor con respecto a cuerda (t/c) del perfil aerodinámico. Más particularmente, el rendimiento, por ejemplo, en forma de relación máxima de sustentación con respecto a resistencia aerodinámica a lo largo de intervalos de ángulo de ataque relevantes, aumenta a medida que disminuye t/c , y, por lo tanto, es deseable diseñar un perfil aerodinámico con una t/c tan baja como sea posible, sin embargo, hasta un determinado nivel mínimo, por ejemplo un 15 %. Por consiguiente, diseñando la pala de turbina eólica de tal manera que t/c sea más alta en la posición de articulación que en cada uno del extremo de punta interior y el extremo de punta exterior, puede garantizarse que el rendimiento aerodinámico de la pala de turbina eólica se optimice en la parte interior de la pala de turbina eólica, así como en la parte exterior de la pala de turbina eólica.

Cada una de las palas de turbina eólica puede estar curvada en una dirección en el sentido del borde. Por ejemplo, al menos una parte de la parte de pala interior y/o al menos una parte de la parte de pala exterior puede seguir una trayectoria curvada en la dirección en el sentido del borde, en lugar de seguir una línea recta. En el presente contexto, el término "dirección en el sentido del borde" debe interpretarse que significa una dirección que está junto con u opuesta al movimiento de la pala de turbina eólica a medida que rota junto con el buje de la turbina eólica. Por lo tanto, según esta realización, la parte de pala interior y/o la parte de pala exterior están curvadas hacia el borde de ataque o hacia el borde de salida.

El curvado de una pala de turbina eólica en la dirección en el sentido del borde a veces se denomina "barrido". Cuando una pala de turbina eólica dotada de barrido pasa la torre de una turbina eólica, la torre se pasa gradualmente, ya que el barrido garantiza que solo una parte de la pala de turbina eólica esté dispuesta adyacente a la torre en cualquier momento dado. Esto reduce las cargas en la turbina eólica durante el paso de la torre, en particular cargas sobre la pala de turbina eólica y sobre la torre.

Además, el barrido permite que la pala de turbina eólica realice giros torsionales durante una rotación completa del rotor. Esto nivela las oscilaciones en la succión que actúa sobre la pala de turbina eólica, reduciendo de ese modo cargas sobre la pala de turbina eólica.

Finalmente, el barrido da como resultado un giro local de la pala de turbina eólica que hace rotar la pala de turbina eólica hacia un ángulo de ataque más bajo en respuesta al aumento de las cargas en el sentido del alerón (del inglés, *flap*). Esto también reduce las cargas en la pala de turbina eólica.

La parte de pala interior puede estar curvada en la dirección en el sentido del borde, mientras que la parte de pala exterior sigue una línea recta en la dirección en el sentido del borde, o viceversa. Alternativamente, la parte de pala interior, así como la parte de pala exterior, pueden estar curvadas en la dirección en el sentido del borde. Cada una de la parte de pala interior y la parte de pala exterior puede estar curvada en una dirección hacia el borde de ataque o en una dirección hacia el borde de salida. En el caso de que la parte de pala interior, así como la parte de pala exterior, estén curvadas en la dirección en el sentido del borde, pueden estar curvadas en la misma dirección, es decir, ambas se curvan en una dirección hacia el borde de ataque o en una dirección hacia el borde de salida, o pueden estar curvadas en direcciones opuestas, es decir, estando curvada una de las partes de pala en una dirección hacia el borde de ataque y estando curvada la otra en una dirección hacia el borde de salida.

Alternativa o adicionalmente, la parte de pala interior y/o la parte de pala exterior pueden diseñarse con un giro, es decir, una rotación de cada perfil aerodinámico 2D que se encuentra en una sección transversal de la pala de turbina eólica alrededor del eje longitudinal de respectivamente la parte de pala interior y exterior.

Cada una de las palas de turbina eólica puede comprender una pluralidad de fibras dispuestas en paralelo a lo largo de la pala de turbina eólica, y las palas de turbina eólica pueden comprender una región en la que una orientación de las fibras se desvía de una orientación principal de las fibras que es sustancialmente paralela a un borde de ataque o un borde de salida de la pala de turbina eólica.

Las palas de turbina eólica a menudo se fabrican a partir de fibra de vidrio que comprende fibras y resina. Las fibras pueden estar dispuestas en paralelo a lo largo de una dirección longitudinal de la pala de turbina eólica, y esta dirección determina cómo reacciona la pala de turbina eólica a cargas, en particular cargas en el sentido del alerón, aplicadas a la pala de turbina eólica por el viento, en particular con respecto a la deflexión y el giro de la pala de turbina eólica. Sin embargo, según esta realización, las fibras están dispuestas a lo largo de una dirección diferente en una región de la pala de turbina eólica, es decir, las fibras, en esta región, están dispuestas "fuera del eje". Esto tiene la consecuencia de que esta región de la pala de turbina eólica reacciona de manera diferente a deflexiones en una dirección en el sentido del alerón que la parte restante de la pala de turbina eólica. Esto hace que la pala de turbina eólica gire, dando como resultado que la pala de turbina eólica rote hacia un ángulo de ataque más bajo en respuesta al aumento de las cargas en el sentido del alerón. Esto también reduce las cargas en la pala de turbina eólica. En las

turbinas eólicas de control de paso tradicionales, este comportamiento de giro no es deseable, porque introduce cargas torsionales en el mecanismo de regulación de paso. Sin embargo, para una turbina eólica con palas articuladas esto no es un problema, dado que las palas de turbina eólica no están conectadas al buje a través de un sistema de regulación de paso.

Breve descripción de los dibujos

La invención se describirá ahora con más detalle con referencia a los dibujos adjuntos en los que

la figura 1 es una vista desde detrás de una turbina eólica según una realización de la invención,

la figura 2 es una vista lateral de la turbina eólica de la figura 1 con las palas de turbina eólica en una primera posición,

la figura 3 es una vista lateral de la turbina eólica de las figuras 1 y 2 con las palas de turbina eólica en una segunda posición,

la figura 4 es una vista en sección transversal de la góndola de la turbina eólica de las figuras 1-3,

la figura 5 ilustra una turbina eólica según una realización de la invención con las palas de turbina eólica en tres posiciones diferentes,

la figura 6 muestra una pala de turbina eólica para una turbina eólica según una realización de la invención,

la figura 7 muestra la pala de turbina eólica de la figura 6 en tres posiciones diferentes,

la figura 8 muestra un detalle de la pala de turbina eólica de las figuras 6 y 7,

la figura 9 muestra una estructura de soporte de palas que comprende un freno aerodinámico desplegable,

las figuras 10 y 11 ilustran una articulación para una pala de turbina eólica de una turbina eólica según una primera realización de la invención,

las figuras 12 y 13 ilustran una articulación para una pala de turbina eólica de una turbina eólica según una segunda realización de la invención, y

las figuras 14-16 son vistas laterales de turbinas eólicas según tres realizaciones de la invención.

Descripción detallada de los dibujos

La figura 1 muestra una turbina eólica 1 según una realización de la invención. La turbina eólica 1 comprende una torre 2 y una góndola 3 montada en la torre 2. Un buje (no visible) está montado de manera rotatoria en la góndola 3, comprendiendo el buje una estructura de soporte de palas 4 con tres brazos. Una pala de turbina eólica 5 está conectada a cada uno de los brazos de la estructura de soporte de palas 4 a través de una articulación 6. Por lo tanto, las palas de turbina eólica 5 roten junto con el buje, con respecto a la góndola 3, y las palas de turbina eólica 5 pueden realizar movimientos pivotantes con respecto a la estructura de soporte de palas 4, a través de las articulaciones 6.

Cada pala de turbina eólica 5 define un perfil aerodinámico que tiene una cuerda que varía a lo largo de la longitud de la pala de turbina eólica 5 entre un extremo de punta interior 5a y un extremo de punta exterior 5b. La articulación 6 está dispuesta en una posición de articulación de la pala de turbina eólica 5, estando la posición de articulación 6 a una distancia del extremo de punta interior 5a, así como a una distancia del extremo de punta exterior 5b, y la cuerda de la pala de turbina eólica 5 es mayor en la posición de articulación que en el extremo de punta interior 5a, así como en el extremo de punta exterior 5b.

La figura 2 es una vista lateral de la turbina eólica 1 de la figura 1. En la figura 2 puede verse el buje 7. Las palas de turbina eólica 5 están en una posición en la que definen un diámetro de rotor máximo de la turbina eólica 1. Las palas de turbina eólica 5 se desvían hacia esta posición por cada una de las palas de turbina eólica 5 que están conectadas a un peso 8 dispuesto en el interior de la torre 2, a través de un cable 9. El peso 8 somete a tracción el cable 9, y, por lo tanto, somete a tracción a las palas de turbina eólica 5 hacia la posición mostrada en la figura 2. Por consiguiente, cuando no actúan otras fuerzas sobre las palas de turbina eólica 5, las palas de turbina eólica 5 estarán en la posición mostrada en la figura 2, y se definirá un diámetro de rotor máximo. Este es el caso cuando la velocidad del viento es baja, y el buje 7 rota, por lo tanto, a una velocidad de rotación baja.

La figura 3 es una vista lateral de la turbina eólica 1 de las figuras 1 y 2. En la figura 3 la velocidad del viento es mayor que en la situación ilustrada en la figura 2. De este modo, una fuerza centrífuga actúa sobre las palas de turbina eólica 5, debido a la mayor velocidad de rotación del buje 7. El centro de masa de cada pala de turbina eólica 5 se posiciona en una posición entre la articulación 6 y el extremo de punta interior 5a. Por lo tanto, la fuerza centrífuga que actúa

sobre las palas de turbina eólica 5 pretende que pivoten las palas de turbina eólica 5 hacia la posición ilustrada en la figura 3. Adicionalmente, las fuerzas aerodinámicas que actúan sobre las palas de turbina eólica 5 pretenden que pivoten las palas de turbina eólica 5 hacia la posición ilustrada en la figura 3. En la situación ilustrada en la figura 3, la fuerza centrífuga en combinación con las fuerzas aerodinámicas que actúan sobre las palas de turbina eólica 5 equilibran el vector de fuerza total en la misma dirección que actúa sobre las palas de turbina eólica 5, que se origina desde el peso 8 y el cable 9. En general, el ángulo de pivote de las palas de turbina eólica 5 se cambia con una mayor velocidad de rotación y velocidad del viento hasta que se encuentra un nuevo estado de equilibrio entre todas las fuerzas sobre las palas de turbina eólica 5. Obviamente, también se incluyen todos los demás momentos y fuerzas secundarios sobre las palas de turbina eólica 5, tal como fricción de cojinete en la articulación 6.

La acción de pivote de las palas de turbina eólica 5 entre la posición mostrada en la figura 2 y la posición mostrada en la figura 3 tiene lugar gradualmente, y la posición exacta de las palas de turbina eólica 5 es el resultado de un equilibrio entre la fuerza que se origina desde el peso 8 y la fuerza centrífuga.

En la situación ilustrada en la figura 3 el diámetro de rotor es significativamente menor que en la situación ilustrada en la figura 2. Por consiguiente, una velocidad del viento aumentada da como resultado automáticamente un diámetro de rotor más pequeño, y una velocidad del viento disminuida da como resultado automáticamente un diámetro de rotor mayor. Por lo tanto, el diámetro de rotor se adapta automáticamente a las condiciones de viento predominantes.

La figura 4 es una vista en sección transversal de la góndola 3 de la turbina eólica de las figuras 1-3. Puede verse cómo se guía el cable 9 a través de la góndola 3 y al interior de la torre 2.

La figura 5 ilustra una turbina eólica 1 según una realización de la invención a tres velocidades eólicas diferentes. La turbina eólica 1 podría, por ejemplo, ser la turbina eólica de las figuras 1-3.

El dibujo más a la izquierda muestra la turbina eólica 1 a una baja velocidad del viento. En este caso, la velocidad de rotación del buje 7 es baja, y, por lo tanto, la fuerza centrífuga que actúa sobre las palas de turbina eólica 5 es pequeña. Por consiguiente, el diámetro de rotor es máximo.

El dibujo en la parte media muestra la turbina eólica 1 a una velocidad del viento que es más alta que la velocidad del viento del dibujo más a la izquierda. Por consiguiente, la velocidad de rotación del buje 7 es más alta, y la fuerza centrífuga que actúa sobre las palas de turbina eólica 5 es mayor. Adicionalmente, las fuerzas aerodinámicas que actúan sobre las palas de turbina eólica 5 también son mayores. Como consecuencia, las palas de turbina eólica 5 se han pivotado hacia una posición que define un diámetro de rotor más pequeño.

El dibujo más a la derecha muestra la turbina eólica 1 a una alta velocidad del viento. En este caso, la velocidad de rotación del buje 7 es muy alta, y, por lo tanto, la fuerza centrífuga que actúa sobre las palas de turbina eólica 5 es grande. Además, las fuerzas aerodinámicas a la alta velocidad del viento empujan las palas de turbina eólica 5 a la posición mostrada. Esto tiene la consecuencia de que las palas de turbina eólica 5 se han pivotado a una posición que define un diámetro de rotor mínimo. Puede verse que las palas de turbina eólica 5 están dispuestas sustancialmente paralelas a un eje de rotación del buje 7. Esta posición a veces se conoce como "modo de barrena".

La figura 6 muestra una pala de turbina eólica 5 para una turbina eólica según una realización de la invención. La pala de turbina eólica 5 está conectada a una estructura de soporte de palas 4 que forma parte de un buje 7, a través de una articulación 6. De este modo, la pala de turbina eólica 5 puede realizar movimientos de pivote con respecto a la estructura de soporte de palas 4. La posición de la pala de turbina eólica 5 con respecto a la estructura de soporte de palas 4 define un ángulo de pivote 10. En la figura 6 la pala de turbina eólica 5 está dispuesta con su dirección longitudinal sustancialmente paralela a un eje de rotación del buje 7. Esta posición define un ángulo de pivote máximo 10. Además, esta posición define un diámetro de rotor mínimo, como se describió anteriormente.

Un mecanismo de parada final 11 en forma de una almohadilla elástica está montado en la estructura de soporte de palas 4. Cuando la pala de turbina eólica 5 se pivota a una posición que define un ángulo de pivote 10 mínimo, la pala de turbina eólica 5 se apoya en el mecanismo de parada final 11, dando como resultado una parada suave para el movimiento de pivote. De este modo, se evitan colisiones entre la pala de turbina eólica 5 y la estructura de soporte de palas 4.

La figura 7 muestra la pala de turbina eólica 5 de la figura 6 en tres posiciones diferentes, es decir, en tres ángulos de pivote diferentes. Puede verse que los diferentes ángulos de pivote dan como resultado diferentes distancias entre la pala de turbina eólica 5 y el eje de rotación 12 del buje 7, y, por lo tanto, en diferentes diámetros de rotor.

La figura 8 muestra un detalle de la pala de turbina eólica 5 de las figuras 6 y 7. Puede verse que la articulación 6 está incorporada en la pala de turbina eólica 5. Como alternativa, la articulación 6 podría montarse en una superficie exterior de la pala de turbina eólica 5.

La figura 9 muestra una estructura de soporte de palas 4 que soporta una pala de turbina eólica 5 y que tiene un freno aerodinámico desplegable 13 montado sobre la misma.

En la parte izquierda de la figura 9 el freno aerodinámico desplegable 13 está en una posición retraída, donde está casi al ras con una superficie exterior de la estructura de soporte de palas 4. Cuando el freno aerodinámico desplegable 13 está en esta posición, no realiza ninguna acción de frenado, es decir, el freno aerodinámico desplegable 13 no restringe el movimiento de rotación de la estructura de soporte de palas 4, y, por lo tanto, del buje 7.

En la parte derecha de la figura 9 el freno aerodinámico desplegable 13 está en una posición desplegada, donde sobresale de la superficie exterior de la estructura de soporte de palas 4. Cuando el freno aerodinámico desplegable 13 está en esta posición, restringe los movimientos de rotación de la estructura de soporte de palas 4, y, por lo tanto, del buje 7, debido a la resistencia al viento. De este modo, el freno aerodinámico desplegable 13 realiza una acción de frenado.

Durante el funcionamiento normal, el freno aerodinámico desplegable 13 puede estar en la posición retraída ilustrada en la parte izquierda de la figura 9. Cuando se requiere el frenado de la turbina eólica, el freno aerodinámico desplegable 13 puede moverse a la posición desplegada ilustrada en la parte derecha de la figura 9 para proporcionar la acción de frenado.

Las figuras 10 y 11 muestran una pala de turbina eólica 5 para una turbina eólica según una primera realización de la invención desde dos ángulos diferentes. La pala de turbina eólica 5 está conectada a una estructura de soporte de palas 4 a través de una articulación 6. La articulación 6 está conectada a la pala de turbina eólica 5 a través de dos elementos de soporte 14 unidos a una superficie exterior de la pala de turbina eólica 5.

Las figuras 12 y 13 muestran una pala de turbina eólica 5 para una turbina eólica según una segunda realización de la invención. La figura 12 muestra toda la pala de turbina eólica 5, mientras que la figura 13 muestra un detalle de la pala de turbina eólica 5. La pala de turbina eólica 5 está conectada a una estructura de soporte de palas 4 a través de una articulación 6. La articulación 6 tiene una parte que está incorporada en la pala de turbina eólica 5, y, por lo tanto, la articulación 6 real no sobresale de la superficie exterior de la pala de turbina eólica 5.

La parte de la estructura de soporte de palas 4 que se muestra en las figuras 12 y 13 comprenden un cilindro 15 que está conectado directamente a la articulación 6. Se recibe una varilla 16 en el cilindro 15. La varilla 16 está montada de manera pivotante en una parte sobresaliente 17 de la pala de turbina eólica 5. Al mover la varilla 16 hacia dentro o hacia fuera con una fuerza controlada, la pala de turbina eólica 5 pivotará alrededor de la articulación 6 entre un ángulo de pivote mínimo y un ángulo de pivote máximo.

La figura 14 es una vista lateral de una turbina eólica 1 según una realización de la invención. La turbina eólica 1 de la figura 14 es muy similar a la turbina eólica 1 de las figuras 1-3, y, por lo tanto, no se describirá en detalle en este caso.

En la turbina eólica 1 de la figura 14, cada una de las palas de turbina eólica 5 está dotada de una aleta 18 en el extremo de punta interior 5a. Las aletas 18 se extienden en sentido contrario de la estructura de soporte de palas 4 y hacia el lado de presión de las palas de turbina eólica 5. Las aletas 18 permiten un diseño de las palas de turbina eólica 5 en el que se obtienen propiedades aerodinámicas específicas con palas de turbina eólica 5 más cortas. En particular, proporcionar las aletas 18 en los extremos de punta interior 5a como se ilustra en la figura 14 acorta la parte de la pala de turbina eólica 5 dispuesta entre la articulación 6 y el extremo de punta interior 5a, permitiendo de ese modo un de parte en voladizo reducida, es decir, la distancia requerida entre la torre 2 y el buje 7.

Debe indicarse que las aletas 18 podrían, alternativamente, extenderse hacia la estructura de soporte de palas 4 y hacia el lado de succión de las palas de turbina eólica 5. Como otra alternativa, las palas de turbina eólica 5 podrían estar dotadas de aletas 18 en el extremo de punta interior 5a que se extienden hacia el lado de presión, así como hacia el lado de succión de las palas de turbina eólica 5.

La figura 15 es una vista lateral de una turbina eólica 1 según una realización alternativa de la invención. La turbina eólica 1 de la figura 15 es muy similar a la turbina eólica 1 de la figura 14, y, por lo tanto, no se describirá en detalle en este caso.

En la turbina eólica 1 de la figura 15, los extremos de punta interior 5a de las palas de turbina eólica 5 no están dotados de aletas. En su lugar, cada una de las palas de turbina eólica 5 está dotada de una aleta 19 en el extremo de punta exterior 5b. Las aletas 19 se extienden hacia el lado de succión de las palas de turbina eólica 5. De manera similar a la realización de la figura 14, las aletas 19 ilustradas en la figura 15 permiten un diseño de las palas de turbina eólica 5 en el que se obtienen propiedades aerodinámicas específicas con palas de turbina eólica 5 más cortas. En particular, proporcionar las aletas 19 en los extremos de punta exterior 5b como se ilustra en la figura 15 permite reducir la longitud de la parte de la pala de turbina eólica 5 dispuesta entre la articulación 6 y el extremo de punta exterior 5b, dando como resultado de ese modo un transporte de palas menos complicado.

Debe indicarse que las aletas 19 podrían, alternativamente, extenderse hacia el lado de presión de las palas de turbina eólica 5. Como otra alternativa, las palas de turbina eólica 5 podrían estar dotadas de aletas 19 en el extremo de punta

exterior 5b que se extienden hacia el lado de presión, así como hacia el lado de succión de la pala de turbina eólica 5.

5 La figura 16 es una vista lateral de una turbina eólica 1 según otra realización alternativa de la invención. La turbina eólica 1 de la figura 16 es muy similar a las turbinas eólicas 1 de las figuras 14 y 15, y, por lo tanto, no se describirá en detalle en este caso.

10 En la turbina eólica 1 de la figura 16, cada una de las palas de turbina eólica 5 está dotada de una aleta 18 en el extremo de punta interior 5a, como se describió anteriormente con referencia a la figura 14, así como una aleta 19 en el extremo de punta exterior 5b, como se describió anteriormente con referencia a la figura 15.

15 Debe indicarse que, incluso aunque las aletas 18, 19 ilustradas en la figura 16 son tales que las aletas 18 en el extremo de punta interior 5a se extienden hacia el lado de presión de las palas de turbina eólica 5 y las aletas 19 en el extremo de punta exterior 5b se extienden hacia el lado de succión de las palas de turbina eólica 5, también podría preverse que ambas aletas 18, 19 se extienden hacia el lado de presión de la pala de turbina eólica 5, que ambas aletas 18, 19 se extienden hacia el lado de succión de la pala de turbina eólica 5, o que las aletas 18 en el extremo de punta interior 5a se extienden hacia el lado de succión de la pala de turbina eólica 5, mientras que las aletas 19 en el extremo de punta exterior 5b se extienden hacia el lado de presión de la pala de turbina eólica 5. Como otra alternativa, las palas de turbina eólica 5 podrían estar dotadas de aletas en el extremo de punta interior 5a y/o en el extremo de punta exterior 5b que se extienden hacia el lado de presión, así como hacia el lado de succión de las palas de turbina eólica 5.

20 Debe indicarse además que las aletas 18, 19 ilustradas en las figuras 14-16 podría alcanzar diversas formas geométricas y ángulos de inclinación, es decir, el ángulo entre la aleta 18, 19 y la pala de turbina eólica principal 5. Las aletas 18, 19 mostradas en las figuras 14-16 son ilustraciones en dos posibles variantes, donde la aleta 18 tiene un extremo de aleta en forma afilada, y la aleta 19 tiene un extremo de aleta redondeado. El ángulo de inclinación es en ambos casos de aproximadamente 60°. En otras realizaciones preferidas, el ángulo de inclinación puede ser de aproximadamente 90°.

REIVINDICACIONES

1. Turbina eólica (1) que comprende una torre (2), una góndola (3) montada en la torre (2) a través de un sistema de guiñada, un buje (7) montado de manera rotatoria en la góndola (3), comprendiendo el buje (7) una estructura de soporte de palas (4), y una o más palas de turbina eólica (5) conectadas a la estructura de soporte de palas (4),
5 en la que cada una de las palas de turbina eólica (5) define un perfil aerodinámico que tiene una cuerda que varía a lo largo de una longitud de la pala de turbina eólica (5) entre un extremo de punta interior (5a) y un extremo de punta exterior (5b), y caracterizada porque cada una de las palas de turbina eólica (5) está conectada a la estructura de soporte de palas (4) en una posición de articulación única de la pala de turbina eólica (5) a través de una articulación (6), estando dispuesta de este modo cada pala de turbina eólica (5) para realizar movimientos de pivote con respecto a la estructura de soporte de palas (4), a través de la articulación (6), entre un ángulo de pivote mínimo y un ángulo de pivote máximo, estando dispuesta la posición de articulación a una distancia del extremo de punta interior (5a) y a una distancia del extremo de punta exterior (5b), y
10 en la que la cuerda en la posición de articulación es mayor o igual que la cuerda en el extremo de punta interior (5a) y mayor que la cuerda en el extremo de punta exterior (5b).
20 2. Turbina eólica (1) según la reivindicación 1, en la que la posición de articulación de cada una de las palas de turbina eólica (5) está en una posición que define una cuerda máxima.
3. Turbina eólica (1) según la reivindicación 1 o 2, en la que la cuerda del perfil aerodinámico de cada una de las palas de turbina eólica (5) disminuye desde la posición de articulación hacia el extremo de la punta interior (5a) y desde la posición de articulación hacia el extremo de punta exterior (5b).
25 4. Turbina eólica (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que cada una de las palas de turbina eólica (5) tiene un centro de masa para la pala de turbina eólica (5) en reposo, estando posicionado el centro de masa entre la posición de articulación y el extremo de punta interior (5a) de la pala de turbina eólica (5).
30 5. Turbina eólica (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la turbina eólica (1) es una turbina eólica a sotavento.
35 6. Turbina eólica (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además medios de desviación que desvían las palas de turbina eólica (5) hacia una posición que proporciona un diámetro de rotor máximo de la turbina eólica (1).
40 7. Turbina eólica (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un mecanismo de parada dispuesto para mover las palas de turbina eólica (5) a un ángulo de pivote seguro en el caso de una emergencia.
45 8. Turbina eólica (1) según la reivindicación 7, en la que el ángulo de pivote seguro dispone las palas de turbina eólica (5) de tal manera que cada pala de turbina eólica (5) se extiende a lo largo de una dirección que es sustancialmente paralela a un eje de rotación del buje (7).
9. Turbina eólica (1) según la reivindicación 7 u 8, en la que el mecanismo de parada comprende un mecanismo de liberación y al menos un cable desviado por resorte que interconecta el mecanismo de liberación y cada una de las palas de turbina eólica (5).
50 10. Turbina eólica (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la estructura de soporte de palas (4) comprende uno o más brazos, y en la que cada una de las palas de turbina eólica (5) está montada en uno de los brazos de la estructura de soporte de palas (4).
55 11. Turbina eólica (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que cada una de las palas de turbina eólica (5) comprende una parte interior que incluye el extremo de punta interior (5a) y una parte exterior que incluye el extremo de punta exterior (5b), y en la que la parte interior y la parte exterior están unidas entre sí.
60 12. Turbina eólica (1) según la reivindicación 11, en la que cada una de las palas de turbina eólica (5) comprende además una parte de articulación que incluye la posición de articulación, y en la que la parte de articulación interconecta la parte interior y la parte exterior.
65 13. Turbina eólica (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la articulación (6) de cada una de las palas de turbina eólica (5) está integrada en la pala de turbina eólica (5).

14. Turbina eólica (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que cada una de las palas de turbina eólica (5) está dotada de al menos una aleta (18, 19).
- 5 15. Turbina eólica (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la posición de articulación de cada una de las palas de turbina eólica (5) está en una posición que define un grosor máximo de la pala de turbina eólica (5).

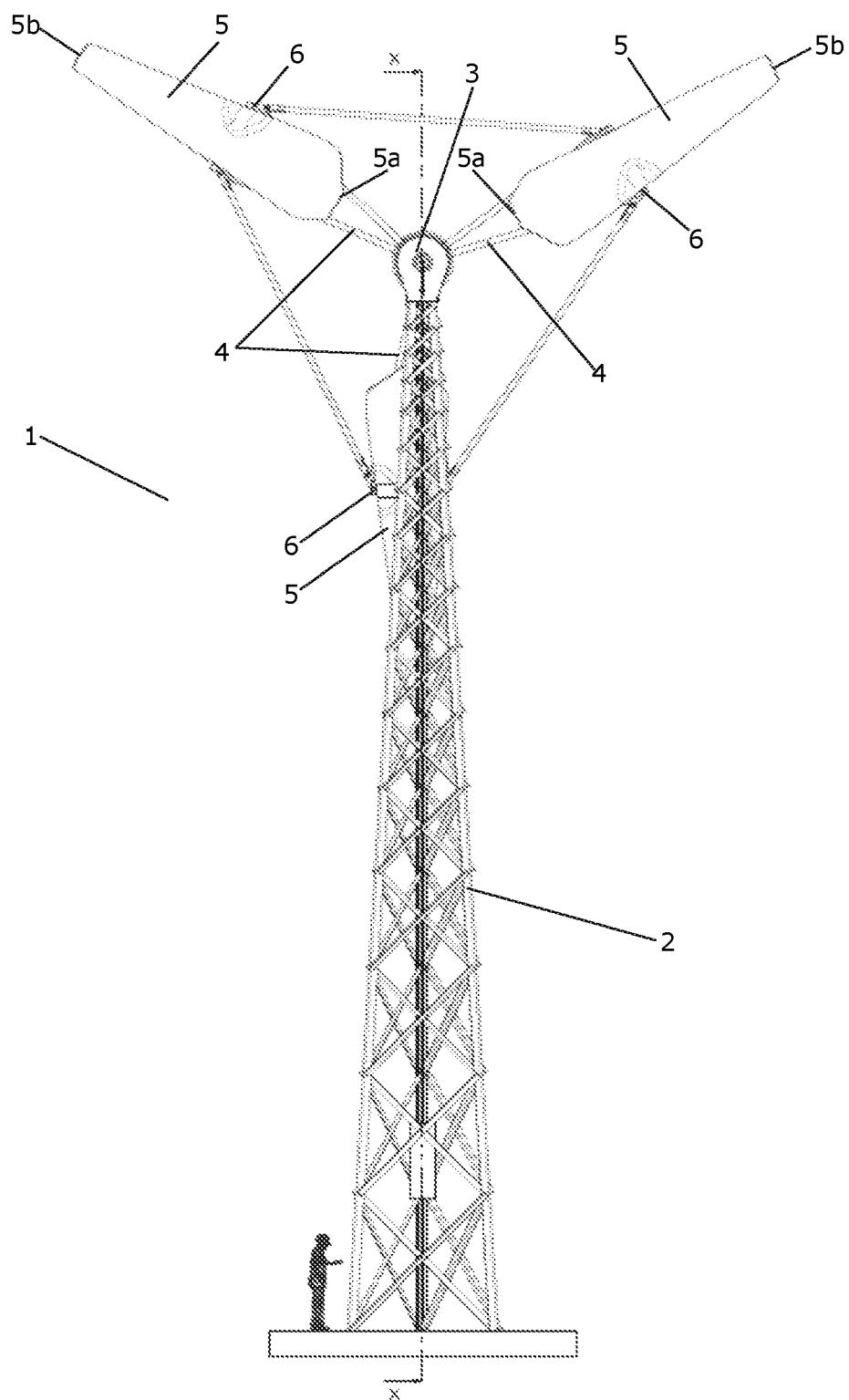


Fig. 1

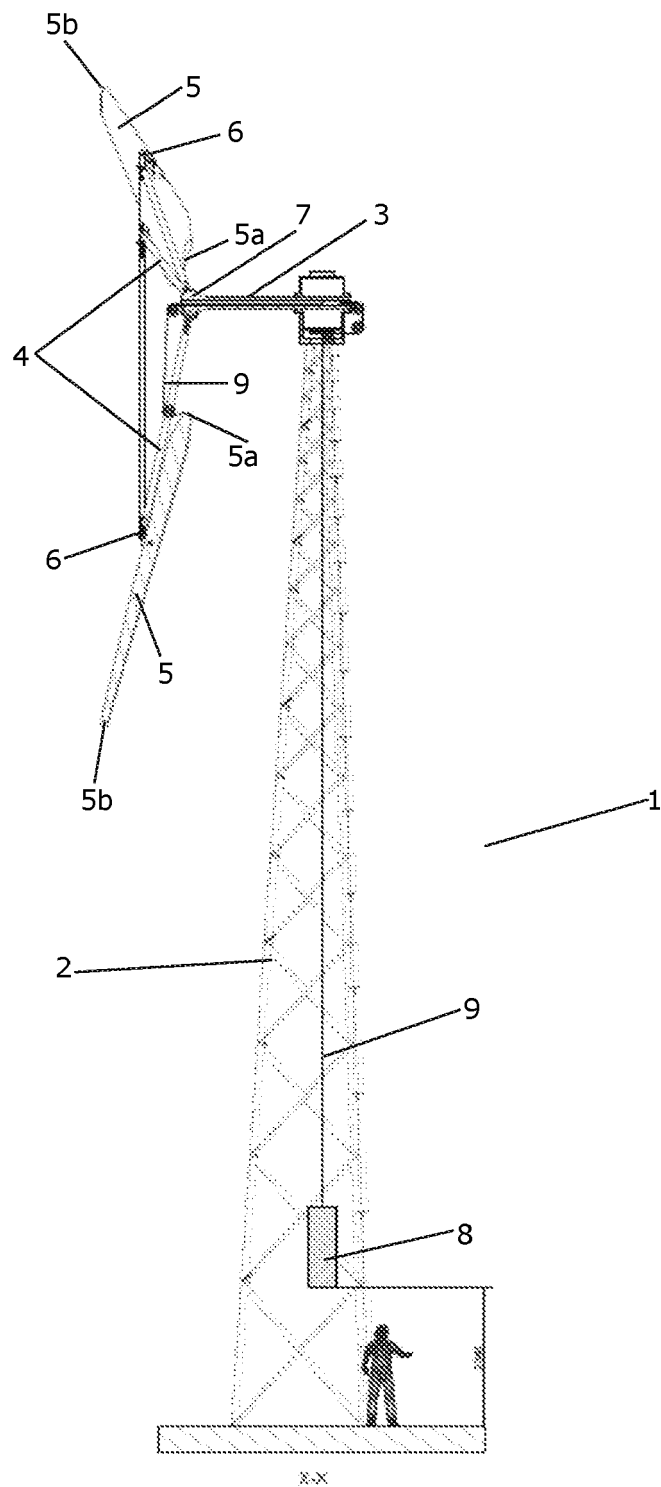


Fig. 2

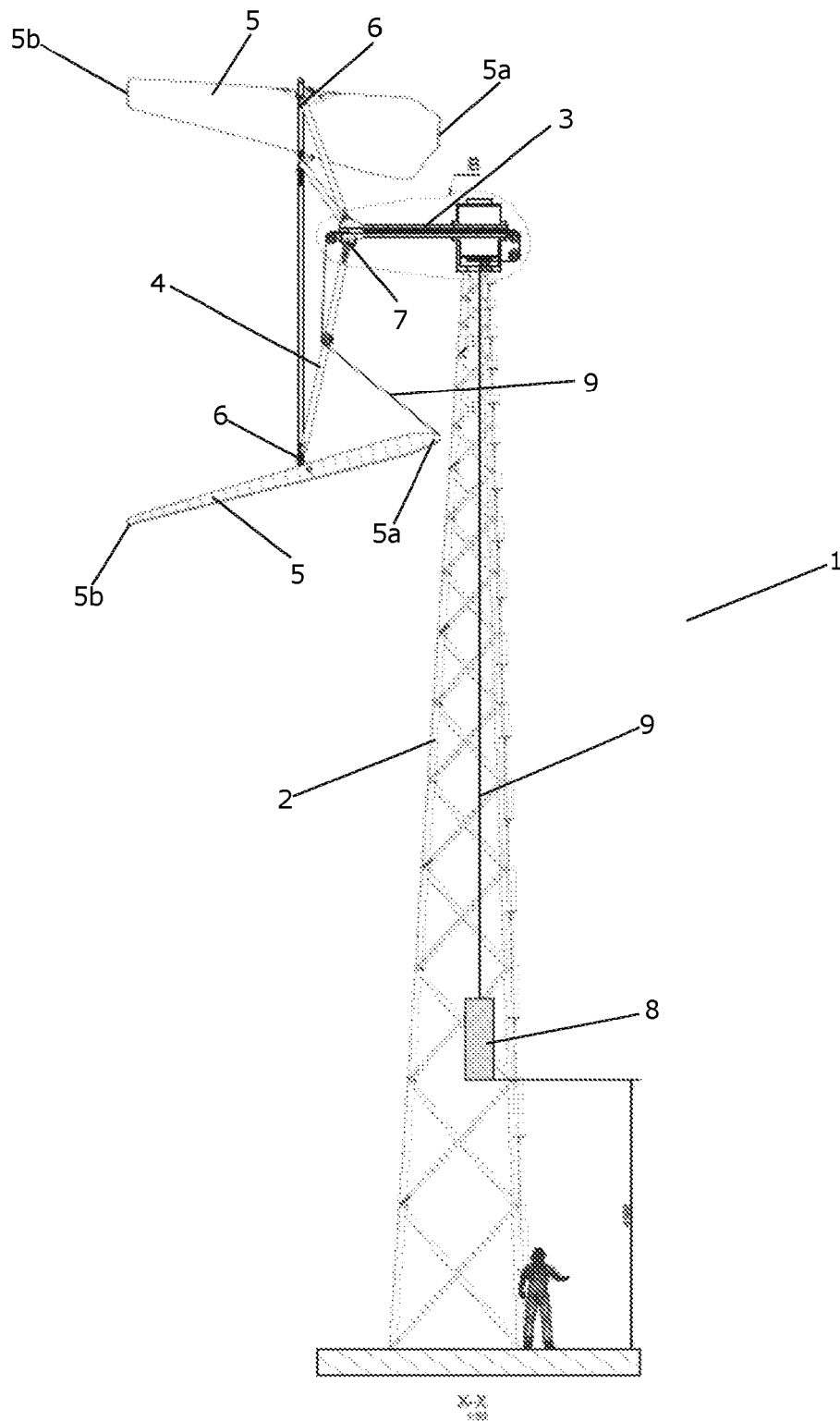


Fig. 3

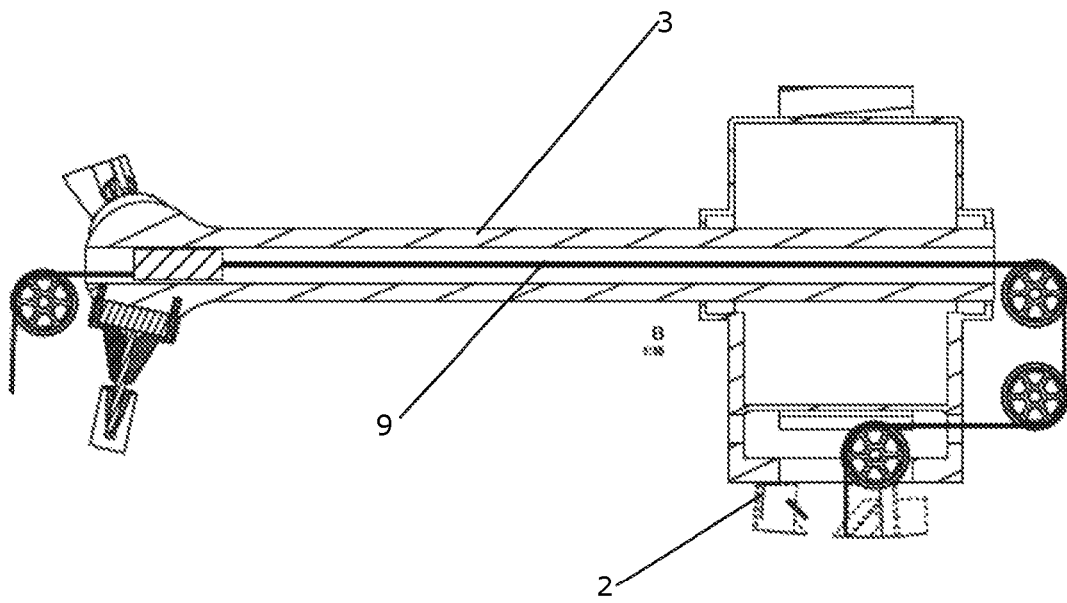


Fig. 4

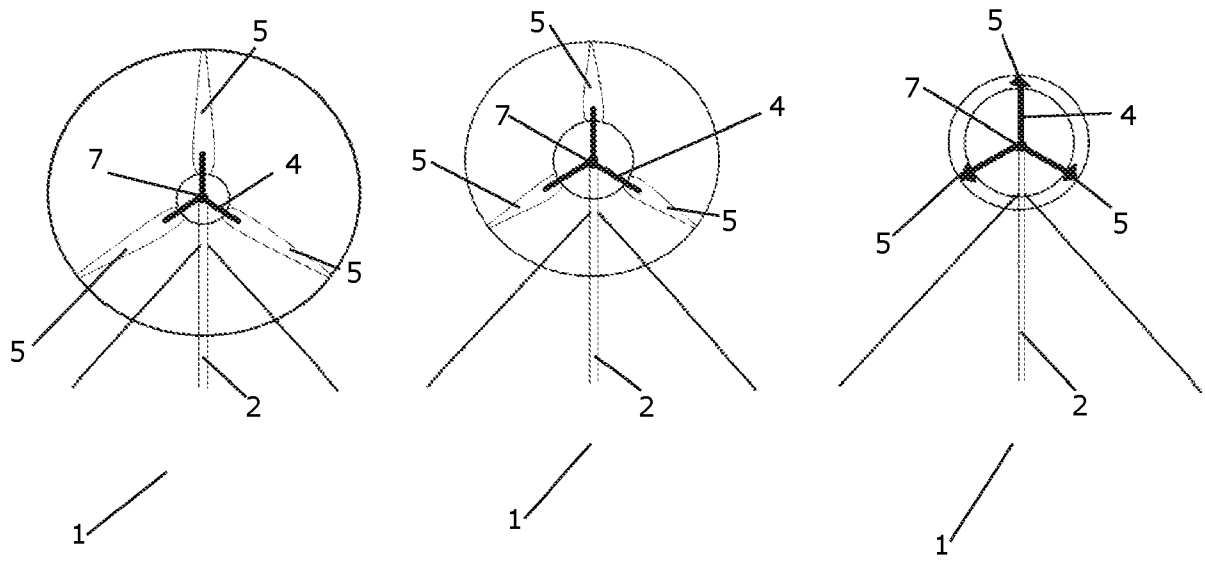


Fig. 5

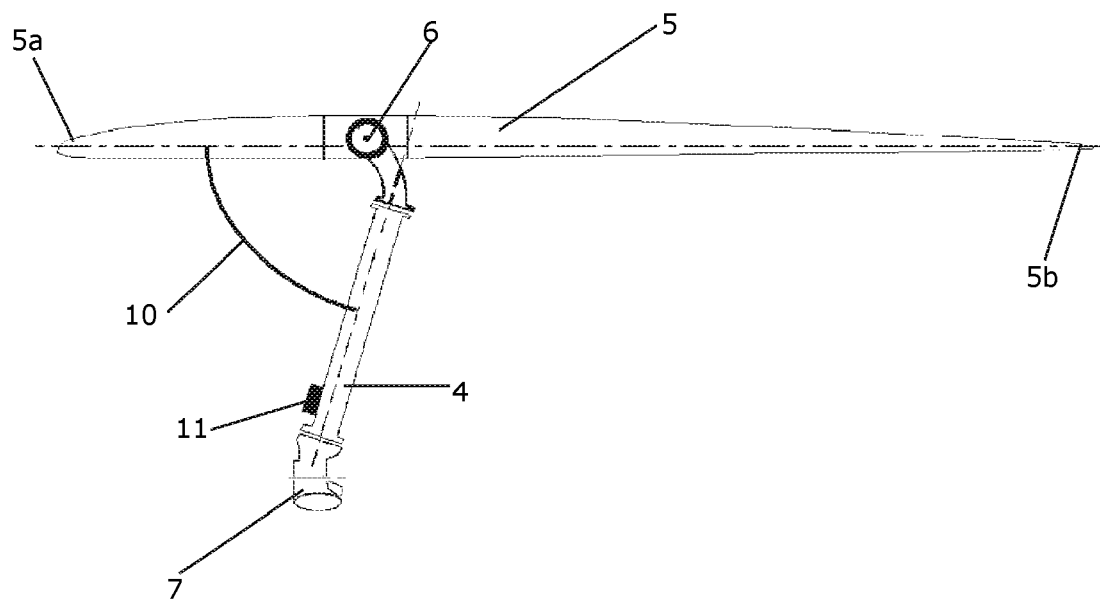


Fig. 6

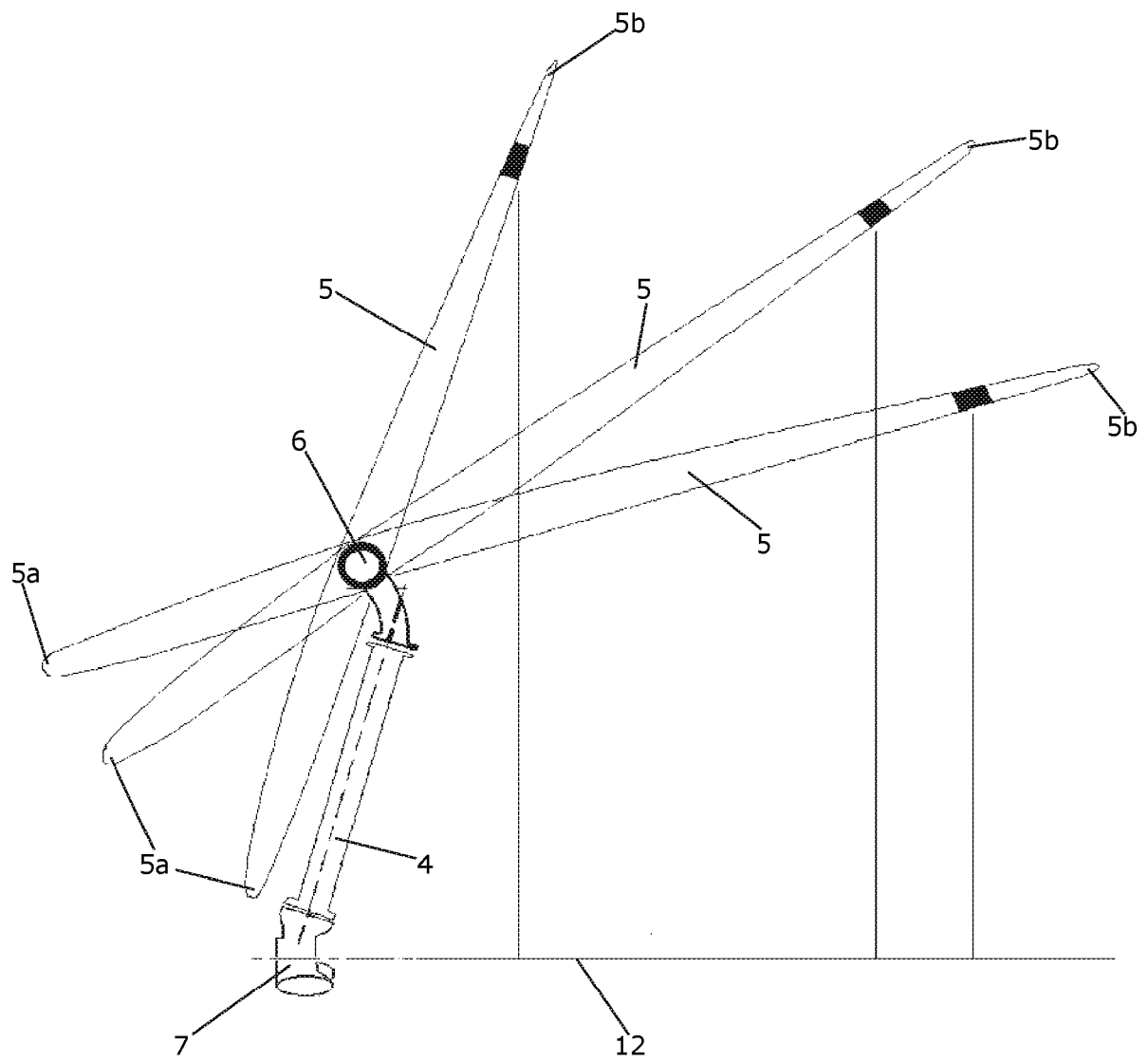


Fig. 7

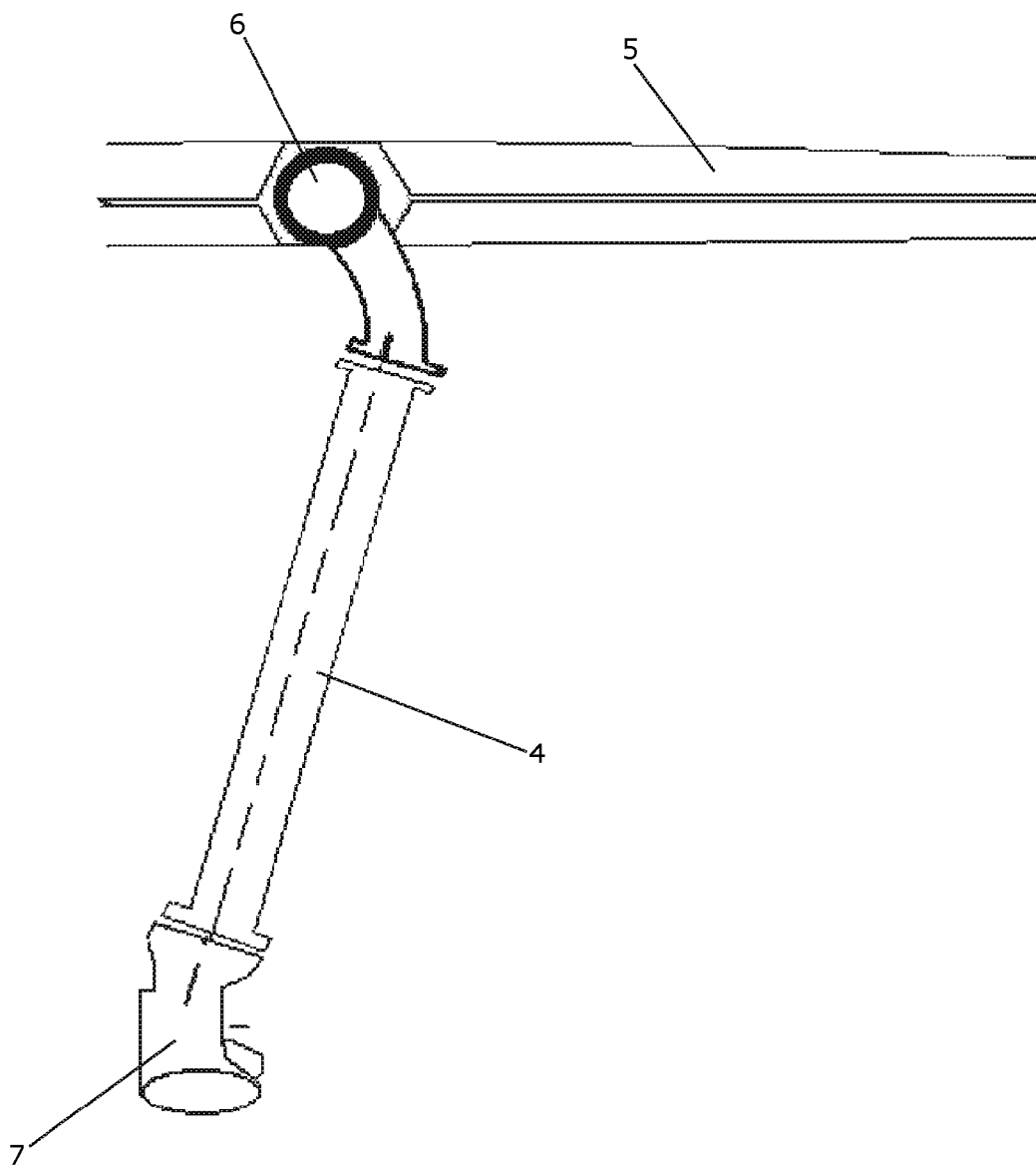


Fig. 8

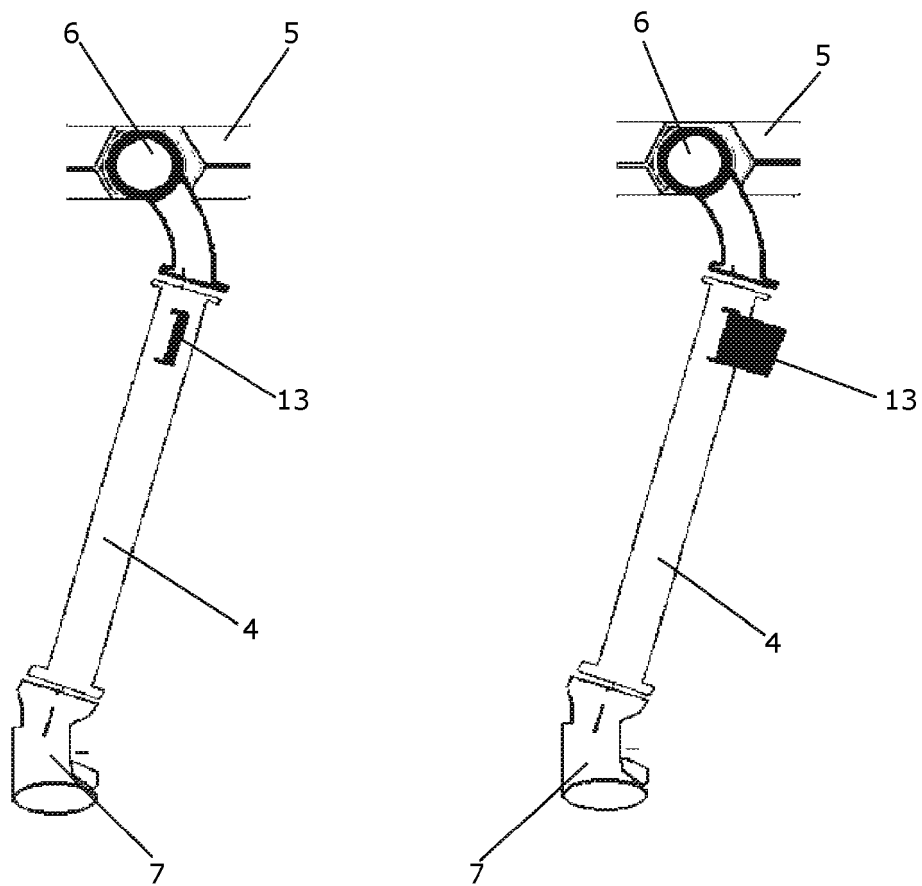


Fig. 9

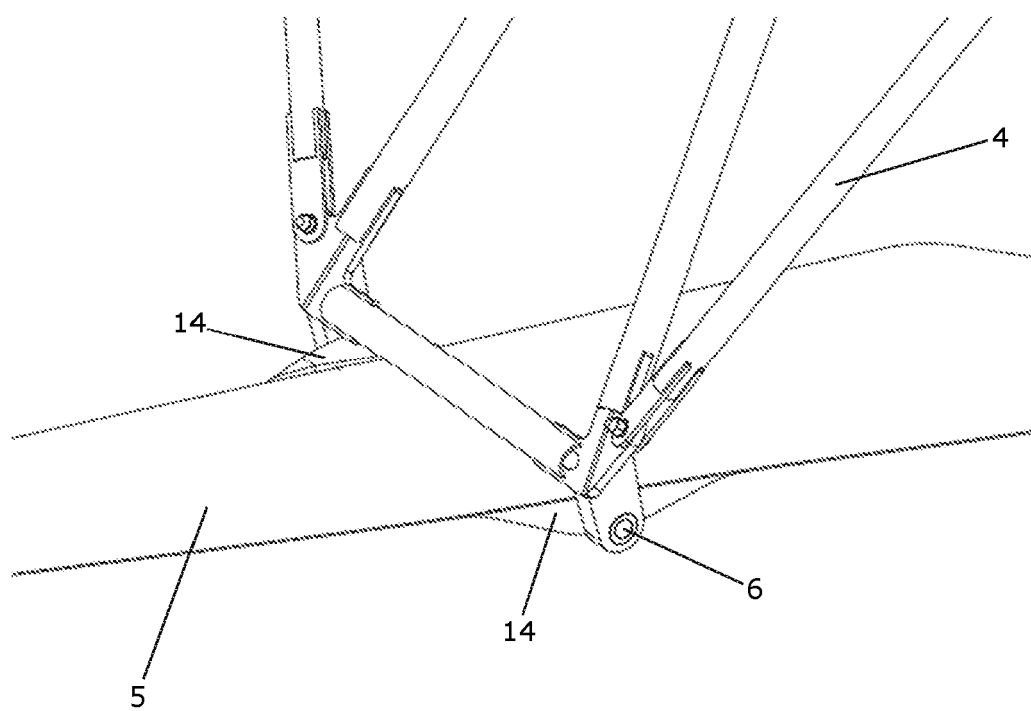


Fig. 10

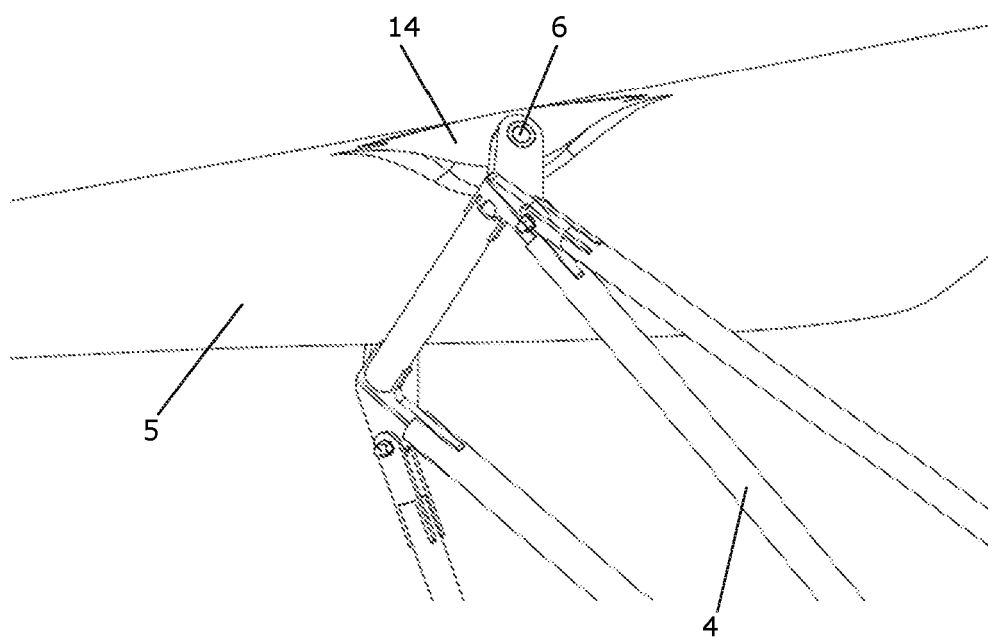


Fig. 11

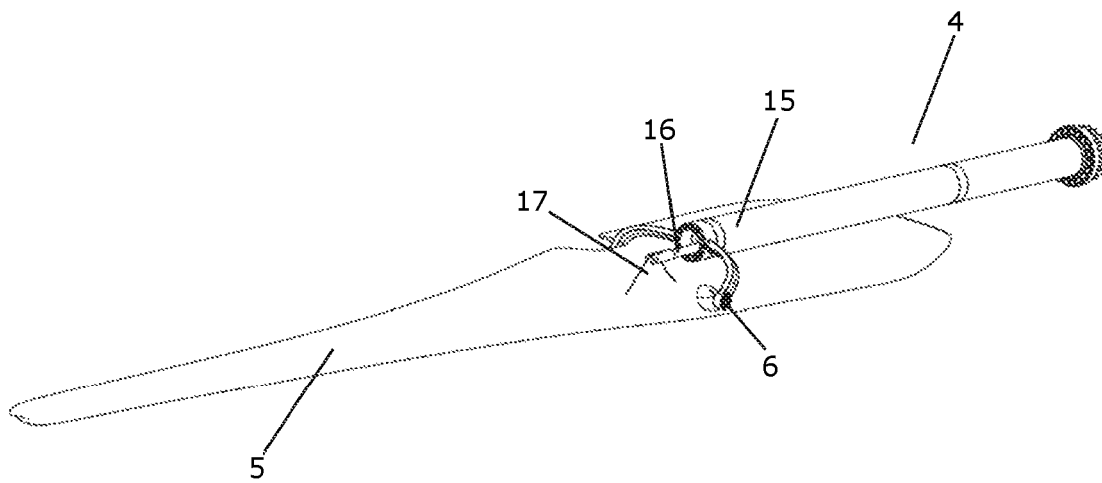


Fig. 12

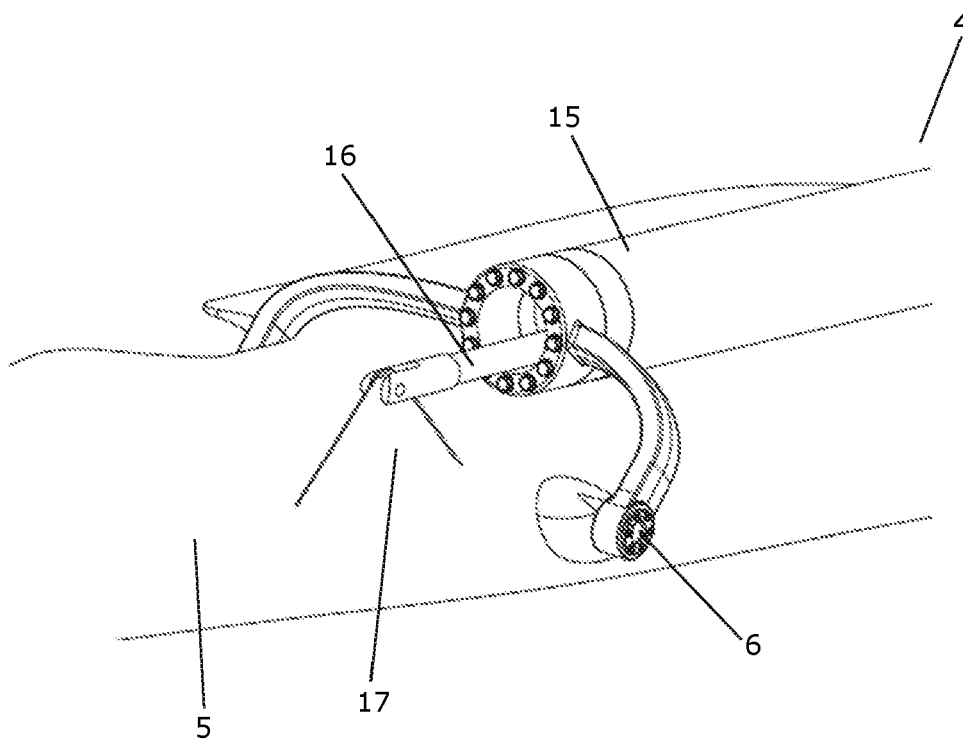


Fig. 13

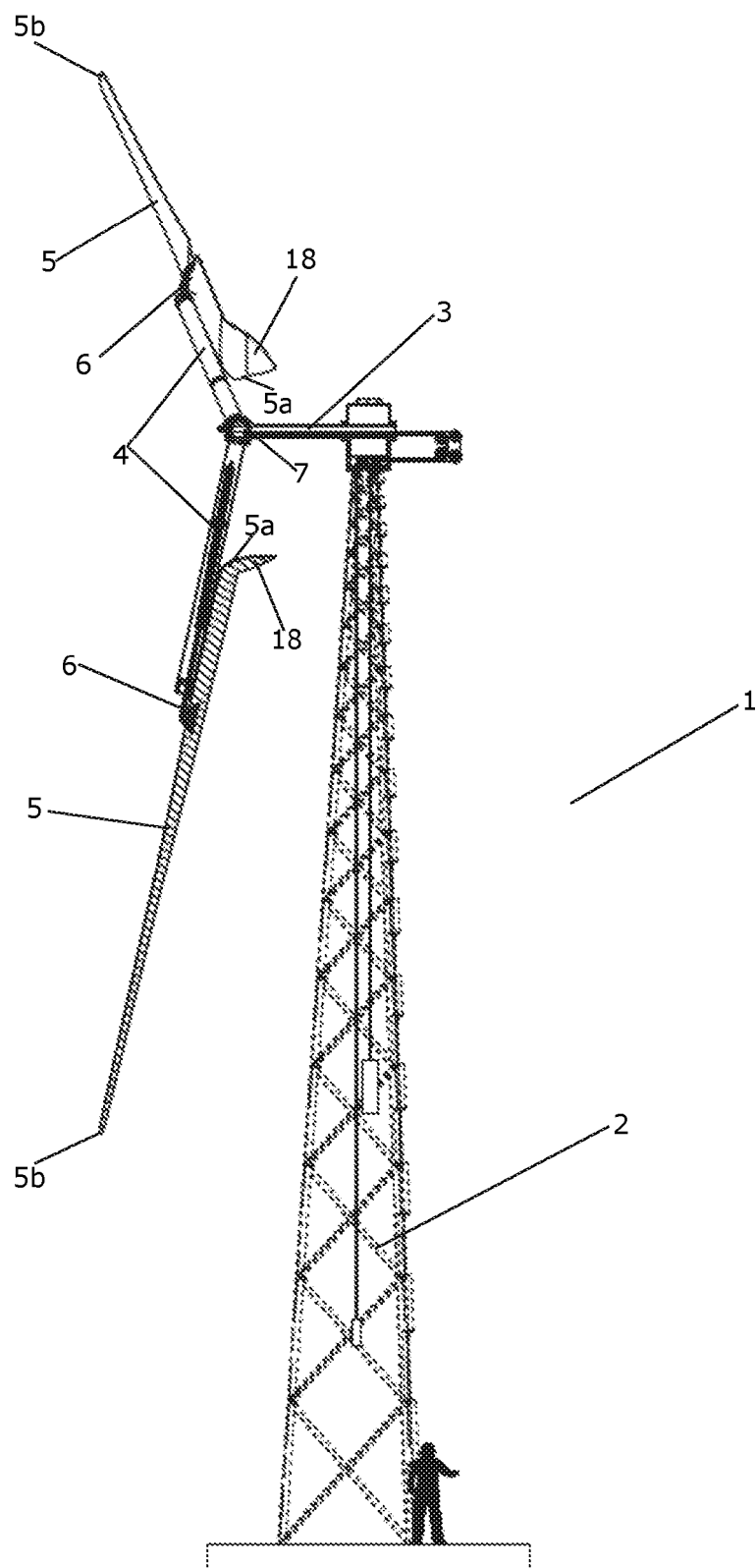


Fig. 14

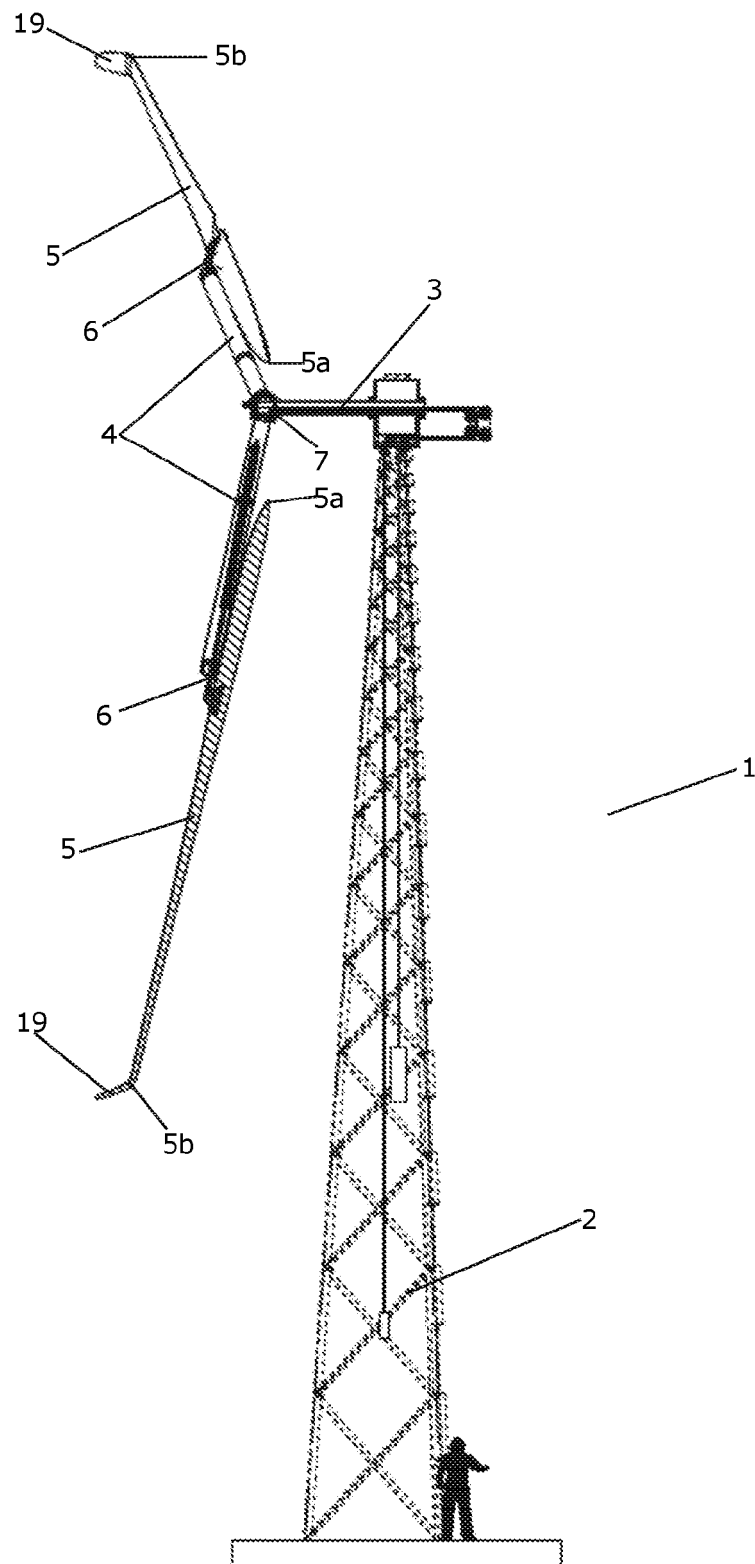


Fig. 15

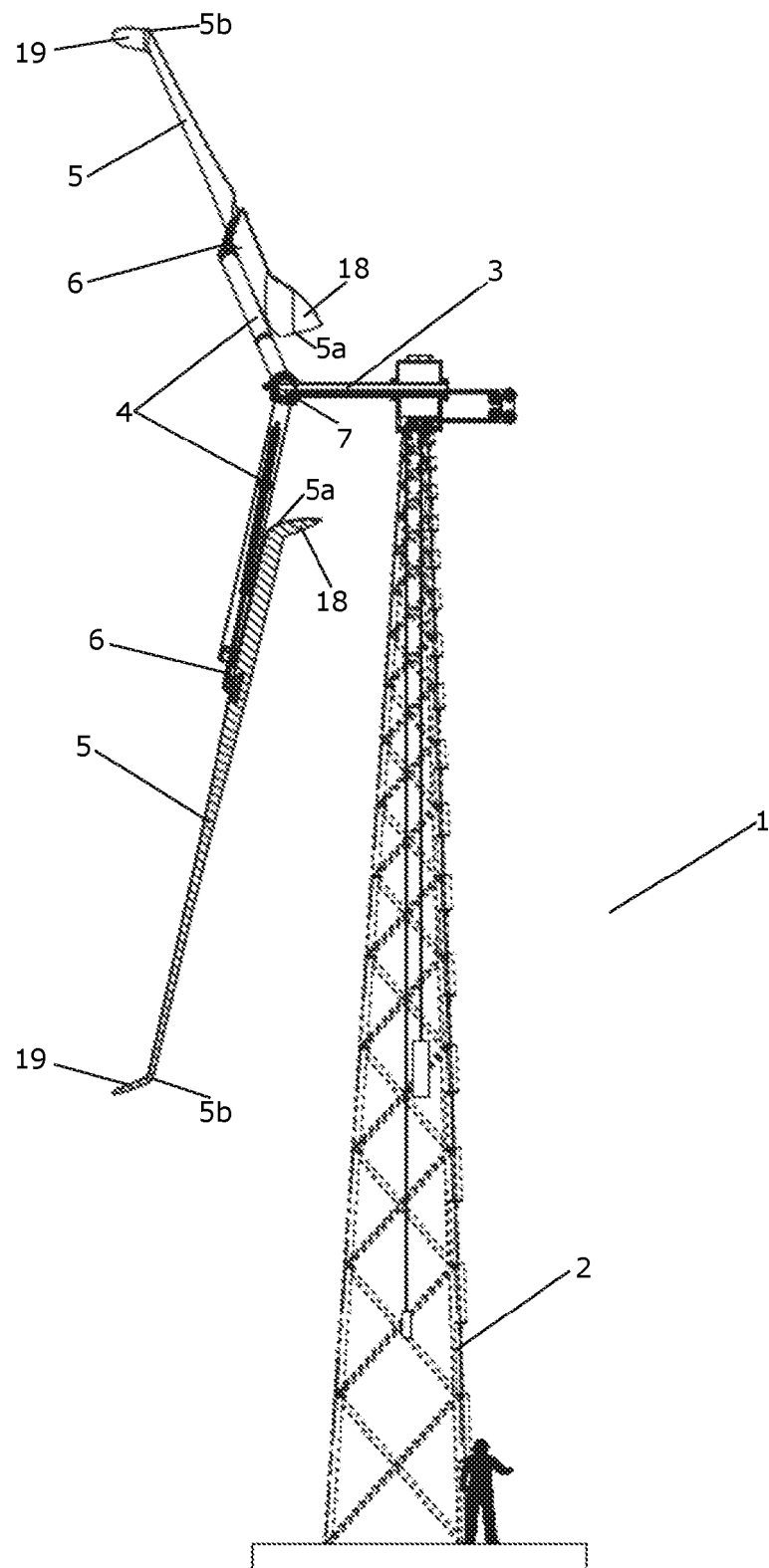


Fig. 16