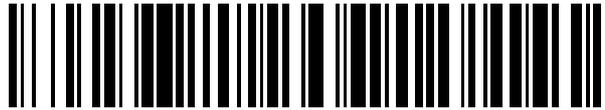


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 645 961**

51 Int. Cl.:

G05B 13/02 (2006.01)

G05B 23/02 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

H02P 9/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.03.2011 E 11158586 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.10.2017 EP 2369432**

54 Título: **Sistema de ensayo para optimizar el funcionamiento de una turbina eólica**

30 Prioridad:

26.03.2010 US 748007

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.12.2017

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)
1 River Road
Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**HARRISON, PAULA MARIE;
PATTERSON, ANGELA;
GIGUERE, PHILIPPE;
TOBERGTE, NICHOLAS y
MCCULLOCH, COLIN**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 645 961 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

Sistema de ensayo para optimizar el funcionamiento de una turbina eólica

El objeto descrito en el presente documento se refiere en general a turbinas eólicas y, más particularmente, a un sistema y a un aparato de ensayo para optimizar el funcionamiento de la turbina eólica.

- 5 Las turbinas eólicas conocidas tienen una pluralidad de componentes mecánicos y eléctricos. Por ejemplo, una turbina eólica generalmente incluye un rotor que incluye un conjunto de buje giratorio que tiene múltiples palas. Las palas transforman la energía eólica en un par de rotación mecánico que impulsa uno o más generadores a través del rotor. Los generadores a veces, pero no siempre, están acoplados de forma giratoria al rotor a través de una caja de engranajes. La caja de engranajes aumenta la velocidad de rotación inherentemente baja del rotor para que el
- 10 generador convierta de forma eficiente la energía mecánica de rotación en energía eléctrica, que se alimenta a una red eléctrica pública a través de al menos una conexión eléctrica. Tales configuraciones también pueden incluir convertidores de potencia que se utilizan para convertir una frecuencia de potencia eléctrica generada a una frecuencia sustancialmente similar a la frecuencia de una red eléctrica pública. En las configuraciones conocidas de turbinas eólicas también se incluyen otros componentes eléctricos y/o mecánicos.
- 15 El documento DE 10 2004 056 255 se refiere a un procedimiento para la optimización de los parámetros de funcionamiento de una turbina eólica.

El documento EP 1 873 396 describe un sistema de energía eólica y un procedimiento de funcionamiento del mismo.

- 20 Cada componente eléctrico y/o mecánico puede tener uno o más parámetros asociados con el componente que define una o más características operativas del componente. Los parámetros operativos a menudo se establecen en valores por defecto durante la instalación o configuración de la turbina eólica. Sin embargo, puede haber una o más irregularidades en uno o más componentes de manera que los valores por defecto de uno o más parámetros pueden no ser adecuados u optimizados para cada turbina eólica. Además, las variaciones estacionales en las condiciones ambientales o atmosféricas en las que funciona la turbina eólica pueden dar lugar a un funcionamiento inferior al óptimo.

- 25 Diversos aspectos y realizaciones de la presente invención están definidos por las reivindicaciones adjuntas.

Diversos aspectos y realizaciones de la presente invención se describirán ahora en conexión con los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 es una vista en perspectiva de una porción de una turbina eólica a modo de ejemplo.

- 30 La figura 2 es una vista esquemática de un sistema eléctrico y de control a modo de ejemplo adecuado para su uso con la turbina eólica mostrada en la figura 1.

La figura 3 es un diagrama de bloques de un sistema de ensayo a modo de ejemplo adecuado para su uso con la turbina eólica mostrada en la figura 1.

La figura 4 es un diagrama de bloques de un ensayo de turbina eólica a modo de ejemplo adecuada para uso con el sistema de ensayo mostrado en la figura 3.

- 35 La figura 5 es un diagrama de flujo de un procedimiento a modo de ejemplo para optimizar una turbina eólica adecuado para su uso con el ensayo de turbina eólica mostrada en la figura 4 y/o el sistema de ensayo mostrado en la figura 3.

- 40 Las realizaciones descritas en el presente documento ensayan uno o más parámetros operativos de una turbina eólica para facilitar la selección de un valor deseado u óptimo para el parámetro operativo. Un ensayo de turbina eólica incluye una secuencia de ensayo aleatorizada de puntos de ensayo, y cada punto de ensayo incluye al menos un valor de ensayo y una duración de punto de ensayo. En cada punto de ensayo, el parámetro operativo se establece en el valor de ensayo y se mide al menos una condición de funcionamiento de la turbina eólica durante la duración del punto de ensayo. La selección aleatoria de los puntos de ensayo dentro de la secuencia de ensayo facilita la reducción de un efecto o de una desviación de los datos de ensayo debido a las condiciones ambientales
- 45 cambiantes. Además, los puntos de ensayo individuales pueden incluirse más de una vez dentro de la secuencia de ensayo para ayudar a construir el modelo de superficie de respuesta corriente abajo y a probar la bondad de ajuste. La ejecución del ensayo de la turbina eólica y las mediciones de una o más condiciones operativas de la turbina eólica en cada punto de ensayo facilitan proporcionar un cuerpo robusto de datos de ensayo que puede utilizarse usarse para optimizar o seleccionar un valor deseado para el parámetro operativo.

- 50 La figura 1 es una vista en perspectiva de una porción de una turbina 100 eólica a modo de ejemplo. La turbina 100 eólica incluye una góndola 102 que aloja un generador (no mostrado en la figura 1). La góndola 102 está montada en una torre 104 (una porción de la torre 104 se muestra en la figura 1). La torre 104 puede tener cualquier altura adecuada que facilite el funcionamiento de la turbina 100 eólica como se describe en el presente documento. La turbina 100 eólica también incluye un rotor 106 que incluye tres palas 108 unidas a un buje 110 giratorio.

Alternativamente, la turbina 100 eólica incluye cualquier número de palas 108 que facilite el funcionamiento de la turbina 100 eólica como se describe en el presente documento. En la realización a modo de ejemplo, la turbina 100 eólica incluye una caja de engranajes (no mostrada en la figura 1) acoplada de forma operativa al rotor 106 y a un generador (no mostrado en la figura 1).

5 La figura 2 es una vista esquemática de un sistema 200 eléctrico y de control a modo de ejemplo que puede utilizarse con la turbina 100 eólica. El rotor 106 incluye palas 108 acopladas al buje 110. El rotor 106 también incluye un árbol 112 de baja velocidad acoplado de forma giratoria al buje 110. El árbol 112 de baja velocidad está acoplado a una caja 114 de engranajes multiplicadora que está configurada para aumentar la velocidad de giro del árbol 112 de baja velocidad y para transferir esa velocidad a un árbol 116 de alta velocidad. En la realización a modo de ejemplo, la caja 114 de engranajes tiene una relación de multiplicación de aproximadamente 70:1. Por ejemplo, el árbol 112 de baja velocidad que gira a aproximadamente 20 revoluciones por minuto (rpm) acoplado a la caja 114 de engranajes con una relación de multiplicación de aproximadamente 70:1 genera una velocidad para el árbol 116 de alta velocidad de aproximadamente 1400 rpm. Alternativamente, la caja 114 de engranajes tiene cualquier relación de multiplicación adecuada que facilite el funcionamiento de la turbina 100 eólica como se describe en el presente documento. Como alternativa adicional, la turbina 100 eólica incluye un generador de accionamiento directo que está acoplado de forma giratoria al rotor 106 sin ninguna caja de engranajes intermedia.

El árbol 116 de alta velocidad está acoplado de forma giratoria al generador 118. En la realización a modo de ejemplo, el generador 118 es un generador de inducción (asíncrono) doblemente alimentado (DFIG por sus siglas en inglés double-fed induction generator), trifásico de rotor bobinado, que incluye un estátor 120 del generador acoplado magnéticamente a un rotor 122 del generador. En una realización alternativa, el rotor 122 del generador incluye una pluralidad de imanes permanentes en lugar de enrollamientos del rotor.

El sistema 200 eléctrico y de control incluye un controlador 202 de turbina. El controlador 202 de turbina incluye al menos un procesador y una memoria, al menos un canal de entrada del procesador, al menos un canal de salida del procesador, y puede incluir al menos un ordenador (ninguno de ellos mostrado en la figura 2). Como se usa en el presente documento, el término ordenador no está limitado a circuitos integrados denominados en la técnica ordenador, sino que se refiere en general a un procesador, un microcontrolador, un microordenador, un controlador lógico programable (PLC por sus siglas en inglés programmable logic controller), un circuito integrado específico de la aplicación y otros circuitos programables (ninguno de ellos mostrado en la figura 2), y estos términos se usan indistintamente en el presente documento. En la realización a modo de ejemplo, la memoria puede incluir, pero no se limita a, un medio legible por ordenador, tal como una memoria de acceso aleatorio (RAM) y/o un disco duro (ninguno de ellos mostrado en la figura 2). Alternativamente, pueden utilizarse también uno o más dispositivos de almacenamiento, tal como un disquete, una memoria de solo lectura en disco compacto (CD-ROM), un disco magneto-óptico (MOD) y/o un disco versátil digital (DVD) (ninguno de ellos mostrado en la figura 2). Además, en la realización a modo de ejemplo, los canales de entrada adicionales (no mostrados en la figura 2) incluyen, sin limitación, periféricos de ordenador asociados con una interfaz de operario tal como un ratón y un teclado (ninguno de ellos mostrado en la figura 2). Además, en la realización a modo de ejemplo, los canales de salida adicionales pueden incluir, sin limitación, un monitor de interfaz de operario (no mostrado en la figura 2).

Los procesadores para el controlador 202 de turbina procesan la información transmitida desde una pluralidad de dispositivos eléctricos y electrónicos que pueden incluir, pero no se limitan a, transductores de tensión y corriente. La RAM y/o los dispositivos de almacenamiento almacenan y transfieren información e instrucciones a ejecutar por el procesador. La RAM y/o los dispositivos de almacenamiento también pueden utilizarse para almacenar y proporcionar variables temporales, información e instrucciones estáticas (es decir, no cambiantes) u otra información intermedia a los procesadores durante la ejecución de las instrucciones por parte de los procesadores. Las instrucciones que se ejecutan incluyen, pero no se limitan a, algoritmos de conversión residente y/o comparadores. La ejecución de secuencias de instrucciones no está limitada a ninguna combinación específica de circuitos de hardware e instrucciones de software.

El estátor 120 del generador está acoplado eléctricamente a un conmutador 206 de sincronización de estátor a través de un bus 208 de estátor. En una realización a modo de ejemplo, para facilitar la configuración del DFIG, el rotor 122 del generador está acoplado eléctricamente a un conjunto 210 de conversión de potencia bidireccional a través de un bus 212 de rotor. Alternativamente, el rotor 122 del generador está acoplado eléctricamente al bus 212 de rotor a través de cualquier otro dispositivo que facilite el funcionamiento del sistema 200 eléctrico y de control como se describe en el presente documento. Como alternativa adicional, el sistema 200 eléctrico y de control está configurado como un sistema de conversión de potencia completa (no mostrado) que incluye un conjunto de conversión de potencia completa (no mostrado en la figura 2) similar en diseño y funcionamiento al conjunto 210 de conversión de potencia y acoplado eléctricamente al estátor 120 del generador. El conjunto de conversión de potencia completa facilita la canalización de la energía eléctrica entre el estátor 120 del generador y una red de distribución y transmisión de energía eléctrica (no mostrada). En la realización a modo de ejemplo, el bus 208 de estátor transmite potencia trifásica desde el estátor 120 del generador al conmutador 206 de sincronización del estátor. El bus 212 de rotor transmite potencia trifásica desde el rotor 122 del generador al conjunto 210 de conversión de potencia. En la realización a modo de ejemplo, el conmutador 206 de sincronización del estátor está acoplado eléctricamente a un disyuntor 214 del transformador principal a través de un bus 216 de sistema. En una realización alternativa, se utilizan uno o más fusibles (no mostrados) en lugar del disyuntor 214 del transformador

principal. En otra realización, no se utilizan ni fusibles ni el disyuntor 214 del transformador principal.

El conjunto 210 de conversión de potencia incluye un filtro 218 de rotor que está acoplado eléctricamente al rotor 122 del generador a través del bus 212 de rotor. Un bus 219 de filtro de rotor acopla eléctricamente el filtro 218 de rotor a un convertidor 220 de potencia del lado del rotor, y el convertidor 220 de potencia del lado del rotor está acoplado eléctricamente a un convertidor 222 de potencia del lado de la línea. El convertidor 220 de potencia del lado del rotor y el convertidor 222 de potencia del lado de la línea son puentes convertidores de potencia que incluyen semiconductores de potencia (no mostrados). En la realización a modo de ejemplo, el convertidor 220 de potencia del lado del rotor y el convertidor 222 de potencia del lado de la línea están configurados en una configuración de modulación de impulsos en anchura (MIA) trifásica que incluye dispositivos de conmutación de transistor bipolar de puerta aislada (IGBT) (no mostrados en la Figura 2) que funcionan como se conoce en la técnica. Alternativamente, el convertidor 220 de potencia del lado del rotor y el convertidor 222 de potencia del lado de la línea tienen cualquier configuración que utiliza cualquier dispositivo de conmutación que facilite el funcionamiento del sistema 200 eléctrico y de control como se describe en el presente documento. El conjunto 210 de conversión de potencia está acoplado en comunicación electrónica de datos con el controlador 202 de turbina para controlar el funcionamiento del convertidor 220 de potencia del lado del rotor y el convertidor 222 de potencia del lado de la línea.

En la realización a modo de ejemplo, un bus 223 del convertidor de potencia del lado de la línea acopla eléctricamente el convertidor 222 de potencia del lado de la línea con un filtro 224 de línea. Además, un bus 225 de línea acopla eléctricamente el filtro 224 de línea a un contactor 226 de línea. Además, el contactor 226 de línea está acoplado eléctricamente a un disyuntor 228 de conversión a través de un bus 230 de disyuntor de conversión. Además, el disyuntor 228 de conversión está acoplado eléctricamente al disyuntor 214 del transformador principal a través del bus 216 de sistema y de un bus 232 de conexión. Alternativamente, el filtro 224 de línea está acoplado eléctricamente al bus 216 de sistema directamente a través del bus 232 de conexión e incluye cualquier esquema de protección adecuado (no mostrado) configurado para tener en cuenta la eliminación del contactor 226 de línea y del disyuntor 228 de conversión del sistema 200 eléctrico y de control. El disyuntor 214 del transformador principal está acoplado eléctricamente a un transformador 234 principal de potencia eléctrica a través de un bus 236 del lado del generador. El transformador 234 principal está acoplado eléctricamente a un disyuntor 238 de red a través de un bus 240 del lado del disyuntor. El disyuntor 238 de red está conectado a la red de distribución y transmisión de energía eléctrica a través de un bus 242 de red. En una realización alternativa, el transformador 234 principal está acoplado eléctricamente a uno o más fusibles (no mostrados), en lugar de al disyuntor 238 de red, a través del bus 240 del lado del disyuntor. En otra realización, no se utilizan ni fusibles ni disyuntor 238 de red, sino que el transformador 234 principal está acoplado a la red de distribución y transmisión de energía eléctrica a través del bus 240 del lado del disyuntor y del bus 242 de red.

En la realización a modo de ejemplo, el convertidor 220 de potencia del lado del rotor está acoplado en comunicación eléctrica con el convertidor 222 de potencia del lado de la línea a través de un único enlace 244 de corriente continua (CC). Alternativamente, el convertidor 220 de potencia del lado del rotor y el convertidor 222 de potencia del lado de la línea están acoplados eléctricamente a través de enlaces de CC individuales y separados (no mostrados en la figura 2). El enlace 244 de CC incluye un carril 246 positivo, un carril 248 negativo, y al menos un condensador 250 acoplado entre el carril 246 positivo y el carril 248 negativo. Alternativamente, el condensador 250 incluye uno o más condensadores configurados en serie y/o en paralelo entre el carril 246 positivo y el carril 248 negativo.

El controlador 202 de turbina está configurado para recibir una o más señales de medición de corriente eléctrica y de tensión desde un primer conjunto de sensores 252 de corriente eléctrica y de tensión. Además, el controlador 202 de turbina está configurado para monitorizar y controlar al menos algunas de las variables operativas asociadas con la turbina 100 eólica. En las realizaciones a modo de ejemplo, cada uno de los tres sensores 252 de corriente eléctrica y de tensión está acoplado eléctricamente a cada una de las tres fases del bus 242 de red. Alternativamente, los sensores 252 de corriente eléctrica y de tensión están acoplados eléctricamente al bus 216 de sistema. Como una alternativa adicional, los sensores 252 de corriente eléctrica y de tensión están acoplados eléctricamente a cualquier porción del sistema 200 eléctrico y de control que facilite el funcionamiento del sistema 200 eléctrico y de control como se describe en el presente documento. Como otra alternativa adicional, el controlador 202 de turbina está configurado para recibir cualquier número de señales de medición de corriente eléctrica y de tensión de cualquier número de sensores 252 de corriente eléctrica y de tensión que incluyen, pero no se limitan a, una señal de medición de tensión y de corriente eléctrica de un transductor.

Como se muestra en la figura 2, el sistema 200 eléctrico y de control también incluye un controlador 262 de convertidor que está configurado para recibir una o más señales de medición de corriente eléctrica y de tensión. Por ejemplo, en una realización, el controlador 262 de convertidor recibe señales de medición de corriente eléctrica y de tensión de un segundo conjunto de sensores 254 de corriente eléctrica y de tensión acoplados en comunicación electrónica de datos con el bus 208 de estátor. El controlador 262 de convertidor recibe un tercer conjunto de señales de medición de corriente eléctrica y de tensión de un tercer conjunto de sensores 256 de corriente eléctrica y de tensión acoplados en comunicación electrónica de datos con el bus 212 de rotor. El controlador 262 de convertidor también recibe un cuarto conjunto de señales de medición de corriente eléctrica y de tensión de un cuarto conjunto de sensores 264 de corriente eléctrica y de tensión acoplados en comunicación electrónica de datos

con el bus 230 de disyuntor de conversión. El segundo conjunto de sensores 254 de corriente eléctrica y de tensión es sustancialmente similar al primer conjunto de sensores 252 de corriente eléctrica y de tensión, y el cuarto conjunto de sensores 264 de corriente eléctrica y de tensión es sustancialmente similar al tercer conjunto de sensores 256 de corriente eléctrica y de tensión. El controlador 262 de convertidor es sustancialmente similar al controlador 202 de turbina y está acoplado en comunicación electrónica de datos con el controlador 202 de turbina. Además, en la realización a modo de ejemplo, el controlador 262 de convertidor está físicamente integrado dentro del conjunto 210 de conversión de potencia. Alternativamente, el controlador 262 de convertidor tiene cualquier configuración que facilite el funcionamiento del sistema 200 eléctrico y de control como se describe en el presente documento.

Durante el funcionamiento, el viento impacta en las palas 108 y las palas 108 transforman la energía eólica en un par de rotación mecánico que acciona de forma giratoria el árbol 112 de baja velocidad a través del buje 110. El árbol 112 de baja velocidad acciona la caja 114 de engranajes que posteriormente aumenta la baja velocidad de giro del árbol 112 de baja velocidad para accionar el árbol 116 de alta velocidad a una velocidad de giro incrementada. El árbol 116 de alta velocidad acciona de forma giratoria el rotor 122 del generador. Mediante el rotor 122 del generador se induce un campo magnético giratorio y se induce una tensión dentro del estátor 120 del generador que está acoplado magnéticamente al rotor 122 del generador. El generador 118 convierte la energía mecánica de rotación en una señal sinusoidal de energía eléctrica, de corriente alterna (CA) trifásica en el estátor 120 del generador. La potencia eléctrica asociada se transmite al transformador 234 principal a través del bus 208 de estátor, del conmutador 206 de sincronización del estátor, del bus 216 de sistema, del disyuntor 214 del transformador principal y del bus 236 del lado del generador. El transformador 234 principal aumenta la amplitud de tensión de la potencia eléctrica y la potencia eléctrica transformada se transmite adicionalmente a una red a través del bus 240 del lado del disyuntor, del disyuntor 238 de red y del bus 242 de red.

En la realización a modo de ejemplo, se proporciona una segunda ruta de transmisión de potencia eléctrica. La potencia eléctrica de CA, trifásica, sinusoidal se genera dentro del rotor 122 del generador y se transmite al conjunto 210 de conversión de potencia a través del bus 212 del rotor. Dentro del conjunto 210 de conversión de potencia, la potencia eléctrica se transmite al filtro 218 del rotor y la potencia eléctrica se modifica para la velocidad de cambio de las señales PWM asociadas con el convertidor 220 de potencia del lado del rotor. El convertidor 220 de potencia del lado del rotor actúa como un rectificador y rectifica la potencia de CA, trifásica, sinusoidal a la potencia de CC. La potencia de CC se transmite al enlace 244 de CC. El condensador 250 facilita la mitigación de las variaciones de amplitud de tensión del enlace 244 de CC al facilitar la mitigación de una ondulación de CC asociada con la rectificación de CA.

La potencia de CC se transmite posteriormente desde el enlace 244 de CC al convertidor 222 de potencia del lado de la línea y el convertidor 222 de potencia del lado de la línea actúa como un inversor configurado para convertir la potencia eléctrica de CC del enlace 244 de CC en potencia eléctrica de CA, trifásica, sinusoidal con tensiones, corrientes y frecuencias predeterminadas. Esta conversión se monitoriza y se controla a través del controlador 262 de convertidor. La potencia de CA convertida se transmite desde el convertidor 222 de potencia del lado de la línea al bus 216 de sistema a través del bus 223 de convertidor de potencia del lado de la línea y del bus 225 de línea, del contactor 226 de línea, del bus 230 de disyuntor de conversión, del disyuntor 228 de conversión y del bus 232 de conexión. El filtro 224 de línea compensa o ajusta las corrientes armónicas en la potencia eléctrica transmitida desde el convertidor 222 de potencia del lado de la línea. El conmutador 206 de sincronización del estátor está configurado para cerrarse para facilitar la conexión de la energía trifásica del estátor 120 del generador con la energía trifásica del conjunto 210 de conversión de potencia.

El disyuntor 228 de conversión, el disyuntor 214 del transformador principal y el disyuntor 238 de red están configurados para desconectar los buses correspondientes, por ejemplo, cuando un flujo de corriente excesivo puede dañar los componentes del sistema 200 eléctrico y de control. También se proporcionan componentes de protección adicionales que incluyen el contactor 226 de línea, que puede controlarse para formar una desconexión abriendo un conmutador (no mostrado en la figura 2) correspondiente a cada línea del bus 225 de línea.

El conjunto 210 de conversión de potencia compensa o ajusta la frecuencia de la potencia trifásica del rotor 122 del generador para cambios, por ejemplo, en la velocidad del viento en el buje 110 y en las palas 108. Por lo tanto, de esta manera, las frecuencias mecánicas y eléctricas del rotor están desacopladas de la frecuencia del estátor.

En algunas condiciones, las características bidireccionales del conjunto 210 de conversión de potencia, y específicamente, las características bidireccionales del convertidor 220 de potencia del lado del rotor y del convertidor 222 de potencia del lado de la línea, facilitan la alimentación de al menos parte de la energía eléctrica generada en rotor 122 del generador. Más específicamente, la potencia eléctrica se transmite desde el bus 216 de sistema al bus 232 de conexión y posteriormente a través del disyuntor 228 de conversión y del bus 230 de disyuntor de conversión al conjunto 210 de conversión de potencia. Dentro del conjunto 210 de conversión de potencia, la potencia eléctrica se transmite a través del contactor 226 de línea, del bus 225 de línea y del bus 223 del convertidor de potencia del lado de la línea al convertidor 222 de potencia del lado de línea. El convertidor 222 de potencia del lado de la línea actúa como un rectificador y rectifica la potencia de CA trifásica sinusoidal a la potencia de CC. La potencia de CC se transmite al enlace 244 de CC. El condensador 250 facilita la mitigación de las variaciones de amplitud de tensión del enlace 244 de CC al facilitar la mitigación de una ondulación de CC asociada a veces con la

rectificación de CA trifásica.

La potencia de CC se transmite posteriormente desde el enlace 244 de CC al convertidor 220 de potencia del lado del rotor y el convertidor 220 de potencia del lado del rotor actúa como un inversor configurado para convertir la potencia eléctrica de CC transmitida desde el enlace 244 de CC en potencia eléctrica de CA, trifásica, sinusoidal con tensiones, corrientes y frecuencias predeterminadas. Esta conversión se monitoriza y se controla a través del controlador 262 de convertidor. La potencia de CA convertida se transmite desde el convertidor 220 de potencia del lado del rotor al filtro 218 del rotor a través del bus 219 de filtro del rotor y se transmite posteriormente al rotor 122 del generador a través del bus 212 del rotor, facilitando así el funcionamiento sub-sincrónico.

El conjunto 210 de conversión de potencia está configurado para recibir señales de control desde el controlador 202 de turbina. Las señales de control se basan en las condiciones detectadas y/o en las características operativas de la turbina 100 eólica y del sistema 200 eléctrico y de control. Las señales de control se reciben mediante el controlador 202 de turbina y se utilizan para controlar el funcionamiento del conjunto 210 de conversión de potencia. El sistema 200 eléctrico y de control puede utilizar la retroalimentación de uno o más sensores para controlar el conjunto 210 de conversión de potencia a través del controlador 262 de convertidor incluyendo, por ejemplo, el bus 230 de disyuntor de conversión, el bus de estátor y tensiones del bus de rotor o retroalimentaciones de corriente a través del segundo conjunto de sensores 254 de corriente eléctrica y de tensión, del tercer conjunto de sensores 256 de corriente eléctrica y de tensión y del cuarto conjunto de sensores 264 de corriente eléctrica y de tensión. Usando esta información de realimentación, y por ejemplo, señales de control de conmutación, pueden generarse señales de control del conmutador de sincronización del estátor y señales de control (disparo) del disyuntor del sistema de cualquier manera conocida. Por ejemplo, para un transitorio de tensión de red con características predeterminadas, el controlador 262 de convertidor suspenderá al menos sustancialmente de forma temporal a los IGBT para que se realicen dentro del convertidor 222 de potencia del lado de línea. Dicha suspensión de funcionamiento del convertidor 222 de potencia del lado de la línea mitigará sustancialmente la energía eléctrica que se canaliza a través del conjunto 210 de conversión de potencia a aproximadamente cero.

La figura 3 es un diagrama de bloques de un sistema 300 de ensayo a modo de ejemplo adecuado para uso con la turbina 100 eólica (mostrada en la figura 1) y/o con el sistema 200 eléctrico y de control (mostrado en la figura 2). En la realización a modo de ejemplo, el sistema 300 de ensayo incluye un controlador 302, una memoria 304 y al menos un dispositivo 306 de medición. El controlador 302 incluye el controlador 202 de turbina, el controlador 262 de convertidor (ambos mostrados en la figura 2), y/o cualquier controlador adecuado dentro de la turbina 100 eólica. Alternativamente, el controlador 302 incluye un controlador y/o un sistema de control (no mostrado) ubicado lejos de la turbina 100 eólica, tal como dentro de un sistema de gestión de parques eólicos (no mostrado), y/o dentro de cualquier sistema adecuado. La memoria 304 incluye un medio legible por ordenador, que incluye, sin limitación, una unidad de disco duro, una unidad de estado sólido, un disquete, un disco compacto, un disco de video digital, una memoria flash y/o una memoria de acceso aleatorio (RAM). La memoria 304 almacena instrucciones y/o datos asociados con uno o más ensayos de turbinas eólicas y/o cualquier dato adecuado para su uso con el controlador 302 y/o con el sistema 300 de ensayo.

En la realización a modo de ejemplo, el sistema 300 de ensayo incluye una pluralidad de dispositivos 306 de medición que incluyen uno o más sensores que miden una o más condiciones operativas de la turbina 100 eólica. En una realización, los dispositivos 306 de medición incluyen, por ejemplo, uno o más de los siguientes: primer conjunto de sensores 252 de corriente eléctrica y de tensión, segundo conjunto de sensores 254 de corriente eléctrica y de tensión, tercer conjunto de sensores 256 de corriente eléctrica y de tensión, cuarto conjunto de sensores 264 de corriente eléctrica y de tensión (todos mostrados en la figura 2), un sensor de velocidad del viento, un sensor de dirección del viento, un sensor de densidad del aire, un sensor de temperatura, un acelerómetro y/o cualquier sensor adecuado. Alternativamente, los dispositivos 306 de medición incluyen o se reemplazan por el controlador 202 de turbina, el controlador 262 de convertidor y/o cualquier dispositivo adecuado que proporcione una o más medidas de una condición de funcionamiento de la turbina 100 eólica.

En la realización a modo de ejemplo, las condiciones operativas de la turbina 100 eólica incluyen una potencia generada, un par motor generado, una velocidad de giro del rotor 106 (mostrado en la figura 2), una carga mecánica de uno o más componentes de la turbina 100 eólica, una densidad de aire, una altitud, una velocidad del viento, una dirección del viento y/o una temperatura ambiente en o dentro de la turbina 100 eólica.

El sistema 300 de ensayo ejecuta uno o más ensayos para determinar un valor deseado u optimizado para uno o más parámetros asociados con la turbina 100 eólica y/o con uno o más componentes de la turbina eólica. Por ejemplo, el sistema 300 de ensayo ejecuta uno o más ensayos para determinar un ángulo de paso deseado u optimizado para una o más palas 108 (mostradas en la figura 1), o cualquier parámetro adecuado para la turbina 100 eólica y/o para cualquier componente adecuado de la turbina eólica. Otros componentes adecuados de la turbina eólica a ensayar pueden incluir, sin limitación, el rotor 106, la caja 114 de engranajes, el convertidor 220 de potencia del lado del rotor, el convertidor 222 de potencia del lado de la línea, el estátor 120 del generador y/o el rotor 122 del generador (todos mostrados en la figura 2). Como se usa en el presente documento, el término "optimizado" u "óptimo" se refiere a maximizar y/o lograr un valor o función deseada de uno o más aspectos de rendimiento o combinaciones de aspectos de rendimiento de la turbina 100 eólica y/o de una pluralidad de turbinas 100 eólicas.

En una realización, los aspectos de rendimiento pueden incluir, sin limitación, una producción de potencia, una carga de fatiga, una cantidad de vibración, una resistencia a la fatiga, una variación de la producción de potencia, un efecto de estela y/o cualquier aspecto adecuado de la turbina 100 eólica y/o de una pluralidad de turbinas 100 eólicas. Además, cualquier combinación adecuada de aspectos de rendimiento de la turbina 100 eólica y/o de una pluralidad de turbinas 100 eólicas puede maximizarse o ajustarse a un valor o función deseado mediante la optimización de uno o más parámetros operativos. Por ejemplo, la optimización de un valor de parámetro operativo puede incluir maximizar una producción de potencia de la turbina 100 eólica mientras se mantiene una carga de fatiga de la turbina 100 eólica dentro de los límites adecuados de manera que se conserve una vida operativa deseada de la turbina 100 eólica.

La figura 4 es un diagrama de bloques de un ensayo 400 a modo de ejemplo de una turbina eólica adecuado para su uso con el sistema 300 de ensayo (mostrado en la figura 3), el sistema 200 eléctrico y de control (mostrado en la figura 2) y/o la turbina 100 eólica (mostrado en la Figura 1). En la realización a modo de ejemplo, el ensayo 400 de la turbina eólica incluye al menos un parámetro 402 operativo asociado con al menos un componente de turbina eólica, y al menos un punto 404 de ensayo para cada parámetro 402 operativo. Aunque la figura 4 muestra tres parámetros 402 operativos, que incluyen un primer parámetro 406 operativo, un segundo parámetro 408 operativo y un tercer parámetro 410 operativo, dentro del ensayo 400 de turbina eólica se incluye y/o se ensaya cualquier número adecuado de parámetros 402 operativos, incluyendo un único parámetro 402 operativo. Además, mientras que la figura 4 muestra cinco puntos 404 de ensayo, que incluyen un primer punto 412 de ensayo, un segundo punto 414 de ensayo, un tercer punto 416 de ensayo, un cuarto punto 418 de ensayo y un quinto punto 420 de ensayo, del ensayo 400 de turbina eólica se incluye y/o se ensaya cualquier número adecuado de puntos 404 de ensayo.

El ensayo 400 de turbina eólica se ejecuta mediante el controlador 302 (mostrado en la figura 3), el controlador 202 de turbina, un controlador de gestión de parque eólico (no mostrado) y/o cualquier controlador adecuado. El ensayo 400 de turbina eólica se almacena al menos parcialmente en la memoria 304 (mostrada en la figura 3). Alternativamente, el ensayo 400 de turbina eólica se almacena en cualquier memoria adecuada dentro de la turbina 100 eólica, de un sistema de gestión de parques eólicos, y/o de cualquier sistema adecuado.

El parámetro 402 operativo representa una variable u otra representación de un punto de ajuste operativo o característica operativa asociada con el componente de turbina eólica. Por ejemplo, el parámetro 402 operativo representa un ángulo de paso para una pala 108 individual o para una combinación de palas 108, o cualquier parámetro adecuado. Dentro del ensayo 400 de turbina eólica, se define un límite 422 superior y un límite 424 inferior para el parámetro 402 operativo. El límite 422 superior y el límite 424 inferior definen restricciones para el parámetro 402 operativo de manera que se impide que un valor del parámetro 402 operativo aumente por encima del límite 422 superior y disminuya por debajo del límite 424 inferior durante el ensayo 400 de turbina eólica. Se definen una pluralidad de valores 426 de ensayo entre y/o que incluyen el límite 422 superior y/o el límite 424 inferior. Aunque la figura 4 muestra cinco valores 426 de ensayo, que incluyen un primer valor 428 de ensayo, un segundo valor 430 de ensayo, un tercer valor 432 de ensayo, un cuarto valor 434 de ensayo y un quinto valor 436 de ensayo, se define cualquier número adecuado de valores 426 de ensayo entre y/o que incluyen el límite 422 superior y/o el límite 424 inferior, incluyendo un único valor 426 de ensayo. En una realización, los valores 426 de ensayo están distribuidos uniformemente entre el límite 422 superior y el límite 424 inferior. En la realización a modo de ejemplo, los valores 426 de ensayo se eligen para ejercer los valores adecuados del parámetro 402 operativo según se desee, y no se distribuyen necesariamente de manera uniforme entre el límite 422 superior y el límite 424 inferior.

Se define cualquier número adecuado de puntos 404 de ensayo para el parámetro 402 operativo dentro del ensayo 400 de turbina eólica. Los puntos 404 de ensayo representan etapas o fases de ensayo que ejecuta el ensayo 400 de turbina eólica. Cada punto 404 de ensayo incluye al menos un componente 438 de punto de ensayo, tal como, por ejemplo, uno o más valores 426 de ensayo para uno o más parámetros 402 operativos, una duración 440 de punto de ensayo y/o cualquier componente adecuado. Por ejemplo, en una realización, cada punto 404 de ensayo puede incluir un valor 426 de ensayo individual para un ángulo de paso de cada pala 108. En una realización, un desplazamiento del ángulo de paso de cada pala 108 se varía independientemente entre aproximadamente 5 grados y aproximadamente 5 grados negativos desde un ángulo de paso por defecto o inicial. En una realización más específica, un desplazamiento del ángulo de paso para cada pala 108 se varía independientemente entre aproximadamente 2 grados y aproximadamente 2 grados negativos desde el ángulo de paso por defecto o inicial. En tales realizaciones, los valores 426 de ensayo de cada punto 404 de ensayo se establecen en diferentes combinaciones de ángulos de paso individuales de cada pala 108. Alternativamente, cada punto 404 de ensayo puede incluir cualquier tipo adecuado y número de valores 426 de ensayo. En la realización a modo de ejemplo, cada punto 404 de ensayo incluye una duración 440 de punto de ensayo. En una realización, la duración 440 del punto de ensayo 440 está entre aproximadamente 1 minuto y aproximadamente 60 minutos. En una realización más específica, la duración 440 del punto de ensayo es de aproximadamente 10 minutos. Alternativamente, la duración 440 del punto de ensayo es cualquier período de tiempo adecuado, y la duración 440 del punto de ensayo puede ser diferente para cada punto 404 de ensayo.

En la realización a modo de ejemplo, el ensayo 400 de turbina eólica incluye una secuencia 442 de ensayo que define un orden de ejecución de cada punto 404 de ensayo. La secuencia 442 de ensayo incluye al menos un caso de cada punto 404 de ensayo. El ensayo 400 de turbina eólica identifica un recuento de iteración general o recuento de repetición que determina un número de casos en que los puntos 404 de ensayo están incluidos dentro de la

secuencia 442 de ensayo. Alternativamente, puede identificarse un recuento de iteraciones o recuento de repeticiones para cada punto 404 de ensayo individual de manera que ciertos puntos 404 de ensayo pueden incluirse dentro de la secuencia 442 de ensayo en un número de veces o de casos diferente a otros puntos 404 de ensayo. Como tal, la secuencia 442 de ensayo puede incluir múltiples casos de uno o más puntos 404 de ensayo.

5 En la realización a modo de ejemplo, la secuencia 442 de ensayo se determina escogiendo aleatoriamente un orden de puntos 404 de ensayo a ejecutar, y cada punto 404 de ensayo se incluye dentro de la secuencia 442 de ensayo un número de veces especificado por el recuento de iteraciones. En una realización, la secuencia 442 de ensayo incluye el mismo número de puntos 404 de ensayo en ejecuciones posteriores del ensayo 400 de turbina eólica. Además, una duración de la secuencia 442 de ensayo es cualquier duración adecuada que permita que cada punto
10 404 de ensayo se ejecute al menos una vez. Alternativamente, la secuencia 442 de ensayo incluye cualquier número adecuado de puntos 404 de ensayo y/o cualquier duración adecuada. En la realización a modo de ejemplo, los puntos 404 de ensayo se ejecutan aleatoriamente dentro del ensayo 400 de turbina eólica, y por lo tanto, los valores 426 de ensayo de cada parámetro 402 operativo también se ensayan aleatoriamente. El orden aleatorio de la secuencia 442 de ensayo reduce o elimina una distorsión o desviación de los datos de ensayo que, de otro modo,
15 podrían producirse debido a condiciones ambientales cambiantes durante la ejecución del ensayo 400 de turbina eólica. Como se usa en el presente documento, los términos "aleatorio" y "aleatorizado" se refieren a generar uno o más números que son adecuadamente no deterministas y/o seleccionar uno o más números de un conjunto de números, de modo que cada número dentro del conjunto tiene sustancialmente igual probabilidad de ser seleccionado. Alternativamente, la secuencia 442 de ensayo se determina mediante un algoritmo pseudoaleatorio u
20 otro algoritmo adecuado.

En una realización alternativa, la secuencia 442 de ensayo utiliza un algoritmo sustancialmente no aleatorio para determinar un orden de puntos 404 de ensayo. En una realización, la secuencia 442 de ensayo incluye un conjunto de puntos 404 de ensayo predefinidos y/o de valores 426 de ensayo que el ensayo 400 de turbina eólica repite en bucles o ciclos continuamente o un número definido de veces. En una realización de este tipo, cada vez que el
25 ensayo 400 de turbina eólica inicia un nuevo bucle o iteración, uno o más valores 426 de ensayo de uno o más puntos 404 de ensayo pueden incrementarse, reducirse y/o modificarse en una cantidad o función definida. Alternativamente, la secuencia 442 de ensayo incluye un conjunto de puntos 404 de ensayo y/o valores 426 de ensayo predefinidos que el ensayo 400 de turbina eólica repite en bucle, y en uno o más puntos 404 de ensayo, se selecciona uno o más valores 426 de ensayo de uno o más subconjuntos de valores asociados con el punto 404 de
30 ensayo y/o bucle. En otra realización, la secuencia 442 de ensayo usa un patrón o algoritmo de rasterizado o entrelazado, y/o cualquier algoritmo determinante o cuasialeatorio adecuado para seleccionar un orden de puntos 404 de ensayo para que se ejecute el ensayo 400 de turbina eólica.

En una realización, se define una pluralidad de secuencias 442 de ensayo dentro del ensayo 400 de turbina eólica. Cada secuencia 442 de ensayo está asociada con una condición de funcionamiento adecuada, de modo que se
35 ejecuta una secuencia 442 de ensayo individual cuando se mide que la condición operacional está en un valor o rango de valores definido. Por ejemplo, una pluralidad de secuencias 442 de ensayo está asociada con diferentes velocidades del viento, de modo que se ejecuta una secuencia 442 de ensayo individual dentro de diferentes rangos y/o valores de la velocidad del viento. En dicha realización, cada secuencia 442 de ensayo puede usar una aleatorización diferente u otra técnica y/o algoritmo adecuado, y/o cada secuencia 442 de ensayo puede incluir un
40 número diferente de puntos 404 de ensayo. Además, cada punto 404 de ensayo de las secuencias de ensayo individuales puede incluir diferentes valores 426 de ensayo y/o duraciones 440 de puntos de ensayo a partir de valores 426 de ensayo y/o duraciones 440 de puntos de ensayo de otras secuencias 442 de ensayo. Adicionalmente, el ensayo 400 de turbina eólica puede comenzar a ejecutar los puntos 404 de ensayo de una secuencia 442 de ensayo y conmutar para ejecutar los puntos 404 de ensayo de otra secuencia 442 de ensayo si
45 cambia la condición de funcionamiento.

En otra realización, el ensayo 400 de turbina eólica se ejecuta en una pluralidad de turbinas 100 eólicas. Se determina primero una serie de turbinas 100 eólicas para ejecutar el ensayo 400 de turbina eólica. En una realización de este tipo, uno o más componentes del ensayo 400 de turbina eólica pueden variar entre las turbinas
50 100 eólicas. Por ejemplo, la secuencia 442 de ensayo, los valores 426 de ensayo, la duración 440 del punto de ensayo y/o cualquier componente adecuado del ensayo 400 de turbina eólica puede ser diferente entre las turbinas 100 eólicas. Además, los datos de ensayo de un primer ensayo 400 de turbina eólica que se ejecuta en una primera turbina 100 eólica pueden usarse para optimizar o seleccionar uno o más parámetros operativos deseados de una segunda turbina 100 eólica. Por ejemplo, la primera turbina 100 eólica puede estar a barlovento de la segunda
55 turbina 100 eólica de manera que la primera turbina 100 eólica bloquee al menos parcialmente una cantidad de viento utilizable por la segunda turbina 100 eólica. En tal situación, un sistema de gestión de parques eólicos u otro sistema adecuado pueden usar datos de ensayo del primer ensayo 400 de turbina eólica y/o del segundo ensayo 400 de turbina eólica para equilibrar la producción de potencia de la primera turbina 100 eólica y de la segunda turbina 100 eólica. Como tal, pueden optimizarse, equilibrarse o ajustarse uno o más parámetros operativos de cada turbina 100 eólica dentro de un parque eólico a los valores deseados.

60 Además, el ensayo 400 de turbina eólica recibe datos de una fuente 444 externa a la turbina 100 eólica. Más específicamente, el ensayo 400 de turbina eólica recibe datos de otra turbina 100 eólica y de un ensayo 400 de turbina eólica que se ejecuta en la otra turbina 100 eólica. Por ejemplo, un ensayo 400 de turbina eólica que se ejecuta en una primera turbina 100 eólica recibe datos de uno o más ensayos 400 de turbina eólica que se ejecutan

en una o más de otras turbinas 100 eólicas. Además, el ensayo 400 de turbina eólica puede recibir datos de uno o más dispositivos o sistemas de medición que incluyen, entre otros, un mástil meteorológico, un anemómetro, un sistema de detección y medición de la luz (LIDAR), un sistema de detección y desplazamiento sónico (SODAR) y/o cualquier otro sistema o dispositivo de medición adecuado. Estos sistemas y/o dispositivos pueden ser parte del mismo parque eólico, de diferentes parques eólicos o independientes de cualquier parque eólico. Los datos recibidos pueden incluir, sin limitación, una medición de la velocidad del viento, una medición de la temperatura, una medición de la presión del aire, y/o cualquier medición adecuada u otros datos que permitan que el ensayo 400 de turbina eólica funcione como se describe en el presente documento. El ensayo 400 de turbina eólica combina los datos recibidos con otros datos generados y/o recibidos por el ensayo 400 de turbina eólica para optimizar uno o más parámetros operativos de la turbina 100 eólica.

El ensayo 400 de turbina eólica puede ejecutarse a cualquier frecuencia adecuada, que incluye, sin limitación, una vez, semanalmente, mensualmente, estacionalmente, anualmente, y/o a demanda. Además, el ensayo 400 de turbina eólica puede ejecutarse o iniciarse ante la ocurrencia de un evento desencadenante, tal como recibir una alarma, una alerta, una notificación de que se ha degradado el rendimiento de la turbina 100 eólica y/o cualquier evento adecuado. El ensayo 400 de turbina eólica puede instalarse y/o actualizarse utilizando una interfaz local (no mostrada) en la turbina 100 eólica y/o utilizando una interfaz remota (no mostrada).

Durante la ejecución, el ensayo 400 de turbina eólica itera a través de cada punto 404 de ensayo dentro de la secuencia 442 de ensayo. El ensayo 400 de turbina eólica espera o permanece en cada punto 404 de ensayo durante la duración 440 del punto de ensayo antes de ejecutar el siguiente punto 404 de ensayo dentro de la secuencia 442 de ensayo. En cada punto 404 de ensayo, los parámetros 402 operativos se establecen en valores 426 de ensayo asociados con cada parámetro 402 operativo, y se miden una o más condiciones operativas de la turbina 100 eólica mediante dispositivos 306 de medición (mostrados en la figura 3) durante la duración 440 del punto de ensayo. El controlador 302 y/o el ensayo 400 de turbina eólica recibe los datos de condición de funcionamiento medidos y/u otros datos de ensayo adecuados en cada punto 404 de ensayo. Los datos de ensayo, incluidos los datos de condiciones de funcionamiento medidos, se almacenan en la memoria 304 o en cualquier memoria adecuada que incluye, sin limitación, un almacenamiento del parque eólico u otro almacenamiento remoto adecuado, para su posterior recuperación y/o análisis al final de cada punto 404 de ensayo (es decir, cuando ha transcurrido la duración 440 del punto de ensayo para cada punto 404 de ensayo), o en cualquier momento adecuado dentro de la duración 440 del punto de ensayo y/o del punto 404 de ensayo. Otros datos de ensayo adecuados, tales como varios puntos 404 de ensayo que se han ejecutado, un estado o valor actual de una o más variables de control, un sello de tiempo asociado con uno o más datos de condición de funcionamiento medidos y/o cualquier dato adecuado pueden almacenarse también en la memoria 304 o en cualquier memoria adecuada y se asocian con los datos de condición de funcionamiento medidos para cada punto 404 de ensayo. Los datos de ensayo pueden recuperarse de la memoria 304 usando una interfaz remota (no mostrada), una interfaz de supervisión y adquisición de datos (SCADA por sus siglas en inglés Supervisory Control And Data Acquisition), y/o cualquier interfaz adecuada. Los datos de ensayo pueden utilizarse para optimizar y/o seleccionar un valor deseado para los parámetros 402 operativos. El ensayo 400 de turbina eólica finaliza o termina cuando se ejecuta cada punto 404 de ensayo dentro de la secuencia 442 de ensayo. Una vez que finaliza el ensayo 400 de turbina eólica, se puede generar y/o calcular un análisis de datos adecuado a partir de los datos de ensayo.

La figura 5 es un procedimiento 500 a modo de ejemplo para optimizar el funcionamiento de al menos una turbina 100 eólica (mostrada en la figura 1). En las realizaciones a modo de ejemplo, el procedimiento 500 usa el ensayo 400 de turbina eólica (mostrado en la figura 4), el sistema 300 de ensayo (mostrado en la figura 3) y/o el sistema 200 eléctrico y de control (mostrado en la figura 2). El procedimiento 500 incluye definir 502 una pluralidad de parámetros de ensayo para el ensayo 400 de turbina eólica. Los parámetros de ensayo incluyen, sin limitación, varias turbinas 100 eólicas para ensayar, uno o más parámetros 402 operativos (mostrados en la figura 4) de la turbina 100 eólica para ensayar y/u optimizar, una pluralidad de puntos 404 de ensayo (mostrados en figura 4) para uno o más parámetros 402 operativos, valores para valores 426 de ensayo (mostrados en la figura 4), valores para duraciones 440 de puntos de ensayo y/u otros componentes 438 de los puntos de ensayo, varias veces para ejecutar el ensayo 400 de turbina eólica, varias veces para incluir cada punto 404 de ensayo dentro del ensayo 400 de turbina eólica y/o dentro de la secuencia 442 de ensayo (mostrada en la figura 4), y/o cualquier parámetro adecuado de ensayo 400 de turbina eólica. Se define 504 al menos una secuencia de ensayo, tal como la secuencia 442 de ensayo. La secuencia 442 de ensayo aleatoriza un orden de puntos 404 de ensayo o usa cualquier algoritmo adecuado, tal como se ha descrito anteriormente en referencia a la figura 4, para determinar un orden de puntos 404 de ensayo. Además, si se asocian múltiples secuencias 442 de ensayo con valores diferentes de una o más condiciones de funcionamiento de la turbina 100 eólica, entonces se define 504 cada secuencia 442 de ensayo. El ensayo 400 de turbina eólica se inicia 506, y el ensayo 400 de turbina eólica ejecuta los puntos 404 de ensayo dentro de la secuencia 442 de ensayo. En cada punto 404 de ensayo dentro de la secuencia 442 de ensayo, se establecen uno o más parámetros 402 operativos en uno o más valores 426 de ensayo, y se mide al menos una condición de funcionamiento de la turbina 100 eólica.

Los datos de ensayo se reciben 507 en cada punto 404 de ensayo, y los datos de ensayo incluyen las mediciones de las condiciones de funcionamiento y/o cualquier dato adecuado. Los datos de ensayo se almacenan 508 o se descargan en la memoria 304 (mostrada en la figura 3) y/o en cualquier memoria adecuada. Los datos de ensayo se almacenan 508 a cualquier frecuencia adecuada, que incluye, sin limitación, en cada punto 404 de ensayo, por hora,

por día o de forma no periódica. Los datos de ensayo se analizan 510 mediante el controlador 302 o mediante cualquier controlador adecuado, y el controlador 302 o cualquier controlador adecuado deciden 512 si finalizar el ensayo 400 de turbina eólica pronto (es decir, antes de que se hayan ejecutado todos los puntos 404 de ensayo del ensayo 400 de turbina eólica). Por ejemplo, el ensayo 400 de turbina eólica puede finalizar pronto si el controlador 302 o cualquier controlador adecuado analiza 510 los datos de ensayo y determina que el ensayo 400 de turbina eólica no es adecuadamente capaz de mejorar, optimizar y/o alcanzar un valor deseado de uno o más parámetros 402 operativos. Si el ensayo 400 de la turbina eólica no finaliza pronto, el ensayo 400 de la turbina eólica finaliza 514 cuando se han ejecutado todos los puntos 404 de ensayo, y la turbina 100 eólica reanuda 516 el funcionamiento normal. Los datos de ensayo se analizan 518, y se determina un valor optimizado o deseado 520 para uno o más parámetros 402 operativos que se ensayaron mediante el ensayo 400 de turbina eólica.

Si el ensayo 400 de turbina eólica finaliza pronto, el controlador 302 o cualquier controlador adecuado determinan 522 si existen suficientes datos de ensayo para determinar un valor optimizado o deseado para uno o más parámetros 402 operativos. Si hay suficientes datos de ensayo, se determina 520 un valor optimizado o deseado para uno o más parámetros 402 operativos que se ensayaron mediante el ensayo 400 de turbina eólica. Si hay datos de ensayo insuficientes, uno o más parámetros 402 operativos que se modificaron durante el ensayo 400 de turbina eólica se restablecen 524 a valores o configuraciones originales (es decir, los valores o configuraciones que el uno o más parámetros operativos tenían antes de que el ensayo 400 de turbina eólica comenzara la ejecución), y la turbina 100 eólica reanuda el funcionamiento normal.

Después de que se determina 520 el valor optimizado o deseado para uno o más parámetros 402 operativos, se revisa el valor optimizado o deseado. En la realización a modo de ejemplo, un técnico, un operario, un usuario y/o cualquier persona adecuada revisa el valor optimizado o deseado. Alternativamente, el controlador 302 o cualquier sistema de revisión adecuado revisa el valor optimizado o deseado. Si el valor optimizado o deseado se aprueba 526, se establecen 528 uno o más parámetros 402 operativos en el valor optimizado o deseado, y la turbina 100 eólica reanuda su funcionamiento. Si el valor optimizado o deseado no se aprueba 526, uno o más parámetros 402 operativos que se modificaron durante el ensayo 400 de turbina eólica se reinician 524 a valores o configuraciones originales, y la turbina 100 eólica reanuda el funcionamiento normal.

Varias realizaciones descritas en el presente documento ensayan uno o más parámetros operativos de una turbina eólica para facilitar la selección de un valor deseado u óptimo para el parámetro operativo. Un ensayo de turbina eólica incluye una secuencia de ensayo aleatorizada de puntos de ensayo, y cada punto de ensayo incluye al menos un valor de ensayo para el parámetro operativo y una duración de punto de ensayo. La selección aleatoria de los puntos de ensayo dentro de la secuencia de ensayo facilita la reducción de una distorsión o desviación de los datos de ensayo debido a las condiciones ambientales cambiantes. Además, los puntos de ensayo individuales pueden incluirse más de una vez dentro de la secuencia de ensayo para ayudar en la construcción del modelo de superficie de respuesta corriente abajo y probar la bondad de ajuste. La ejecución del ensayo y las mediciones de una o más condiciones de funcionamiento de la turbina eólica en cada punto de ensayo facilitan proporcionar un cuerpo robusto de datos de ensayo que pueden utilizarse para optimizar o seleccionar un valor deseado para el parámetro operativo. Además, los ajustes de parámetros para lograr un funcionamiento mejorado pueden determinarse usando los datos de ensayo obtenidos durante el ensayo de la turbina eólica.

Las realizaciones a modo de ejemplo de un sistema de ensayo para una turbina eólica se han descrito anteriormente en detalle. El sistema de ensayo no está limitado a las realizaciones específicas descritas en el presente documento, sino que más bien, sus componentes pueden utilizarse de manera independiente y por separado de otros componentes y/o etapas descritos en el presente documento.

Aunque pueden mostrarse características específicas de varias realizaciones de la invención en algunos dibujos y no en otros, esto es solo por conveniencia. De acuerdo con los principios de la invención, cualquier característica de un dibujo puede referenciarse y/o reivindicarse en combinación con cualquier característica de cualquier otro dibujo.

Esta descripción escrita usa ejemplos para divulgar la invención, que incluye el modo preferido, y también para permitir que cualquier persona experta en la materia practique la invención, incluyendo la fabricación y el uso de cualquier dispositivo o sistema y la realización de cualquier procedimiento incorporado. El ámbito patentable de la invención está definido por las reivindicaciones, y puede incluir otros ejemplos que se les ocurran a los expertos en la materia. Tales otros ejemplos pretenden estar dentro del ámbito de las reivindicaciones si tienen elementos estructurales que no difieren del lenguaje literal de las reivindicaciones, o si incluyen elementos estructurales equivalentes con diferencias insustanciales del lenguaje literal de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (300) de ensayo para un parque eólico que comprende una pluralidad de turbinas (100) eólicas, comprendiendo dicho sistema de ensayo:
- 5 una memoria (304) que almacena instrucciones y/o datos asociados con uno o más ensayos de turbinas eólicas; al menos un dispositivo (306) de medición configurado para medir al menos una condición de funcionamiento de una primera turbina (100) eólica, dicha al menos una condición de funcionamiento comprende una potencia generada, un par motor generado, una velocidad de giro de un rotor (106), una carga mecánica de uno o más componentes de la primera turbina (100) eólica, una densidad de aire, una altitud, una velocidad del viento, una dirección del viento, y/o una temperatura ambiente en, o dentro de, la primera turbina (100) eólica; y
- 10 un controlador (302) acoplado comunicativamente a dicho dispositivo de medición, dicho controlador configurado para ejecutar un ensayo (400) de turbina eólica comprende:
- 15 definir una secuencia (442) de ensayo que comprende una pluralidad de puntos (404) de ensayo para al menos un parámetro (402) operativo de turbina eólica, incluyendo cada punto de ensayo al menos un valor (426) de ensayo y al menos una duración (440) de ensayo para el primer parámetro operativo de la turbina eólica;
- 20 aleatorizar la pluralidad de puntos (404) de ensayo en dicha secuencia (442) de ensayo para determinar una secuencia de ensayo aleatorizada;
- iterar a través de la secuencia de ensayo aleatorizada; y
- medir la condición de funcionamiento de la primera turbina (100) eólica en cada punto de ensayo en dicha
- 25 secuencia de ensayo aleatorizada, para proporcionar datos de ensayo para dicha primera turbina (100) eólica;
- recibir dichos datos de ensayo generados para dicha primera turbina (100) eólica en una segunda turbina (100) eólica;
- combinar los datos de ensayo recibidos con los datos generados ejecutando el ensayo (400) de turbina eólica
- 30 en la segunda turbina (100) eólica; y
- optimizar uno o más parámetros operativos de la segunda turbina (100) eólica situada a sotavento de dicha primera turbina (100) eólica usando los datos de ensayo recibidos combinados y los datos generados por la segunda turbina (100) eólica.
2. Un sistema (300) de ensayo de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicho primer ensayo de turbina (100) eólica comprende además definir un límite (406) superior para el al menos un parámetro (402) operativo de la turbina eólica y un límite (408) inferior para el al menos un parámetro operativo de la turbina eólica.
3. Un sistema (300) de ensayo de acuerdo con la reivindicación 2, en el que cada valor (410) de ensayo de cada punto (404) de ensayo es al menos uno de un valor igual al límite (406) superior, un valor igual al límite (408) inferior, y un valor entre el límite superior y el límite inferior.
- 35 4. Un sistema (300) de ensayo de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que dicho controlador (302) está configurado para esperar en cada punto (404) de ensayo la duración (440) del punto de ensayo.
5. Un sistema (300) de ensayo de acuerdo con la reivindicación 4, en el que la condición de funcionamiento se mide durante la duración (440) del punto de ensayo.
- 40 6. Un sistema (300) de ensayo de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la secuencia de ensayo aleatorizada comprende una pluralidad de casos de al menos un punto (404) de ensayo de la pluralidad de puntos de ensayo.

FIG. 1

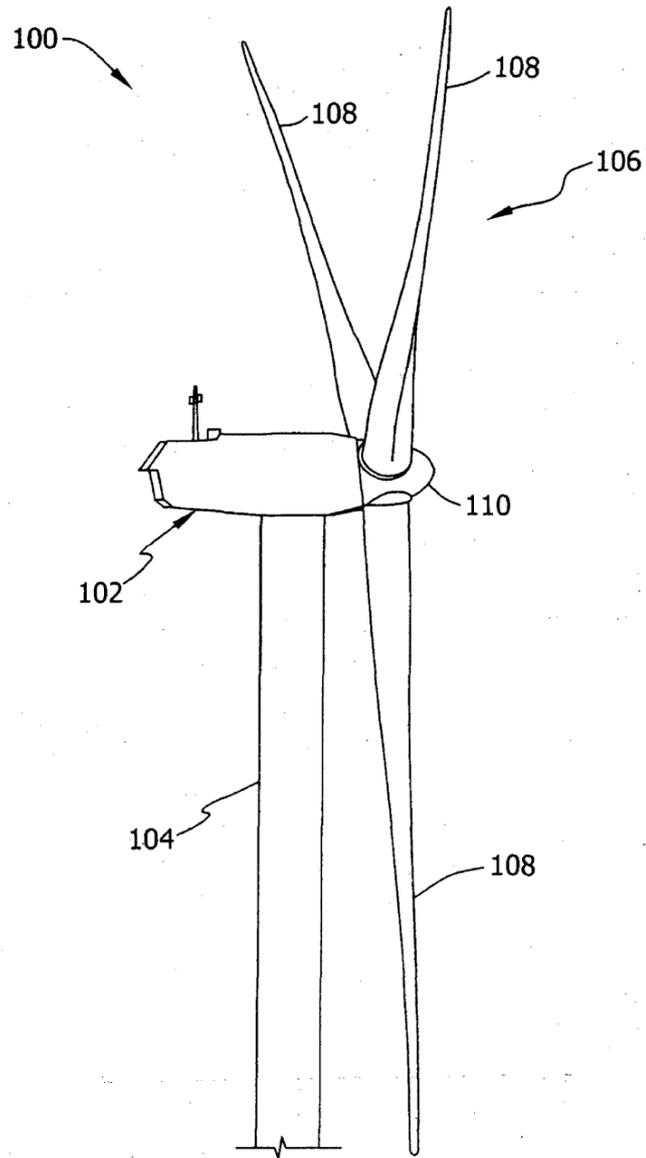


FIG. 3

