

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 982 519**

51 Int. Cl.:

F03D 17/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.05.2021** **PCT/EP2021/064001**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.12.2021** **WO21249773**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.05.2021** **E 21728554 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.04.2024** **EP 4139569**

54 Título: **Control de deflexión de la pala del rotor mediante el complemento activo de la pala del rotor**

30 Prioridad:

10.06.2020 EP 20179269

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

16.10.2024

73 Titular/es:

SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY A/S
(100.0%)

Borupvej 16
7330 Brande, DK

72 Inventor/es:

ESBENSEN, THOMAS y
HOEGH, GUSTAV

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 982 519 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

Control de deflexión de la pala del rotor mediante el complemento activo de la pala del rotor

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un método y a una disposición para garantizar que una separación entre una pala de rotor y la torre de la turbina eólica esté por encima de una separación mínima predeterminada durante la operación. De este modo, la presente invención propone un método y una disposición para controlar al menos un sistema de regulación del flujo de aire adaptable de al menos una pala de rotor de una turbina eólica que tiene una torre de turbina eólica. Además, la presente invención se refiere a una turbina eólica que comprende la disposición.

Antecedentes de la técnica

Una turbina eólica comprende una torre de turbina eólica, una góndola montada en la parte superior de la torre de la turbina eólica, en donde la góndola alberga un rotor al que se conectan varias palas de rotor. Durante el funcionamiento de la turbina eólica, las palas del rotor giran en un plano del rotor perpendicular al eje de rotación del eje del rotor. Tras la operación, existe el riesgo, por ejemplo debido a las condiciones cambiantes del viento u otros parámetros operativos, de que las palas del rotor choquen con la torre de la turbina eólica.

Convencionalmente, para garantizar la separación entre la punta de la pala y la torre, el diseño de una pala implica un equilibrio entre palas más ligeras, más baratas, más blandas y más largas, que pueden desviarse significativamente, y palas más pesadas/caras/más rígidas/más cortas, que se desvían menos. Los parámetros operativos de la turbina, como el ángulo de inclinación, el ángulo cónico y el centro de gravedad, influyen aún más en la separación entre la punta de la pala y la torre (también denominada distancia axial entre la punta de la pala y la torre).

Convencionalmente, la distancia axial de la punta de la pala a la torre es normalmente un indicador para el diseño para turbinas eólicas. Es posible que existan casos de carga de diseño (DLC) para evaluar el diseño de una turbina en simulación y garantizar que el diseño de una turbina cumpla con las restricciones particulares de separación entre la punta de la pala y la torre. Por lo general, se puede observar una mayor deflexión de la pala (menor separación) en eventos extremos, como ráfagas de viento, y cuando se opera con una cizalladura negativa del viento.

Convencionalmente, los componentes pueden diseñarse para cumplir con las restricciones de espacio libre. El controlador convencional puede tener la funcionalidad de descargar la turbina cuando existe el riesgo de una mayor deflexión. Convencionalmente, esto puede implicar inclinar las palas. Convencionalmente, el controlador puede ajustarse de forma conservadora para sacrificar el rendimiento, pero puede permitir un mejor espacio entre la punta y la torre.

Se ha observado que inclinar las palas para garantizar una distancia axial mínima particular entre las palas del rotor y la torre no proporciona en todas las situaciones un funcionamiento fiable y seguro. Además, aplicar la inclinación de las palas puede tener un impacto negativo en la vida útil del equipo de cabeceo. En particular, la carga sobre los cojinetes del sistema de cabeceo puede ser relativamente alta debido al elevado número de acciones de cabeceo. Además, es posible que la inclinación no sea lo suficientemente rápida como para controlar adecuadamente el espacio libre y mantenerse dentro de un rango aceptable.

Por lo tanto, puede ser necesario un método y una disposición correspondiente para garantizar que se mantenga una distancia mínima predeterminada entre una pala de rotor y la torre de turbina eólica, prohibiendo así el impacto entre la pala y la torre de turbina eólica. En particular, puede ser necesario garantizar que la separación entre la punta de la pala y la torre en cualquier condición operativa y evento externo esté por encima de una separación mínima.

El documento US 2018/171984 describe un sistema de control para prevenir el impacto de torres en turbinas eólicas, en donde la desviación de la pala se determina por medio de un acelerómetro y el sistema de control actúa sobre un dispositivo de elevación activa de la pala para aumentar la distancia entre la punta de la pala y la torre. Por lo tanto, es un ejemplo relevante de la técnica anterior.

Resumen de la invención

Esta necesidad puede ser satisfecha por el objeto según las reivindicaciones independientes. Las realizaciones ventajosas de la presente invención se describen en las reivindicaciones dependientes.

Según la presente invención, se proporciona un método para controlar al menos un sistema adaptable de regulación del flujo de aire (también denominado accesorio, p. ej., medios de regulación de la sustentación, que comprenden, p. ej., una superficie aerodinámicamente activa que puede cambiar de posición y/u orientación con respecto a un perfil aerodinámico exterior de la pala), en particular del alerón y/o la aleta, de al menos una pala de rotor de una turbina eólica que tiene una torre de turbina eólica /en particular para controlar la deflexión de la pala y/o la separación de la torre). De este modo, el método comprende determinar una cantidad relacionada con una distancia (por ejemplo, real y/o futura) entre la pala del rotor y la torre de la turbina eólica; y controlar el sistema de regulación del flujo de aire en función de la cantidad. De este

modo, controlar el sistema de regulación del flujo de aire comprende: adaptar el sistema de regulación del flujo de aire de manera que se reduzca la sustentación aerodinámica en al menos una parte de la pala del rotor, si la cantidad está por debajo de un primer umbral. El método comprende, si la cantidad relacionada con la distancia está por debajo de un segundo umbral: controlar adicionalmente un sistema de regulación del flujo de aire de al menos una pala de rotor adicional en función de la cantidad relacionada con la distancia, en donde el segundo umbral es menor que el primer umbral.

El método puede implementarse parcialmente en software y/o hardware. El método puede realizarse (en parte), por ejemplo, mediante un módulo de software de un controlador de turbina eólica. El sistema adaptable de regulación del flujo de aire puede comprender uno o más componentes que se disponen en o cerca de las partes del perfil aerodinámico de la pala del rotor. El sistema de regulación del flujo de aire puede comprender, por ejemplo, un alerón, que en particular puede comprender varios segmentos que pueden disponerse a lo largo de una dirección longitudinal de la pala del rotor, por ejemplo, en un lado de succión del perfil aerodinámico de la pala del rotor. Además, de manera alternativa o adicional, el sistema de regulación del flujo de aire puede comprender una o más aletas que, por ejemplo, se monten cerca o en un borde de salida de la pala del rotor.

El sistema de regulación del flujo de aire es adaptable en el sentido de que las propiedades aerodinámicas del sistema de regulación del flujo de aire, en particular junto con las partes de perfil aerodinámico de la pala del rotor, se pueden cambiar. Por ejemplo, la fuerza de sustentación o fuerza de empuje a la que se somete la pala del rotor cuando el viento impacta sobre ella y cuando gira, es posible que pueda cambiarse debido a una adaptación particular del sistema de regulación del flujo de aire. De este modo, el sistema de regulación del flujo de aire puede configurarse en uno o más estados diferentes. Por ejemplo, cuando el sistema de regulación del flujo de aire comprende varios segmentos, esos segmentos individuales puede que se controlen individualmente para que estén en un estado desactivado o en uno activado, lo que implica, por ejemplo, cambiar la posición y/o la orientación de al menos una parte de la superficie activa con respecto al perfil aerodinámico de la pala del rotor. En otras realizaciones, la adaptación puede realizarse de manera continua, ya que al menos una parte de la superficie activa puede cambiarse continuamente de orientación y/o posición con respecto al perfil aerodinámico de la pala del rotor. El sistema de regulación del flujo de aire también puede denominarse accesorio activo.

Para adaptar el sistema de regulación del flujo de aire, es decir, configurarlo en diferentes estados, se puede utilizar, por ejemplo, un sistema neumático. En un ejemplo, el sistema de regulación del flujo de aire puede comprender un alerón que puede colocarse en un lado de succión de la pala del rotor. El sistema de regulación del flujo de aire también puede comprender uno o más generadores de vórtices, por ejemplo, colocados en la línea de corriente detrás del alerón visto desde el borde de ataque. El alerón o los alerones pueden activarse utilizando una manguera de presión colocada debajo de la superficie activa (tal como una aleta), que, al inflarse con aire que se empuja hacia la manguera, puede provocar que la superficie activa se eleve por encima de la superficie de la pala. Cuando se activan el alerón o los alerones, por ejemplo, inclinados hacia arriba para sobresalir del perfil aerodinámico de la pala del rotor, se puede lograr una reducción rápida de la carga de la pala (y, por lo tanto, de la fuerza de sustentación aerodinámica) iniciando al menos una pérdida localizada del flujo de aire a través de la pala del rotor.

Al adaptar el sistema de regulación del flujo de aire (por ejemplo, configurándolo en uno o más estados diferentes), se puede cambiar la fuerza de sustentación de la combinación del perfil aerodinámico de la pala del rotor y el sistema adaptado de regulación del flujo de aire. A su vez, cuando se reduce la fuerza de elevación, por ejemplo, también se reduce la desviación de la pala del rotor.

La “cantidad relacionada con la distancia” entre la pala del rotor y la torre de la turbina eólica no es necesariamente la distancia (axial) entre la pala del rotor y la torre de la turbina eólica. Sin embargo, la distancia (axial) entre la pala del rotor y la torre de la turbina eólica puede derivarse de la “cantidad relacionada con la distancia”.

La cantidad relacionada con la distancia entre la pala del rotor y la torre de la turbina eólica puede, por ejemplo, ser o estar relacionada con una distancia (axial) entre dos objetos de referencia o ubicaciones de referencia, uno en la pala del rotor y otro en la torre.

Por ejemplo, se puede colocar un objeto pequeño (por ejemplo, un sensor o una pegatina de referencia, etc., tal como detectable por RADAR o LIDAR) en la torre. La distancia entre este artículo y la pala (punta) se puede determinar (por ejemplo, mediante una medición) y el control se puede basar en la distancia entre el artículo y la pala (y/o la distancia entre la pala y la torre derivada). Por consideraciones geométricas, se puede calcular la distancia (axial) entre (por ejemplo, una ubicación frontal de) la torre y la pala.

La cantidad relacionada con la distancia entre la pala del rotor y la torre de la turbina eólica puede estar relacionada con y puede ser, por ejemplo, la distancia (axial), medida por ejemplo a lo largo de una dirección axial paralela al eje de rotación del rotor al que está conectada la pala del rotor. En otras realizaciones, la distancia también puede estar relacionada con una distancia real entre la posición tridimensional, por ejemplo, de la punta de una pala de rotor y un punto en la superficie exterior de la torre de turbina eólica.

La distancia axial (es decir, la distancia entre la parte particular de la pala del rotor, en particular la punta, y la torre de la turbina eólica medida a lo largo de la dirección axial paralela al eje de rotación del rotor) puede derivarse de la distancia definida por la distancia euclidiana entre dos puntos tridimensionales o de las coordenadas de los puntos tridimensionales.

En otras realizaciones, la cantidad relacionada con la distancia puede ser, por ejemplo, o comprender una desviación de la pala del rotor, por ejemplo, una desviación de la punta de la pala del rotor fuera de un plano de rotación que puede definirse como un plano perpendicular al rotor y que cruza una sección de raíz de la pala del rotor. En otras realizaciones adicionales, la cantidad puede estar relacionada, por ejemplo, con un valor de deformación medido dentro de la pala del rotor, por ejemplo. A partir del valor de deformación, por ejemplo, puede derivarse la deflexión, a partir de la cual, a su vez, puede derivarse la distancia, en particular la distancia axial, entre la pala del rotor y la torre de la turbina eólica.

Para determinar la cantidad, se pueden usar valores de medición y/o valores estimados. Para determinar la cantidad, se pueden utilizar diferentes datos predeterminados relacionados con la geometría relacionados, por ejemplo, con la longitud de la pala del rotor, las propiedades del material de la pala del rotor, la distancia entre la pala del rotor y la torre en una situación sin carga. La determinación de la cantidad puede implicar la realización de varias operaciones lógicas aritméticas, por ejemplo, mediante un procesador, aplicadas a los valores de medición y/o valores estimados y/u otros parámetros.

La cantidad determinada puede indicar la distancia axial o la distancia axial puede al menos derivarse en función de la cantidad. En lo que sigue, el término "distancia" puede referirse a la distancia entre una parte de pala de rotor y una parte de la torre de turbina eólica. En particular, puede estar relacionada con la distancia entre la punta de la pala del rotor y una parte delantera de la torre de la turbina eólica. El término "distancia axial" puede referirse a la distancia axial entre la parte de pala de rotor y la parte de torre de turbina eólica.

La determinación de la cantidad puede preceder al control del sistema de regulación del flujo de aire. En particular, la cantidad puede determinarse antes de que la pala de turbina eólica considerada pase por la torre. El paso por la torre puede ocurrir cuando la pala del rotor de la turbina eólica puede acercarse a la torre de la turbina eólica a una distancia mínima a lo largo o a lo largo de toda su revolución dentro del plano de rotación.

La distancia y/o la distancia axial pueden determinarse en un punto en el tiempo antes de que la pala del rotor pase por la torre. A partir del valor de la distancia o la distancia axial en este punto en el tiempo, se puede derivar la distancia y/o la distancia axial de la misma en el momento en que la pala del rotor pasa por la torre de la turbina eólica. Según una aproximación en un ejemplo, se puede suponer que la distancia y/o la distancia axial determinadas en el momento anterior a pasar por la torre se mantienen y también son aplicables al punto en el tiempo en el que la pala del rotor de la turbina eólica pasa por la torre de la turbina eólica. El momento en el que la pala del rotor pasa por la torre de la turbina eólica puede denominarse "punto de cruce en el tiempo". El control del sistema de regulación del flujo de aire se puede realizar antes del punto de cruce en el tiempo. De este modo, se puede garantizar que la pala de la turbina eólica no choque con partes de la torre. Según las realizaciones de la presente invención, el sistema de regulación del flujo de aire puede controlarse basándose únicamente en la cantidad en un intervalo azimutal particular justo antes y justo después del punto de cruce temporal. De este modo, se puede mejorar la eficiencia de la turbina eólica y, al mismo tiempo, garantizar una distancia mínima entre la pala del rotor y la torre de la turbina eólica.

El objetivo de control utilizado en el método puede ser exactamente la distancia (mínima) (en particular axial) entre la punta de la pala y la torre, que se evalúa cuando la pala está exactamente enfrente de la torre (el ángulo acimutal del rotor hace que la pala apunte hacia abajo). Sin embargo, dado que hay cierto retraso en el control del complemento activo (por ejemplo, un pequeño retraso de apertura/activación de 0,1-2 segundos) y dado que la aerodinámica de la pala no cambia momentáneamente, la acción de control se inicia antes de que la pala alcance la posición crítica (es decir, el punto de cruce temporal). El método puede reaccionar "antes" del momento de paso, por ejemplo, una pala o incluso una revolución por delante, o algún margen de fase antes, y predecir la distancia esperada para el punto de cruce en el tiempo.

La distancia axial (por ejemplo, entre el plano del rotor/pala y la torre) puede ser el objetivo de control (no provocar una colisión), pero el método debe reaccionar antes, por lo que, por ejemplo, se puede usar una distancia o una estimación de la distancia antes del momento de paso (por ejemplo, en otra ubicación o en una ubicación anterior a la que la pala apunta hacia abajo) para inferir la distancia en el punto de cruce en el tiempo.

El control del sistema de regulación del flujo de aire puede comprender, por ejemplo, enviar señales adecuadas de control a un sistema neumático que, al recibir las señales, pueda generar presión neumática a fin de inflar (o desinflar), por ejemplo, una manguera que, al inflarse o desinflarse, mueva una parte de la superficie activa, por ejemplo, en el caso de un alerón. Cuando el sistema de regulación del flujo de aire comprende varios segmentos, se pueden suministrar diferentes señales de control individuales a los segmentos individuales del sistema de regulación del flujo de aire. Por ejemplo, diferentes segmentos pueden controlarse de manera diferente. Uno o más pueden activarse (lo que implica inclinar hacia fuera la superficie activa respectiva) y uno o más pueden desactivarse. El control puede ser tal que la fuerza de elevación debida a la aerodinámica o debida al flujo de aire se reduzca hasta tal punto que se garantice una distancia predeterminada mínima entre la pala del rotor y la torre de la turbina eólica.

De este modo, se puede proporcionar un método rápido para controlar la deflexión o controlar la distancia (o separación) entre la pala del rotor y la torre de la turbina eólica. Además, se puede reducir la carga sobre los cojinetes de inclinación. En particular, cuando se lleva a cabo el método, el ángulo de inclinación puede mantenerse (al menos temporalmente) sin cambios, es decir, constante.

Por ejemplo, al activar un segmento de un alerón segmentado dispuesto en un lado de succión de la pala del rotor, el flujo de aire puede perturbarse al menos en una parte, para provocar una pérdida del flujo de aire. De este modo, la fuerza de elevación provocada por el flujo de aire que fluye a través del perfil aerodinámico de la pala del rotor, incluida la superficie activa del dispositivo de regulación de flujo, puede disminuir. De este modo, la distancia, en particular la distancia axial, puede mantenerse por encima de la distancia mínima predeterminada. Si la cantidad no está por debajo del primer umbral, puede que no sea necesario controlar el sistema de regulación del flujo de aire, ya que la distancia determinada no es menor que la distancia mínima predeterminada. De este modo, la producción de energía puede continuar y la eficiencia puede mejorarse en comparación con los métodos convencionales.

La adaptación del sistema de regulación del flujo de aire puede ser tal que cuanto menor sea la cantidad relacionada con la distancia, más se reduzca la sustentación, por ejemplo, inversamente proporcional.

El segundo umbral es más pequeño que el primer umbral. Por lo tanto, cuando se determina que la distancia está por debajo del segundo umbral, la desviación de la pala del rotor es relativamente fuerte, de modo que también para una o más palas de turbina eólica, se correrá el riesgo de cruzar la torre a una distancia demasiado corta o incluso chocar con la torre. Por lo tanto, puede ser ventajoso controlar ya los respectivos sistemas de regulación del flujo de aire en una o más palas de turbina eólica diferentes que se acercarán a la torre después de que la primera pala de rotor considerada haya pasado por la torre. Este tipo de control también puede denominarse control colectivo de varias palas de turbinas eólicas o sistemas de regulación en palas de turbinas eólicas.

Según una realización de la presente invención, la cantidad relacionada con la distancia se obtiene mediante al menos una medición y/o al menos una estimación y/o cuando la distancia se refiere a una distancia axial entre la punta de la pala y la torre, tomándose la distancia axial a lo largo de la dirección axial de un rotor de turbina eólica en el que está montada la pala del rotor, en donde la distancia se refiere en particular a un punto en el tiempo, cuando la pala pasa por la torre (es decir, cuando la punta de la pala apunta hacia abajo) y un eje longitudinal de la pala es sustancialmente paralelo a un eje longitudinal de la torre).

La medición y la estimación se pueden combinar para determinar la cantidad. En particular, se pueden utilizar o combinar diferentes valores de medición de diferentes sensores y la estimación puede tener en cuenta estos diferentes valores de medición para determinar la cantidad. Cuando la distancia axial es cero, la punta de la pala del rotor simplemente tocaría la pared exterior de la torre de la turbina eólica. Para garantizar un funcionamiento fiable y seguro, se puede solicitar que la distancia axial sea mayor que un valor mínimo. Este criterio solo puede aplicarse en el punto de cruce a tiempo. Cuando no se encuentra en el punto de cruce temporal, la distancia (axial) puede ser incluso menor que la distancia mínima (axial). Según una realización de la presente invención, la distancia axial en momentos distintos del punto de cruce en el tiempo es realmente inferior a la distancia mínima predeterminada y dada por las instrucciones de funcionamiento de la turbina eólica. De este modo, se puede mejorar la eficiencia de la turbina eólica al tiempo que se garantiza la prohibición de un impacto entre la pala y la torre. La punta de la pala del rotor puede ser la parte (por ejemplo, el extremo longitudinal) de la pala del rotor que está a la mayor distancia de la raíz de la pala.

Según una realización de la presente invención, la medición implica al menos una de las siguientes opciones: medir una distancia entre una parte de la pala y una parte de la torre; medir una desviación de la pala del rotor en al menos una parte de la pala del rotor, en donde la medición se basa en el RADAR y/o el LIDAR y/o la medición de la deformación y/o la medición de la aceleración.

Una medición puede realizarse, por ejemplo, mediante un método óptico o electromagnético, con un equipo parcialmente instalado en la pala y/o la torre y/o la góndola. La deflexión puede medirse, por ejemplo, evaluando las señales de uno o más sensores de aceleración y/o sensores de deformación colocados o dispuestos sobre o en la superficie de la pala del rotor o internamente. De este modo, las técnicas de medición disponibles convencionalmente pueden ser compatibles para determinar de forma sencilla y fiable la cantidad que implica una medición.

Según una realización de la presente invención, la estimación implica al menos una de las siguientes opciones: estimar una desviación de al menos una parte, en particular la punta de una pala, de la pala basándose en al menos un resultado de medición, en particular la deformación y/o aceleración de la pala; estimar una distancia entre una parte de la pala y una parte de la torre en función de al menos un resultado de medición y/o un resultado de estimación, en particular la desviación de la pala en al menos una parte y/o el momento de encastre de la pala.

La deflexión se puede dar como una desviación de la forma de diseño de la pala con respecto a la forma real de la pala. La desviación se puede dar, por ejemplo, como un ángulo con respecto a la raíz de una pala o como una forma completa de una curva de la pala del rotor. En otras realizaciones, la desviación se puede dar como una desviación de la posición axial de la punta de la pala del rotor con respecto a una posición axial de diseño de la punta de la pala del rotor. Utilizando consideraciones geométricas, la distancia y, en particular, también la distancia axial pueden derivarse de la deflexión y/o de una o más mediciones o estimaciones adicionales. Para estimar los modelos físicos y/o matemáticos se pueden utilizar teniendo en cuenta, por ejemplo, el material del que se fabrica la pala del rotor y/o la geometría de la pala.

Según una realización de la presente invención, la determinación de la cantidad relacionada con la distancia comprende: medir la cantidad relacionada con la distancia durante un primer punto en el tiempo; predecir la cantidad

relacionada con la distancia para un segundo punto en el tiempo, en particular cuando la pala del rotor pasa por la torre, en función de la cantidad relacionada con la distancia medida para un primer punto en el tiempo; en donde controlar el sistema de regulación del flujo de aire comprende: controlar, antes del segundo punto en el tiempo, el sistema de regulación del flujo de aire en función de la cantidad prevista para el segundo punto en el tiempo.

Por lo tanto, el segundo punto en el tiempo puede ser el punto de cruce en el tiempo. El primer punto en el tiempo puede ser anterior al segundo punto en el tiempo. Cuando el sistema de regulación del flujo de aire se controla antes del segundo punto temporal, la fuerza de sustentación puede cambiarse, en particular reducirse, para impedir de manera efectiva una desviación tan grande que genere el riesgo de un impacto entre la pala y la torre. En particular, se puede garantizar que la distancia mínima (axial) no se reduzca.

El intervalo de tiempo entre el primer punto en el tiempo y el segundo punto en el tiempo puede ascender, por ejemplo, a entre 0,1 s y 10 s.

Según una realización de la presente invención, la al menos una medición y/o la al menos una estimación se refieren a que la pala del rotor está posicionada dentro de un rango de ángulos azimutales del rotor predeterminado, en particular con una anchura angular de entre 90° y 180°, en la dirección de movimiento de la pala antes de la torre.

Cuando la medición y/o la estimación se refieren a que la pala del rotor está posicionada dentro del rango predeterminado del ángulo azimutal del rotor, la determinación de la cantidad relacionada con la distancia puede ser más fiable y/o más precisa. Por ejemplo, cuando la pala del rotor está en posición vertical, las condiciones de viento experimentadas pueden ser significativamente diferentes a las de la pala de la turbina eólica que apunta hacia abajo, es decir, que simplemente cruza la torre. La toma de valores de medición en un rango relativamente cercano a la situación de cruce puede mejorar la confiabilidad y precisión de la cantidad determinada. A su vez, el control puede mejorarse. También se pueden proporcionar otros anchos angulares, por ejemplo, entre 60° y 100°.

Según una realización de la presente invención, la determinación de la cantidad relacionada con la distancia comprende: medir la desviación de una pala, cuando la pala está dentro del rango azimutal predeterminado del rotor, y estimar la distancia entre la punta de la pala y la torre, en el momento en que la punta de la pala pasa por la torre, basándose en la desviación de la pala medida anteriormente.

La deflexión puede estimarse, por ejemplo, a partir de uno o más resultados de medición de aceleración o resultados de medición de sensores de deformación e incluir información de geometría e información de material con respecto a la pala del rotor. En una aproximación, la distancia en el momento del cruce, es decir, en el punto de cruce en el tiempo, se puede aproximar o suponer que es similar o igual a la distancia medida anteriormente dentro del rango de ángulos predeterminado.

En otras realizaciones, se pueden tener en cuenta las condiciones cambiantes del viento o se pueden tener en cuenta otras propiedades cambiantes para predecir realmente la distancia axial en el punto de cruce en el tiempo a partir de la distancia medida, obtenida o estimada en un punto anterior.

Según una realización de la presente invención, el control del sistema de regulación del flujo de aire es tal que una distancia (axial) entre la punta de la pala del rotor y la torre, cuando la pala pasa por la torre, es igual o mayor que una distancia mínima (axial) predeterminada.

En particular, la distancia axial puede mantenerse igual o mayor que una distancia axial mínima predeterminada. El método puede implicar, en lugar de definir o utilizar una distancia mínima, definir también una deflexión máxima predeterminada (o deformación máxima, por ejemplo) o una desviación máxima con respecto a una posición axial tal como se diseñó. De este modo, se puede evitar la colisión entre la pala y la torre y también se puede proporcionar un margen de seguridad.

Según una realización de la presente invención, controlar el sistema de regulación del flujo de aire comprende: adaptar el sistema de regulación del flujo de aire de manera que se disminuya la sustentación aerodinámica y/o la resistencia al viento y/o la flexión/deflexión en al menos una parte de la pala del rotor (por ejemplo, entre un 10 % y un 50 %), si la cantidad está por debajo del primer umbral, en particular, comprende efectuar una retención del flujo de aire cerca de al menos una parte de la pala.

Según las realizaciones de la presente invención, cada pala de turbina eólica puede controlarse individualmente en función de los respectivos valores de medición propios y de las distancias determinadas respectivamente entre la torre y la punta de la pala de rotor respectiva. En otras realizaciones, para ahorrar equipo y esfuerzos de procesamiento, solo una pala de turbina eólica puede someterse a una medición que permita estimar y/o medir o determinar la distancia entre esta punta de pala en particular y la torre, mientras que otras palas de turbina eólica no están sujetas a tales mediciones y/o estimaciones. Esto se puede aplicar, en particular, cuando todas las palas de turbina eólica se fabrican con el mismo diseño y el mismo material. El hecho de que se pueda aplicar el control colectivo o el control individual puede depender de la aplicación y las circunstancias particulares, por ejemplo, las condiciones del viento y las condiciones meteorológicas.

Según una realización de la presente invención, el método comprende además, después de que la pala del rotor haya pasado la torre, en particular si la cantidad relacionada con la distancia es menor que un primer umbral pero

es mayor que un segundo umbral: adaptar el sistema de regulación del flujo de aire para aumentar la sustentación aerodinámica, en particular para adoptar un ajuste como antes de pasar por la torre.

La configuración anterior a pasar la torre, es decir, la configuración anterior al punto de cruce en el tiempo, puede haberse memorizado durante el procedimiento. Volver a este ajuste antes del punto de cruce temporal puede poner ventajosamente la pala del rotor en una condición operativa determinada, por ejemplo, por otros mecanismos de control, también dictados por la potencia de salida deseada. Por lo tanto, estas otras referencias deseadas, por ejemplo con respecto a la potencia de salida, se pueden recuperar de manera rápida después de que la pala haya pasado por la torre. De este modo, se puede mejorar la eficiencia y también se puede mejorar la capacidad de control. En el otro caso, si la cantidad es incluso menor que el segundo umbral, la deflexión puede ser tan fuerte que el dispositivo de regulación de flujo no vuelva a su posición anterior a pasar por la torre, a fin de evitar también el impacto o la aproximación demasiado cercana de la siguiente pala del rotor que se espera que pase por la torre de la turbina eólica.

Según una realización de la presente invención, el control del sistema de regulación del flujo de aire comprende: la posición de movimiento y/u orientación de al menos una superficie aerodinámicamente activa del sistema de regulación del flujo de aire con respecto a una parte aerodinámica de la pala del rotor.

El movimiento de la posición y/o la orientación puede conseguirse controlando de forma apropiada un sistema neumático por ejemplo o un sistema piezoeléctrico, o una combinación de los mismos, o un sistema hidráulico, en función de la aplicación y la implementación particular del dispositivo o sistema de regulación de flujo. El mover, por ejemplo, la orientación de la superficie aerodinámicamente activa a un estado activo (p. ej., girándola parcial o completamente hacia fuera), puede provocar, por ejemplo, una pérdida localizada de un flujo de aire. Poner la superficie activa en un estado desactivado puede establecer un flujo de aire a través de la superficie activa, que puede conformarse según la forma normal de la superficie del perfil aerodinámico de la pala del rotor.

Según una realización de la presente invención, el sistema de regulación del flujo de aire comprende al menos una de: una aleta, en particular dispuesta en un borde de salida de la pala del rotor; un alerón, en particular segmentado, dispuesto en una superficie de succión de la pala, en donde el sistema de regulación del flujo de aire es diferente de un sistema de cambio de ángulo de paso.

De este modo, se pueden soportar los sistemas de regulación disponibles convencionalmente. El alerón puede comprender, por ejemplo, de cinco a diez segmentos que se disponen uno al lado del otro a lo largo de la dirección longitudinal de la pala del rotor, y provistos o montados en el lado de succión de la pala del rotor.

Debe entenderse que las características, individualmente o en cualquier combinación, divulgadas, descritas, explicadas o provistas para un método para controlar al menos un sistema adaptable de regulación del flujo de aire, también pueden aplicarse o proveerse, individualmente o en cualquier combinación, para una disposición para controlar al menos un sistema adaptable de regulación del flujo de aire de al menos una pala de rotor de una turbina eólica, según las realizaciones de la presente invención, y viceversa.

Según una realización de la presente invención, se proporciona una disposición para controlar al menos un sistema de regulación del flujo de aire adaptable de al menos una pala de rotor de una turbina eólica que tiene una torre de turbina eólica, adaptándose la disposición: para determinar una cantidad relacionada con la distancia entre la pala de rotor y la torre de turbina eólica; y para controlar el sistema de regulación del flujo de aire en función de la cantidad. De este modo, controlar el sistema de regulación del flujo de aire comprende adaptar el sistema de regulación del flujo de aire de manera que disminuya la sustentación aerodinámica en al menos una parte de la pala del rotor, si la cantidad está por debajo de un primer umbral, en donde, si la cantidad relacionada con la distancia está por debajo de un segundo umbral, el sistema de regulación del flujo de aire de al menos una pala de rotor adicional se controla adicionalmente en función de la cantidad relacionada con la distancia, en donde el segundo umbral es menor que el primer umbral.

La disposición puede, por ejemplo, ser parte de un controlador de turbina eólica y puede implementarse en hardware y/o software.

Según una realización de la presente invención, se proporciona una turbina eólica, que comprende: una torre de turbina eólica; una góndola montada en la torre; un eje de rotor instalado en la góndola, en el que se montan varias palas de rotor del eje del rotor, al menos en una pala del rotor que tenga al menos un sistema de regulación del flujo de aire adaptable; y una disposición según la realización anterior conectada para controlar el sistema de regulación del flujo de aire.

Los aspectos definidos anteriormente y otros aspectos de la presente invención se infieren de los ejemplos de realización que se describirán a continuación y se explican con referencia a los ejemplos de realización.

Breve descripción de los dibujos

Las realizaciones de la presente invención se describen ahora con referencia a los dibujos adjuntos. La invención no está limitada a las realizaciones ilustradas o descritas.

La Figura 1 ilustra esquemáticamente una turbina eólica según una realización de la presente invención, que comprende una disposición según una realización de la presente invención; y

la Figura 2 ilustra un esquema de método según una realización de la presente invención, tal como, por ejemplo, realizable mediante la disposición ilustrada en la Figura 1.

Descripción detallada

La turbina eólica 1 ilustrada esquemáticamente en la Figura 1 comprende una torre 3 de turbina eólica que se erige en una base no ilustrada. La turbina eólica comprende además una góndola 5 que está montada de forma giratoria en la parte superior de la torre 3 de la turbina eólica. La góndola de la turbina eólica 5 comprende un eje del rotor 7 que está instalado dentro de la góndola 5. El eje del rotor acciona un generador 9 que genera energía eléctrica que se suministra a un convertidor 11, que convierte el flujo de potencia de corriente alterna de frecuencia variable en un flujo de potencia de frecuencia sustancialmente fija que se suministra a un transformador de turbina eólica que transforma la tensión de salida en un valor más alto.

La turbina eólica 1 comprende, además, una disposición 20 para controlar al menos un sistema 13 adaptable de regulación del flujo de aire que está provisto en al menos una pala 15 de turbina eólica. En el mismo, el eje de rotación 7 tiene un buje 17 en el que se montan varias palas de rotor 15. Al menos una pala de rotor tiene un sistema 13 de regulación de flujo.

En la realización ilustrada, el sistema de regulación de flujo comprende un alerón segmentado que tiene segmentos 19a, 19b, 19c, 19d, 19e, 19f de alerón que están dispuestos en un lado 14 de succión a lo largo de un eje longitudinal 21 de la pala 15 de rotor. El sistema 13 de regulación del flujo de aire puede comprender, además, al menos una aleta en un borde 16 de salida, en donde las aletas se indican con el signo 23 de referencia.

La disposición 20 está adaptada para controlar el sistema 13 adaptable de regulación del flujo de aire. De este modo, la disposición 20 lleva a cabo un método 30 como se ilustra en la Figura 2. En un paso del método 31, se determina una cantidad relacionada con la distancia entre la pala del rotor y la torre de la turbina eólica. En particular, la distancia puede estar relacionada con una distancia axial "da" entre la punta 25 de una pala de rotor y una parte 27 de la torre de turbina eólica 3. La parte 27 de la torre de turbina eólica es, en particular, una parte delantera de la torre de turbina eólica 3 que está a una distancia predeterminada por debajo del eje del rotor 7, en donde esta distancia puede corresponder a toda la longitud de la pala del rotor 15. En otro paso del método 33, el sistema de regulación del flujo de aire, por ejemplo el sistema 13 ilustrado en la Figura 1, se controla en función de la cantidad.

Como se ilustra en la Figura 1, la turbina eólica comprende además un sistema de medición por radar 28 que es capaz de medir la distancia axial da entre la torre en el área 27 y la punta 25 de la pala del rotor. De este modo, el sistema de medición por radar 28 puede configurarse, por ejemplo, como se describe en el documento WO 2020/057917. El sistema de radar 28 puede comprender un receptor y un transmisor 35, 37 que pueden, por un lado, generar una señal electromagnética que se introduce en una guía de ondas 39 que puede configurarse como un alimentador con fugas. La señal electromagnética viaja dentro del alimentador con fugas 39, que comprende aberturas u orificios que permiten que la onda electromagnética se filtre a través de la guía de ondas 39 o del alimentador con fugas 39 hacia el exterior. La onda electromagnética puede entonces reflejarse, por ejemplo, por una parte de la pala del rotor 15 y la señal reflejada puede viajar a través de la guía 39 hacia el receptor 37 que recibe la onda electromagnética reflejada. Basándose en la tecnología de radar, se puede determinar la posición de, por ejemplo, la punta 25 de la pala del rotor. Además, basándose en la información de posicionamiento con respecto a la superficie exterior de la torre de la turbina eólica, la distancia "da" entre la punta 25 de la pala del rotor y el área 27 de la torre 3 puede determinarse mediante la disposición 20 que recibe señales de medición del sistema de radar 28, por ejemplo, a través de una línea de transmisión de datos 41.

La pala del rotor 15 tiene instalados además varios sensores de deformación o sensores de aceleración 43 a lo largo de su extensión longitudinal o al menos en una parte de raíz 12. La disposición 20 recibe además señales de medición de los sensores de aceleración o sensores de deformación 43 y determina a partir de estos sensores de medición una desviación de la pala del rotor 15. A partir de la desviación de la pala del rotor, también se puede calcular, predecir o estimar la distancia "da". En otras realizaciones, la distancia "da" puede determinarse usando LIDAR u otras técnicas de medición de distancia adecuadas.

La disposición 20 puede disponerse, por ejemplo, dentro del buje 17 de la turbina eólica o puede disponerse dentro de la góndola 5, según la aplicación.

La Figura 1 ilustra el momento en el que la pala del rotor 15 cruza o pasa por la torre 3. Sin embargo, la medición o estimación puede ocurrir antes que en el punto de cruce en el tiempo, es decir, en un punto en el tiempo que es anterior al punto de cruce en el tiempo. A continuación, la medición puede estar relacionada con la posición de la pala del rotor o, en particular, con la punta 25 de la pala del rotor en un punto en el tiempo antes de pasar por la torre de la turbina eólica. Sin embargo, basándose en la distancia de la punta de la pala del rotor desde un plano 45 perpendicular al eje del rotor 8 del rotor 7, se puede deducir la distancia "da" en el punto de cruce en el tiempo. En el mismo, el plano 45 es perpendicular al eje de rotación 8 del rotor 7 y cruza la torre de turbina eólica 3 en la ubicación 27. En una primera aproximación, se puede suponer que la distancia de la punta en la dirección axial 8 desde el plano 45 no cambia significativamente al girar aún más para pasar por

la torre de turbina eólica 3. La distancia de la punta 25 de la pala del rotor desde el plano 45 puede medirse, por ejemplo, en un intervalo de ángulos axiales acimutales que se encuentra antes de que la pala pase por la torre 3.

La distancia axial da también puede inferirse a partir de las señales de medición de los diversos sensores de deformación o sensores de aceleración 43 y procesar adecuadamente estas señales de medición.

La disposición 20 controla entonces el sistema 19a, 19b, 19c, 19d, 19e, 19f y/o 23 de regulación de flujo suministrando señales de control apropiadas, por ejemplo, a través de una línea 47 de control a los segmentos individuales 19a, ..., 19f y las líneas 48 de control a las aletas 23. Estos segmentos 19a-19f pueden entonces activarse o desactivarse individualmente, por ejemplo, si comprenden dos estados diferenciados o discretos. En otras realizaciones, de manera adicional o alternativa, se puede llevar a cabo una adaptación continua del dispositivo 13 de regulación de flujo, por ejemplo, moviendo continuamente una orientación y/o una posición de las aletas 23 del borde de salida. Al controlar el sistema 13 de regulación del flujo de aire mediante la disposición 20, se garantiza que la distancia "da" no sea menor que una distancia mínima "dmin".

Si la distancia da determinada es relativamente grande, por ejemplo, mayor que un primer umbral, es posible que no se lleve a cabo la adaptación adicional. Sin embargo, si la distancia determinada o la distancia axial da está por debajo de un primer umbral, entonces la disposición 20 puede controlar el dispositivo de regulación del flujo de aire para reducir su fuerza de sustentación. La disposición puede realizar un control colectivo de todos los dispositivos de regulación del flujo de aire de todas las palas de turbina eólica basándose en una o varias mediciones o determinaciones de distancias.

Según las realizaciones de la presente invención, los dispositivos de regulación del flujo de diferentes palas de rotor pueden controlarse de manera diferente, por ejemplo, no en los mismos intervalos de tiempo. Por ejemplo, el dispositivo o sistema de regulación de flujo de una pala de rotor solo puede controlarse justo antes del punto de cruce en el tiempo, durante el punto de cruce en el tiempo y justo después del punto de cruce en el tiempo, mientras que todos los demás dispositivos de regulación de la turbina eólica o de regulación del flujo de aire de otras palas de rotor no se controlan en esta ventana de tiempo. En esta realización, por lo tanto, los dispositivos de regulación del flujo de diferentes palas de rotor pueden controlarse en diferentes intervalos de tiempo. Sin embargo, el control puede ser similar o incluso igual, con respecto a la reducción de la fuerza de elevación debido a la adaptación del dispositivo de regulación de flujo respectivo.

En otras realizaciones de la presente invención, no se realiza ningún control individual sino un control colectivo, lo que puede simplificar el algoritmo.

Cada uno de los segmentos 19a,..., 19f de alerón tiene una superficie aerodinámicamente activa respectiva que se expone al flujo de aire alrededor de la pala del rotor 15. Esta superficie activa se mueve con respecto a la posición y/o la orientación debido a las señales de control suministradas desde la disposición 20.

Las realizaciones de la presente invención utilizan complementos de pala activos para controlar la deflexión de la pala y, por lo tanto, garantizar el espacio entre la punta de la pala y la torre según sea necesario.

Los sistemas de cabeceo de las turbinas más grandes suelen ser relativamente lentos (capaces de inclinar a una velocidad más lenta) que los de un complemento (es decir, un sistema de regulación del flujo de aire). Esto significa que los sistemas de cabeceo pueden actuar más despacio ante eventos rápidos que los complementos. Además, la inclinación puede implicar girar toda la pala y también perfiles aerodinámicos cerca de la raíz de la pala, lo que tiene un impacto aerodinámico mínimo. Por lo tanto, la inclinación puede ser menos eficiente que utilizar complementos para controlar la desviación de la pala y, por lo tanto, garantizar una distancia mínima entre la punta de la pala del rotor y la torre.

Los complementos activos de la pala, tales como un alerón (en particular, segmentado) y/o una solapa en el borde posterior, pueden efectuar un cambio significativo en la sustentación de la pala del rotor en poco tiempo.

Las siguientes etapas ilustran realizaciones particulares de la presente invención, pero no limitan la invención:

- 1) Primero, determinar la información sobre la distancia entre la punta de la pala y la potencia. Esto puede incluir
 - a. una medición de la distancia entre la punta y la torre
 - b. una medición de la deflexión de la punta
 - c. una estimación de la distancia entre la punta y la torre
 - d. una estimación de la deflexión de la punta.

Las mediciones pueden basarse en el radar, el LIDAR, etc. La estimación puede basarse en los momentos de la raíz de la pala, las señales de los sensores (por ejemplo, las señales del acelerómetro) en la pala, las extrapolaciones de las mediciones, etc. Puede haber una fuerte correlación entre la desviación de la pala y la distancia de la punta de la pala a la torre o la distancia de la punta de la pala a la torre.

La deflexión solo puede evaluarse en un cierto rango azimutal del rotor (por ejemplo, en un sector de 90-180° antes de que la pala pase por la torre). La desviación puede evaluarse como la distancia prevista cuando la pala pasa por la torre. Las realizaciones de la presente invención pueden permitir una desviación arbitraria o una posición arbitraria de la punta de la pala cuando la pala no está delante de la torre (es decir, no pasa por la torre). Sin embargo, en la práctica, la desviación de la pala antes de pasar por la torre, por supuesto, también tiene un impacto en la desviación que tendrá más adelante cuando pase por la torre.

2) Determinar un comando de acción de control apropiado en función de la información. Esto puede incluir:

a. aplicar una acción de control colectivo a todas las palas si se supera un umbral.

b. aplicar una acción de control individual a una sola pala que supere un umbral.

c. aplicar continuamente una medida de control de tipo más riguroso siempre que la información indique un espacio libre (o distancia) menor; es probable que reaccione primero cuando el espacio libre esté por debajo de un límite determinado.

3) Mover el complemento de pala activo según el comando de acción de control correspondiente. Esto puede incluir:

a. activar un alerón (o desactivar un alerón) o activar al menos un segmento de alerón o desactivar algunos segmentos de alerón

b. activar o desactivar la solapa del borde posterior

c. activar otros complementos

Las realizaciones de la presente invención pueden proporcionar varios beneficios, tales como:

· Aplicar un complemento de pala activo puede ser una forma eficiente de descargar la pala del rotor para reducir la deflexión de la pala.

· Inclinar una pala entera o todas las palas puede ser una forma menos eficiente de descargar la pala para reducir la deflexión de la pala.

· El espacio libre (o distancia) entre la punta de la pala y la torre suele depender del diseño y puede provocar un mayor LCOE, ya que los componentes de la turbina están diseñados para ofrecer espacio libre frente a costos o materiales adicionales o sacrificar el rendimiento.

· Habilidad mejorada para producir turbinas eólicas con un coste competitivo.

Cabe señalar que el término “que comprende” no excluye otros elementos o etapas y los artículos “un” o “una” no excluyen una pluralidad. También pueden combinarse elementos descritos asociados a distintas realizaciones. También hay que señalar que los signos de referencia de las reivindicaciones no deben interpretarse como una limitación del alcance de las mismas.

REIVINDICACIONES

1. Método (30) para controlar al menos un sistema (13) de regulación del flujo de aire adaptable, en particular el alerón (19a-19f) y/o la aleta (23), de al menos una pala (15) de rotor de una turbina eólica (1) que tiene una torre de turbina eólica (3), cuyo método comprende:
5
determinar una cantidad relacionada con una distancia (da) entre la pala (15) del rotor y la torre de turbina eólica (3);
10 controlar el sistema (13) de regulación del flujo de aire en función de la cantidad, en donde controlar el sistema (13) de regulación del flujo de aire comprende:
15 adaptar el sistema (13) de regulación del flujo de aire de manera que se reduzca la sustentación aerodinámica en al menos una parte de la pala del rotor, si la cantidad está por debajo de un primer umbral,
caracterizándose el método porque comprende además, si la cantidad relacionada con la distancia está por debajo de un segundo umbral:
20 controlar adicionalmente un sistema de regulación del flujo de aire de al menos una pala (15) de rotor adicional en función de la cantidad relacionada con la distancia, en donde el segundo umbral es menor que el primer umbral.
2. Método según la reivindicación anterior,
25 en donde la cantidad relacionada con la distancia se obtiene mediante al menos una medición y/o al menos una estimación en donde la distancia se refiere en particular a una distancia axial (da) entre una punta (25) de la pala (15) y la torre (3), tomándose la distancia axial (da) a lo largo de una dirección axial (8) de un rotor de turbina eólica (7) en el que está montada la pala (15) de rotor.
30
3. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en donde la medición comprende al menos uno de:
35 medir una distancia entre una parte (25) de la pala (15) y una parte (27) de la torre (3);
medir una desviación de la pala de rotor en al menos una parte de la pala de rotor, en donde la medición se basa en el RADAR (28) y/o el LIDAR y/o la medición de deformación (43) y/o la medición de la aceleración.
4. Método según una de las dos últimas reivindicaciones anteriores, en donde el sistema de regulación del flujo de aire comprende al menos uno de:
40 estimar una desviación de al menos una parte, en particular la punta (25) de una pala, de la pala (15) basándose en al menos un resultado de medición, en particular la deformación y/o aceleración de la pala;
45 estimar una distancia entre una parte (25) de la pala (15) y una parte (27) de la torre (3) basándose en al menos un resultado de medición y/o un resultado de estimación, en particular la desviación de la pala en al menos una parte y/o el momento de encastre de la pala.
5. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en donde la determinación de la cantidad relacionada con la distancia comprende:
50 medir la cantidad relacionada con la distancia para un primer punto en el tiempo;
predecir la cantidad relacionada con la distancia para un segundo punto en el tiempo, en particular cuando la pala del rotor pasa por la torre (3), en función de la cantidad relacionada con la distancia medida para un primer punto en el tiempo;
55 en donde controlar el sistema (13) de regulación del flujo de aire comprende:
controlar, antes del segundo punto en el tiempo, el sistema (13) de regulación del flujo de aire en función de la cantidad prevista para el segundo punto en el tiempo.
6. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en donde al menos una medición y/o la al menos una estimación se refieren a que la pala (13) del rotor está posicionada dentro de un rango de ángulos acimutales del rotor predeterminado, en particular con un ancho de ángulo entre 90° y 180°, en la dirección de movimiento de la pala antes de la torre (3).
60
7. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en donde la determinación de la cantidad relacionada con la distancia comprende:
65

- medir la desviación de una pala, cuando la pala está dentro del intervalo azimutal predeterminado del rotor, y
estimar la distancia axial (da) entre una punta de la pala y la torre, en el momento en que la punta de la pala pasa por la torre, basándose en la desviación de la pala medida anteriormente.
- 5
8. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en donde el control del sistema (13) de regulación del flujo de aire es tal que la distancia (da) entre una punta (25) de la pala (15) del rotor y la torre (3), cuando la pala pasa por la torre, es igual o mayor que una distancia mínima predeterminada (dmin).
- 10
9. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en donde el control del sistema (13) de regulación del flujo de aire comprende:
- 15
- adaptar el sistema (13) de regulación del flujo de aire de manera que disminuya la resistencia al viento y/o la flexión/deflexión en al menos una parte de la pala del rotor, si la cantidad está por debajo del primer umbral, en particular comprendiendo efectuar una retención del flujo de aire cerca de al menos una parte de la pala.
10. Método según una de las reivindicaciones anteriores, que comprende además, después de que la pala (15) del rotor haya pasado la torre (3), en particular si la cantidad relacionada con la distancia es menor que el primer umbral pero es mayor que el segundo umbral:
- 20
- adaptar el sistema (13) de regulación del flujo de aire para aumentar la sustentación aerodinámica, en particular para adoptar un ajuste como antes de pasar por la torre (3).
- 25
11. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en donde el control del sistema de regulación del flujo de aire comprende:
- 30
- mover la posición y/u la orientación de al menos una superficie aerodinámicamente activa del sistema (13) de regulación del flujo de aire con respecto a una parte aerodinámica de la pala del rotor.
12. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en donde el sistema de regulación del flujo de aire comprende al menos uno de:
- 35
- una aleta (23), en particular dispuesta en un borde de salida de la pala del rotor;
un alerón, en particular segmentado (19a,...,19f), dispuesto en una superficie de succión de la pala (15) del rotor,
en donde el sistema (13) de regulación del flujo de aire es diferente de un sistema de cambio de ángulo de inclinación.
- 40
13. Disposición (20) para controlar al menos un sistema (13) adaptable de regulación del flujo de aire de al menos una pala (15) de rotor de una turbina eólica (1) que tiene una torre de turbina eólica (3), estando adaptada la disposición:
- 45
- para determinar una cantidad relacionada con una distancia (da) entre la pala (15) del rotor y la torre (3) de la turbina eólica; y
para controlar el sistema (13) de regulación del flujo de aire en función de la cantidad,
- en donde controlar el sistema (13) de regulación del flujo de aire comprende:
- 50
- adaptar el sistema (13) de regulación del flujo de aire de manera que se reduzca la sustentación aerodinámica en al menos una parte de la pala del rotor, si la cantidad está por debajo de un primer umbral,
caracterizado porque si la cantidad relacionada con la distancia está por debajo de un segundo umbral, un sistema de regulación del flujo de aire de al menos una pala (15) de rotor adicional se controla adicionalmente en función de la cantidad relacionada con la distancia,
- 55
- donde el segundo umbral es menor que el primer umbral.
14. Una turbina eólica (1), que comprende:
- 60
- una torre de turbina eólica (3);
una góndola (5) montada en la torre;
un eje (7) de rotor instalado (5) en la góndola, en el que se montan varias palas (15) de rotor del eje del rotor (7), teniendo al menos en una pala (15) del rotor al menos un sistema (13) adaptable de regulación del flujo de aire; y
una disposición (20) según la reivindicación anterior, conectada para controlar el sistema (13) de regulación del flujo de aire.
- 65

Figura 1

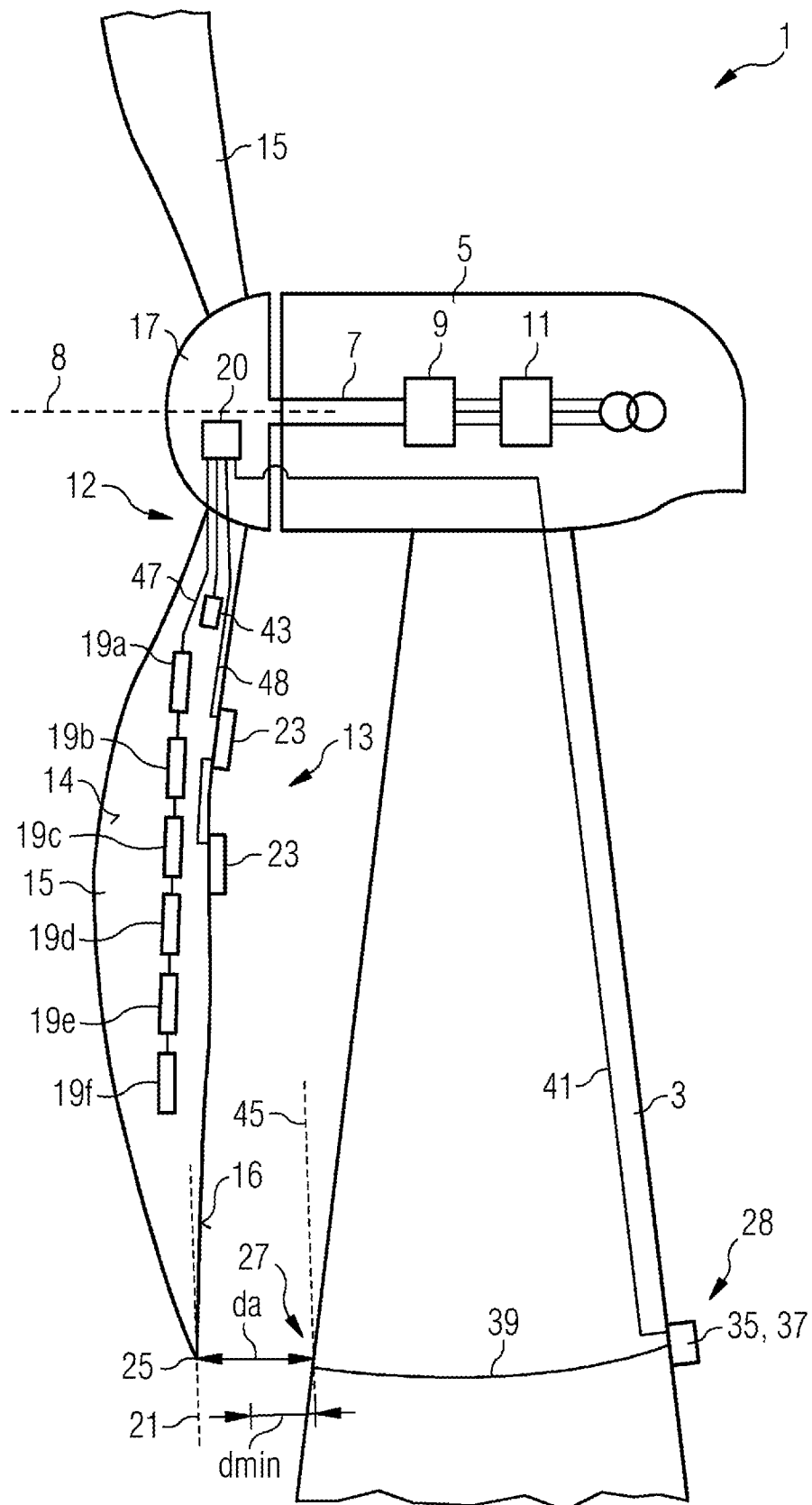


Figura 2

