(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 647 311**

(51) Int. CI.:

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: **29.05.2012 PCT/DK2012/050183**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **06.12.2012 WO12163359**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.05.2012 E 12724566 (0)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.10.2017 EP 2715125**

(54) Título: **Un parque eólico y un método de funcionamiento de un parque eólico**

(30) Prioridad:

31.05.2011 US 201161491344 P
03.06.2011 DK 201170282 P

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
20.12.2017

(73) Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)
Hedeager 42
8200 Aarhus N, DK

(72) Inventor/es:

KJÆR, MARTIN ANSBJERG;
ZAIB, ALI y
MIRANDA, ERIK CARL LEHNSKOV

(74) Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

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

Un parque eólico y un método de funcionamiento de un parque eólico

Campo de la invención

La presente invención se refiere en general a un parque eólico, y en particular, a un método de funcionamiento del parque eólico durante condiciones con viento fuerte.

Antecedentes de la invención

Las condiciones meteorológicas duras tales como una velocidad del viento elevada tienen un gran impacto en turbinas eólicas en un parque eólico, causando cargas desequilibradas grandes en los componentes de las turbinas debido a la excesiva carga aerodinámica del viento que actúa sobre el rotor de la turbina eólica. Habitualmente, estas condiciones duras o extremas son excepcionales, pero si no se adoptan medidas de mitigación para aliviar estas cargas durante dichas condiciones, los componentes de las turbinas pueden deteriorarse o la vida útil total de los componentes puede reducirse en una cantidad importante.

Se conoce la desconexión de la turbina eólica de la red eléctrica o el apagado de la turbina eólica cuando la velocidad del viento supera un límite de velocidad del viento predefinido con el fin de no someter los componentes de las turbinas a las cargas extremas. Este apagado de la turbina eólica durante vientos fuertes es un procedimiento de seguridad para proteger la turbina. Cuando la turbina se apaga debido a vientos fuertes, tiene que ser reiniciada cuando se detecta una condición de viento normal. El proceso de puesta en funcionamiento de la turbina tarda una gran cantidad de tiempo y también consume potencia de la red eléctrica. Por lo tanto, se pierde una importante cantidad de producción de potencia cada vez que la turbina se apaga debido a vientos fuertes y se reinicia cuando la condición del viento vuelve a ser normal. Concretamente, el periodo entre el momento en que la condición del viento vuelve a ser normal y el momento en que la turbina está preparada para producir potencia después del reinicio puede utilizarse para la producción de potencia. Esto es así especialmente cuando las condiciones con viento fuerte duran solo poco tiempo, y el apagado de la turbina durante esta condición transitoria del viento resulta poco práctico.

El documento EP 2096 301 de la técnica anterior desvela un método de funcionamiento de una planta de turbinas eólicas que incluye proporcionar una pluralidad de turbinas eólicas cada una con un rotor de turbina que incluye al menos una pala montada a un árbol de turbina giratorio y un generador de inducción que tiene un estator y un rotor acoplados al árbol de la turbina para rotar con el mismo. La turbina eólica puede configurarse para proporcionar una cantidad de potencia variable. Se proporciona un control capaz de comunicarse con la pluralidad de turbinas eólicas. Una velocidad del viento se mide y un factor de reducción de potencia se determina en respuesta a la velocidad del viento medida. El factor de reducción determinado se comunica a la pluralidad de turbinas eólicas. La cantidad de potencia generada por cada una de la pluralidad de turbinas eólicas se ajusta en respuesta al factor de reducción de potencia.

Es conveniente proporcionar un método para permitir que algunas de las turbinas eólicas en un parque eólico permanezcan conectadas a la red eléctrica incluso durante condiciones con viento fuerte, para reducir la pérdida de producción de potencia.

Sumario de la invención

De acuerdo con un primer aspecto de la invención, se proporciona un parque eólico. El parque eólico incluye una pluralidad de turbinas eólicas y un regulador del parque eólico. El regulador se configura para detectar una condición con viento fuerte desde al menos una turbina eólica en el parque eólico, reducir un punto de referencia del parámetro de al menos una turbina eólica distinta, y aumentar un límite de velocidad del viento de corte de la al menos una turbina eólica distinta.

De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, se proporciona un método de funcionamiento de un parque eólico que comprende una pluralidad de turbinas eólicas y un regulador del parque eólico. El método incluye detectar una condición con viento fuerte desde al menos una turbina eólica en el parque eólico, reducir un punto de referencia del parámetro de al menos una turbina eólica distinta, y aumentar un límite de velocidad del viento de corte de la al menos una turbina eólica distinta.

Breve descripción de los dibujos

Las realizaciones de la presente invención se explican a modo de ejemplo y haciendo referencia a los dibujos adjuntos. Cabe destacar que los dibujos adjuntos solamente ilustran ejemplos de realizaciones de esta invención y, por lo tanto, no debe considerarse que limitan su alcance, ya que la invención puede admitir otras realizaciones igualmente eficaces.

La Figura 1 ilustra una disposición general de un parque eólico que comprende una pluralidad de las turbinas

eólicas y un regulador.
La Figura 2 ilustra una estructura general de una turbina eólica.
La Figura 3 ilustra un diagrama de flujo de un método de funcionamiento del parque eólico de acuerdo con una realización.
La Figura 4 ilustra una disposición de turbinas eólicas en un parque eólico.

Descripción detallada de la invención

A continuación, se hace referencia a realizaciones de la invención. Sin embargo, debe entenderse que la invención no se limita a las realizaciones específicas descritas. Por el contrario, se contempla cualquier combinación de las siguientes características y elementos, tanto si está relacionada con realizaciones diferentes como si no, para poner la invención en marcha y en práctica.

Además, en diversas realizaciones la invención proporciona numerosas ventajas con respecto a la técnica anterior. Sin embargo, aunque las realizaciones de la invención pueden alcanzar ventajas con respecto a otras soluciones posibles y/o con respecto a la técnica anterior, que una ventaja particular sea alcanzada o no por una realización determinada no limita la invención. De este modo, los siguientes aspectos, características, realizaciones y ventajas son meramente ilustrativos y no se consideran elementos o limitaciones de las reivindicaciones adjuntas salvo donde se exponga explícitamente en una o varias reivindicaciones. Análogamente, una referencia a “la invención” no se interpretará como una generalización de ninguna materia objeto inventiva desvelada en el presente documento y no se considerará un elemento o limitación de las reivindicaciones adjuntas salvo que se exponga explícitamente en una o varias reivindicaciones.

Un parque eólico incluye una pluralidad de turbinas eólicas y un regulador del parque eólico. El regulador del parque eólico controla el funcionamiento de las turbinas eólicas en el parque eólico, y también puede controlar los funcionamientos de otros componentes tales como STATCOM, baterías de condensadores, etc., presentes en el parque eólico. Normalmente, el regulador está en comunicación de datos con las turbinas eólicas y controla las turbinas eólicas enviando señales de control. El regulador también recibe datos tales como información de la red eléctrica, información meteorológica y estado de las turbinas eólicas. El regulador puede recibir esta información desde las turbinas eólicas, sensores de la red eléctrica, estaciones metrológicas u operadores de procesamiento, y la información procesada puede utilizarse después para determinar el funcionamiento de las turbinas eólicas.

De acuerdo con el primer aspecto de la invención, el regulador se configura para detectar una condición con viento fuerte desde al menos una turbina eólica en el parque eólico, reducir un punto de referencia del parámetro de al menos una turbina eólica distinta, y aumentar un límite de velocidad del viento de corte de la al menos una turbina eólica distinta. Cuando una turbina eólica encuentra una condición con viento fuerte, puede enviar una señal para informar al regulador del parque eólico. Por lo tanto, el regulador puede detectar las condiciones con viento fuerte detectando si ha recibido dicha señal desde cualquiera de las turbinas eólicas. Como alternativa, el regulador puede consultar cada turbina eólica en el parque eólico para determinar si cualquiera de las turbinas eólicas ha encontrado una condición con viento fuerte.

El regulador se configura para reducir el punto de referencia del parámetro de otra turbina eólica si ha detectado que una de las turbinas eólicas en el parque eólico ha encontrado una condición con viento fuerte. La turbina eólica que tiene su punto de referencia del parámetro reducido por el regulador es diferente a la turbina eólica que encontró y detectó las condiciones con viento fuerte, aunque también es posible que la turbina eólica que encontró las condiciones con viento fuerte tenga su punto de referencia del parámetro reducido también. El regulador puede reducir el punto de referencia del parámetro de la turbina eólica distinta enviando una señal de control que contenga un nuevo punto de referencia del parámetro a la turbina eólica distinta.

Un punto de referencia del parámetro se refiere a un valor de parámetro predefinido que una turbina eólica pretende alcanzar. Por ejemplo, el parámetro puede referirse a la potencia de salida desde el generador de la turbina eólica, y el punto de referencia puede fijarse en 650 kW. De este modo, hay que controlar el generador para que genere una potencia de salida de aproximadamente 650 kW. Cabe señalar que este es solamente un ejemplo, y el punto de referencia del parámetro no se limitará al punto de referencia para la potencia de salida del generador.

Aparte de tener su punto de referencia del parámetro reducido, el regulador también se configura para aumentar el límite de velocidad del viento de corte de esta turbina eólica distinta. El límite de velocidad del viento de corte se refiere a la velocidad del viento máxima a la que la turbina eólica puede funcionar en condiciones normales de funcionamiento tales como a nivel de potencia nominal sin riesgo importante de dañar sus componentes de las turbinas debido a cargas extremas. Cuando la velocidad del viento detectada por la turbina eólica supera este límite de velocidad del viento, se apaga como medida de seguridad con el fin de proteger sus componentes. Dado que el punto de referencia del parámetro de la turbina eólica se ha reducido, las cargas de la turbina pueden reducirse y la turbina eólica puede ser capaz entonces de seguir funcionando al límite de velocidad del viento de corte o un límite superior sin experimentar cargas extremas. Aumentando su límite de velocidad del viento de corte, la turbina eólica es capaz de seguir funcionando a una velocidad del viento más elevada antes de apagarse.

Todas las turbinas eólicas en el parque eólico pueden tener el mismo límite de velocidad del viento de corte. También es posible que las turbinas eólicas tengan un límite de velocidad del viento de corte diferente dependiendo de las ubicaciones. Por ejemplo, las turbinas en una zona más cercana a donde golpee el viento primero pueden tener un límite de velocidad del viento de corte menor y las turbinas en una zona más alejada de donde golpee el viento primero pueden tener un límite de velocidad del viento de corte mayor.

De acuerdo con la invención, se reduce la probabilidad de que todas las turbinas se apaguen si la velocidad del viento supera el límite de velocidad del viento de corte de las turbinas eólicas. Esto se contrapone a las soluciones de la técnica anterior en las que todas las turbinas en el parque eólico se apagarán cuando la velocidad del viento detectada por las turbinas eólicas supere su respectivo límite de velocidad del viento de corte. En consecuencia, se reduce la pérdida de producción de potencia del parque eólico durante condiciones con viento fuerte.

De acuerdo con una realización, el regulador se configura para repetir las etapas de detectar una condición con viento fuerte desde al menos una turbina eólica en el parque eólico, reducir el punto de referencia del parámetro de al menos una turbina eólica distinta, y aumentar el límite de velocidad del viento de corte de la al menos una turbina eólica distinta, hasta que el límite de velocidad del viento de corte de la al menos una turbina eólica distinta haya alcanzado un límite de velocidad del viento de corte máximo. Dicho de otro modo, el método expuesto en el primer aspecto de la invención se repite y el límite de velocidad del viento de corte de la turbina eólica distinta se aumenta. Este proceso se repite hasta que la velocidad del viento de corte de la turbina distinta alcance el límite máximo. También es posible que el proceso se repita hasta que ninguna de las turbinas detecte ninguna condición con viento fuerte más.

Cuando el punto de referencia del parámetro de la una o más turbinas eólicas distintas se ha reducido y el límite de velocidad del viento de corte se ha aumentado, la turbina eólica es más capaz de resistir las condiciones con viento fuerte actuales (porque las cargas sobre los componentes de las turbinas se mantienen dentro de límites aceptables). Sin embargo, cuando la condición con viento fuerte sigue siendo detectada por al menos una turbina eólica, significa que las cargas sobre los componentes de las turbinas de la turbina eólica siguen siendo demasiado elevadas. Esto podría deberse a que la reducción del punto de referencia del parámetro no es suficiente para reducir las cargas sobre los componentes de las turbinas. Otra posibilidad es que la condición con viento fuerte se haya agravado (por ejemplo, un mayor aumento de la velocidad del viento).

Por lo tanto, cuando la condición con viento fuerte es detectada por el regulador desde una turbina eólica, se reduce el punto de referencia del parámetro de una o más de las turbinas eólicas distintas, y el límite de velocidad del viento de corte aumenta de acuerdo con la realización. Esto garantiza que el parque eólico puede adaptarse a la condición con viento fuerte y sigue garantizando que las cargas sobre las turbinas en el parque eólico se mantienen dentro de límites aceptables. Sin embargo, cuando el límite de velocidad del viento de corte ha aumentado hasta su valor máximo permitido, el proceso iterativo se detiene. El límite de velocidad del viento de corte máximo es la máxima velocidad del viento a la que una turbina eólica sigue siendo capaz de funcionar, y por encima de esta velocidad del viento, las cargas sobre los componentes de las turbinas no podrán mantenerse dentro de límites aceptables aunque la turbina esté funcionando a un nivel de potencia muy reducido. La turbina normalmente se apaga para evitar daños.

Cabe señalar que en esta realización, la turbina eólica desde la cual se detecta la condición con viento fuerte puede ser la misma turbina o una diferente que en un proceso iterativo anterior.

De acuerdo con una realización, el regulador se configura para restablecer la al menos una turbina eólica distinta a su punto de referencia del parámetro original y su límite de velocidad del viento de corte original cuando el regulador detecta una condición de viento normal. Cuando no hay ninguna condición con viento fuerte, los componentes de las turbinas no corren peligro de sobrecarga debido a vientos fuertes. Por lo tanto, el punto de referencia del parámetro y el límite de velocidad del viento de corte pueden volver a sus valores originales para maximizar la producción de potencia.

El regulador puede detectar la condición de viento normal basándose en información recibida desde una de las turbinas eólicas en el parque eólico. Concretamente, el regulador puede hacer uso de dispositivos sensores de viento existentes, por ejemplo, un anemómetro de viento, en las turbinas eólicas. También es posible que el regulador detecte la condición de viento utilizando un anemómetro de viento especializado en el regulador del parque eólico o en otros lugares en el parque eólico. De manera alternativa o adicional, el regulador puede hacer uso de datos metrológicos para determinar si hay condición de viento normal.

De acuerdo con una realización, el regulador se configura para poner en marcha cualesquiera turbinas eólicas en el parque eólico que se hayan apagado debido a condiciones con viento fuerte. Como se ha mencionado antes, una turbina eólica se apaga normalmente cuando la velocidad del viento detectada está por encima de su límite de velocidad del viento de corte. Por lo tanto, podría haber turbinas eólicas en el parque eólico que se hayan apagado debido a la condición con viento fuerte. Cuando el regulador haya detectado una condición de viento normal, dichas turbinas eólicas se reinician para maximizar la producción de potencia del parque eólico.

De acuerdo con una realización, el regulador se configura para detectar la dirección del viento, y asignar un límite de velocidad del viento de corte para cada una de la pluralidad de turbinas eólicas en el parque eólico basándose en la dirección del viento y la ubicación de cada una de la pluralidad de turbinas eólicas en el parque eólico. La dirección del viento puede detectarse mediante cualquier veleta instalada sobre cualquiera de las turbinas eólicas o utilizando un sensor de dirección del viento especializado. A la turbina eólica situada en la dirección a contracorriente del viento se le puede asignar un límite de velocidad del viento de corte menor, y a la turbina eólica situada en la dirección con la corriente del viento se le puede asignar un límite de velocidad del viento de corte mayor. De este modo, no hay que ajustar todos los límites de velocidad del viento de corte de todas las turbinas eólicas durante una condición con viento fuerte.

De acuerdo con una realización, detectar las condiciones con viento fuerte desde la al menos una turbina eólica comprende detectar si la turbina eólica se ha apagado debido a una condición con viento fuerte. Detectar si cualquier turbina eólica se ha apagado debido a una condición con viento fuerte es una manera sencilla de que el regulador detecte condiciones con viento fuerte. Como se ha mencionado antes, una turbina eólica se apaga normalmente cuando la velocidad del viento está por encima del límite de velocidad del viento o cuando las cargas experimentadas por los componentes de las turbinas superan el límite de carga. Cuando la turbina eólica se apaga, envía una señal al regulador indicando el estado de apagado, y también otra información relacionada. El regulador detecta esta señal de apagado desde la turbina eólica para determinar si se ha detectado una condición con viento fuerte de acuerdo con la realización.

De acuerdo con una realización, la condición con viento fuerte para apagar la al menos una turbina eólica comprende al menos una de la velocidad del viento detectada por la turbina eólica por encima del límite de velocidad del viento de corte, los momentos de carga de la pala de la turbina eólica por encima de un límite de momento de carga de la pala, las cargas de la cadena de tracción de la turbina eólica por encima de un límite de carga de la cadena de tracción, y la aceleración de la torre de la turbina eólica por encima de un límite de aceleración. Las condiciones con viento fuerte pueden hacer que la velocidad del viento, los momentos de carga de la pala, las cargas de la cadena de tracción y la aceleración de la torre superen un límite determinado. Supervisando uno cualquiera de estos parámetros, puede detectarse la condición con viento fuerte y la turbina eólica puede apagarse en consecuencia.

De acuerdo con una realización, detectar las condiciones con viento fuerte desde la al menos una turbina eólica comprende detectar al menos una de la velocidad del viento detectada por la turbina eólica por encima del límite de velocidad del viento de corte, los momentos de carga de la pala de la turbina eólica por encima de un límite de momento de carga de la pala, las cargas de la cadena de tracción de la turbina eólica por encima de un límite de carga de la cadena de tracción, y la aceleración de la torre de la turbina eólica por encima de un límite de aceleración. En esta realización, en lugar de detectar una condición con viento fuerte detectando si se ha apagado alguna turbina eólica, el regulador puede detectar si la velocidad del viento, los momentos de carga de la pala, las cargas de la cadena de tracción y la aceleración de la torre en cualquier turbina eólica que se apague han superado un límite determinado. Cabe señalar que son posibles otras formas de detectar condiciones con viento fuerte por parte de la turbina. En otras realizaciones, la turbina eólica puede detectar una condición con viento fuerte detectando la dirección del viento, la potencia del generador, la tensión del enlace de CC, etc.

De acuerdo con una realización, reducir el punto de referencia del parámetro comprende reducir un punto de referencia de potencia para que la producción de potencia de la al menos una turbina eólica distinta se reduzca. Un punto de referencia de potencia se utiliza para controlar la potencia de salida del generador o la potencia de salida de turbina de la turbina eólica. Cuando este punto de referencia de potencia de la turbina eólica se reduzca, la potencia de salida del generador o de la turbina se reducirá en consecuencia. Esto permite que la velocidad giratoria del rotor también se reduzca. Dicho de otro modo, la potencia de la turbina eólica se reduce. Cuando la turbina está funcionando a un nivel de producción de potencia menor y, por tanto, a una velocidad de rotación de rotor menor, las cargas sobre los componentes de las turbinas también son menores.

De acuerdo con una realización, reducir el punto de referencia del parámetro comprende reducir tanto el punto de referencia de potencia como un punto de referencia de la velocidad del rotor para que la producción de potencia y la velocidad giratoria del rotor de la al menos una turbina eólica distinta se reduzcan. En consecuencia, las cargas sobre los componentes de las turbinas también se reducen.

Cabe señalar que un experto en la materia reconocería fácilmente que cualquier característica descrita anteriormente podría utilizarse también junto con el método de funcionamiento del parque eólico de acuerdo con el segundo aspecto de la invención.

A continuación se facilita una descripción detallada de las realizaciones de la invención representadas en los dibujos adjuntos. Las realizaciones son ejemplos y se facilitan con tanto detalle para comunicar la invención de manera clara. Sin embargo, no se pretende que la cantidad de detalles ofrecida limite las variaciones anticipadas de las realizaciones; sino que, por el contrario, la intención es cubrir todas las modificaciones, equivalentes y alternativas que pertenezcan al propósito y al alcance de la presente invención como se define en las reivindicaciones adjuntas

La Figura 1 ilustra una disposición general de un parque eólico 100. El parque eólico 100 incluye una pluralidad de turbinas eólicas 101 (tales como la turbina eólica mostrada en la Figura 2), un regulador 102 del parque eólico, un transformador 104 del parque eólico y una red 105 del parque eólico. El parque eólico 100 se conecta a un sistema de suministro o red eléctrica 110 por medio de líneas eléctricas 112 y a través del transformador 104 del parque eólico. El punto de interfaz entre el parque eólico 100 y el sistema de suministro 110 se denomina el punto de acoplamiento común (PCC) 111. La potencia producida por las turbinas eólicas 101 se distribuye por las líneas eléctricas 112 y se suministra a la red eléctrica 110 por medio del PCC 111. El transformador 104 del parque eólico aumenta o reduce la tensión procedente del parque eólico 100 a una tensión adecuada para su transmisión en la red eléctrica 110.

El parque eólico 100 también puede incluir dispositivos de compensación 103. El dispositivo de compensación es un dispositivo de generación de potencia reactiva utilizado para compensar la potencia reactiva del parque eólico 100. Los ejemplos del dispositivo de compensación 103 incluyen, a modo enunciativo, una batería de condensador conmutada por tiristor y un compensador estático de potencia reactiva (SVC). La potencia reactiva procedente del dispositivo de compensación 103 también se suministra a la red eléctrica 110 por líneas eléctricas 112.

El regulador 102 del parque eólico realiza en general una pluralidad de funciones de control. Por ejemplo, el regulador 102 del parque eólico puede obtener diferentes tipos de datos que caracterizan el estado actual de las turbinas eólicas 101 o componentes de las mismas, y en respuesta a ello, controlar el funcionamiento de las turbinas eólicas 101. Las turbinas eólicas 101 se comunican con el regulador 102 a través de la red 105 del parque eólico utilizando líneas de control 113 mostradas como líneas de puntos en la Figura 1. Las señales comunicadas entre el regulador 102 y las turbinas eólicas 101 pueden incluir señal de potencia de salida, estado de la turbina, referencia de potencia, comando de turbina, puntos de referencia de potencia, etc. El regulador 102 también se conecta al PCC 111 por medio de una línea de control 113. Esto permite que el regulador 102 detecte parámetros de potencia tales como niveles de tensión y corriente en el PCC 111.

Cabe señalar que la disposición del parque eólico 100 mostrado en la Figura 1 es solo un ejemplo, y la invención no se restringe a la disposición exacta del parque eólico mostrado en la Figura 1. Por ejemplo, aunque se muestran 4 turbinas eólicas 101 en el parque eólico 100, es posible que el parque eólico incluya más o menos de 4 turbinas eólicas 101. También es posible que el parque eólico solo tenga una turbina eólica 101. De manera similar, el parque eólico 101 puede incluir más de 1 dispositivo de compensación en otros ejemplos.

La Figura 2 ilustra una turbina eólica 130 ejemplar de acuerdo con una realización. Como se ilustra en la Figura 2, la turbina eólica 130 incluye una torre 140, una góndola 150, y un rotor 160. En una realización, la turbina eólica 130 puede ser una turbina eólica costera. Sin embargo, las realizaciones de la invención no se limitan solamente a turbinas eólicas costeras. En realizaciones alternativas, la turbina eólica 130 puede ser una turbina eólica costa afuera situada sobre una masa de agua tal como, por ejemplo, un lago, un océano, etc. La torre 140 de dicha turbina eólica costa afuera se instala bien sobre el fondo del mar o sobre plataformas estabilizadas al nivel del mar o por encima del mismo.

La torre 140 de la turbina eólica 130 puede configurarse para elevar la góndola 150 y el rotor 160 a una altura donde el rotor 160 pueda recibir un flujo de aire fuerte, menos turbulento y, en general, sin obstrucciones. La altura de la torre 140 puede ser cualquier altura razonable, y debe tener en cuenta la longitud de las palas de la turbina eólica que se extienden desde el rotor 160. La torre 140 puede fabricarse de cualquier tipo de material, por ejemplo, acero, hormigón, etc. En algunas realizaciones la torre 140 puede fabricarse de un material monolítico. Sin embargo, en realizaciones alternativas, la torre 140 puede incluir una pluralidad de secciones, por ejemplo, dos o más secciones tubulares de acero 141 y 142, como se ilustra en la Figura 2. En algunas realizaciones de la invención, la torre 140 puede ser una torre reticular. En consecuencia, la torre 140 puede incluir perfiles de acero soldado.

El rotor 160 puede incluir un cubo del rotor (en adelante, simplemente el “cubo”) 162 y al menos una pala 170 (tres de dichas palas 170 se muestran en la Figura 2). El cubo del rotor 162 puede configurarse para acoplar la al menos una pala 170 a un árbol (que no se muestra). En una realización, las palas 170 pueden tener un perfil aerodinámico de manera que, a velocidades del viento predefinidas, las palas 170 experimenten una elevación, haciendo así que las palas giren radialmente alrededor del cubo. El cubo 170 también comprende mecanismos (que no se muestran) para ajustar el paso de la pala 170 para aumentar o reducir la cantidad de energía eólica capturada por la pala 170. El paso ajusta el ángulo al que el viento golpea la pala 170. También es posible que el paso de las palas 170 no pueda ajustarse. En este caso, el perfil aerodinámico de las palas 170 se diseña de manera que la elevación experimentada por las palas se pierda cuando la velocidad del viento supere un límite determinado, haciendo que la turbina se detenga.

El cubo 162 gira habitualmente alrededor de un eje sustancialmente horizontal a lo largo de un árbol impulsor (que no se muestra) que se extiende desde el cubo 162 hasta la góndola 150. El árbol impulsor se acopla normalmente a uno o más componentes en la góndola 150, que se configuran para convertir la energía giratoria del árbol en energía eléctrica.

Aunque la turbina eólica 130 mostrada en la Figura 2 tiene tres palas 170, cabe señalar que una turbina eólica

puede tener un número de palas diferente. Es habitual encontrar turbinas eólicas que tengan de dos a cuatro palas. La turbina eólica 130 mostrada en la Figura 2 es una turbina eólica de eje horizontal (HAWT) ya que el rotor 160 gira alrededor de un eje horizontal. Cabe señalar que el rotor 160 puede girar alrededor de un eje vertical. Dicha turbina eólica cuyo rotor gira alrededor del eje vertical se conoce como una turbina eólica de eje vertical (VAWT). Las realizaciones descritas en adelante no se limitan a HAWT con 3 palas. Pueden ponerse en marcha tanto en HAWT como en VAWT, y tener cualquier número de palas 170 en el rotor 160.

La Figura 3 ilustra un diagrama de flujo de un método de funcionamiento del parque eólico de acuerdo con una realización. El regulador 102 del parque eólico 100 puede poner en marcha las etapas ilustradas en este diagrama de flujo. La etapa 201 incluye detectar una condición con viento fuerte desde al menos una turbina en el parque eólico. En una realización, la condición con viento fuerte puede detectarse desde una de las turbinas eólicas 101 en el parque eólico 100 como se muestra en la Figura 1. Es posible que la condición con viento fuerte se detecte desde más de una de las turbinas eólicas 101. La etapa 202 incluye reducir un punto de referencia del parámetro de al menos una turbina eólica distinta. En una realización, el punto de referencia del parámetro de otra turbina eólica 101 (diferente a la turbina eólica mencionada en la etapa 201) se reduce. El punto de referencia del parámetro puede ser un punto de referencia de potencia. Reducir el punto de referencia de potencia provoca una reducción de la potencia de salida y, por tanto, la velocidad giratoria del rotor, de esta otra turbina eólica 101. Es posible que el punto de referencia del parámetro de más de una turbina 101 se reduzca. En este caso, las turbinas con sus puntos de referencia del parámetro reducidos pueden incluir tanto la turbina distinta 101 mencionada en la etapa 202 como la turbina 101 mencionada en la etapa 201. En otra realización, tanto el punto de referencia de potencia como un punto de referencia de la velocidad del rotor de la turbina distinta eólica 101 se reducen.

La etapa 203 incluye aumentar un límite de velocidad del viento de corte de la turbina distinta. Para la turbina donde se reduce su punto de referencia del parámetro, también se aumenta su límite de velocidad del viento de corte. Si el punto de referencia del parámetro de más de una turbina se reduce en la etapa 202, también se aumenta el límite de velocidad del viento de corte de estas turbinas. Para ilustrar más claramente el método de acuerdo con la realización, se ilustran diferentes ejemplos de funcionamiento del parque eólico basados en el método de acuerdo con la realización haciendo referencia a la Figura 4.

La Figura 4 ilustra una disposición de turbinas eólicas en un parque eólico 300. El parque eólico 300 incluye una pluralidad de turbinas eólicas 301, 302, 303, 311, 312, 313, 321, 322, 323, un regulador 330 del parque eólico y un transformador 340 del parque eólico. Todas las turbinas eólicas se conectan, directa o indirectamente, al regulador 330. Para simplificar, las líneas 305 en la Figura 4 representan vías de potencia y de comunicación de datos entre los diversos componentes en el parque eólico 300. Las flechas 350 representan la dirección del viento.

Un primer ejemplo (ejemplo 1) de funcionamiento del parque eólico durante una condición con viento fuerte se describirá ahora haciendo referencia a la Figura 4. El límite de velocidad del viento de corte para todas las turbinas eólicas 301, 302, 303, 311, 312, 313, 321, 322, 323 se fija en 25 m/s. Al comienzo de una condición con viento fuerte con velocidad del viento por encima de 25 m/s, la turbina eólica 301 detecta que la velocidad del viento está por encima de su límite de 25 m/s y se apaga en consecuencia como medida de seguridad. La turbina eólica 301 también informa al regulador 330 de que se ha apagado debido a vientos fuertes. Cuando el regulador 330 ha detectado que la turbina eólica 301 se ha apagado debido a condiciones con viento fuerte, envía una señal de reducción de potencia a todas las turbinas eólicas distintas 302, 303, 311, 312, 313, 321, 322, 323 para reducir su punto de referencia de potencia al 80 % de su producción de potencia nominal. En consecuencia, las turbinas eólicas distintas 302, 303, 311, 312, 313, 321, 322, 323 se controlan para reducir su producción de potencia al 80 % de su producción de potencia original. La velocidad giratoria del rotor de las turbinas eólicas 302, 303, 311, 312, 313, 321, 322, 323 también se reduce en consecuencia. Además, el regulador también envía una señal para solicitar a las turbinas distintas 302, 303, 311, 312, 313, 321, 322, 323 que aumenten su límite de velocidad del viento de corte a 28 m/s.

El regulador 330 sigue supervisando el estado de las turbinas eólicas 302, 303, 311, 312, 313, 321, 322, 323. Cuando la velocidad del viento sigue aumentando por encima de 28 m/s, la turbina eólica 302 se apaga e informa al regulador 330 en consecuencia. El regulador 330, tras detectar que la turbina eólica 302 se ha apagado debido a vientos fuertes, envía una señal de reducción de potencia a las turbinas eólicas distintas 303, 311, 312, 313, 321, 322, 323 para reducir más su punto de referencia de potencia al 60 % de su valor original. Esto hace que la producción de potencia de las turbinas eólicas distintas 303, 311, 312, 313, 321, 322, 323 se reduzca al 60 % de su producción de potencia nominal. Además, el regulador 330 también solicita que el límite de velocidad del viento de corte se aumente a 30 m/s.

Cuando la velocidad del viento sigue aumentando por encima de 30 m/s, las turbinas eólicas 311, 312 se apagan e informan al regulador 330 en consecuencia. El regulador 330, tras detectar que las turbinas eólicas 311, 312 se han apagado debido a vientos fuertes, envía una señal de reducción de potencia a las turbinas eólicas distintas 303, 313, 321, 322, 323 para reducir más su punto de referencia de potencia al 40 % de su valor original. Esto hace que la producción de potencia de las turbinas eólicas distintas 303, 313, 321, 322, 323 se reduzca al 40 % de su producción de potencia nominal. El regulador 330 también solicita que el límite de velocidad del viento de corte se aumente a 33 m/s.

Cuando la velocidad del viento sigue aumentando por encima de 33 m/s, las turbinas eólicas 303, 313 se apagan e informan al regulador 330 en consecuencia. El regulador 330, tras detectar que las turbinas eólicas 303, 313 se han apagado debido a vientos fuertes, envía una señal de reducción de potencia a las turbinas eólicas distintas 321, 322, 323 para reducir más su punto de referencia de potencia al 20 % de su valor original. Esto hace que la producción de potencia de las turbinas eólicas distintas 321, 322, 323 se reduzca al 20 % de su producción de potencia nominal. El regulador 330 también solicita que el límite de velocidad del viento de corte se aumente a 35 m/s, que es el límite de velocidad del viento de corte máximo.

Cuando la velocidad del viento sigue aumentando por encima de 35 m/s, todas las demás turbinas eólicas 321, 322, 323 se apagan. Esto se debe a que 35 m/s es el límite de velocidad del viento de corte máximo y por encima de este límite, las cargas sobre los componentes de las turbinas serán demasiado extremas aunque las turbinas estén funcionando a un nivel de producción de potencia reducido.

En cualquier momento en que se detecte una condición de viento normal, el punto de referencia de potencia de las demás turbinas eólicas en funcionamiento se restablece a su punto de referencia de potencia original. Por ejemplo, si se detecta una condición de viento normal cuando las turbinas eólicas 303, 313, 321, 322, 323 estén funcionando al 40 % de su producción de potencia nominal (es decir, la velocidad del viento no haya alcanzado 33 m/s aún), el punto de referencia de potencia de estas turbinas 303, 313, 321, 322, 323 vuelve a restablecerse al 100 % de producción de potencia nominal y la producción de potencia vuelve a restablecerse al 100 % en consecuencia volviendo a aumentar la velocidad del rotor a su velocidad giratoria original. El límite de velocidad del viento de corte de las turbinas 303, 313, 321, 322, 323 también vuelve a restablecerse a su valor límite original, es decir, 25 m/s.

En una realización, el regulador 330, tras detectar la condición de viento normal, hace que las turbinas que se han apagado se reinicien. Por ejemplo, las turbinas 301, 302, 311, 312 que se han apagado cuando la velocidad del viento superó 30 m/s se reinician cuando la condición de viento normal se ha detectado.

La condición de viento normal incluye la condición cuando la velocidad del viento está por debajo de 25 m/s. Cualquiera de las turbinas eólicas en el parque eólico 300 puede detectar la condición de viento normal. De manera alternativa o adicional, la condición de viento normal puede ser detectada por el mismo regulador 330 (por ejemplo, anemómetro de viento montado sobre el regulador 330 o cerca del mismo) o estar basada en datos metrológicos procedentes de la estación metrológica.

En este ejemplo puede observarse que, durante la condición con viento fuerte con una velocidad del viento entre 25 m/s y 35 m/s, sigue habiendo algunas turbinas funcionando y no todas las turbinas en el parque eólico se han apagado. Por lo tanto, el método de acuerdo con la realización reduce la pérdida total de producción de potencia durante la condición con viento fuerte.

Ahora se describirá un segundo ejemplo (ejemplo 2) de funcionamiento del parque eólico durante condiciones con viento fuerte haciendo referencia a la Figura 4. El límite de velocidad del viento de corte para todas las turbinas eólicas 301, 302, 303, 311, 312, 313, 321, 322, 323 se establece a 25 m/s. Al comienzo de una condición con viento fuerte, la turbina eólica 301 detecta que los momentos de carga de sus palas superaron su límite de momentos de carga de palas e informa al regulador 330 de las condiciones con viento fuerte. Cuando el regulador 330 ha sido informado de las condiciones con viento fuerte, envía una señal de reducción de potencia a todas las turbinas eólicas 301, 302, 303, 311, 312, 313, 321, 322, 323 para reducir su punto de referencia de potencia al 80 % de su producción de potencia nominal. En consecuencia, las turbinas eólicas 301, 302, 303, 311, 312, 313, 321, 322, 323 se controlan para reducir su producción de potencia al 80 % de su producción de potencia original. Además, el regulador también envía una señal para solicitar a las turbinas 301, 302, 303, 311, 312, 313, 321, 322, 323 que aumenten su límite de velocidad del viento de corte a 28 m/s.

El regulador 330 sigue supervisando el estado de las turbinas eólicas. Cuando la velocidad del viento sigue aumentando por encima de 28 m/s, las turbinas eólicas 301, 302 tienen momentos de carga de sus palas que superan su límite de momentos de carga de palas e informa al regulador 330 en consecuencia. El regulador 330 vuelve a enviar una señal de reducción de potencia a todas las turbinas eólicas 301, 302, 303, 311, 312, 313, 321, 322, 323 para reducir más su punto de referencia de potencia al 60 % de su valor original. El regulador 330 también solicita que el límite de velocidad del viento de corte de las turbinas 301, 302, 303, 311, 312, 313, 321, 322, 323 se aumente a 30 m/s.

Este proceso se repite hasta que el límite de velocidad del viento de corte de todas las turbinas haya aumentado a 35 m/s. Si alguna de las turbinas sigue teniendo los momentos de carga de sus palas por encima del límite de momentos de carga de palas, todas las turbinas se apagan para evitar una carga extrema sobre los componentes de las turbinas.

De manera similar, en cualquier momento cuando la condición de viento normal se detecta, el punto de referencia de potencia de todas las turbinas eólicas se restablece a su punto de referencia de potencia original. Por ejemplo, cuando la condición de viento normal se detecta, el punto de referencia de potencia de las turbinas 301, 302, 303, 313, 321, 322, 323 vuelve a restablecerse al 100 % de producción de potencia nominal y la producción de potencia

vuelve a restablecerse al 100 % en consecuencia. El límite de velocidad del viento de corte de las turbinas 301, 302, 303, 313, 321, 322, 323 también vuelve a restablecerse a su valor límite original, es decir, 25 m/s.

En este ejemplo puede observarse que durante una condición con viento fuerte con una velocidad del viento de entre 25 m/s y 35 m/s, las turbinas siguen funcionando aunque en un modo de reducción de potencia. Por lo tanto, el método de acuerdo con la realización reduce la pérdida total de producción de potencia durante la condición con viento fuerte.

A continuación se describirá un tercer ejemplo (ejemplo 3) de funcionamiento del parque eólico durante una condición con viento fuerte haciendo referencia a la Figura 4. En este ejemplo, no todas las turbinas eólicas tienen el mismo límite de velocidad del viento de corte. Concretamente, el límite de velocidad del viento de corte se asigna a las turbinas eólicas 301, 302, 303, 311, 312, 313, 321, 322, 323 en función de su ubicación en el parque eólico 300 y la dirección del viento.

En la Figura 4, las flechas 350 muestran la dirección del viento. En función de la dirección del viento detectada, a las turbinas eólicas que están más cerca o a contracorriente del viento se les asigna un límite de velocidad del viento de corte menor que a las turbinas eólicas que están más lejos o con la corriente del viento. En este ejemplo, a la turbina eólica 301 se le asigna un límite de velocidad del viento de corte de 25 m/s. A las turbinas eólicas 302, 311, 312 se les asigna un límite de velocidad del viento de corte de 26 m/s, a las turbinas eólicas 303, 313, 321, 322 se les asigna un límite de velocidad del viento de corte de 27 m/s y a la turbina eólica 323 se le asigna un límite de velocidad del viento de corte de 28 m/s.

El regulador 330 detecta entonces si alguna de las turbinas eólicas 301, 302, 303, 311, 312, 313, 321, 322, 323 se ha apagado debido a vientos fuertes. Si la turbina eólica 301 se ha apagado, el regulador reduce la potencia de las turbinas eólicas distintas 302, 303, 311, 312, 313, 321, 322, 323 al 90 % de su producción de potencia nominal. No hay necesidad de aumentar el límite de velocidad del viento de corte de las turbinas eólicas distintas 302, 303, 311, 312, 313, 321, 322, 323 porque ya se les ha asignado un límite de velocidad del viento de corte mayor anteriormente.

Si las turbinas eólicas 302, 311 se apagan, se reduce la potencia de las turbinas eólicas distintas 303, 312, 313, 321, 322, 323 al 80 % de su producción de potencia nominal. El límite de velocidad del viento de corte de la turbina eólica 312 se aumenta a 27 m/s. Si la turbina eólica 303 se apaga debido a una condición con viento fuerte, se reduce la potencia de las turbinas eólicas 312, 313, 321, 322, 323 al 70 % de su producción de potencia nominal. El límite de velocidad del viento de corte de las turbinas eólicas 312, 313, 321, 322 se aumenta a 28 m/s. Si la turbina eólica 312 se apaga, se reduce la potencia de las demás turbinas eólicas distintas 313, 321, 322, 323 al 60 % y el límite de velocidad del viento de corte se aumenta a 30 m/s. El proceso continúa entonces hasta que el límite de velocidad del viento de corte de las demás turbinas eólicas se aumenta a 35 m/s (es decir, el límite de velocidad del viento de corte máximo). Si la velocidad del viento aumenta por encima de 35 m/s, todas las demás turbinas se apagan. De manera similar, si se detecta una condición de viento normal, todas las demás turbinas eólicas en funcionamiento se restablecen a su punto de referencia de potencia original y al límite de velocidad del viento de corte.

Cabe señalar que los valores de los puntos de referencia de potencia y los límites de velocidad del viento de corte utilizados en los ejemplos descritos anteriormente solo son ejemplos y las realizaciones de la invención no deben restringirse como tales. Pueden utilizarse otros valores de puntos de referencia de potencia y límites de velocidad del viento de corte o asignarse a las turbinas eólicas en otras realizaciones. Por ejemplo, se ha descrito que entre una velocidad del viento de 25 m/s y 35 m/s, las turbinas se hacen funcionar en un modo de reducción de potencia, y por encima de 35 m/s, las turbinas se apagan. También es posible que las turbinas se hagan funcionar en un modo de reducción de potencia en un rango diferente tal como entre una velocidad del viento de entre 24 m/s y 34 m/s, donde 34 m/s es el límite de velocidad del viento máxima.

Asimismo, en los ejemplos anteriores, se utilizan la velocidad del viento y/o el momento de carga de la pala para detectar una condición con viento fuerte. También es posible detectar una condición con viento fuerte utilizando otros valores tales como aceleración de la torre en otras realizaciones.

Debe insistirse en el hecho de que las realizaciones descritas anteriores son posibles ejemplos de implementaciones que solamente se indican para entender claramente los principios de la invención. El experto en la materia podrá efectuar numerosas variaciones y modificaciones a la realización (o realizaciones) descritas anteriormente, teniendo por objeto dichas variaciones y modificaciones ser incluidas en el presente documento dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un parque eólico (100) que comprende:

una pluralidad de turbinas eólicas (101); y
un regulador del parque eólico, el regulador (102) se configura para:
detectar una condición con viento fuerte y una dirección del viento (350) desde al menos una turbina eólica (101) en el parque eólico (100);
reducir un punto de referencia del parámetro de al menos una turbina eólica distinta; y
aumentar un límite de velocidad del viento de corte de la al menos una turbina eólica distinta,

en el que detectar las condiciones con viento fuerte desde la al menos una turbina eólica comprende detectar si la al menos una turbina eólica se ha apagado debido a una condición con viento fuerte,
caracterizado por que el regulador se configura para:

asignar el límite de velocidad del viento de corte a cada una de la pluralidad de turbinas eólicas (101) basándose en la dirección del viento (350) detectada y la ubicación de cada una de la pluralidad de turbinas eólicas (101) en el parque eólico (100).

2. El parque eólico de la reivindicación 1, en el que el regulador se configura para repetir las etapas de la reivindicación 1 hasta que el límite de velocidad del viento de corte de la al menos una turbina eólica distinta haya alcanzado un límite de velocidad del viento de corte máximo.

3. El parque eólico de las reivindicaciones 1 o 2, en el que el regulador se configura para restablecer la al menos una turbina eólica distinta a su punto de referencia del parámetro original y límite de velocidad del viento de corte cuando el regulador detecta una condición de viento normal.

4. El parque eólico de la reivindicación 3, en el que el regulador se configura para poner en marcha cualesquiera turbinas eólicas (101) en el parque eólico (100) que se hayan apagado debido a una condición con viento fuerte.

5. El parque eólico (100) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la condición con viento fuerte para apagar la al menos una turbina eólica (101) comprende al menos una de las siguientes:

la velocidad del viento detectada por la turbina eólica supera el límite de velocidad del viento de corte;
los momentos de carga de la pala de la turbina eólica superan un límite del momento de carga de la pala;
las cargas de la cadena de tracción de la turbina eólica superan un límite de carga de la cadena de tracción; y
la aceleración de la torre de la turbina eólica supera un límite de aceleración.

6. El parque eólico (100) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que reducir el punto de referencia del parámetro comprende reducir un punto de referencia de potencia para que la producción de potencia de la al menos una turbina eólica distinta se reduzca.

7. El parque eólico (100) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que reducir el punto de referencia del parámetro comprende reducir tanto un punto de referencia de potencia como un punto de referencia de la velocidad del rotor para que tanto la producción de potencia como la velocidad giratoria del rotor (160) de la al menos una turbina eólica distinta se reduzca.

8. Un método de funcionamiento de un parque eólico (100) que comprende una pluralidad de turbinas eólicas (101) y un regulador del parque eólico (102), el método comprende:

detectar una condición con viento fuerte y una dirección del viento (350) desde al menos una turbina eólica (101) en el parque eólico;
reducir un punto de referencia del parámetro de al menos una turbina eólica distinta; y
aumentar un límite de velocidad del viento de corte de la al menos una turbina eólica distinta, en el que detectar las condiciones con viento fuerte desde la al menos una turbina eólica comprende detectar si la al menos una turbina eólica (101) se ha apagado debido a una condición con viento fuerte,

caracterizado por que el método comprende:

asignar el límite de velocidad del viento de corte a cada una de la pluralidad de turbinas eólicas en función de la dirección del viento (350) detectada y la ubicación de cada una de las turbinas eólicas en el parque eólico.

9. El método de la reivindicación 8, que comprende además repetir las etapas de la reivindicación 9 hasta que el límite de velocidad del viento de corte de la al menos una turbina eólica distinta ha alcanzado un límite de velocidad del viento de corte máxima.

10. El método de las reivindicaciones 8 o 9, que comprende además restablecer la al menos una turbina eólica distinta a su punto de referencia del parámetro original y límite de velocidad del viento de corte cuando se detecta una condición de viento normal.

11. El método de la reivindicación 10, que comprende además poner en marcha cualesquiera turbinas eólicas (101) en el parque eólico (100) que se hayan apagado debido a una condición con viento fuerte.

12. El método de cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11, en el que la condición con viento fuerte para apagar la al menos una turbina eólica (101) comprende al menos uno de los siguientes:

la velocidad del viento detectada por la turbina eólica supera el límite de velocidad del viento de corte;
los momentos de carga de la pala de la turbina eólica superan un límite de momento de carga de la pala;
las cargas de la cadena de tracción de la turbina eólica superan un límite de carga de la cadena de tracción; y
la aceleración de la torre de la turbina eólica supera un límite de aceleración.

13. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 12, en el que reducir el punto de referencia del parámetro comprende reducir un punto de referencia de potencia para que la producción de potencia de la al menos una turbina eólica distinta se reduzca.

14. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 13, en el que reducir el punto de referencia del parámetro comprende reducir tanto un punto de referencia de potencia como un punto de referencia de la velocidad del rotor para que tanto la producción de potencia como la velocidad giratoria del rotor (160) de la al menos una turbina eólica distinta se reduzcan.

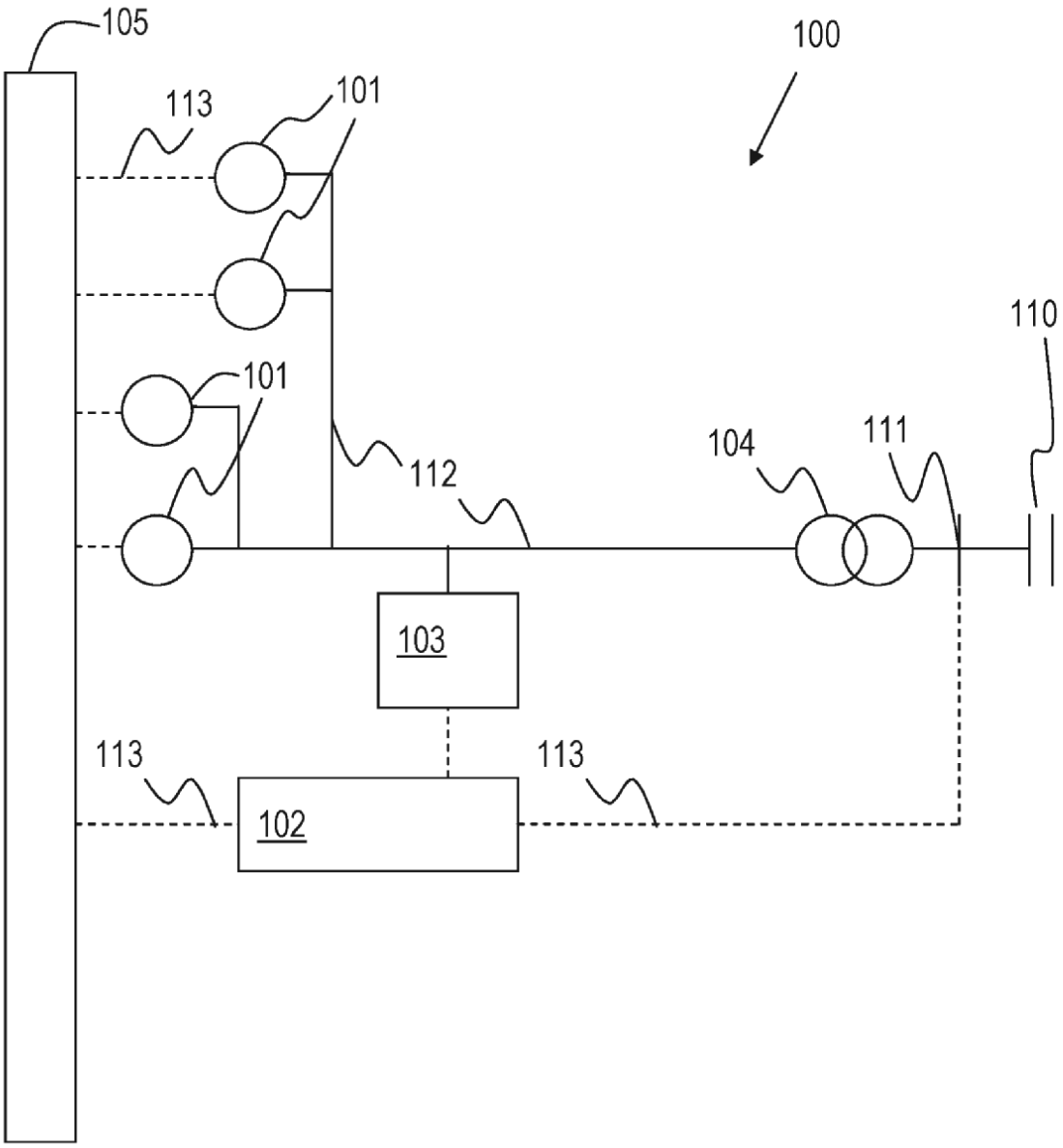

Fig. 1

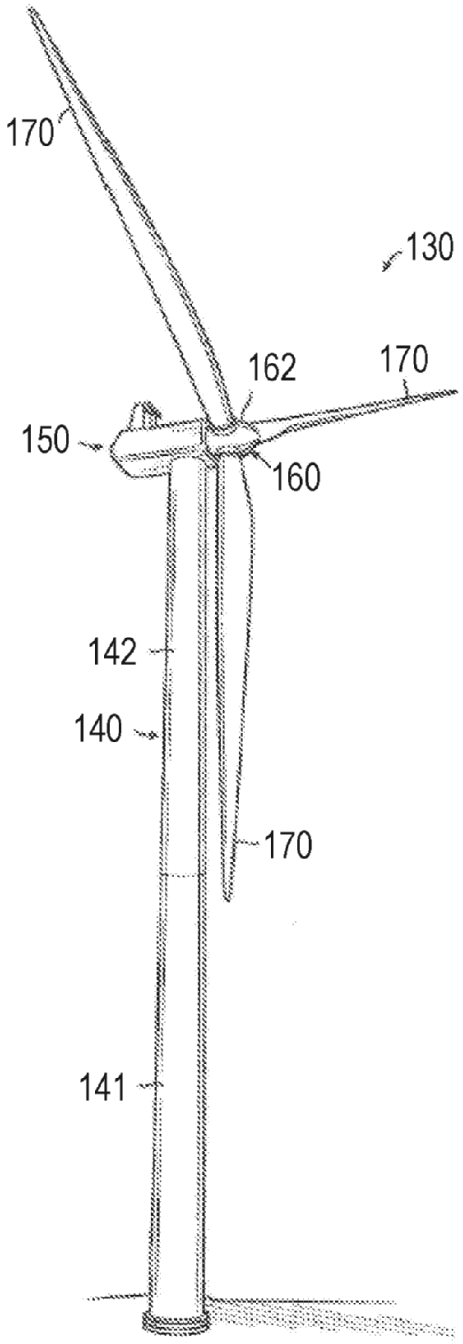

Fig. 2

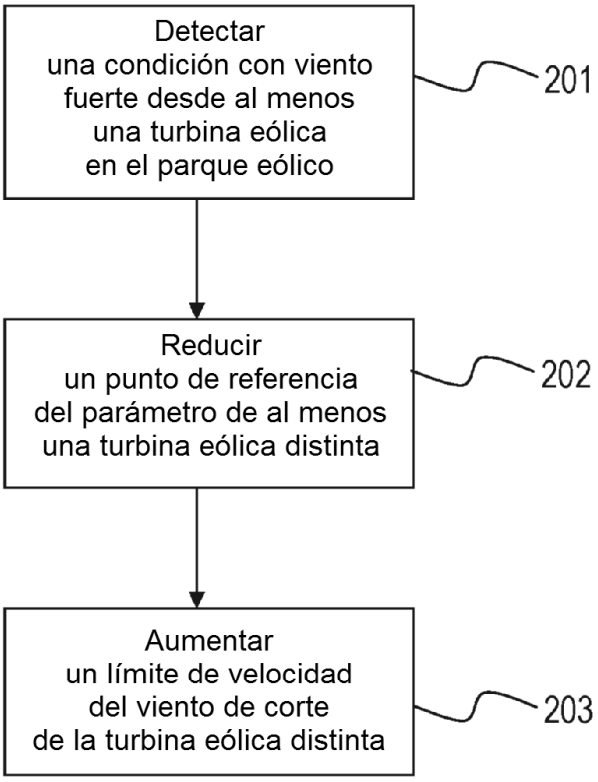
Detectar
una condición con viento
fuerte desde al menos
una turbina eólica
en el parque eólico
201
Reducir
un punto de referencia
del parámetro de al menos
una turbina eólica distinta
202
Aumentar
un límite de velocidad
del viento de corte
de la turbina eólica distinta
203

Fig. 3

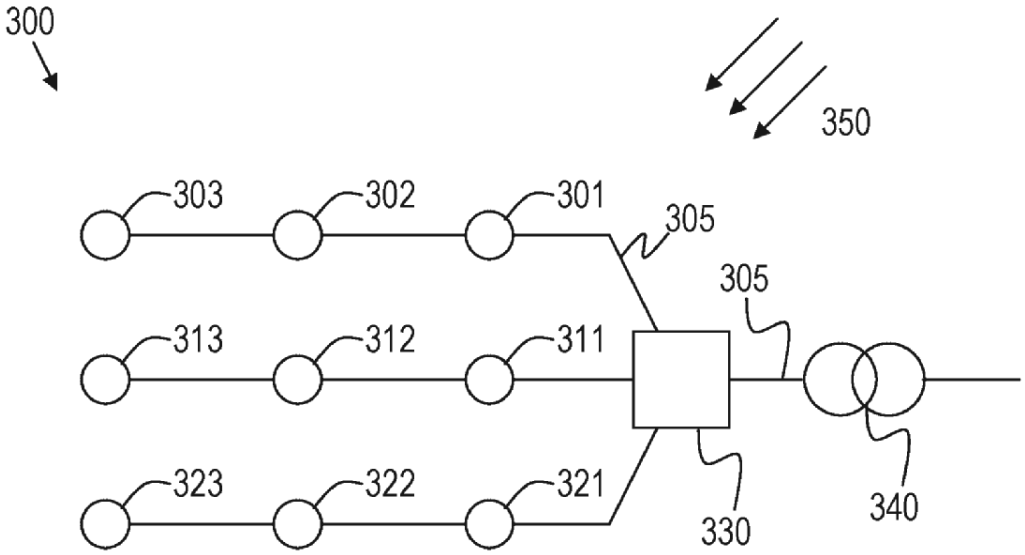

Fig. 4