

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 982 477**

51 Int. Cl.:

F03D 1/06

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.06.2021** **PCT/EP2021/064645**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.12.2021** **WO21249822**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.06.2021** **E 21729880 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.04.2024** **EP 4146931**

54 Título: **Método operativo de turbina eólica para responder a una perturbación de la red**

30 Prioridad:

10.06.2020 EP 20179272

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 2 982 477 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

Método operativo de turbina eólica para responder a una perturbación de la red

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un método y a una disposición para operar al menos un sistema adaptable de regulación del flujo de aire de al menos una pala de rotor de una turbina eólica conectada a una red eléctrica, en caso de una perturbación de la red. Además, la presente invención se refiere a una turbina eólica que comprende la disposición.

10 Antecedentes de la técnica

Una turbina eólica puede conectarse con una pluralidad de otras turbinas eólicas a una red eléctrica, por ejemplo, a través de un punto de conexión común y un transformador de parque eólico. Durante el funcionamiento normal, la red eléctrica puede tener una tensión nominal y una frecuencia nominal. Por ejemplo, en caso de una falla en uno o más componentes de la red eléctrica, la red puede experimentar una perturbación, tal como una caída de tensión de la red, que puede incluso bajar hasta cero voltios.

Hoy en día, los códigos de red para la integración de la energía eólica pueden requerir que las turbinas eólicas permanezcan conectadas durante fallas de la red, incluso cuando la tensión de la red caiga a cero. Además, también se puede requerir que las turbinas eólicas inyecten corriente reactiva en proporción a la caída de tensión. En particular, se puede requerir a las turbinas eólicas que cumplan con la norma IEC 61400-1, que define los casos de carga para las perturbaciones de la red, en particular las caídas de la red (DLC 2.1).

Las fallas en la red pueden ser una caída de la red detectada durante el funcionamiento de las turbinas eólicas. Una caída de la red puede hacer que la potencia de salida de la turbina eólica pase rápidamente a cero. Esto también incluye que el par mecánico se retire rápidamente del generador, lo que produce un cambio gradual en la carga, induce ciclos de carga elevados en la estructura, y puede impulsar el rotor hacia una velocidad excesiva. El punto de equilibrio (punto operativo de la turbina) justo antes de la caída de la red, puede depender de que el rotor pueda entregar el par mecánico al sistema eléctrico para equilibrar la velocidad de rotación. Siempre que el par contrario del generador se elimine repentinamente (por ejemplo, en el caso de una caída de la tensión en la red eléctrica), el exceso de par provoca una aceleración del rotor. Esto puede implicar situaciones peligrosas y el riesgo de dañar los componentes de la turbina eólica.

Convencionalmente, un método de control puede haber ajustado el paso de las palas de la turbina eólica, es decir, haber cambiado el ángulo de paso de la pala de la turbina eólica a fin de reducir el riesgo de aceleración del rotor por encima de un umbral de velocidad de rotación. En este caso, el sistema de control puede tardar un tiempo en aumentar el paso para limitar la potencia de entrada y detener la aceleración.

Algunos códigos de red también requieren que la producción de energía se reanude cerca del nivel previo a la falla poco después de que la red vuelva al estado operativo normal, con poco o ningún margen para oscilaciones en la producción de energía después de un evento de falla en la red. Por lo tanto, el par mecánico del generador se restablece rápidamente (es decir, se incrementa hasta un valor previo a la falla) y el sistema de control ahora debe ajustar el paso de las palas del rotor al par restablecido desde el rotor.

Convencionalmente, el ángulo de paso de al menos una pala de rotor puede haberse cambiado en caso de una caída de tensión. De este modo, es posible que se hayan cumplido los requisitos de capacidad de superar fallas en la red (GFRT, por sus siglas en inglés). Convencionalmente, las palas de las turbinas eólicas comienzan a aumentar el paso en dirección contraria al viento lo antes posible para evitar un exceso de velocidad del rotor. La llamada función de golpe de paso introduce un cambio rápido en el ángulo de paso en la dirección positiva cuando se activa, es decir, significa aumentar el ángulo de paso.

Sin embargo, se ha observado que ajustar el paso de las palas en caso de una caída de tensión, no proporciona en todas las situaciones un funcionamiento fiable y seguro. Además, se podría haber observado que el ajuste de paso, particularmente en turbinas grandes, es demasiado lento para ajustar el par motor, lo que da como resultado variaciones no deseadas en la velocidad del rotor. La variación puede estar tanto por encima de la velocidad nominal (el exceso de velocidad es un ejemplo grave de variación de velocidad) como por debajo de la velocidad nominal cuando se restablece el par. Esto último es problemático, ya que las velocidades inferiores a las nominales reducen las capacidades de producción de energía de las turbinas.

Además, aplicar el paso a las palas del rotor puede tener un impacto negativo en la vida útil del equipo de paso, cuando se produzca un gran número de perturbaciones en la red. Además, ajustar el paso de las palas del rotor puede no ser lo suficientemente rápido como para garantizar adecuadamente que se evite un exceso de velocidad del rotor.

Por lo tanto, puede ser necesario un método y una disposición correspondiente para garantizar un funcionamiento seguro y fiable de la turbina eólica en caso de una perturbación de la red eléctrica, en particular una caída de

tensión en la red eléctrica. Además, puede ser necesario un método y una disposición para operar una turbina eólica, en donde se pueda mejorar el tiempo de respuesta en caso de una caída de tensión en la red eléctrica.

El documento US-2019/368467 es un ejemplo relevante de la técnica anterior. Este documento se refiere a un sistema de control para una turbina eólica, en donde las palas están provistas de un sistema de paso y deflectores de aire, de modo que, en caso de una caída de tensión en la red y una reducción del par contrario, los deflectores de aire y el sistema de paso operen simultáneamente a fin de evitar un exceso de velocidad del rotor.

Resumen de la invención

Esta necesidad puede satisfacerse por el objeto de las reivindicaciones independientes. Las reivindicaciones dependientes especifican realizaciones particulares de la presente invención.

Según la presente invención, se proporciona un método para operar 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) de al menos una pala de rotor de una turbina eólica conectada a una red eléctrica, comprendiendo el método: recibir información sobre una perturbación en la red; adaptar, en particular durante una perturbación, el sistema de regulación del flujo de aire en función de la información, mientras la turbina eólica permanece conectada a la red eléctrica, en donde el control del sistema de regulación del flujo de aire comprende: mover la posición y/o la orientación de al menos una superficie aerodinámicamente activa del sistema de regulación del flujo de aire con respecto a una parte del perfil aerodinámico de la pala del rotor.

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 pueden 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 sustentación, también se reduce el par aerodinámico que el viento ejerce sobre la pala del rotor. Por lo tanto, también se reduce la aceleración del rotor, en particular, se puede reducir, por ejemplo, entre el 10 % y el 70 % del par existente antes de la perturbación de la red.

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 se reduzca la fuerza de sustentación debida a la aerodinámica o al flujo de aire.

- 5 El recibir la información puede implicar recibir información de un operador de la red eléctrica y/o recibir información respecto a una propiedad eléctrica de la red, procedente de un operador de la red eléctrica o de un sistema de medición. Además, recibir la información puede implicar o comprender recibir información respecto a los valores de medición de la tensión de la red eléctrica. El método también puede implicar o comprender detectar la perturbación de la red, por ejemplo, evaluando los valores de medición con respecto a la tensión de la red eléctrica. La perturbación de la red puede comprender, por ejemplo, una caída de tensión de la red eléctrica de entre el 10 % y el 100 % de la tensión nominal de la red eléctrica. La adaptación del sistema de regulación del flujo de aire solo se puede realizar si la caída de tensión de la red eléctrica se encuentra por encima de un umbral específico de la aplicación.

- 15 La perturbación de la red puede ser cualquier perturbación de la red que pueda precisar descargar la pala del rotor, es decir, reducir la sustentación aerodinámica de la pala del rotor, o reducir el par aerodinámico generado por el viento que impacta en la pala del rotor. La perturbación de la red puede durar, por ejemplo, entre 0,1 s y 10 s, en particular entre 1 s y 5 s. Durante toda la duración de la perturbación de la red, por ejemplo, durante un período de tiempo de hasta 10 s, la turbina eólica puede permanecer conectada a la red eléctrica. Durante la perturbación de la red, en particular la caída de tensión, la potencia de salida de la turbina eólica puede regularse a cero. Además, el par del generador que, en un funcionamiento normal, contrarresta el par aerodinámico ejercido por el rotor, también puede regularse sustancialmente a cero.

- 25 El sistema de regulación del flujo de aire puede ajustarse en una dirección para reducir la sustentación de la pala del rotor y, por lo tanto, también reducir el par aerodinámico. Por lo tanto, se puede reducir la aceleración del rotor. De manera adicional o alternativa, se pueden emplear otras medidas para reducir la sustentación de las palas del rotor, por ejemplo, implicando también el cambio del ángulo de paso de la(s) pala(s) del rotor. Sin embargo, estas medidas solo pueden aplicarse en una etapa secundaria y, por ejemplo, pueden no ser tan rápidas como la adaptación del sistema de regulación del flujo de aire. De este modo, se proporciona un método fiable para responder a las caídas de tensión de la red eléctrica y, en general, a cualquier perturbación de la red que pueda precisar reducir la sustentación de la pala del rotor.

- 30 La gran ventaja de los dispositivos activos puede ser que puedan reducir rápidamente (p. ej., durante una caída de tensión de la red) y restablecer (p. ej., una vez finalizada la perturbación de la red) el par motor, según sea necesario, más rápido que el ajuste de paso.

- 35 El mover la posición y/o la orientación de la al menos una superficie aerodinámicamente activa del sistema de regulación del flujo de aire con respecto a una parte del perfil aerodinámico de la pala del rotor, puede efectuarse controlando adecuadamente 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.

- 45 Según una realización de la presente invención, la perturbación de la red comprende una caída de tensión de red de la tensión de red, en particular de entre el 0 % y el 50 % de una tensión de red nominal, en particular durante un período de entre 0,1 s y 10 s, en donde la adaptación del sistema de regulación del flujo de aire se realiza, solo si la caída de tensión de la red es mayor que un umbral.

- 50 La caída de tensión de la red puede producirse a una velocidad muy alta, tal como, por ejemplo, entre 0,1 s y 10 ms desde la tensión nominal de la red hasta 0 V. Ni el ajuste de paso ni los dispositivos activos (p. ej., el accesorio) pueden reaccionar tan rápido, es decir, la respuesta de los sistemas siempre puede quedarse atrás, y habrá un aumento en la velocidad del rotor. Sin embargo, cuanto más rápida sea la respuesta proporcionada al operar el accesorio, menor será el aumento de la velocidad del rotor. Los dispositivos activos (p. ej., el accesorio) pueden ser más rápidos que el ajuste de paso, lo que reduce la variación de velocidad.

- 55 La duración de la perturbación de la red puede estar relacionada con el intervalo de tiempo que comienza en la caída de tensión y que termina en el momento en donde la tensión de la red se reanuda, por ejemplo, hasta al menos el 90 % o el 100 % de la tensión de red nominal. Si la perturbación de la red dura más de, por ejemplo, 30 s, se pueden tomar o realizar medidas adicionales, por ejemplo, que impliquen aumentar el paso de las palas del rotor y/o frenar el rotor y/o desconectar la turbina eólica de la red.

- 60 Según una realización de la presente invención, la sustentación aerodinámica de la pala del rotor y/o el par aerodinámico, se reducen cuanto más grande sea la caída de tensión de la red.

- 65 Cuando solo haya una caída relativamente pequeña de tensión, por ejemplo, por debajo de hasta el 10 % o el 20 % de la tensión nominal de la red, es posible que el par contrario del generador no se reduzca a cero, sino que se mantenga en un valor pequeño.

Por ejemplo, para una caída del 20 % en la tensión de la red, la potencia máxima a la red puede disminuir en un 30 %. Al inicio de la falla (cuando la velocidad aún no haya cambiado), esto también significa una reducción del par en un 30 %. (A medida que aumenta la velocidad, pero la potencia es constante, el par disminuye aún más)

En este caso, puede que no sea necesario reducir la sustentación aerodinámica al máximo posible, sino que puede ser suficiente reducir ligeramente la sustentación a fin de evitar el exceso de velocidad del rotor debido a una aceleración demasiado alta. La adaptación del sistema de regulación del flujo de aire puede ser, por ejemplo, tal que la reducción de la sustentación aerodinámica sea al menos sustancialmente proporcional al tamaño de la caída de tensión de la red eléctrica. De este modo, se puede conseguir una respuesta que se adapte individualmente a diferentes caídas de tensión, lo que mejora el funcionamiento de la turbina eólica.

Según una realización de la presente invención, adaptar el sistema de regulación del flujo de aire comprende reducir la sustentación aerodinámica de la pala del rotor y/o el par aerodinámico que actúa sobre el rotor en el que está montada la pala, en particular entre un 10 % y un 70 % de la sustentación o el par, respectivamente, antes de la perturbación, en particular dentro de un periodo de tiempo de entre 0,1 s y 3 s, en particular de entre 0,5 s y 2 s.

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 en esta(s) parte(s) de la pala del rotor. Dependiendo del número de segmentos activados o cambiados a un estado activado, la reducción de la sustentación puede ajustarse de manera gradual, por ejemplo, en el rango del 10 % al 70 %, o del 20 % al 60 %, o del 20 % al 50 %. Otros valores de la reducción de sustentación son posibles en función del sistema de regulación del flujo de aire utilizado en particular y, por ejemplo, en función del número de segmentos, en el caso de un alerón segmentado, por ejemplo. Cuando la reducción se logra en un periodo de tiempo relativamente corto, de entre 0,1 s y 3 s, se puede habilitar una respuesta rápida a una caída de tensión en la red eléctrica. De este modo, se puede reducir, o incluso evitar, el riesgo de un exceso de velocidad del rotor.

Según una realización de la presente invención, adaptar el sistema de regulación del flujo de aire comprende establecer una configuración que dependa de: al menos un parámetro operativo de la turbina eólica; al menos una condición externa; al menos una propiedad de la perturbación de la red, comprendiendo las condiciones externas en particular al menos una de: la velocidad del viento, la turbulencia del viento, comprendiendo los parámetros operativos en particular al menos uno de: el ángulo de paso de la pala del rotor; la velocidad de rotación del rotor; la potencia de salida.

En función de los parámetros operativos, la condición externa y/o la propiedad de la perturbación de la red, es posible que se precisen o establezcan diferentes grados de reducción de la sustentación aerodinámica. Además, el cambio de la sustentación de la pala del rotor puede efectuarse mediante un movimiento o un cambio de posición y/u orientación de un elemento superficial activo del sistema de regulación del flujo de aire, que puede ser diferente para diferentes parámetros operativos de la turbina eólica. Por ejemplo, para cualquier punto operativo de la turbina eólica (incluida una definición de varios parámetros operativos de la turbina eólica), puede existir una relación o características predeterminadas entre la sustentación aerodinámica de la pala del rotor y una cantidad de ajuste mecánico, por ejemplo, el ángulo o la distancia, de una superficie activa del sistema de regulación del flujo de aire. Por ejemplo, cuando la turbina eólica se encuentre en un punto operativo en donde un pequeño cambio en el parámetro de ajuste mecánico del sistema de regulación del flujo de aire produzca un cambio relativamente grande de la sustentación aerodinámica, el valor de ajuste mecánico del sistema de regulación del flujo de aire puede cambiarse en un menor grado que en otro punto operativo, en donde el cambio de la sustentación aerodinámica es menor para la misma cantidad de cambio del parámetro de ajuste mecánico del sistema de regulación del flujo de aire.

Tener en cuenta los parámetros operativos y/o las condiciones externas y/o las propiedades de la perturbación de la red, para adaptar el sistema de regulación del flujo de aire, puede mejorar aún más el método, y garantizar un funcionamiento fiable y seguro de la turbina eólica.

Aún según la presente invención, adaptar el sistema de regulación del flujo de aire se basa, además, en un punto operativo de la turbina eólica, en donde en un primer punto operativo donde un cambio de configuración del sistema de regulación del flujo de aire tenga más impacto en la sustentación de la pala del rotor, se cambie la configuración del sistema de regulación del flujo de aire (p. ej., se cambie la posición y/u orientación de una superficie activa) en menor grado (menos influencia en el flujo de aire/parada/sustentación) que en un segundo punto operativo donde un cambio de configuración tenga menos impacto en la sustentación de la pala del rotor.

Un estado o una configuración del sistema de regulación del flujo de aire puede definirse por la posición y/u orientación de una o más partes de superficie activa del sistema de regulación del flujo de aire. Por ejemplo, en el caso de un alerón segmentado, el estado o la configuración pueden definirse por el número de segmentos que se encuentren en un estado activado, es decir, completamente inclinados hacia afuera, comprendiendo partes de superficie activa inclinadas hacia afuera, y cuántos segmentos se encuentren en un estado desactivado, es decir, en un estado en donde las partes de superficie activa se encuentren completamente retraídas para así no interferir con el flujo de aire a través del lado de succión de la turbina eólica. En el estado desactivado, la fuerza de sustentación no se reduce, mientras que en el estado activado, la fuerza de sustentación se elimina al máximo. En el caso, por ejemplo, de una

aleta del borde de salida, la configuración o el estado pueden definirse mediante un valor continuo de un valor de ajuste mecánico, tal como la cantidad de movimiento hacia fuera de la aleta, o como un ángulo de inclinación de la aleta, por ejemplo. Por lo tanto, el cambio de configuración del sistema de regulación del flujo de aire se refiere a un cambio del parámetro de ajuste mecánico de una o más partes de superficie activa. Esta realización también está relacionada con una programación de ganancias de la adaptación del sistema de regulación del flujo de aire. Por lo tanto, la respuesta a una perturbación de la red puede mejorarse para diferentes condiciones operativas.

Según una realización de la presente invención, el método comprende además, al menos para una parte de la duración de una perturbación: mantener el ángulo de paso de la pala del rotor al menos sustancialmente sin cambios; o comprendiendo el método, además, dentro de una duración de perturbación: cambiar el ángulo de paso de la pala del rotor en función de la información, en particular a fin de reducir la sustentación de la pala del rotor.

Mantener el ángulo de paso sustancialmente constante puede evitar cargas elevadas en los cojinetes de paso. Mantener el ángulo de paso de la pala del rotor al menos sustancialmente sin cambios puede que solo se realice en una situación, en donde la fuerza de sustentación aerodinámica pueda reducirse suficientemente al adaptar el sistema de regulación del flujo de aire. Si esto ya no es posible, el ángulo de paso puede cambiarse adicionalmente en una dirección para reducir aún más la fuerza de sustentación de la pala del rotor. De este modo, se puede mejorar aún más la respuesta o la reacción a una perturbación de la red, en particular dependiendo de la gravedad de la perturbación de la red, en particular de la caída de tensión de la red.

Según una realización de la presente invención, si la red no vuelve a funcionar normalmente dentro de un intervalo de tiempo umbral predeterminado, el método comprende: detener la turbina eólica, comprendiendo en particular: adaptar el sistema de regulación del flujo de aire de manera que se consiga la máxima pérdida del flujo de aire; y/o aumentar el paso de las palas del rotor; y/o frenar el rotor.

En este caso, un código de red puede requerir detener la turbina eólica o, al menos, puede ser la medida más segura a fin de proteger los componentes de la turbina eólica. El aumento de paso de las palas del rotor puede implicar cambiar el ángulo de paso de manera que la sustentación se reduzca aún más. El frenado del rotor puede implicar frenado mecánico o frenado eléctrico.

Según una realización de la presente invención, después de la perturbación de la red, la red restablece un estado nominal de la red, en particular la tensión nominal de la red, comprendiendo el método: adaptar el sistema de regulación del flujo de aire para aumentar la sustentación de la pala del rotor, en particular a una sustentación al nivel previo a la perturbación (y/o a una configuración al nivel previo a la perturbación del dispositivo regulador del flujo de aire), como se encontraba antes de la perturbación, en particular en base al menos a una de: la duración de una perturbación de la red, una tasa a la que se restablece la potencia de salida (previa a la perturbación), la velocidad del rotor, el ángulo de paso.

Es posible que la sustentación al nivel previo a la perturbación (y/o la configuración al nivel previo a la perturbación del dispositivo regulador del flujo de aire) se haya memorizado en un almacenamiento electrónico. El aumento de la sustentación aerodinámica de la pala del rotor puede restablecer la potencia de salida de la turbina eólica tal como se encontraba antes de la perturbación de la red. La potencia de salida puede restablecerse, o al menos puede aumentarse, después de la perturbación de la red, controlando adecuadamente, por ejemplo, un convertidor que esté conectado al generador. Mediante este control para restablecer la potencia de salida de la turbina eólica, el par del generador puede aumentarse de forma gradual o de forma continua. En correspondencia con este aumento de forma gradual o continuo del par del generador, también se puede aumentar el par aerodinámico (efectuado por el aumento de la sustentación de la pala del rotor), en particular sustancialmente en paralelo o de manera correspondiente. De este modo, la velocidad del rotor puede controlarse adecuadamente para alcanzar o permanecer en una velocidad nominal del rotor.

Según una realización de la presente invención, adaptar el sistema de regulación del flujo de aire a la sustentación del nivel previo a la perturbación, se realiza en un lapso de tiempo de entre 0,1 s y 3 s, en particular de entre 0,5 s y 2 s. Cuando la sustentación al nivel previo a la perturbación se logre en este período de tiempo relativamente pequeño, la potencia de salida de la turbina eólica también puede restablecerse a la potencia de salida al nivel previo a la perturbación. De este modo, se puede mejorar la eficiencia.

Según una realización de la presente invención, recibir información respecto a la perturbación de la red comprende: detectar la perturbación de la red; y derivar la información en función de la perturbación detectada de la red. La perturbación de la red puede detectarse, por ejemplo, comparando una tensión de red medida con una tensión de red nominal. La detección de la perturbación de la red también puede realizarse, por ejemplo, mediante un controlador de turbina eólica o mediante un sistema de medición o monitorización, por ejemplo, externo o interno a la turbina eólica. La información puede comprender, por ejemplo, la característica de la perturbación de la red, por ejemplo, si la perturbación de la red es una caída de tensión, una caída de frecuencia, o similares. Además, la información puede comprender información respecto al valor o la cantidad de la caída de tensión o la gravedad de la perturbación de la red.

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 operar al menos un sistema adaptable de regulación del flujo de aire, también pueden aplicarse (individualmente o en cualquier combinación) a una disposición para operar al menos un sistema adaptable de regulación del flujo de aire según las realizaciones de la presente invención, y viceversa.

Según la presente invención, se proporciona una disposición para operar al menos un sistema adaptable de regulación del flujo de aire de al menos una pala de rotor de una turbina eólica conectada a una red eléctrica, en caso de una perturbación de la red, comprendiendo la disposición: un procesador adaptado para derivar una señal de control en función de la información relativa a la perturbación de la red, con el fin de adaptar, durante la duración de la perturbación, el sistema de regulación del flujo de aire, en donde la adaptación del sistema (13) de regulación del flujo de aire comprende mover la posición y/o la orientación de al menos una superficie aerodinámicamente activa del sistema de regulación del flujo de aire, con respecto a una parte de perfil aerodinámico de la pala del rotor, en donde adaptar el sistema de regulación del flujo de aire se basa, además, en un punto operativo de la turbina eólica, en donde en un primer punto operativo donde un cambio de configuración del sistema de regulación del flujo de aire tenga más impacto en la sustentación de la pala del rotor, se cambia una configuración del sistema de regulación del flujo de aire en un menor grado que en un segundo punto operativo donde un cambio de configuración tenga menor impacto en la sustentación de la pala del rotor.

La disposición puede ser, por ejemplo, una parte de un controlador de turbina eólica. Según una realización de la presente invención, la disposición puede comprender, además, un actuador que puede configurarse para recibir la señal de control y efectuar un ajuste de la posición y/o la orientación de al menos una parte de la superficie activa del sistema de regulación del flujo de aire. Por ejemplo, el actuador puede comprender un compresor que puede conectarse a una manguera que puede provocar, al inflarse o desinflarse, un cambio de posición y/o de orientación de una parte de la superficie activa del sistema de regulación del flujo de aire, tal como un alerón o una solapa en el borde de salida.

Según una realización de la presente invención, se proporciona, además, una turbina eólica, que comprende: una góndola de turbina eólica; un eje de rotor alojado 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. La invención se describirá con más detalle a continuación en la memoria haciendo referencia a ejemplos de realización, no estando la invención limitada a los mismos.

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.

Breve descripción de los dibujos

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 para operar al menos un sistema adaptable de regulación del flujo de aire de al menos una pala de rotor de una turbina eólica conectada a una red eléctrica, en caso de una perturbación de la red, como, p. ej., que se pueda llevar a cabo mediante la disposición ilustrada en la Figura 1.

Descripción detallada

La ilustración en los dibujos está en forma esquemática.

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 5 de la turbina eólica comprende un eje 7 del rotor (que tiene un eje 8) 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 él, el eje 7 de rotación tiene un buje 17 en el que se montan varias palas 15 de rotor (con una punta 25 de pala), a través de la raíz 12 de pala. 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 una etapa 31 del método, se recibe información con respecto a una perturbación de la red. En este caso, la información puede recibirse, por ejemplo, de un operador de la red eléctrica 6, en donde la información se denomina en la Figura 1 con el signo 10 de referencia, tal como se recibe a través de una línea 41 de señal por la disposición 20.

La disposición 20 ilustrada en la Figura 1 comprende un procesador no ilustrado que está configurado para llevar a cabo un método para regular o adaptar el sistema 13 de regulación del flujo de aire según una realización de la presente invención. En una etapa 33 del método, el sistema de regulación del flujo de aire (por ejemplo, el sistema 13 en la Figura 1) se adapta (o ajusta o establece en un estado particular) en función de la información 10, mientras que la turbina eólica permanece conectada a la red eléctrica. Por lo tanto, la turbina eólica 1 proporciona una salida 18 de potencia de corriente alterna a través de una línea 22 de alimentación a la red eléctrica 6.

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 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 puede lograr una reacción o respuesta adecuada a una perturbación en la red eléctrica 6.

Cada uno de los segmentos 19a,..., 19s de alerón tiene una superficie aerodinámicamente activa respectiva que se expone al flujo de aire alrededor o a través del (lado 14 de succión de) la pala 15 del rotor. 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. Por ejemplo, en un estado activado, la superficie activa se puede voltear hacia afuera en un grado particular, por ejemplo, utilizando una manguera inflada dispuesta por debajo de la superficie activa. En un estado desactivado, por ejemplo, la superficie activa se puede voltear hacia adentro de manera que la superficie quede completamente retraída, para no perturbar o influir en el flujo de aire a través de la superficie 14 del lado de succión de la pala 15 del rotor.

Las realizaciones de la presente invención utilizan accesorios de pala activos para descargar el rotor de la turbina eólica, siempre que se detecte un evento de red que pueda requerir una reducción del par del generador o que reduzca el par del generador.

El sistema de paso utilizado convencionalmente para adaptar la sustentación de las palas del rotor puede ser relativamente lento en comparación con un sistema de regulación del flujo de aire instalado en o sobre la superficie de la pala del rotor. En general, las constantes de tiempo de los sistemas de paso pueden ser mayores, lo que hace que las turbinas más grandes sean propensas a eventos tales como una caída de la red.

Los accesorios activos de las palas, tal como el sistema 13 de regulación del flujo de aire, que incluye el o los alerones y/o las aletas del borde de salida, pueden provocar, en muy poco tiempo, un cambio significativo en la fuerza de sustentación del rotor. Por lo tanto, el efecto de una caída de la red se puede compensar más rápido que mediante la aplicación de una regulación de paso, especialmente si el sistema de paso tiene capacidades limitadas (o se puede hacer más barato por no tener demandas tan altas). Del mismo modo, el cambio de sustentación, es decir, el cambio aerodinámico de la fuerza de sustentación efectuado por la pala del rotor, puede anularse rápidamente después de la falla, para restablecer la producción completa de energía.

La red eléctrica 6 tiene una tensión de red nominal. Durante una perturbación de la red, la tensión puede caer considerablemente, por ejemplo, entre el 0 % y el 100 % de la tensión nominal de la red. Los métodos según las realizaciones de la presente invención pueden gestionar una situación en donde la caída de tensión se encuentre, por ejemplo, entre el 0 % y el 50 % de la tensión nominal de la red. Al operar el sistema 13 de regulación del flujo de aire, la fuerza de sustentación puede reducirse, por ejemplo, entre un 10 % y un 70 % de la sustentación del nivel previo a la perturbación de la red.

La turbina eólica 1 comprende además, un sistema 40 de paso no ilustrado en detalle, que es capaz de cambiar el ángulo de paso de cada una de las palas 15 del rotor, es decir, establecer un ángulo α de rotación particular alrededor del eje longitudinal 21 de la respectiva pala 15 del rotor. Según las realizaciones de la presente invención, solo se adapta el sistema 13 de regulación del flujo de aire, pero no se activa el sistema 40 de paso para responder a una perturbación de la red.

En otras realizaciones, tanto el sistema 13 de regulación del flujo de aire se adapta como el sistema 40 de paso se activa, a fin de poner la pala del rotor, incluido el sistema 13 de regulación del flujo de aire, en un estado en donde la fuerza de sustentación se reduzca considerablemente, en función de la gravedad de la perturbación de la red y de otros parámetros operativos de la turbina eólica.

A continuación, se describen implementaciones particulares de un método según las realizaciones, a las que, sin embargo, no se limita la invención:

1) Detectar una falla en la red.

2) Aplicar accesorios de pala activos (para eliminar la sustentación de la pala del rotor) para descargar el rotor 7 de la turbina

- la acción de los accesorios de pala activos puede ocurrir además de ajustar el paso o en lugar de ajustar el paso.

- La acción de los accesorios de pala activos puede programarse mediante una programación de ganancia, de modo que el impacto se ajuste al punto operativo, p. ej., aplicar un cambio menor en los puntos operativos en donde el accesorio tenga un mayor impacto (ganancia) en la sustentación/par/empuje del rotor o en la aerodinámica del rotor.

3) Eliminar la acción de los accesorios de la pala si la red vuelve a funcionar normalmente

- el eliminar la acción de los accesorios de la pala puede programarse en función de la duración de la falla de la red, la tasa a la que se restablece la potencia, la velocidad del rotor y el ángulo de paso.

- si la red no vuelve a funcionar normalmente, entonces la turbina se detendrá y se podrá eliminar la acción de los accesorios de las palas.

Las realizaciones de la presente invención pueden proporcionar las siguientes ventajas:

• El caso de carga por caída de la red puede depender del diseño y puede provocar un coste adicional para la turbina eólica, ya que la turbina eólica necesita poder ajustar más rápido el paso tras una caída de tensión de la red o soportar las cargas extremas adicionales que resulten de la perturbación de la red. La introducción de una medida para reducir el impacto de la caída de la red puede conducir a un diseño más económico con menos carga.

• La probabilidad de impulsar la turbina a un evento de exceso de velocidad, es decir, un evento de exceso de velocidad del rotor, o de exponerla a las cargas máximas, tras una caída de la red, puede reducirse mediante esta medida de control adicional para adaptar el sistema de regulación del flujo de aire.

• Los costos pueden reducirse porque las capacidades del sistema de paso hidráulico o eléctrico pueden reducirse.

• Habilidad mejorada para producir turbinas eólicas competitivas en costes.

• Capacidad mejorada para cumplir con los estrictos requisitos de los códigos de red al restablecer la producción de energía.

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 para operar al menos un sistema (13) adaptable de regulación del flujo de aire de al menos una pala (15) del rotor de una turbina eólica (1) conectada a una red eléctrica (6), comprendiendo el método:
5
recibir información (10) relativa a una perturbación de la red;
adaptar, en particular durante la duración de una perturbación, el sistema (13) de regulación del flujo de aire, en función de la información (10), mientras la turbina eólica (1) permanece conectada a la red eléctrica (6),
10
en donde controlar el sistema (13) de regulación del flujo de aire comprende:
mover la posición y/o la orientación de al menos una superficie aerodinámicamente activa del sistema de regulación del flujo de aire con respecto a una parte de perfil aerodinámico de la pala del rotor, en donde adaptar el sistema (13) de regulación del flujo de aire se basa, además, en un punto operativo de la turbina eólica,
15
caracterizado porque
en un primer punto operativo en donde un cambio de configuración del sistema de regulación del flujo de aire tenga más impacto en la sustentación de la pala (15) del rotor, una configuración del sistema (13) de regulación del flujo de aire se cambia en menor grado que en un segundo punto operativo en donde un cambio de configuración tenga menos impacto en la sustentación de la pala (15) del rotor.
20
2. Método según la reivindicación anterior, en donde la perturbación de la red comprende una caída de la tensión de la red, reduciendo la caída de tensión de la red, en particular, la tensión de la red a entre el 0 % y el 50 % de la tensión nominal de la red, en particular durante un período de entre 0,1 s y 10 s, en donde adaptar el sistema (13) de regulación del flujo de aire se lleva a cabo solo si la caída de tensión de la red es superior a un umbral.
25
3. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en donde la sustentación aerodinámica de la pala (15) del rotor y/o un par aerodinámico, debido a la adaptación del sistema (13) de regulación del flujo de aire, se reducen más cuanto mayor sea la caída de tensión de la red.
30
4. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en donde adaptar el sistema (13) de regulación del flujo de aire comprende reducir la sustentación aerodinámica de la pala (15) del rotor y/o el par aerodinámico que actúa sobre el rotor (7) en el que está montada la pala (15) del rotor, en particular entre un 10 % y un 70 % de la sustentación o el par, respectivamente, antes de la perturbación, en particular dentro de un lapso de tiempo de entre 0,1 s y 3 s, en particular de entre 0,5 s y 2 s.
35
5. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en donde adaptar el sistema (13) de regulación del flujo de aire comprende ajustar una configuración que depende de al menos uno de:
40
al menos un parámetro operativo de la turbina eólica (1);
al menos una condición externa;
al menos una propiedad de la perturbación de la red,
45
comprendiendo las condiciones externas en particular al menos una de:
velocidad del viento,
turbulencia del viento,
50
comprendiendo los parámetros operativos en particular al menos uno de:
ángulo de paso de la pala del rotor;
velocidad de rotación del rotor;
55
potencia de salida.
6. Método según una de las reivindicaciones anteriores, que comprende además, al menos para una parte de la duración de una perturbación:
mantener un ángulo (α) de paso de la pala (15) del rotor al menos sustancialmente sin cambios; o
comprendiendo el método, además, dentro de una duración de perturbación:
60
cambiar un ángulo (α) de paso de la pala (15) del rotor en función de la información, en particular a fin de reducir la sustentación de la pala (15) del rotor.
7. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en donde, si la red no vuelve a su funcionamiento normal dentro de un intervalo de tiempo umbral predeterminado, el método comprende:
65
detener la turbina eólica (1), comprendiendo en particular:

adaptar el sistema (13) de regulación del flujo de aire de manera que se consiga la máxima pérdida del flujo de aire; y/o
aumentar el paso de las palas (15) del rotor; y/o
frenar el rotor (7).

8. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en donde, después de la perturbación de la red, la red (6) restablece un estado nominal de la red, en particular a la tensión nominal de la red, el método comprende: adaptar el sistema (13) de regulación del flujo de aire para aumentar la sustentación de la pala (15) del rotor, en particular a una sustentación previa a la perturbación, tal como se encontraba antes de la perturbación, en particular en función de al menos uno de:

una duración de la perturbación de la red,
una tasa a la que se restablece la potencia de salida (nivel previo a la perturbación),
una velocidad del rotor,
un ángulo (α) de paso.

9. Método según la reivindicación anterior, en donde adaptar el sistema (13) de regulación del flujo de aire a la sustentación al nivel previo a la perturbación, se lleva a cabo en un lapso de tiempo de entre 0,1 s y 3 s, en particular de entre 0,5 s y 2 s.

10. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en donde recibir información (10) relativa a la perturbación de la red, comprende:

detectar la perturbación de la red; y
derivar la información (10) en función de la perturbación detectada de la red.

11. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en donde el sistema de regulación del flujo de aire comprende al menos uno de:

una aleta (23), en particular dispuesta en un borde (16) de salida de la pala (15) del rotor;
un alerón (19a, ..., 19f), en particular segmentado, dispuesto en una superficie (14) 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 paso.

12. Disposición (20) para operar al menos un sistema (13) adaptable de regulación del flujo de aire de al menos una pala (15) del rotor de una turbina eólica (1) conectada a una red eléctrica (6), en caso de una perturbación de la red, comprendiendo la disposición:

un procesador adaptado para derivar una señal de control en función de la información relativa a la perturbación de la red, con el fin de adaptar, durante la duración de la perturbación, el sistema (13) de regulación del flujo de aire,
en donde adaptar el sistema (13) de regulación del flujo de aire comprende:

mover la posición y/o la orientación de al menos una superficie aerodinámicamente activa del sistema de regulación del flujo de aire con respecto a una parte de perfil aerodinámico de la pala del rotor, en donde adaptar el sistema (13) de regulación del flujo de aire se basa, además, en un punto operativo de la turbina eólica,

caracterizada porque

en un primer punto operativo en donde un cambio de configuración del sistema de regulación del flujo de aire tenga más impacto en la sustentación de la pala (15) del rotor, una configuración del sistema (13) de regulación del flujo de aire se cambia en menor grado que en un segundo punto operativo en donde un cambio de configuración tenga menos impacto en la sustentación de la pala (15) del rotor.

13. Una turbina eólica (1), que comprende:

una góndola (5) de turbina eólica;
un eje (7) de rotor alojado en la góndola, en el que se montan varias palas (15) del rotor del eje del rotor, teniendo al menos en una pala 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 de regulación del flujo de aire.

Figura 1

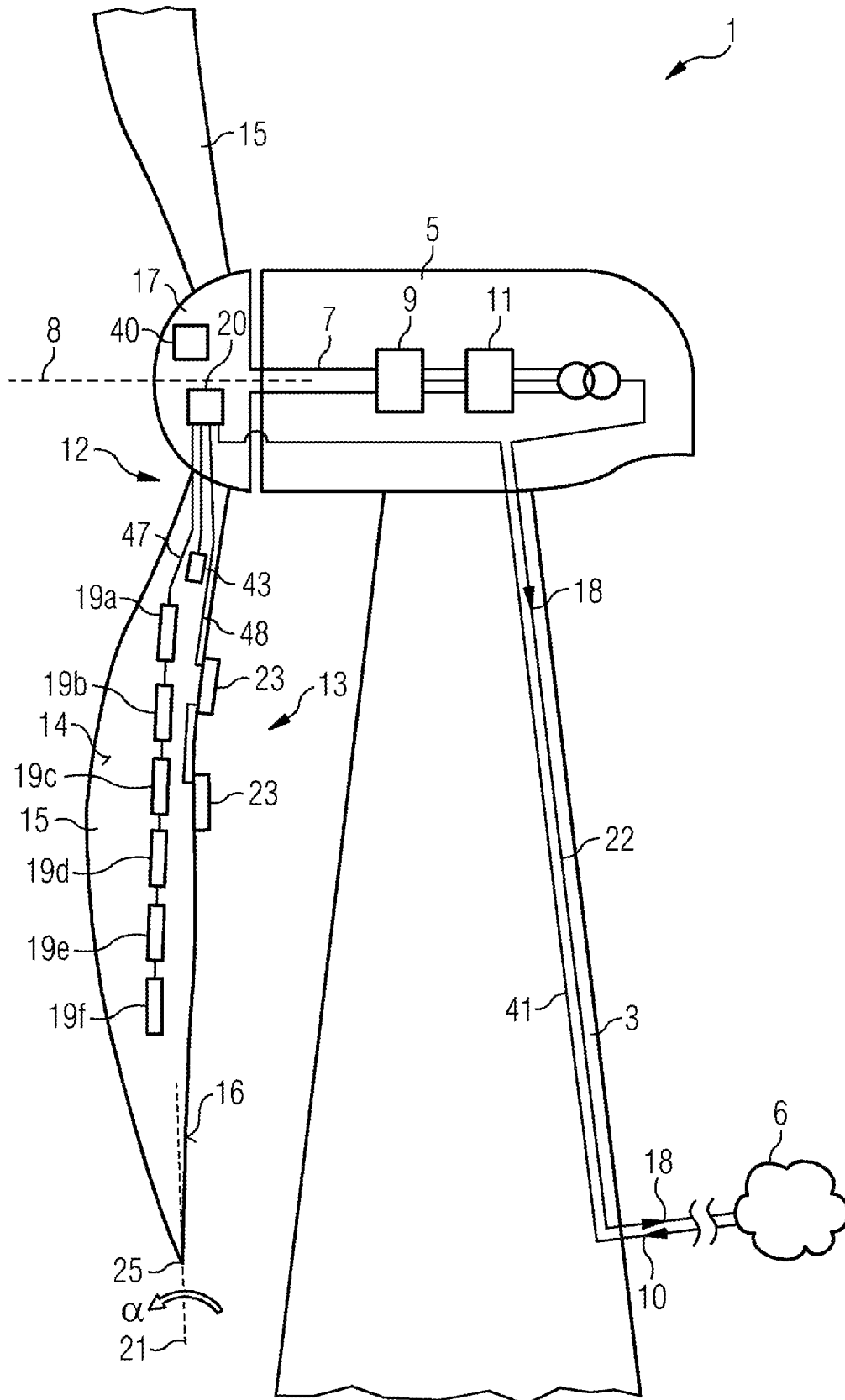


Figura 2

