

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 987 819**

51 Int. Cl.:

F03D 7/04 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.08.2019 PCT/EP2019/072572**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.03.2020 WO20057896**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.08.2019 E 19769019 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.07.2024 EP 3830415**

54 Título: **Reacción a un evento de exceso de velocidad**

30 Prioridad:

17.09.2018 EP 18194816

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

18.11.2024

73 Titular/es:

**SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY A/S
(100.0%)**

**Borupvej 16
7330 Brande, DK**

72 Inventor/es:

ESBENSEN, THOMAS

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 987 819 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

Reacción a un evento de exceso de velocidad

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un método y a una disposición para controlar al menos una turbina eólica en caso de una situación de exceso de velocidad rotacional y se refiere además a una turbina eólica que incluye la disposición.

10 **Antecedentes de la técnica**

15 Convencionalmente, a una turbina eólica se le puede atribuir una velocidad rotacional nominal del rotor de la turbina eólica a la que están conectadas varias palas del rotor. Además, un límite de velocidad rotacional, como un límite de exceso de velocidad del controlador, puede atribuirse a la turbina eólica. Tradicionalmente, una turbina eólica se apaga en caso de que se exceda el límite de velocidad del controlador. De esta manera, apagar la turbina eólica puede incluir inclinar la pala hacia fuera para detenerla. Además, la potencia puede reducirse a cero y el convertidor puede desconectarse. Con ello se termina el funcionamiento de la turbina eólica para producir energía eléctrica. Tradicionalmente, apagar la turbina eólica se considera una estrategia segura.

20 Tradicionalmente, la monitorización del exceso de velocidad evita que la turbina eólica alcance una velocidad crítica que causaría mayor fatiga o cargas extremas y protege la turbina apagándola. En particular, si se excede un “límite de exceso de velocidad del controlador”, el controlador de la turbina apaga convencionalmente la turbina eólica. Esto puede considerarse como un “límite suave”. Además, si se supera aún más el “límite de exceso de velocidad de seguridad”, el sistema de seguridad convencional puede apagar la turbina eólica. El “límite de exceso de velocidad de seguridad” puede considerarse un “límite estricto” al ser más alto que el “límite de exceso de velocidad del controlador”.

Sin embargo, apagar la turbina eólica también puede tener efectos negativos:

- 30 • Puede ocasionar una carga mayor que la que supone continuar con el funcionamiento. Por ejemplo, los ciclos de fatiga pueden introducirse por un cambio significativo en el punto de funcionamiento (por ejemplo, de una flexión alta a una flexión baja de una torre o una pala de rotor)
- 35 • Reducir gradualmente la potencia puede eliminar el contrapar que de otro modo podría ayudar a desacelerar el rotor.
- El funcionamiento discontinuado significa una disponibilidad reducida y una menor salida de potencia general o una menor AEP.

40 El documento US 2017/248124 A1 es un ejemplo del estado de la técnica.

45 Por lo tanto, puede existir una necesidad de un método y una disposición para controlar al menos una turbina eólica en caso de una situación de exceso de velocidad rotacional, en donde al menos se reduzcan las desventajas observadas para la técnica anterior. En particular, puede existir una necesidad de un método y una disposición para controlar al menos una turbina eólica en caso de una situación de exceso de velocidad rotacional, en donde las cargas sobre los componentes de la turbina eólica se pueden reducir y/o la salida de potencia se puede aumentar en comparación con los métodos y disposiciones convencionales.

50 **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.

55 Las realizaciones de la presente invención proporcionan una estrategia optimizada para eventos de alta velocidad rotacional. De este modo, una idea inventiva puede ser evaluar y seleccionar entre diferentes estrategias cuando se observan eventos de alta velocidad. Esto puede permitir que se tome la decisión correcta sin ser dependiente o sin suposiciones que deben tratar de considerar todo tipo de eventos y puntos de operación.

60 Según la presente invención, se proporciona un método según la reivindicación 1 para controlar al menos una turbina eólica en caso de una situación de exceso de velocidad rotacional, comprendiendo el método: determinar un estado actual (por ejemplo, operativo y/o ambiental) relacionado con la turbina eólica; proporcionar datos relacionados con el estado actual como entrada a un modelo de turbina; predecir (y/o estimar) una carga de al menos un componente de turbina eólica y la salida de potencia de la turbina eólica utilizando el modelo de turbina provisto con la entrada para estrategias de control plurales (predeterminadas) (tomadas en caso de exceso de velocidad); comparar la carga prevista y la salida de potencia para las estrategias de control plurales; y seleccionar aquella estrategia de control

entre las estrategias de control plurales que satisfaga un criterio objetivo que comprende la carga y la salida de potencia.

5 El método puede ser realizado por un controlador de turbina eólica y/o un controlador de parque que controle varias turbinas eólicas de un parque eólico. El estado actual puede determinarse midiendo y/o estimando y/o prediciendo, por ejemplo, parámetros operativos del funcionamiento de la turbina eólica y/o parámetros ambientales relacionados, por ejemplo, con las propiedades del viento y/o del aire. Para ello se pueden utilizar, por ejemplo, sensores de medición. El estado puede definirse mediante los datos relacionados con el estado que luego se proporcionan y/o suministran al modelo de turbina como entrada, en particular para inicializar el modelo de turbina. El estado actual puede caracterizarse, por ejemplo, mediante un vector de valores de parámetros operativos y/o parámetros ambientales. De este modo, el estado puede, por ejemplo, caracterizarse o describirse mediante un vector de estado multidimensional.

15 El modelo de turbina puede implementarse, por ejemplo, en *hardware* (por ejemplo, ASIC) y/o *software* y puede ser capaz de modelar (por ejemplo, predecir) una evolución temporal de la dinámica de la turbina eólica, incluida la dinámica del rotor, la dinámica de las palas de la turbina eólica, las propiedades eléctricas del generador, etc. La turbina puede, en comparación con los modelos de turbina conocidos convencionalmente, simplificarse de tal manera que sea posible predecir en línea, es decir de manera rápida, la carga y la salida de potencia de la turbina eólica.

20 El modelo de turbina puede comprender un modelo de orden alto, que comprenda, por ejemplo, ecuaciones diferenciales para una serie de componentes de frecuencia de cantidades eléctricas y/o mecánicas, tales como oscilaciones, velocidad rotacional, desviación o propiedades eléctricas tales como tensión y/o corriente. El modelo de turbina puede ser conocido también como “gemelo digital”, es decir, una réplica digital de procesos y sistemas físicos que puede utilizarse para simulación. Cada componente de turbina eólica puede modelarse en cuanto a su comportamiento mecánico y/o eléctrico.

25 Predecir (y/o estimar) la carga de al menos un componente de la turbina eólica y la salida de potencia de la turbina eólica utilizando el modelo de turbina para las estrategias de control plurales (predeterminadas) puede requerir suposiciones y/o información medida y/o previa y/o pronosticada sobre las condiciones ambientales.

30 La carga del al menos un componente de turbina eólica (en particular de componentes de turbina eólica plurales) puede comprender una carga mecánica y/o una carga eléctrica. Por ejemplo, una pala de una turbina eólica puede ser desviada, lo que provoca una carga sobre ella. El generador de turbina eólica puede, por ejemplo, estar sometido a una corriente elevada que incluya una carga eléctrica en el generador, lo que puede provocar, por ejemplo, el calentamiento de los devanados del estator del generador. La torre de la turbina eólica puede doblarse durante el funcionamiento de la turbina eólica en caso de una situación de exceso de velocidad rotacional, lo que también representa una carga para la torre de la turbina eólica. Además, uno o más componentes mecánicos de la turbina eólica pueden oscilar a un número de frecuencias que también representan cargas mecánicas respectivas para estos componentes.

35 Las estrategias de control pueden haber sido definidas previamente, incluyendo, por ejemplo, el establecimiento de valores de referencia operativos plurales de parámetros operativos de las turbinas eólicas. De este modo, cada una de las estrategias de control puede comprender una serie de valores de referencia que se ajustarán para diferentes parámetros operativos de la turbina eólica, incluyendo, por ejemplo, un ángulo de paso del rotor, velocidad rotacional, salida de potencia, salida de potencia activa, salida de potencia reactiva, ángulo de guiñada, etc. Las estrategias de control también pueden incluir cada una un cronograma de acciones a tomar, por ejemplo, un cronograma de valores de referencia de una serie de parámetros operativos a establecer. En general, todas las estrategias de control pueden ser adecuadas para reaccionar a una situación de exceso de velocidad rotacional. Sin embargo, las estrategias de control pueden diferir en los efectos sobre la turbina eólica, en particular con respecto a las cargas sobre los componentes y/o la salida de potencia de la turbina eólica. Dependiendo del estado actual particular, una u otra de las estrategias de control plurales pueden ser beneficiosas para lograr el criterio objetivo, por ejemplo, asegurando que las cargas en los componentes de la turbina eólica estén dentro de rangos predeterminados permitidos y/o que la salida de potencia de la turbina eólica se mantenga al menos en un nivel residual. Por lo tanto, se predice la carga (en uno o más componentes de la turbina eólica) y la salida de potencia de la turbina eólica para cada una de las estrategias de control plurales utilizando el modelo de turbina eólica. De este modo, se puede determinar la evolución de los parámetros relacionados con la carga mecánica y/o eléctrica y/o la potencia a lo largo del tiempo durante un intervalo de tiempo predeterminado particular. Al menos para este intervalo de tiempo predeterminado, por ejemplo 10 s, por ejemplo entre 1 s y 100 s, por ejemplo, entre 1 s y 10 min, puede ser tenido en cuenta por el método.

40 Todas las estrategias de control consideradas pueden tener como objetivo y ser adecuadas para reducir la velocidad rotacional para que esté dentro de los límites permitidos. En particular, después de que se han predicho cargas de componentes plurales de turbinas eólicas, las cargas predichas se pueden combinar adecuadamente, por ejemplo, se puede formar una suma ponderada, ponderando los componentes más esenciales de la turbina eólica más que otros componentes menos esenciales de la turbina eólica. Si una o más de las cargas previstas de los diferentes componentes de la turbina eólica están fuera de un rango permitido, las estrategias de control consideradas pueden descartarse.

- 5 La carga prevista o las cargas previstas pueden combinarse adecuadamente con la salida de potencia para definir, por ejemplo, una función objetivo que puede optimizarse durante la ejecución del método. En particular, el criterio objetivo puede estar representado por una función objetivo que comprende la carga, en particular de todos los componentes de la turbina eólica considerados, y la salida de potencia de la turbina eólica. La salida de potencia puede estar relacionada con la salida de potencia eléctrica como salida, por ejemplo, por el generador o por un convertidor acoplado al generador. La salida de potencia puede estar relacionada en particular con la salida de potencia activa.
- 10 Las realizaciones de la presente invención pueden proporcionar un análisis hipotético en línea que puede optimizar el funcionamiento de la turbina eólica. Tradicionalmente, un controlador de corriente siempre apaga la turbina eólica si se excede un umbral de velocidad. Las realizaciones de la presente invención pueden ser superiores al enfoque convencional, que puede ser conservador en muchos casos. Según las realizaciones de la presente invención, siempre se selecciona la mejor estrategia de control en caso de eventos de alta velocidad y luego también se utiliza para controlar la turbina eólica. Las realizaciones de la presente invención pueden emplear un modelo de turbina eólica y de este modo pueden eliminar el conservadurismo y pueden aumentar la disponibilidad al no apagar la turbina eólica si no es necesario.
- 15 Según una realización de la presente invención, el criterio objetivo incluye al menos uno de los siguientes: la carga prevista de todos los componentes de la turbina eólica está dentro de un rango permitido; y/o la salida de potencia prevista se maximiza (en particular la máxima entre las diferentes opciones de funcionamiento o candidatos o estrategias, no la máxima en el sentido de potencia nominal) en donde el criterio objetivo es, en particular, configurable.
- 20 El criterio objetivo puede incluir, en particular, que la carga prevista de todos los componentes de la turbina eólica esté dentro de un rango permitido y que simultáneamente se maximice la salida de potencia prevista. El criterio objetivo puede adaptarse según la aplicación particular, en particular, según la configuración y el diseño de la turbina eólica y las regulaciones.
- 25 De esta manera se puede conseguir una gran flexibilidad.
- 30 Según la presente invención, se identifica una situación de exceso de velocidad si la velocidad rotacional del rotor principal de la turbina eólica excede un primer límite de velocidad rotacional predefinido, pero es inferior a un segundo límite de velocidad rotacional predeterminado.
- 35 El primer límite de velocidad rotacional predefinido puede corresponder o ser igual a un "límite de exceso de velocidad del controlador" utilizado convencionalmente. Sin embargo, a diferencia de los métodos convencionales, la turbina eólica no se apaga necesariamente si se excede el primer límite de velocidad rotacional predefinido. Así, en particular, una de las estrategias de control plurales puede ser diferente a la de apagar la turbina eólica. De esta manera se puede mejorar la salida de potencia. El primer límite de velocidad rotacional predefinido puede estar, por ejemplo, en un rango del 110 % al 130 % de una velocidad rotacional nominal. Otros valores pueden ser posibles.
- 40 Según una realización de la presente invención, si la velocidad rotacional excede el segundo límite de velocidad rotacional predefinido, la turbina eólica se apaga.
- 45 El segundo límite de velocidad rotacional predefinido puede ser mayor que el primer límite de velocidad rotacional predefinido. Si la velocidad rotacional excede el segundo límite de velocidad rotacional predefinido, es posible que no esté disponible ninguna otra estrategia de control que no sea apagar la turbina eólica para controlarla sin dañar sus componentes. El segundo límite de velocidad rotacional predefinido puede corresponder o ser igual a un "límite de exceso de velocidad de seguridad" utilizado convencionalmente.
- 50 El primer límite de velocidad rotacional predefinido puede estar, por ejemplo, en un rango de 130 % a 200 % de una velocidad rotacional nominal. Otros valores pueden ser posibles.
- 55 Según una realización de la presente invención, predecir la carga y la salida de potencia incluye modelar el comportamiento de la turbina eólica utilizando el modelo de turbina provisto con la entrada para cada una de las estrategias de control plurales durante un intervalo de tiempo predeterminado.
- 60 Cuando se modela el comportamiento de la turbina eólica a lo largo de un intervalo de tiempo predeterminado (en particular después de haber determinado la presencia de un evento de exceso de velocidad), la carga a la que estarán sometidos los componentes de la turbina eólica después de controlar la turbina eólica según una estrategia de control particular puede evaluarse comprendiendo una imagen más completa de la evolución temporal de la carga. De esta manera se puede mejorar la predicción de la carga y también la predicción de la salida de potencia. El intervalo de tiempo predeterminado se puede elegir en función de la aplicación particular, en particular puede estar en un rango entre 1 s y 60 s, o incluso más largo, 10 min, por ejemplo.
- 65

Las condiciones ambientales requieren algunas suposiciones sobre cómo evolucionará la situación. Por ejemplo, se puede suponer que la velocidad del viento, probablemente superpuesta por una turbulencia supuesta o estimada, permanece igual que cuando se activa el primer umbral, o sigue una tendencia que puede observarse.

5 Para una mejor predicción, se puede utilizar información de otras turbinas (que estén más adelante en relación con la velocidad del viento) y/o datos lidar/radar para proporcionar información de perspectiva o pronóstico, que se puede utilizar para mejorar la predicción.

10 Según una realización de la presente invención, el modelo modela cada pala del rotor como un único componente. De esta manera, el modelo de turbina eólica se puede simplificar en comparación con los modelos utilizados convencionalmente que pueden modelar, por ejemplo, cada pala del rotor como componentes plurales. Si se simplifica el modelo de esta manera, se puede reducir el tiempo de cálculo, permitiendo ejecutar el método en línea, es decir, durante el funcionamiento de la turbina eólica.

15 Según una realización de la presente invención, el estado comprende al menos un parámetro operativo medido y/o estimado relacionado con un funcionamiento de la turbina eólica, incluyendo en particular al menos uno de: la carga medida de al menos una pala; la velocidad rotacional; la salida de potencia; la temperatura de un componente de turbina eólica; la posición de paso de al menos una pala, en donde el estado comprende al menos un parámetro ambiental medido y/o estimado relacionado con una condición ambiental de la turbina eólica, en particular incluyendo
20 al menos uno de: la velocidad del viento; la dirección del viento; el impulso; la densidad del aire; la humedad del aire; la temperatura del aire.

25 La carga de al menos una pala de turbina eólica puede medirse, por ejemplo, mediante un sensor, tal como un sensor de deformación instalado en una raíz de la pala. De este modo, por ejemplo, se puede medir o determinar la desviación de la pala o la deformación de la pala. El estado actual puede ser necesario para inicializar las variables dinámicas del modelo de turbina eólica. Cuando se tienen en cuenta todos estos o al menos algunos de los parámetros operativos y ambientales, la evolución del movimiento y el comportamiento de la turbina eólica se pueden predecir de forma más completa y precisa utilizando el modelo de turbina eólica.

30 Según una realización, esta información puede combinarse con suposiciones (o conocimiento de fuentes de datos de vista previa como lídars) sobre las condiciones ambientales. El viento es el elemento impulsor de la turbina eólica, por lo tanto, una cantidad importante, y la información inicial, por ejemplo, del viento (y puede ser derivada de la velocidad del viento tomada en las últimas muestras), así como otras cantidades como la densidad del aire, el cizallamiento y la temperatura, pueden ser valiosas para brindar una mejor predicción.

35 Cuando el paso de las palas del rotor tiene un gran impacto en el par aerodinámico, las palas del rotor se pueden inclinar de manera efectiva, reduciendo así la velocidad rotacional y sin apagar la turbina eólica, evitando al mismo tiempo una situación de exceso de velocidad crítica.

40 Según una realización de la presente invención, se supone que durante el intervalo de tiempo predeterminado: al menos un parámetro ambiental es constante; al menos un parámetro ambiental se extrapola según un pronóstico, y/o en donde se predice una evolución de al menos un parámetro operativo utilizando el modelo de turbina eólica en función del estado actual y/o un cambio del estado actual, en donde, en particular, las predicciones se realizan en base a la adición de incertidumbre de los valores del estado actual en el futuro.

45 Cuando se hace una suposición (y/o hay información disponible de una o más fuentes, incluido el pronóstico) sobre uno o más de los parámetros operativos y/o ambientales, la predicción puede realizarse con precisión.

50 Según una realización de la presente invención, las estrategias de control plurales incluyen al menos una de las siguientes: apagar la turbina eólica, en particular, inclinando las palas hacia fuera del viento y/o reducir gradualmente o eliminar gradualmente la salida de potencia; limitar la velocidad rotacional del rotor de la turbina eólica y/o la salida de potencia, en particular, manteniendo la salida de potencia residual; continuar según un funcionamiento normal, como antes de que se produjera la situación de exceso de velocidad, en donde la limitación de la velocidad rotacional del rotor de la turbina eólica y/o la salida de potencia incluye en particular: ajustar al menos un ángulo de paso de pala;
55 ajustar un par de generador.

60 El apagado de la turbina eólica puede incluir la realización de varios ajustes de control, como ajustar los ángulos de inclinación y/o ajustar la configuración del convertidor y/o la configuración del generador. Además, la limitación de la velocidad rotacional del rotor de la turbina eólica y/o la salida de potencia puede comprender varias acciones de control tomadas en combinación o posteriormente. Esto también puede incluir ajustar al menos un ángulo de inclinación de la pala a una configuración en la que se reduce la eficiencia de conversión de energía eólica a energía de velocidad rotacional. En particular, se puede aumentar el par del generador para frenar el rotor.

65 Según una realización de la presente invención, el componente de turbina eólica incluye al menos uno de: una torre de turbina eólica; una pala de rotor de turbina eólica; un tren de accionamiento de turbina eólica; al menos un cojinete

de una pala de rotor y/o de un tren de accionamiento de turbina eólica. También se pueden considerar otros componentes de turbinas eólicas.

5 Según una realización de la presente invención, el modelo de turbina es un modelo de turbina en línea que predice y/o estima la carga y la salida de potencia durante la ejecución del método.

10 La “predicción” puede implicar la determinación de valores en el futuro, mientras que el modelo en sí puede “estimar” algunos valores actuales (en particular, cargas) que no se miden directamente ni son medibles a partir de otros parámetros actuales (relacionados con el mismo punto de tiempo o rango). Sin embargo, el modelo puede iniciarse y las condiciones ambientales, junto con la acción de control de una estrategia de control, pueden evaluarse para predecir el comportamiento futuro, incluidas las cargas y la potencia.

15 El modelo de turbina puede implementarse, en particular, en *hardware* y/o *software*, en particular en una implementación paralela que ejecute las predicciones para todas las estrategias de control plurales en paralelo (o secuencialmente para tomar una decisión posteriormente). Realizar el método en línea puede permitir considerar con precisión el estado actual. En este caso, el estado actual puede ser la única información verdadera que se garantiza, y por lo tanto un punto de partida, mientras que la predicción seguirá adelante y probablemente se basará en suposiciones o información pronosticada.

20 En particular, puede que no sea necesaria prácticamente ninguna discretización de los valores de los parámetros operativos y/o ambientales, mejorando así la precisión de las predicciones.

25 Según una realización de la presente invención, el modelo de turbina es un modelo de turbina fuera de línea que tiene, para estados discretos plurales y para las diferentes estrategias de control plurales, cargas y salidas de potencia precalculadas, comprendiendo el método: discretizar los datos relacionados con el estado y alimentar los datos discretizados al modelo de turbina fuera de línea; recuperar las cargas y salidas de potencia precalculadas en función de los datos discretizados.

30 El modelo de planta se ocupa principalmente de la dinámica de la turbina eólica y puede acoplarse con el controlador, que puede entonces actuar con diferentes estrategias.

35 El modelo de turbina fuera de línea puede incluir el modelado de la turbina eólica con más detalle que el modelo de turbina eólica en línea. El tiempo computacional necesario para realizar una predicción para una estrategia de control particular utilizando el modelo fuera de línea puede ser mucho mayor, por ejemplo, 10 veces más largo que el de realizar la predicción utilizando el modelo en línea. Sin embargo, el modelo fuera de línea puede requerir una etapa de discretización de los parámetros operativos y/o ambientales que definen el estado actual.

40 Según una realización de la presente invención, el método comprende además controlar la turbina eólica según la estrategia de control seleccionada. De este modo, el control de la turbina eólica puede dar lugar a un comportamiento de la turbina eólica que satisfaga el criterio objetivo.

45 Se debe entender que las características, individualmente o en cualquier combinación, explicadas, descritas o proporcionadas para un método de control de al menos una turbina eólica en caso de una situación de exceso de velocidad rotacional, también se aplican, individualmente o en cualquier combinación, a una disposición para controlar al menos una turbina eólica en caso de una situación de exceso de velocidad rotacional según realizaciones de la presente invención y viceversa.

50 Según la presente invención, se proporciona una disposición según la reivindicación 13 para controlar al menos una turbina eólica en caso de una situación de exceso de velocidad rotacional, comprendiendo la disposición: una porción de determinación adaptada para determinar un estado actual relacionado con la turbina eólica; un modelo de turbina conectado para recibir datos relacionados con el estado actual como entrada, en donde el modelo está adaptado para, provisto con la entrada, predecir una carga de al menos un componente de turbina eólica y la salida de potencia de la turbina eólica para estrategias de control plurales predeterminadas; y un procesador adaptado para comparar la carga y la salida de potencia para las estrategias de control plurales y seleccionar aquella estrategia de control entre las estrategias de control plurales que satisface un criterio objetivo que comprende la carga y la salida de potencia.

60 Además, se proporciona una turbina eólica que incluye la disposición según una realización de la presente invención. 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.

Breve descripción de los dibujos

65 La figura 1 ilustra esquemáticamente un diagrama de método de un método para controlar al menos una turbina eólica en caso de una situación de exceso de velocidad rotacional según una realización de la presente invención;

la figura 2 ilustra esquemáticamente una turbina eólica que incluye una disposición para controlar al menos una turbina eólica en caso de una situación de exceso de velocidad rotacional según una realización de la presente invención.

5 Descripción detallada

El método 1 de control de al menos una turbina eólica en caso de una situación de exceso de velocidad rotacional incluye una etapa 3 de determinación de un estado actual relacionado con la turbina eólica. El método 1 comprende además una etapa 5 de proporcionar datos relacionados con el estado actual como entrada a un modelo de turbina. Utilizando el modelo de turbina en una etapa 7, se determina una carga de al menos un componente de la turbina eólica y la salida de potencia de la turbina eólica utilizando el modelo de turbina provisto con la entrada para estrategias de control plurales 9. En la etapa 11 del método se comparan la carga prevista y la salida de potencia para las estrategias de control plurales. En una última etapa del método 13 se selecciona esa estrategia de control entre las estrategias de control plurales que satisfacen un criterio objetivo que comprende la carga y la salida de potencia para el control de la turbina eólica.

La figura 2 ilustra esquemáticamente una turbina eólica 15 que incluye una disposición 17 para controlar al menos una turbina eólica en caso de una situación de exceso de velocidad rotacional según una realización de la presente invención que está configurada para llevar a cabo el método 1 ilustrado esquemáticamente en la figura 1. La disposición 17 está situada en la góndola 19 de la turbina eólica, en donde la góndola 19 comprende además un convertidor 34 y un generador 31 y está acoplada al eje de rotación 21 al que están conectadas varias palas 23 de rotor.

El método ilustrado en la figura 1, que también es llevado a cabo por el dispositivo 17, se realiza en caso de un evento de exceso de velocidad del rotor 21. Por lo tanto, la disposición 17 comprende una sección 25 de determinación que está adaptada para determinar un estado actual relacionado con la turbina eólica 15. De este modo, la sección 25 de determinación también puede medir, por ejemplo, la velocidad y/o la dirección del viento 27 y otros valores 30 de medición relacionados con el funcionamiento de la turbina eólica 15. La disposición 17 comprende además un modelo de turbina 29 que está conectado para recibir datos relacionados con el estado actual como entrada. El modelo 29 está adaptado para, provisto con la entrada, predecir una carga de al menos un componente de turbina eólica (por ejemplo, la pala 23 de turbina eólica y/o una carga en un cojinete 22 de rotor principal o una carga de un generador 31 y/o un convertidor 34) y también está adaptado para predecir la salida 32 de potencia del generador 31 para estrategias de control plurales predeterminadas. La disposición 17 comprende además un procesador 33 adaptado para comparar la carga y la salida de potencia para las estrategias de control plurales y seleccionar aquella estrategia de control entre las estrategias de control plurales que satisface un criterio objetivo que comprende la carga y la salida de potencia. La carga puede estar relacionada también, por ejemplo, con la carga de la torre 35 de turbina eólica sobre la que está montada la góndola 19. La disposición 17 está adaptada para emitir señales de control 37 para controlar diferentes componentes de las turbinas eólicas, por ejemplo, el ángulo de paso de las palas del rotor, el par del generador, el convertidor y así sucesivamente.

Según una realización de la presente invención, de antemano se diseñan múltiples estrategias para eventos de alta velocidad rotacional. Entre las múltiples estrategias pueden estar:

- 1) apagar la turbina reduciendo el paso y eliminando gradualmente la potencia
- 2) limitar la velocidad (y/o potencia) de las turbinas eólicas, pero mantener una salida de potencia (beneficiosa)
- 3) continuar (estrategia de funcionamiento normal como antes de que se identificara el evento)

Cuando la velocidad rotacional excede un límite predefinido (por ejemplo, un primer límite de velocidad rotacional predeterminado), entonces se pueden realizar las siguientes acciones según una realización de la presente invención. El límite de velocidad predefinido podría ser similar al “límite de exceso de velocidad del controlador” convencional y básicamente puede definir un límite para cuando se debe tener especial cuidado, ya que no se quieren velocidades mucho más altas que podrían, por ejemplo, exceder el “límite de exceso de velocidad de seguridad”.

Se pueden realizar los siguientes pasos:

- 1) Inicializar un modelo de turbina en línea basado en el estado actual
- Los estados pueden ser numerosos candidatos entre: velocidad del viento medida/estimada, empuje (estimado) de dirección del viento, cargas de las palas (medidas), velocidades de rotación (medidas), potencia (medida), posiciones de paso (medidas), propiedades ambientales (medidas o estimadas) como la densidad del aire, etc.
 - El modelo de turbina puede tener dinámica para predecir cargas relevantes, los componentes relevantes pueden ser, por ejemplo: torre, palas y tren de transmisión.

2) Evaluar los canales de carga que ejecutan el modelo inicializado con cada una de las múltiples estrategias para una ventana de tiempo de vista previa

- 5
- asumir valores para las condiciones ambientales, por ejemplo:
 - asumir que las propiedades estimadas o medidas actuales se mantienen o
 - hacer predicciones basadas en tendencias (por ejemplo, extrapolación) o
- 10
- hacer predicciones basadas en la adición de incertidumbre a los valores actuales en el futuro (supóngase, por ejemplo, que el viento aumenta un poco)

15 3) comparar los canales de carga para las múltiples estrategias y seleccionar la estrategia que proporcione una carga segura con la mayor salida de potencia, por ejemplo. Se podrán definir otros criterios.

20

- Además, las realizaciones de la presente invención pueden utilizar información de vista previa de, por ejemplo, un LÍDAR, de modo que los valores asumidos para las condiciones ambientales puedan reemplazarse por vistas previas/mediciones.

25

- Introducir múltiples estrategias para eventos de alta velocidad rotacional, pero elegir no a partir de un análisis hipotético basado en un modelo en línea, sino a partir de una evaluación fuera de línea que haya proporcionado algunas indicaciones sobre los parámetros de programación. La evaluación fuera de línea debe entonces discretizar los puntos y estados operativos. Esto puede requerir menos esfuerzo computacional en línea que tiene una mayor complejidad en la configuración del controlador de la turbina, ya que la estrategia se decidirá sobre la base de algunos esquemas codificados en algunos parámetros operativos. La solución fuera de línea puede ser una aproximación porque no todos los estados y condiciones pueden considerarse con precisión.

30 El “estado actual” mencionado anteriormente puede incluir algunos valores medidos pasados, así como valores de parámetros estimados (que pueden no ser directamente mensurables).

35 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 controlar al menos una turbina eólica (15) en caso de una situación de exceso de velocidad rotacional, el método comprendiendo:
- 5
- determinar (3) un estado actual relacionado con la turbina eólica (15);
proporcionar (5) datos relacionados con el estado actual como entrada a un modelo (29) de turbina;
predecir (7) una carga de al menos un componente (23, 31) de turbina eólica y la salida de potencia de la turbina eólica utilizando el modelo de turbina provisto con la entrada para estrategias de control plurales;
- 10
- comparar (11) la carga prevista y la salida de potencia para las estrategias de control plurales; y
seleccionar (13) aquella estrategia de control entre las estrategias de control plurales que satisfaga un criterio objetivo que comprende la carga y la salida de potencia,
en donde la situación de exceso de velocidad se identifica si la velocidad rotacional del rotor principal (21) de la turbina eólica (15) excede un primer límite de velocidad rotacional predefinido, pero es inferior a un segundo límite de velocidad rotacional predeterminado.
- 15
2. Método según la de reivindicación anterior, en donde el criterio objetivo comprende al menos uno de:
- 20
- la carga prevista de al menos uno o de varios o de todos los componentes de la turbina eólica está dentro de un rango permitido; y/o
la salida (32) de potencia prevista se maximiza
- en donde el criterio objetivo es, en particular, configurable.
- 25
3. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en donde, si la velocidad rotacional supera el segundo límite de velocidad rotacional predeterminado, se apaga la turbina eólica (15), en donde al menos la estrategia de control seleccionada, en particular, todas las estrategias de control plurales, garantiza que no se supere el segundo límite de velocidad rotacional predeterminado.
- 30
4. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en donde la predicción de la carga y la salida (32) de potencia incluye modelar el comportamiento de la turbina eólica (15) utilizando el modelo (29) de turbina provisto con la entrada para cada una de las estrategias de control plurales para un intervalo de tiempo predeterminado y/o en donde el modelo (29) de turbina modela cada pala (23) de rotor como un único componente.
- 35
5. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en donde el estado comprende al menos un parámetro operativo medido y/o estimado relativo a un funcionamiento de la turbina eólica, incluyendo, en particular, al menos uno de:
- 40
- la carga medida de al menos una pala;
la velocidad rotacional;
la salida (32) de potencia;
la temperatura de un componente de turbina eólica;
- 45
- la posición de paso de al menos una pala (23),
- en donde el estado comprende al menos un parámetro ambiental medido y/o estimado relacionado con una condición ambiental de la turbina eólica, en particular incluyendo al menos uno de:
- 50
- la velocidad del viento;
la dirección del viento;
el impulso;
la densidad del aire;
la humedad del aire;
- 55
- la temperatura del aire.
6. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en donde se adquiere información procedente de lidar y/o radar y/o de al menos una turbina eólica aguas arriba para determinar la evolución y/o el estado de las condiciones ambientales.
- 60
7. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en donde durante el intervalo de tiempo predeterminado se supone al menos uno de:
- 65
- al menos un parámetro ambiental es constante;
al menos un parámetro ambiental se extrapola según una previsión, y/o

en donde se predice una evolución de al menos un parámetro operativo utilizando el modelo de turbina eólica en función del estado actual y/o un cambio del estado actual, en donde, en particular, las predicciones se realizan en base a la adición de incertidumbre de los valores del estado actual en el futuro.

- 5 8. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en donde las estrategias de control plurales incluyen al menos uno de:
- 10 apagar la turbina eólica (15), en particular, inclinando las palas (23) hacia fuera del viento y/o reducir gradualmente o eliminar gradualmente la salida de potencia;
 limitar la velocidad rotacional del rotor (21) de la turbina eólica y/o la salida de potencia, en particular, manteniendo la salida de potencia residual;
 continuar según un funcionamiento normal, como antes de que se produjera la situación de exceso de velocidad,
- 15 en donde limitar la velocidad rotacional del rotor de la turbina eólica y/o la salida de potencia, en particular, incluye:
 ajustar al menos un ángulo de paso de pala;
 ajustar un par de generador.
- 20 9. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en donde el componente de turbina eólica incluye al menos uno de:
- 25 una torre (35) de turbina eólica;
 una pala (23) de rotor de turbina eólica;
 un tren de accionamiento de turbina eólica;
 al menos un cojinete (22) de una pala de rotor y/o de un tren de accionamiento de turbina eólica.
- 30 10. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en donde el modelo (29) de turbina es un modelo de turbina en línea que predice la carga y la salida de potencia durante la ejecución del método.
- 35 11. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en donde el modelo de turbina es un modelo de turbina fuera de línea que tiene, para estados discretos plurales y para las diferentes estrategias de control plurales, cargas y salidas de potencia precalculadas, el método comprendiendo:
- 40 discretizar los datos relacionados con el estado y alimentar los datos discretizados al modelo de turbina fuera de línea;
 recuperar las cargas y salidas de potencia precalculadas en función de los datos discretizados.
- 45 12. Método según una de las reivindicaciones anteriores, que comprende, además:
 controlar la turbina eólica (15) según la estrategia de control seleccionada.
- 50 13. Disposición (17) para controlar al menos una turbina eólica en caso de una situación de exceso de velocidad rotacional, la disposición comprendiendo:
- 55 una porción (25) de determinación adaptada para determinar un estado (operacional) actual relacionado con la turbina eólica;
 un modelo (29) de turbina conectado para recibir datos relacionados con el estado (operacional) actual como entrada,
 en donde el modelo está adaptado para, provisto con la entrada, predecir una carga de al menos un componente de turbina eólica y la salida de potencia de la turbina eólica para estrategias de control plurales predeterminadas; y
 un procesador (33) adaptado para comparar la carga y la salida de potencia para las estrategias de control plurales y seleccionar aquella estrategia de control entre las estrategias de control plurales que satisface un criterio objetivo que comprende la carga y la salida de potencia,
 en donde la situación de exceso de velocidad se identifica si la velocidad rotacional del rotor principal (21) de la turbina eólica (15) excede un primer límite de velocidad rotacional predefinido, pero es inferior a un segundo límite de velocidad rotacional predeterminado.
14. Turbina eólica (15) que incluye una disposición (17) según la reivindicación anterior.

Fig. 1

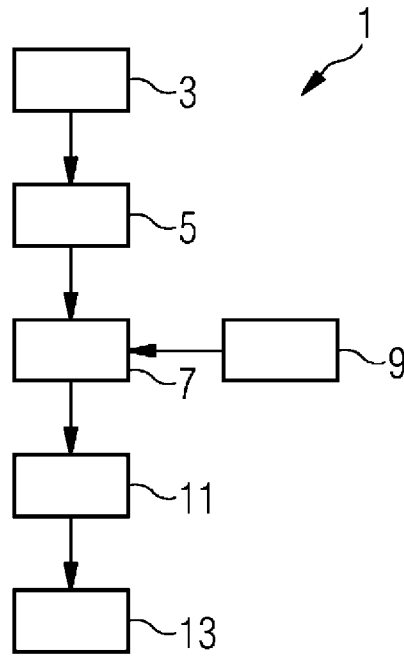


Fig. 2

