

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 999 160**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.10.2015 PCT/US2015/055044**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.04.2016 WO16057987**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.10.2015 E 15797480 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.08.2024 EP 3204637**

54 Título: **Sistema de turbina eólica y procedimiento para controlar un sistema de turbina eólica por monitorización de potencia**

30 Prioridad:

10.10.2014 US 201414511242

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
24.02.2025

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC RENOVABLES ESPAÑA,
S.L. (100.00%)
Calle Roc Boronat 78
08005 Barcelona, ES**

72 Inventor/es:

**BARTON, WERNER y
SCHOLTE-WASSINK, HARTMUT**

74 Agente/Representante:

DE ROOIJ, Mathieu Julien

ES 2 999 160 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

5 Sistema de turbina eólica y procedimiento para controlar un sistema de turbina eólica por monitorización de potencia

Antecedentes

10 **[0001]** La materia descrita en el presente documento se refiere en general a procedimientos y sistemas para controlar turbinas eólicas y, más en particular, a procedimientos y sistemas para controlar turbinas eólicas en respuesta a monitorizar el funcionamiento de las turbinas eólicas.

15 **[0002]** En general, una turbina eólica incluye una turbina que tiene un rotor que incluye un conjunto de buje rotatorio que tiene múltiples palas. Las palas transforman la potencia eólica en un par de torsión de rotación mecánico que acciona uno o más generadores por medio del rotor. Los generadores algunas veces, pero no siempre, están acoplados de forma rotatoria 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 generador convierta eficazmente la potencia mecánica de rotación en potencia eléctrica, que se alimenta a una red de suministro por medio de al menos una conexión eléctrica. También existen turbinas eólicas de accionamiento directo sin engranajes. El rotor, el generador, la caja de engranajes y otros componentes típicamente están montados dentro de una carcasa, o góndola, que está situada encima de una base que puede ser una torre de celosía o tubular.

25 **[0003]** Algunas configuraciones de turbina eólica incluyen generadores de inducción doblemente alimentados (DFIG). Dichas configuraciones también pueden incluir convertidores de potencia que se usan para convertir una frecuencia a la que se genera potencia eléctrica a una frecuencia sustancialmente similar a una frecuencia de la red de suministro. Además, dichos convertidores, junto con el DFIG, también transmiten potencia eléctrica entre la red de suministro y el generador así como transmiten la potencia de excitación del generador a un rotor de generador devanado desde una de las conexiones a la conexión de red de suministro eléctrico. De forma alternativa, algunas configuraciones de turbina eólica incluyen, pero no se limitan a, tipos alternativos de generadores de inducción, generadores síncronos de imanes permanentes (PM) y generadores síncronos excitados eléctricamente y generadores de reluctancia conmutada. Estas configuraciones alternativas también pueden incluir convertidores de potencia que se usan para convertir las frecuencias como se describe anteriormente y transmitir potencia eléctrica entre la red de suministro y el generador.

35 **[0004]** Las turbinas eólicas conocidas tienen una pluralidad de componentes mecánicos y eléctricos. Cada componente eléctrico y/o mecánico puede tener limitaciones operativas independientes o diferentes, tales como límites de corriente, tensión, potencia y/o temperatura, que otros componentes. Además, las turbinas eólicas conocidas típicamente se diseñan y/o ensamblan con límites de potencia nominal predefinidos. Para funcionar dentro de dichos límites de potencia nominal, los componentes eléctricos y/o mecánicos se pueden operar con grandes márgenes para las limitaciones operativas. Dicho funcionamiento puede dar como resultado un funcionamiento de turbina eólica ineficaz, y una capacidad de generación de potencia de la turbina eólica puede estar infrautilizada.

45 **[0005]** Las turbinas eólicas conocidas pueden tener un sistema de control para controlar componentes mecánicos y eléctricos y/u otras variables operativas de las turbinas eólicas. Típicamente, un sistema de control recibe una pluralidad de señales de entrada que proporcionan información sobre el estado operativo de la turbina eólica. Un sistema de control puede controlar una pluralidad de variables operativas de la turbina en base a la información proporcionada por las señales de entrada. Controlar una turbina eólica puede ser en particular difícil, dada la complejidad de un sistema de control y los algoritmos de control que puede usar.

El documento US7068015 B1 divulga una central de potencia eólica donde un generador síncrono está conectado a un controlador de campo magnético adaptado para variar el campo magnético en el generador.

55 El documento US2012061966 A1 divulga un dispositivo de control de generación de potencia eólica que controla un generador de energía eólica usando una pala de turbina eólica que tiene un ángulo de *pitch* fijo.

60 El documento US2013026759 A1 divulga una instalación de energía eólica que tiene un rotor eólico, un generador que se acciona por el mismo e interactúa con un convertidor para producir potencia eléctrica, regulación de la velocidad de rotación y control del convertidor que interactúa con el mismo.

65 El documento US2011089694 A1 divulga un sistema generador de turbina eólica que incluye: un rotor de turbina eólica que incluye una pala que tiene un ángulo de *pitch* variable; un generador accionado por el rotor de turbina eólica; y una unidad de control que controla la potencia de salida del generador y el ángulo de *pitch* de la pala en respuesta a la velocidad de rotación del rotor de turbina eólica o del generador.

El documento US2010133826 A1 divulga un generador para su uso en una turbina eólica que incluye un rotor que incluye una pluralidad de devanados.

El documento US2011140421 A1 divulga un procedimiento para operar una turbina eólica que tiene un generador; incluyendo el procedimiento: cambiar el estado del generador.

[0006] En vista de lo anterior, considerando las crecientes demandas para incrementar la capacidad de generación de potencia de las turbinas eólicas, existe la necesidad de mejorar adicionalmente el control de las turbinas eólicas.

Breve descripción

[0007] En un aspecto, se proporciona un procedimiento para controlar un sistema de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1. El sistema de turbina eólica incluye un conjunto de conversión de potencia para convertir potencia eléctrica en una potencia eléctrica convertida. El procedimiento incluye monitorizar un parámetro de extracción de potencia, en el que el parámetro de extracción de potencia es indicativo de la potencia extraída por el sistema de turbina eólica del viento antes de convertirse en el conjunto de conversión de potencia. El procedimiento incluye además controlar una o más variables operativas del sistema de turbina eólica en respuesta a monitorizar el parámetro de extracción de potencia.

[0008] Aún en otro aspecto, se proporciona un sistema de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 7. El sistema de turbina eólica incluye un rotor para transformar la potencia eólica en una potencia de rotación mecánica. El sistema de turbina eólica incluye además un generador para convertir la potencia de rotación mecánica en potencia eléctrica. El sistema de turbina eólica incluye además un conjunto de conversión de potencia para convertir la potencia eléctrica generada por el generador en una potencia eléctrica convertida. El sistema de turbina eólica incluye además una unidad de monitorización adaptada para monitorizar un parámetro de flujo de potencia, siendo el parámetro de flujo de potencia indicativo de la potencia que fluye desde el rotor al conjunto de conversión de potencia antes de convertirse en el conjunto de conversión de potencia. El sistema de turbina eólica incluye además una unidad de control configurada para controlar una o más variables operativas del sistema de turbina eólica en respuesta a recibir datos sobre el parámetro de flujo de potencia monitorizado, proporcionándose los datos sobre el parámetro de flujo de potencia monitorizado a la unidad de control por la unidad de monitorización.

[0009] Otros aspectos, ventajas y características de la presente invención son evidentes a partir de las reivindicaciones dependientes, la descripción y los dibujos adjuntos.

Breve descripción de los dibujos

[0010] Una divulgación completa y suficiente que incluye el mejor modo de la misma, para un experto en la técnica, se expone más en particular en el resto de la memoria descriptiva, incluyendo la referencia a las figuras adjuntas en las que:

La figura 1 es una vista en perspectiva de una parte de una turbina eólica de ejemplo.

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

La figura 3 ilustra un sistema de turbina eólica que extrae potencia del viento, de acuerdo con los modos de realización descritos en el presente documento.

La figura 4 ilustra un flujo de potencia a través de un sistema de turbina eólica, de acuerdo con los modos de realización descritos en el presente documento.

Las figuras 5a-5d ilustran modos de realización de un parámetro de flujo de potencia, como se describe en el presente documento.

La figura 6 es una vista esquemática de un sistema de turbina eólica de ejemplo que incluye una unidad de monitorización, de acuerdo con los modos de realización descritos en el presente documento.

La figura 7 es una vista esquemática de un sistema de turbina eólica de ejemplo que incluye una primera unidad de monitorización y una segunda unidad de monitorización, de acuerdo con los modos de realización descritos en el presente documento.

Las figuras 8 y 9 son diagramas de flujo que representan procedimientos para controlar un sistema de turbina eólica de acuerdo con los modos de realización descritos en el presente documento.

Descripción detallada

[0011] Ahora se hará referencia en detalle a los diversos modos de realización, de los que se ilustran uno o más ejemplos en cada figura. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación y no se pretende que sea una limitación. Por ejemplo, las características ilustradas o descritas como parte de un modo de realización se pueden usar en o junto con otros modos de realización para proporcionar aún otros modos de realización. Se pretende que la presente divulgación incluya dichas modificaciones y variaciones.

[0012] Los modos de realización descritos en el presente documento incluyen un procedimiento que proporciona un control mejorado de un sistema de turbina eólica. Más específicamente, el procedimiento usa datos exactos sobre la potencia extraída del viento por el sistema de turbina eólica. El uso de estos datos exactos para controlar el sistema de turbina eólica proporciona un control del sistema mejorado. En particular, se puede proporcionar una curva de par de torsión/velocidad mejorada. Además, el procedimiento elimina la necesidad de modelar y/o estimar pérdidas de potencia desconocidas que se pueden producir durante el funcionamiento de la turbina eólica. Además, el procedimiento es un procedimiento adaptativo que proporciona un control del sistema de turbina eólica que se adapta al funcionamiento del sistema con respecto a su potencia nominal. En consecuencia, se puede proporcionar un control mejorado tanto para un sistema de turbina eólica que funciona por debajo de su potencia nominal como para un sistema de turbina eólica que funciona a o por encima de su potencia nominal.

[0013] Como se usa en el presente documento, el término "pala" pretende ser representativo de cualquier dispositivo que proporcione una fuerza reactiva cuando está en movimiento en relación con un fluido circundante. Como se usa en el presente documento, el término "turbina eólica" pretende ser representativo de cualquier dispositivo que genere potencia de rotación a partir de la potencia eólica y, más específicamente, convierta la potencia cinética del viento en potencia mecánica. Como se usa en el presente documento, el término "generador eólico" pretende ser representativo de cualquier turbina eólica que genere potencia eléctrica a partir de la potencia de rotación generada a partir de la potencia eólica y, más específicamente, convierta la potencia mecánica convertida a partir de la potencia cinética del viento en potencia eléctrica.

[0014] La figura 1 es una vista en perspectiva de una parte de una turbina eólica 100 de ejemplo. La turbina eólica 100 incluye una góndola 102 que aloja un generador (no mostrado en la figura 1). La góndola 102 está montada en una torre 104 (se muestra una parte de la torre 104 en la figura 1). La torre 104 puede tener cualquier altura adecuada que facilite el funcionamiento de la turbina eólica 100 como se describe en el presente documento. La turbina eólica 100 también incluye un rotor 106 que incluye tres palas 108 fijadas a un buje rotatorio 110. De forma alternativa, la turbina eólica 100 incluye un número cualquiera de palas 108 que facilita el funcionamiento de la turbina eólica 100 como se describe en el presente documento. En el modo de realización de ejemplo, la turbina eólica 100 incluye una caja de engranajes (no mostrada en la figura 1) acoplada de forma operativa al rotor 106 y un generador (no mostrado en la figura 1).

[0015] La figura 2 es una vista esquemática de un sistema eléctrico y de control 200 de ejemplo que se puede usar con la turbina eólica 100. El rotor 106 incluye palas 108 acopladas al buje 110. El rotor 106 también incluye un eje lento 112 acoplado de forma rotatoria al buje 110. El eje lento 112 está acoplado a una caja de engranajes multiplicadora 114 que está configurada para aumentar la velocidad de rotación del eje lento 112 y transferir esa velocidad a un eje rápido 116. En el modo de realización de ejemplo, la caja de engranajes 114 tiene una proporción de aumento de aproximadamente 70:1. Por ejemplo, el eje lento 112 que rota a aproximadamente 20 revoluciones por minuto (rpm) acoplado a la caja de engranajes 114 con una proporción de aumento de aproximadamente 70:1 genera una velocidad para el eje rápido 116 de aproximadamente 1400 rpm. De forma alternativa, la caja de engranajes 114 tiene cualquier proporción de aumento adecuada que facilita el funcionamiento de la turbina eólica 100 como se describe en el presente documento. Como otra alternativa, la turbina eólica 100 incluye un generador de accionamiento directo que está acoplado de forma rotatoria al rotor 106 sin ninguna caja de engranajes intermedia.

[0016] El eje rápido 116 está acoplado de forma rotatoria al generador 118. En el modo de realización de ejemplo, el generador 118 es un generador de rotor devanado, trifásico, de inducción de doble alimentación (asíncrono) (DFIG) que incluye un estátor de generador 120 acoplado magnéticamente a un rotor de generador 122. En un modo de realización alternativo, el rotor de generador 122 incluye una pluralidad de imanes permanentes en lugar de devanados de rotor.

[0017] El sistema eléctrico y de control 200 incluye un controlador de turbina 202. El controlador de turbina 202 incluye al menos un procesador y una memoria, al menos un canal de entrada de procesador, al menos un canal de salida de procesador, y puede incluir al menos un ordenador (ninguno mostrado en la figura 2). Como se usa en el presente documento, el término ordenador no se limita a circuitos integrados a los que se hace referencia en la técnica como ordenador, sino que se refiere, en términos generales, a un procesador, un microcontrolador, un microordenador, un controlador lógico programable (PLC), un circuito integrado específico de la aplicación y otros circuitos programables (ninguno mostrado en la figura 2), y estos términos se usan de manera intercambiable en el presente documento. En el modo de realización de ejemplo, memoria puede incluir, pero no se limita a, un medio legible por ordenador, tal como una memoria de acceso aleatorio (RAM) (ninguna mostrada en la figura 2). De

forma alternativa, también se pueden usar uno o más dispositivos de almacenamiento, tales 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 mostrado en la figura 2). Además, en el modo de realización de ejemplo, canales de entrada adicionales (no mostrados en la figura 2) pueden ser, pero no se limitan a, periféricos de ordenador asociados a una interfaz de operador, tal como un ratón y un teclado (ninguno mostrado en la figura 2). Además, en el modo de realización de ejemplo, canales de salida adicionales pueden incluir, pero no se limitan a, un monitor de interfaz de operador (no mostrado en la figura 2).

[0018] Los procesadores para el controlador de turbina 202 procesan información transmitida desde una pluralidad de dispositivos eléctricos y electrónicos que pueden incluir, pero no se limitan a, transductores de tensión y de corriente. La RAM y/o los dispositivos de almacenamiento almacenan y transfieren información e instrucciones para ejecutarse por el procesador. También se pueden usar RAM y/o dispositivos de almacenamiento para almacenar y proporcionar variables temporales, información e instrucciones estáticas (es decir, que no cambian) u otra información intermedia a los procesadores durante la ejecución de instrucciones por los procesadores. Las instrucciones que se ejecutan incluyen, pero no se limitan a, algoritmos de conversión y/o comparación residentes. La ejecución de secuencias de instrucciones no se limita a ninguna combinación específica de circuitos de *hardware* e instrucciones de *software*.

[0019] El estátor de generador 120 está acoplado eléctricamente a un conmutador de sincronización de estátor 206 por medio de un bus de estátor 208. En un modo de realización de ejemplo, para facilitar la configuración del DFIG, el rotor de generador 122 está acoplado eléctricamente a un conjunto de conversión de potencia bidireccional 210 por medio de un bus de rotor 212. De forma alternativa, el rotor de generador 122 está acoplado eléctricamente al bus de rotor 212 por medio de cualquier otro dispositivo que facilita el funcionamiento del sistema eléctrico y de control 200 como se describe en el presente documento. Como otra alternativa, el sistema eléctrico y de control 200 está configurado como un sistema de conversión de potencia total (no mostrado) que incluye un conjunto de conversión de potencia total (no mostrado en la figura 2) similar en diseño y funcionamiento al conjunto de conversión de potencia 210 y acoplado eléctricamente al estátor de generador 120. El conjunto de conversión de potencia total facilita la canalización de la potencia eléctrica entre el estátor de generador 120 y una red de transmisión y distribución de potencia eléctrica (no mostrada). En el modo de realización de ejemplo, el bus de estátor 208 transmite potencia trifásica desde el estátor de generador 120 al conmutador de sincronización de estátor 206. El bus de rotor 212 transmite potencia trifásica desde el rotor de generador 122 al conjunto de conversión de potencia 210. En el modo de realización de ejemplo, el conmutador de sincronización de estátor 206 está acoplado eléctricamente a un disyuntor de circuito de transformador principal 214 por medio de un bus de sistema 216. En un modo de realización alternativo se usan uno o más fusibles (no mostrados) en lugar del disyuntor de circuito de transformador principal 214. En otro modo de realización, no se usan ni fusibles ni el disyuntor de circuito de transformador principal 214.

[0020] El conjunto de conversión de potencia 210 incluye un filtro de rotor 218 que está acoplado eléctricamente al rotor de generador 122 por medio del bus de rotor 212. Un bus de filtro de rotor 219 acopla eléctricamente el filtro de rotor 218 a un convertidor de potencia de lado de rotor 220, y el convertidor de potencia de lado de rotor 220 está acoplado eléctricamente a un convertidor de potencia de lado de línea 222. El convertidor de potencia de lado de rotor 220 y el convertidor de potencia de lado de línea 222 son puentes de convertidor de potencia que incluyen semiconductores de potencia (no mostrados). En el modo de realización de ejemplo, el convertidor de potencia de lado de rotor 220 y el convertidor de potencia de lado de línea 222 están configurados en una configuración trifásica de modulación por ancho de pulso (PWM) que incluye dispositivos de conmutación de transistor bipolar de puerta aislada (IGBT) (no mostrados en la figura 2) que funcionan como es conocido en la técnica. De forma alternativa, el convertidor de potencia de lado de rotor 220 y el convertidor de potencia de lado de línea 222 tienen cualquier configuración que usa cualquier dispositivo de conmutación que facilita el funcionamiento del sistema eléctrico y de control 200 como se describe en el presente documento. El conjunto de conversión de potencia 210 está acoplado en comunicación electrónica de datos con el controlador de turbina 202 para controlar el funcionamiento del convertidor de potencia de lado de rotor 220 y del convertidor de potencia de lado de línea 222.

[0021] En el modo de realización de ejemplo, un bus de convertidor de potencia de lado de línea 223 acopla eléctricamente el convertidor de potencia de lado de línea 222 a un filtro de línea 224. Además, un bus de línea 225 acopla eléctricamente el filtro de línea 224 a un contactor de línea 226. Además, el contactor de línea 226 está acoplado eléctricamente a un disyuntor de circuito de conversión 228 por medio de un bus de disyuntor de circuito de conversión 230. Además, el disyuntor de circuito de conversión 228 está acoplado eléctricamente al disyuntor de circuito de transformador principal 214 por medio del bus de sistema 216 y un bus de conexión 232. De forma alternativa, el filtro de línea 224 está acoplado eléctricamente al bus de sistema 216 directamente por medio del bus de conexión 232 e incluye cualquier esquema de protección adecuado (no mostrado) configurado para tener en cuenta la eliminación del contactor de línea 226 y el disyuntor de circuito de conversión 228 del sistema eléctrico y de control 200. El disyuntor de circuito de transformador principal 214 está acoplado eléctricamente a un transformador principal de potencia eléctrica 234 por medio de un bus de lado de generador 236. El transformador principal 234 está acoplado eléctricamente a un disyuntor de circuito de red 238 por medio de un bus de lado de disyuntor 240. El disyuntor de red 238 está conectado a la red de transmisión y distribución de potencia eléctrica

por medio de un bus de red 242. En un modo de realización alternativo, el transformador principal 234 está acoplado eléctricamente a uno o más fusibles (no mostrados), en lugar de al disyuntor de circuito de red 238, por medio del bus del lado de disyuntor 240. En otro modo de realización, no se utilizan ni fusibles ni el disyuntor de circuito de red 238, sino que el transformador principal 234 está acoplado a la red de transmisión y distribución de potencia eléctrica por medio del bus de lado de disyuntor 240 y del bus de red 242.

[0022] En el modo de realización de ejemplo, el convertidor de potencia de lado de rotor 220 está acoplado en comunicación eléctrica con el convertidor de potencia de lado de línea 222 por medio de un único enlace de corriente continua (CC) 244. De forma alternativa, el convertidor de potencia de lado de rotor 220 y el convertidor de potencia de lado de línea 222 están acoplados eléctricamente por medio de enlaces de CC individuales y separados (no mostrados en la figura 2). El enlace de CC 244 incluye un carril positivo 246, un carril negativo 248 y al menos un condensador 250 acoplado entre el carril positivo 246 y el carril negativo 248. De forma alternativa, el condensador 250 incluye uno o más condensadores configurados en serie y/o en paralelo entre el carril positivo 246 y el carril negativo 248.

[0023] El controlador de turbina 202 está configurado para recibir una pluralidad de señales de medición de tensión y corriente eléctrica desde un primer grupo de sensores de tensión y corriente eléctrica 252. Además, el controlador de turbina 202 está configurado para monitorizar y controlar al menos algunas de las variables operativas asociadas con la turbina eólica 100. En el modo de realización de ejemplo, cada uno de los tres sensores de tensión y corriente eléctrica 252 está acoplado eléctricamente a cada una de las tres fases del bus de red 242. De forma alternativa, los sensores de tensión y corriente eléctrica 252 están acoplados eléctricamente al bus de sistema 216. Como otra alternativa, los sensores de tensión y corriente eléctrica 252 están acoplados eléctricamente a cualquier parte del sistema eléctrico y de control 200 que facilita el funcionamiento del sistema eléctrico y de control 200 como se describe en el presente documento. Todavía como otra alternativa, el controlador de turbina 202 está configurado para recibir un número cualquiera de señales de medición de tensión y corriente eléctrica desde cualquier número de sensores de tensión y corriente eléctrica 252, incluyendo, pero sin limitarse a, una señal de medición de tensión y corriente eléctrica de un transductor.

[0024] Como se muestra en la figura 2, el sistema eléctrico y de control 200 también incluye un controlador de convertidor 262 que está configurado para recibir una pluralidad de señales de medición de tensión y corriente eléctrica. Por ejemplo, en un modo de realización, el controlador de convertidor 262 recibe señales de medición de tensión y corriente eléctrica de un segundo grupo de sensores de tensión y corriente eléctrica 254 acoplados en comunicación electrónica de datos con el bus de estátor 208. El controlador de convertidor 262 recibe un tercer grupo de señales de medición de tensión y corriente eléctrica de un tercer grupo de sensores de tensión y corriente eléctrica 256 acoplados en comunicación electrónica de datos con el bus de rotor 212. El controlador de convertidor 262 también recibe un cuarto grupo de señales de medición de tensión y corriente eléctrica de un cuarto grupo de sensores de tensión y corriente eléctrica 264 acoplados en comunicación electrónica de datos con el bus de disyuntor de circuito de conversión 230. El segundo grupo de sensores de tensión y corriente eléctrica 254 es sustancialmente similar al primer grupo de sensores de tensión y corriente eléctrica 252, y el cuarto grupo de sensores de tensión y corriente eléctrica 264 es sustancialmente similar al tercer grupo de sensores de tensión y corriente eléctrica 256. El controlador de convertidor 262 es sustancialmente similar al controlador de turbina 202 y está acoplado en comunicación electrónica de datos al controlador de turbina 202. Además, en el modo de realización de ejemplo, el controlador de convertidor 262 está físicamente integrado dentro del conjunto de conversión de potencia 210. De forma alternativa, el controlador de convertidor 262 tiene cualquier configuración que facilita el funcionamiento del sistema eléctrico y de control 200 como se describe en el presente documento.

[0025] Durante el funcionamiento, el viento incide en las palas 108 y las palas 108 transforman la potencia eólica en un par de torsión de rotación mecánico que acciona de forma rotatoria el eje lento 112 por medio del buje 110. El eje lento 112 acciona la caja de engranajes 114 que, posteriormente, aumenta la baja velocidad de rotación del eje lento 112 para accionar el eje rápido 116 a una velocidad de rotación incrementada. El eje rápido 116 acciona de forma rotatoria el rotor de generador 122. Se induce un campo magnético rotatorio por el rotor de generador 122 y se induce una tensión dentro del estátor de generador 120 que está acoplado magnéticamente al rotor de generador 122. El generador 118 convierte la potencia mecánica de rotación en una señal de potencia eléctrica de corriente alterna (CA) trifásica sinusoidal en el estátor de generador 120. La potencia eléctrica asociada se transmite al transformador principal 234 por medio del bus de estátor 208, el conmutador de sincronización de estátor 206, el bus de sistema 216, el disyuntor de circuito de transformador principal 214 y el bus de lado de generador 236. El transformador principal 234 aumenta la amplitud de tensión de la potencia eléctrica y la potencia eléctrica transformada se transmite además a una red por medio del bus de lado de disyuntor 240, el disyuntor de circuito de red 238 y el bus de red 242.

[0026] En el modo de realización de ejemplo, se proporciona una segunda ruta ("path") de transmisión de potencia eléctrica. La potencia de CA eléctrica, trifásica, sinusoidal se genera dentro del rotor de generador 122 y se transmite al conjunto de conversión de potencia 210 por medio del bus de rotor 212. Dentro del conjunto de conversión de potencia 210, la potencia eléctrica se transmite al filtro de rotor 218 y la potencia eléctrica se modifica para la tasa de cambio de las señales de PWM asociadas con el convertidor de potencia de lado de rotor 220. El convertidor de potencia de lado de rotor 220 actúa como un rectificador y rectifica la potencia de CA trifásica

sinusoidal en potencia de CC. La potencia de CC se transmite al enlace de CC 244. El condensador 250 facilita la mitigación de las variaciones de amplitud de tensión del enlace de CC 244 al facilitar la mitigación de un rizado ("ripple") de CC asociado con la rectificación de CA.

[0027] La potencia de CC se transmite posteriormente desde el enlace de CC 244 al convertidor de potencia de lado de línea 222 y el convertidor de potencia de lado de línea 222 actúa como un inversor configurado para convertir la potencia eléctrica de CC del enlace de CC 244 en potencia eléctrica de CA trifásica sinusoidal con tensiones, corrientes y frecuencias predeterminadas. Esta conversión se monitoriza y controla por medio del controlador de convertidor 262. La potencia de CA convertida se transmite desde el convertidor de potencia de lado de línea 222 al bus de sistema 216 por medio del bus de convertidor de potencia de lado de línea 223 y el bus de línea 225, el contactor de línea 226, el bus de disyuntor de circuito de conversión 230, el disyuntor de circuito de conversión 228 y el bus de conexión 232. El filtro de línea 224 compensa o ajusta las corrientes armónicas en la potencia eléctrica transmitida desde el convertidor de potencia de lado de línea 222. El conmutador de sincronización de estátor 206 está configurado para cerrarse para facilitar la conexión de la potencia trifásica del estátor de generador 120 con la potencia trifásica del conjunto de conversión de potencia 210.

[0028] El disyuntor de circuito de conversión 228, el disyuntor de circuito de transformador principal 214 y el disyuntor de circuito de red 238 están configurados para desconectar buses correspondientes, por ejemplo, cuando el flujo de corriente excesivo puede dañar los componentes del sistema eléctrico y de control 200. También se proporcionan componentes de protección adicionales, incluyendo el contactor de línea 226, que se pueden controlar para formar una desconexión abriendo un conmutador (no mostrado en la figura 2) correspondiente a cada línea del bus de línea 225.

[0029] El conjunto de conversión de potencia 210 compensa o ajusta la frecuencia de la potencia trifásica del rotor de generador 122 para cambios, por ejemplo, en la velocidad del viento en el buje 110 y las palas 108. Por lo tanto, de esta manera, las frecuencias de rotor mecánicas y eléctricas se desacoplan de la frecuencia de estátor.

[0030] En algunas condiciones, las características bidireccionales del conjunto de conversión de potencia 210 y, específicamente, las características bidireccionales del convertidor de potencia de lado de rotor 220 y del convertidor de potencia de lado de línea 222, facilitan la retroalimentación de al menos parte de la potencia eléctrica generada en el rotor de generador 122. Más específicamente, la potencia eléctrica se transmite desde el bus de sistema 216 al bus de conexión 232 y posteriormente a través del disyuntor de circuito de conversión 228 y el bus de disyuntor de circuito de conversión 230 al conjunto de conversión de potencia 210. Dentro del conjunto de conversión de potencia 210, la potencia eléctrica se transmite a través del contactor de línea 226, el bus de línea 225 y el bus de convertidor de potencia de lado de línea 223 al convertidor de potencia de lado de línea 222. El convertidor de potencia de lado de línea 222 actúa como un rectificador y rectifica la potencia de CA trifásica sinusoidal en potencia de CC. La potencia de CC se transmite al enlace de CC 244. El condensador 250 facilita la mitigación de variaciones de amplitud de tensión del enlace de CC 244 facilitando la mitigación de un rizado de CC asociado con la rectificación de CA trifásica.

[0031] La potencia de CC se transmite posteriormente desde el enlace de CC 244 al convertidor de potencia de lado de rotor 220 y el convertidor de potencia de lado de rotor 220 actúa como un inversor configurado para convertir la potencia eléctrica de CC transmitida desde el enlace de CC 244 en una potencia eléctrica de CA sinusoidal trifásica con tensiones, corrientes y frecuencias predeterminadas. Esta conversión se monitoriza y controla por medio del controlador de convertidor 262. La potencia de CA convertida se transmite desde el convertidor de potencia de lado de rotor 220 al filtro de rotor 218 por medio del bus de filtro de rotor 219 y, posteriormente, se transmite al rotor de generador 122 por medio del bus de rotor 212, facilitando de este modo un funcionamiento subsíncrono.

[0032] El conjunto de conversión de potencia 210 está configurado para recibir señales de control desde el controlador de turbina 202. Las señales de control se basan en condiciones detectadas o características operativas de la turbina eólica 100 y el sistema eléctrico y de control 200. Las señales de control se reciben por el controlador de turbina 202 y se usan para controlar el funcionamiento del conjunto de conversión de potencia 210. La realimentación de uno o más sensores se puede usar por el sistema eléctrico y de control 200 para controlar el conjunto de conversión de potencia 210 por medio del controlador de convertidor 262, incluyendo, por ejemplo, tensiones o realimentaciones de corriente del bus de disyuntor de circuito de conversión 230, el bus de estátor y el bus de rotor por medio del segundo grupo de sensores de tensión y corriente eléctrica 254, el tercer grupo de sensores de tensión y corriente eléctrica 256 y el cuarto grupo de sensores de tensión y corriente eléctrica 264. Usando esta información de realimentación y, por ejemplo, señales de control de conmutación, se pueden generar de cualquier manera conocida señales de control de conmutación de sincronización de estátor y señales de control (desconexión) de disyuntor de circuito de sistema. Por ejemplo, para un transitorio de tensión de red con características predeterminadas, el controlador de convertidor 262 interrumpirá sustancialmente al menos de forma temporal la conducción de los IGBT dentro del convertidor de potencia de lado de línea 222. Dicha interrupción del funcionamiento del convertidor de potencia de lado de línea 222 mitigará sustancialmente la potencia eléctrica que se canaliza a través del conjunto de conversión de potencia 210 hasta aproximadamente cero.

[0033] Los modos de realización descritos en el presente documento se refieren a un procedimiento para controlar un sistema de turbina eólica. El sistema de turbina eólica puede incluir un conjunto de conversión de potencia, tal como, por ejemplo, el conjunto de conversión de potencia 210 mostrado en la fig. 2, para convertir potencia eléctrica en una potencia eléctrica convertida.

[0034] De acuerdo con modos de realización que se pueden combinar con otros modos de realización descritos en el presente documento, se proporciona potencia eléctrica de CA al conjunto de conversión de potencia. Más específicamente, se puede proporcionar potencia eléctrica de CA sinusoidal trifásica al conjunto de conversión de potencia.

[0035] La conversión de potencia en el conjunto de conversión de potencia puede incluir una primera conversión de potencia y una segunda conversión de potencia. La primera conversión de potencia puede incluir una conversión de potencia de potencia de CA en una potencia de CC por un primer convertidor de potencia, tal como, por ejemplo, el convertidor de potencia de lado de rotor 220 mostrado en la fig. 2. La segunda conversión de potencia puede incluir una conversión de potencia de la potencia de CC en una potencia de CA, más específicamente, una potencia eléctrica de CA sinusoidal trifásica. Esto se puede hacer con tensiones, corrientes y/o frecuencias predeterminados. La segunda conversión de potencia se puede realizar por un segundo convertidor de potencia, tal como, por ejemplo, el convertidor de potencia de lado de línea 222 mostrado en la fig. 2.

[0036] El conjunto de conversión de potencia se puede adaptar para convertir potencia eléctrica en una potencia eléctrica convertida. En el mismo, el término "potencia eléctrica convertida" puede incluir una potencia resultante de realizar un proceso de conversión de potencia en el conjunto de conversión de potencia a la potencia eléctrica transmitida al conjunto de conversión de potencia. Típicamente, la potencia eléctrica convertida tiene características diferentes en comparación con la potencia transmitida al conjunto de conversión de potencia. Por ejemplo, la potencia eléctrica convertida puede tener tensiones, corrientes y/o frecuencias diferentes. Para las conversiones de potencia en el conjunto de conversión de potencia que incluyen una primera conversión de potencia y una segunda conversión de potencia y, opcionalmente, conversiones de potencia adicionales, la potencia eléctrica convertida puede incluir la potencia resultante de la primera, segunda y/o conversiones de potencia adicionales. Por ejemplo, con respecto al modo de realización mostrado en la fig. 2, el término "potencia eléctrica convertida" se puede referir a la potencia de CC transmitida desde el convertidor de potencia de lado de rotor 220 hacia el convertidor de potencia de lado de línea 222, y/o a la potencia de CA transmitida desde el convertidor de potencia de lado de línea 222 hacia el bus de convertidor de potencia de lado de línea 223.

[0037] La figura 3 ilustra esquemáticamente un sistema de turbina eólica 300 que extrae potencia del viento, en el que el sistema de turbina eólica incluye el conjunto de conversión de potencia 210. La flecha 310 dirigida hacia el sistema de turbina eólica ilustra el viento que sopla hacia el sistema de turbina eólica. La flecha 310 entra en el nodo 320 dispuesto en una región exterior del sistema de turbina eólica; esto ilustra el viento que incide en el sistema de turbina eólica. Por ejemplo, el nodo 320 puede corresponder a un rotor de turbina (no mostrado) incluido en el sistema de turbina eólica, en el que el viento puede actuar sobre el rotor de turbina. En el nodo 320, se puede extraer potencia del viento por el sistema de turbina eólica. Por ejemplo, en el caso de un sistema de turbina eólica que incluye un rotor, el rotor puede extraer potencia mecánica de rotación de la potencia eólica. La potencia extraída por el sistema de turbina eólica se puede transmitir posteriormente a través del sistema de turbina eólica, como se indica por la ruta dirigida 330 que se extiende a través del sistema de turbina eólica desde el nodo 320 hasta el conjunto de conversión de potencia. La ruta dirigida 330 representa esquemáticamente una trayectoria a lo largo de la que puede fluir y/o transmitirse la potencia extraída por la turbina eólica al conjunto de conversión de potencia. A lo largo de su trayectoria al conjunto de conversión de potencia, la potencia puede fluir a través de uno, más de uno o una multitud de componentes (no mostrados) incluidos en el sistema de turbina eólica. Dichos componentes pueden incluir componentes eléctricos y/o mecánicos, tales como, por ejemplo, un eje rápido, un eje lento, un generador y/u otros componentes. De forma alternativa y/o además, a lo largo de su trayectoria al conjunto de conversión de potencia, la potencia puede fluir a través de uno, más de uno o una multitud de cables (no mostrados), tales como, por ejemplo, cables eléctricos, donde los cables pueden conectar componentes incluidos en el sistema de turbina eólica. La ruta dirigida 330 puede representar esquemáticamente la trayectoria de la potencia a lo largo de dichos componentes y/o cables.

[0038] Durante la transmisión a través del sistema de turbina eólica, la potencia extraída por el sistema de turbina eólica se puede transformar, una vez o dos veces o tres veces o más de tres veces, de una forma de potencia a otra forma de potencia. En un momento dado en el tiempo, la potencia extraída por el sistema de turbina eólica puede tener la forma de una potencia mecánica, más específicamente una potencia de rotación mecánica; una potencia eléctrica, más específicamente una potencia eléctrica de CC y/o una potencia eléctrica de CA; o una forma adicional de potencia.

[0039] Como se muestra en la fig. 3, la potencia extraída por el sistema de turbina eólica, que se transmite de acuerdo con la ruta dirigida 330, se puede proporcionar al conjunto de conversión de potencia. Tras proporcionarse al conjunto de conversión de potencia, la potencia extraída por el sistema de turbina eólica puede ser una potencia eléctrica. La potencia eléctrica se puede transmitir posteriormente a través del conjunto de conversión de potencia de acuerdo con la ruta dirigida 330 y posteriormente de acuerdo con una segunda ruta dirigida 340, en la que la

segunda ruta dirigida se muestra como una línea discontinua. La ruta dirigida 330 pasa a la segunda ruta dirigida 340 dentro del conjunto de conversión de potencia.

[0040] El conjunto de conversión de potencia 210 se puede adaptar para convertir la potencia extraída por el sistema de turbina eólica en una potencia eléctrica convertida. La conversión de potencia dentro del conjunto de conversión de potencia se ilustra esquemáticamente por la transición de la ruta dirigida 330 a la segunda ruta dirigida 340. En consecuencia, antes de convertirse en el conjunto de conversión de potencia, la potencia extraída por el sistema de turbina eólica del viento puede fluir a lo largo de la ruta dirigida 330. Además, la potencia eléctrica convertida se puede transmitir a través del conjunto de conversión de potencia a lo largo de la segunda ruta dirigida 340. Como se indica de ejemplo además por la flecha 336 de la segunda ruta dirigida 340, la potencia convertida puede fluir desde el conjunto de conversión de potencia, por ejemplo, hacia una red eléctrica (no mostrada) o, más específicamente, hacia una red de transmisión y distribución de potencia eléctrica (no mostrada), o hacia otro componente.

[0041] Un procedimiento para controlar un sistema de turbina eólica, como se describe en el presente documento, puede incluir monitorizar un parámetro de extracción de potencia. El parámetro de extracción de potencia puede ser indicativo de la potencia que se extrae del viento por el sistema de turbina eólica antes de convertirse en el conjunto de conversión de potencia, tal como, por ejemplo, la potencia que se transmite de acuerdo con la ruta dirigida 330 mostrada en la fig. 3.

[0042] La potencia extraída por el sistema de turbina eólica del viento puede incluir una potencia resultante de un proceso de extracción de potencia realizado por el sistema de turbina eólica, en el que el proceso de extracción de potencia puede incluir una transformación de la potencia eólica proporcionada al sistema de turbina eólica en una potencia que se transmite a través del sistema de turbina eólica. De acuerdo con los modos de realización descritos en el presente documento, la potencia extraída por la turbina eólica del viento puede fluir a través del sistema de turbina eólica al conjunto de conversión de potencia.

[0043] De acuerdo con modos de realización que se pueden combinar con otros modos de realización descritos en el presente documento, el parámetro de extracción de potencia puede ser una cantidad física que cuantifica una cantidad de potencia, o más específicamente una cantidad física que cuantifica directamente una cantidad de potencia. En consecuencia, el parámetro de extracción de potencia puede ser una cantidad física que cuantifica una cantidad de energía dividida entre una cantidad de tiempo. De acuerdo con otros modos de realización, el parámetro de extracción de potencia puede estar relacionado sustancialmente con una cantidad de potencia, como se apreciará por el experto en la técnica. Por ejemplo, el parámetro de extracción de potencia puede ser un par de torsión, más específicamente un par de torsión mecánico, tal como, por ejemplo, un par de torsión de entrehierro y/o un par de torsión aplicado al eje rotatorio incluido en el sistema de turbina eólica. Un par de torsión puede cuantificar una cantidad de fuerza multiplicada por una distancia. Un par de torsión T puede estar relacionado sustancialmente con una cantidad de potencia P por medio de la relación matemática $P = T \omega$ donde ω indica una velocidad angular.

[0044] El parámetro de extracción de potencia puede ser una cantidad física que tiene unidades de energía divididas entre el tiempo, es decir, las unidades de una cantidad de potencia. Por ejemplo, las unidades del parámetro de extracción de potencia pueden ser kilovatio (kW) o megavatio (MW). Para que un parámetro de extracción de potencia sea un par de torsión, el parámetro de extracción de potencia puede tener unidades de fuerza x distancia, tales como kilonewton-metro (kNm) o meganewton-metro (MNm).

[0045] El acto de "monitorizar" un parámetro, tal como monitorizar el parámetro de extracción de potencia, se puede entender como un acto de recopilar datos sobre el valor real del parámetro. Los datos sobre el valor real del parámetro pueden incluir un valor numérico que se aproxima al valor real del parámetro. La monitorización de un parámetro puede incluir: monitorizar el parámetro en un solo momento en el tiempo; monitorizar el parámetro continuamente durante un período de tiempo; monitorizar el parámetro durante un período de tiempo a intervalos regulares o irregulares; o una combinación de los mismos. La monitorización de un parámetro puede incluir, por ejemplo, medir el parámetro, por ejemplo, por medio de uno o más sensores. De forma alternativa o además, la monitorización de un parámetro puede incluir calcular o estimar el parámetro, por ejemplo, usando un procesador u ordenador, en la que un cálculo o estimación del parámetro se puede basar, por ejemplo, en la medición de uno o más parámetros adicionales.

[0046] Se pueden producir pérdidas de potencia cuando se convierte potencia en el conjunto de conversión de potencia. Típicamente, es difícil predecir estas pérdidas con gran exactitud. En consecuencia, monitorizar la potencia que se extrae por el sistema de turbina eólica antes de convertirse en el conjunto de conversión de potencia puede ser beneficioso por que se monitoriza la energía antes de que se puedan producir dichas pérdidas de potencia. Esto puede evitar la necesidad de modelar y/o estimar dichas pérdidas de potencia. En consecuencia, se pueden proporcionar datos exactos sobre el funcionamiento del sistema de turbina eólica y, específicamente, sobre el rendimiento del sistema de turbina eólica en la extracción de potencia del viento y, más específicamente, sobre el rendimiento del sistema de turbina eólica en la extracción de potencia eléctrica y/o mecánica de la potencia eólica.

[0047] Un procedimiento para controlar un sistema de turbina eólica, como se describe en el presente documento, puede incluir además controlar una o más variables operativas del sistema de turbina eólica en respuesta a monitorizar el parámetro de extracción de potencia. El control de la una o más variables operativas en respuesta a la monitorización puede incluir: recibir datos sobre el valor real del parámetro de extracción de potencia en un momento dado en el tiempo, proporcionándose los datos recibidos por un proceso de monitorización del parámetro; y usar los datos recibidos para controlar la una o más variables operativas del sistema de turbina eólica en un momento posterior en el tiempo.

[0048] El control de una o más variables operativas del sistema de turbina eólica puede incluir calcular o estimar valores objetivo para una o más variables operativas. Además, después de calcular o estimar los valores objetivo, la una o más variables operativas se pueden controlar tal como para minimizar la diferencia entre el valor real de una variable operativa y su valor objetivo correspondiente.

[0049] De acuerdo con modos de realización que se pueden combinar con otros modos de realización descritos en el presente documento, controlar una o más variables operativas del sistema de turbina eólica puede incluir un control basado en modelo u otros procedimientos de control.

[0050] De acuerdo con modos de realización que se pueden combinar con otros modos de realización descritos en el presente documento, controlar una o más variables operativas del sistema de turbina eólica puede incluir una o más de las siguientes opciones. Una opción incluye controlar la velocidad de rotación del rotor. Como opción adicional o alternativa, el rotor puede incluir una o más palas, tales como, por ejemplo, las palas 108 mostradas en la fig. 2, y controlar una o más variables operativas del sistema de turbina eólica puede incluir controlar el *pitch* de al menos una pala del rotor. Como otra opción adicional o alternativa, el generador puede tener una carga magnética, y controlar una o más variables operativas del sistema de turbina eólica puede incluir controlar la carga magnética. Todavía como otra opción adicional o alternativa, controlar una o más variables operativas del sistema de turbina eólica puede incluir controlar un par de torsión aplicado a uno o más ejes rotatorios incluidos en el sistema de turbina eólica, en el que el uno o más ejes rotatorios se pueden acoplar de forma rotatoria al rotor y/o al generador.

[0051] Una ventaja de controlar una o más variables operativas en respuesta a monitorizar el parámetro de extracción de potencia puede ser que el control se basa en datos exactos sobre la potencia extraída por el sistema de turbina eólica. Esto puede proporcionar un control mejorado del sistema de turbina eólica.

[0052] De acuerdo con modos de realización que se pueden combinar con otros modos de realización descritos en el presente documento, el sistema de turbina eólica puede tener una potencia nominal. El término "potencia nominal" puede incluir una salida de potencia eléctrica máxima que un sistema de turbina eólica está diseñado para lograr en condiciones externas y de funcionamiento normales. Más específicamente, una potencia nominal puede incluir una salida de potencia eléctrica continua máxima que un sistema de turbina eólica está diseñado para lograr en condiciones externas y de funcionamiento normales.

[0053] De acuerdo con modos de realización que se pueden combinar con otros modos de realización descritos en el presente documento, el sistema de turbina eólica se puede controlar con un procedimiento adaptativo, en el que el procedimiento adaptativo depende de si la turbina funciona por debajo de su potencia nominal o si el sistema de turbina eólica funciona a o por encima de su potencia nominal. Específicamente, de acuerdo con modos de realización, la potencia en la turbina se puede monitorizar en diferentes puntos operativos y el sistema de turbina eólica se puede controlar posteriormente en respuesta a la monitorización. Los puntos operativos pueden depender de si la turbina funciona por debajo de su potencia nominal o a/por encima de su potencia nominal. Tener diferentes puntos operativos puede proporcionar ventajas en comparación con, por ejemplo, tener el mismo punto operativo independientemente de si el sistema de turbina eólica funciona por debajo, a o por encima de su potencia nominal. Una ventaja puede ser que el control del sistema de turbina eólica se puede adaptar de forma óptima al funcionamiento del sistema de turbina eólica con respecto a su potencia nominal.

[0054] De acuerdo con modos de realización que se pueden combinar con otros modos de realización descritos en el presente documento, monitorizar el parámetro de extracción de potencia y controlar una o más variables operativas del sistema de turbina eólica en respuesta a monitorizar el parámetro de extracción de potencia se pueden llevar a cabo mientras el sistema de turbina eólica funciona por debajo de su potencia nominal.

[0055] De acuerdo con modos de realización que se pueden combinar con otros modos de realización descritos en el presente documento, la potencia de salida del sistema de turbina eólica se puede monitorizar mientras el sistema de turbina eólica funciona a o por encima de su potencia nominal. Además, de acuerdo con los modos de realización, se pueden controlar una o más variables operativas del sistema de turbina eólica en respuesta a monitorizar la potencia de salida, mientras el sistema de turbina eólica funciona a o por encima de su potencia nominal.

[0056] La potencia de salida del sistema de turbina eólica puede incluir la potencia suministrada por el sistema

de turbina eólica a una red eléctrica o, más específicamente, a una red de transmisión y distribución de potencia eléctrica.

[0057] Mientras el sistema de turbina eólica funciona por debajo de su potencia nominal, la velocidad del viento puede ser baja. En consecuencia, puede ser importante que el sistema de turbina eólica extraiga la máxima cantidad de potencia del viento. Una ventaja de monitorizar el parámetro de extracción de potencia mientras la turbina funciona por debajo de su potencia nominal puede ser que de este modo se monitoriza la potencia extraída por el sistema de turbina eólica antes de que se puedan producir pérdidas de potencia en el conjunto de conversión de potencia. En consecuencia, se puede proporcionar un control mejorado del sistema de turbina eólica durante el funcionamiento por debajo de la potencia nominal. Específicamente, se puede proporcionar una curva de par de torsión/velocidad mejorada.

[0058] Mientras el sistema de turbina eólica funciona a o por encima de su potencia nominal, la velocidad del viento es típicamente alta y puede que no sea necesario optimizar adicionalmente el rendimiento del sistema de turbina eólica en la extracción de potencia del viento. En particular pertinente puede ser una monitorización de la potencia de salida del sistema de turbina eólica mientras funciona a o por encima de la potencia nominal. Una ventaja de monitorizar la potencia de salida puede ser que de este modo se puede monitorizar con exactitud la potencia suministrada a una red eléctrica. En consecuencia, se puede proporcionar un control mejorado del sistema de turbina eólica durante el funcionamiento a o por encima de la potencia nominal.

[0059] De acuerdo con los modos de realización, el sistema de turbina eólica puede funcionar de acuerdo con un modo operativo de velocidad variable mientras el sistema de turbina eólica funciona por debajo de su potencia nominal.

[0060] El sistema de turbina eólica puede incluir un rotor, tal como, por ejemplo, el rotor 106 mostrado en la fig. 2, para transformar la potencia eólica en una potencia de rotación mecánica. Un "modo operativo de velocidad variable" del sistema de turbina eólica, como se usa en el presente documento, puede incluir un modo operativo durante el que la velocidad de rotación del rotor es modificable. En particular, la velocidad de rotación del rotor puede ser modificable en respuesta a condiciones del viento variables. Un efecto técnico puede ser que se pueda extraer potencia eficazmente del viento variando la velocidad de rotación del rotor en respuesta a condiciones del viento variables. Específicamente, la potencia eólica se puede transformar eficazmente en una potencia mecánica de rotación.

[0061] De acuerdo con los modos de realización, el sistema de turbina eólica puede funcionar de acuerdo con un modo operativo de velocidad no variable mientras el sistema de turbina eólica funciona a o por encima de su potencia nominal.

[0062] Un "modo operativo de velocidad no variable" del sistema de turbina eólica puede incluir un modo operativo en el que la turbina está configurada para mantener una velocidad de rotación fija del rotor.

[0063] La figura 10 ilustra una curva de potencia de salida 1000 de ejemplo para un sistema de turbina eólica que funciona de acuerdo con los modos de realización descritos en el presente documento. La curva de potencia de salida 1000 incluye las líneas continuas 1030, 1031 y 1032. El eje vertical 1020 puede representar la potencia de salida de la turbina eólica. El eje horizontal 1010 puede representar de forma de ejemplo la velocidad de rotación de un rotor de generador, tal como, por ejemplo, el rotor de generador 122 mostrado en las figs. 2 y 5c. En consecuencia, la curva de potencia de salida 1000 puede representar la potencia de salida del sistema de turbina eólica en función de la velocidad de rotación del rotor de generador. El eje horizontal 1010 puede representar de forma alternativa la velocidad de rotación de un eje rotatorio acoplado al generador, tal como, por ejemplo, el eje rápido 116 mostrado en las figs. 2, 5a y 5b.

[0064] La línea continua 1030, que se extiende hasta el nodo 1050, y la línea continua 1031, que se extiende desde el nodo 1050 hasta el nodo 1051, representan la potencia de salida mientras la turbina eólica funciona por debajo de su potencia nominal. La potencia nominal del sistema de turbina eólica en operación se indica por el nodo 1051. Mientras funciona por debajo de su potencia nominal, el sistema de turbina eólica puede funcionar de acuerdo con los modos de realización de un procedimiento descrito en el presente documento, en el que el procedimiento puede incluir monitorizar el parámetro de extracción de potencia y controlar una o más variables operativas de la turbina eólica en respuesta a monitorizar el parámetro de extracción de potencia. La línea continua 1032, que se extiende desde el nodo 1051, representa la potencia de salida mientras la turbina eólica funciona a y por encima de su potencia nominal. Mientras funciona a o por encima de la potencia nominal, el sistema de turbina eólica puede funcionar de acuerdo con los modos de realización de un procedimiento descrito en el presente documento, en el que el procedimiento puede incluir monitorizar la potencia de salida y controlar una o más variables operativas de la turbina eólica en respuesta a monitorizar la potencia de salida.

[0065] La línea continua 1030 puede representar la potencia de salida mientras el sistema de turbina eólica funciona por debajo de una velocidad del viento nominal. Como se muestra, a lo largo de la línea sólida 1030, la potencia de salida se incrementa a medida que se incrementa la velocidad de rotación del rotor de generador. La

línea discontinua 1040 representa una curva de potencia de salida correspondiente de un sistema de turbina eólica que funciona de acuerdo con procedimientos conocidos en la técnica. Como se muestra, la línea continua 1030 se encuentra por encima de la línea discontinua 1040, indicando que el procedimiento descrito en el presente documento proporciona un rendimiento mejorado del sistema de turbina eólica en la extracción de potencia del viento.

[0066] El nodo 1050 puede representar la potencia de salida cuando la turbina eólica funciona a su velocidad de viento nominal. La línea continua 1031 representa la potencia de salida del sistema de turbina eólica que funciona a o por encima de la velocidad del viento nominal y aún por debajo de su potencia nominal. A o por encima de la velocidad del viento nominal, la velocidad de rotación del rotor de generador puede permanecer constante. A medida que la velocidad del viento se incrementa por encima de la velocidad del viento nominal, la potencia de salida se puede incrementar adicionalmente mientras la velocidad de rotación del rotor de generador permanece constante, hasta que se alcanza la potencia nominal. Esto se indica por la línea continua 1031 que es perpendicular al eje horizontal 1010 y se extiende desde el nodo 1050 hasta el nodo 1051.

[0067] La línea continua 1032 representa la potencia de salida cuando el sistema de turbina eólica funciona por encima de su potencia nominal. Puesto que se pueden producir incrementos repentinos de la velocidad del viento, por ejemplo, debido a una ráfaga de viento repentina, la potencia de salida se puede incrementar de forma temporal cuando el sistema de turbina eólica funciona por encima de su potencia nominal. Esto se indica por la línea continua 1032, que tiene una pendiente ascendente aunque el sistema de turbina eólica funcione por encima de su potencia nominal.

[0068] De acuerdo con modos de realización que se pueden combinar con otros modos de realización descritos en el presente documento, el parámetro de extracción de potencia monitorizado se puede usar para calcular la velocidad del viento. De acuerdo con los modos de realización, controlar una o más variables operativas del sistema de turbina eólica en respuesta a monitorizar el parámetro de extracción de potencia puede incluir además: controlar una o más variables operativas del sistema de turbina eólica usando la velocidad del viento calculada. Una ventaja de usar el parámetro de extracción de potencia monitorizado para calcular la velocidad del viento puede ser que se puede calcular la velocidad del viento con exactitud.

[0069] La fig. 4 ilustra un flujo de ejemplo de potencia a través de un sistema de turbina eólica. Se puede extraer potencia del viento en el rotor 106. En particular, en el rotor, la potencia eólica se puede transformar en potencia de rotación mecánica. La potencia de rotación mecánica puede accionar el generador 118. El generador se puede adaptar para convertir la potencia de rotación mecánica en potencia eléctrica. La potencia eléctrica generada por el generador se puede transmitir al conjunto de conversión de potencia 210. El conjunto de conversión de potencia se puede adaptar para convertir la potencia eléctrica generada por el generador en una potencia eléctrica convertida. En consecuencia, como se muestra por la ruta dirigida 330, la potencia extraída por el sistema de turbina eólica del viento puede fluir desde el rotor al conjunto de conversión de potencia. Más específicamente, como se ilustra por la ruta dirigida 330, la potencia puede fluir desde el rotor al conjunto de conversión de potencia por medio del generador.

[0070] Como se indica por la flecha 331 de la ruta dirigida 330, la potencia extraída por el sistema de turbina eólica del viento puede fluir desde el rotor al generador. La potencia que fluye desde el rotor al generador puede ser una potencia de rotación mecánica, por ejemplo, una potencia de rotación mecánica suministrada por uno o más ejes (no mostrados) que acoplan de forma rotatoria el generador al rotor. Como se indica por la flecha 332 de la ruta dirigida 330, la potencia extraída del viento por el sistema de turbina eólica puede fluir a través del generador. Como se indica por la flecha 333 de la ruta dirigida 330, la potencia extraída del viento por el sistema de turbina eólica puede fluir desde el generador al conjunto de conversión de potencia. La potencia que fluye desde el generador al conjunto de conversión de potencia puede ser potencia eléctrica. Como se indica por la flecha 334 de la ruta dirigida 330, la potencia puede fluir hacia el conjunto de conversión de potencia. Como se muestra por la flecha 335, la potencia eléctrica puede fluir a través del conjunto de conversión de potencia.

[0071] En el conjunto de conversión de potencia, la potencia eléctrica generada por el generador se puede convertir en la potencia eléctrica convertida. La conversión de potencia se ilustra por una transición de la ruta dirigida 330 hacia la segunda ruta dirigida 340. En consecuencia, la potencia que fluye desde el rotor al conjunto de conversión de potencia antes de convertirse en el conjunto de conversión de potencia se indica por la ruta dirigida 330. El flujo de la potencia eléctrica convertida se indica por la segunda ruta dirigida 340.

[0072] De acuerdo con modos de realización que se pueden combinar con otros modos de realización descritos en el presente documento, el sistema de turbina eólica puede incluir un rotor, tal como, por ejemplo, el rotor 106 mostrado en la fig. 2, para transformar la potencia eólica en una potencia de rotación mecánica. La potencia extraída por el sistema de turbina eólica del viento puede incluir una potencia que fluye desde el rotor al conjunto de conversión de potencia, tal como, por ejemplo, la potencia que fluye de acuerdo con la ruta dirigida 330 mostrada en la fig. 4. En consecuencia, el parámetro de extracción de potencia puede ser un parámetro de flujo de potencia. El parámetro de flujo de potencia puede ser indicativo de la potencia que fluye desde el rotor al conjunto de conversión de potencia antes de convertirse en el conjunto de conversión de potencia.

[0073] El sistema de turbina eólica puede incluir además un generador, tal como, por ejemplo, el generador 118 mostrado en la fig. 2, para convertir la potencia de rotación mecánica en potencia eléctrica. De acuerdo con modos de realización que se pueden combinar con otros modos de realización, el conjunto de conversión de potencia se puede adaptar para convertir la potencia eléctrica generada por el generador. En consecuencia, la potencia extraída por el sistema de turbina eólica del viento puede ser una potencia que fluye desde el rotor al conjunto de conversión de potencia por medio del generador. El parámetro de flujo de potencia puede ser indicativo de la potencia que fluye desde el rotor al conjunto de conversión de potencia antes de convertirse en el conjunto de conversión de potencia, tal como, por ejemplo, la potencia que fluye de acuerdo con la ruta dirigida 330 mostrada en la fig. 4.

[0074] De acuerdo con modos de realización que se pueden combinar con otros modos de realización descritos en el presente documento, el generador se puede acoplar de forma rotatoria al rotor. La rotación del rotor puede accionar el generador por medio del acoplamiento de rotación del generador al rotor. En consecuencia, la potencia de rotación mecánica del rotor se puede proporcionar al generador por medio del acoplamiento de rotación del generador con el rotor.

[0075] El generador se puede acoplar de forma rotatoria al rotor por medio de uno o más ejes rotatorios acoplados al rotor y/o al generador. El parámetro de flujo de potencia puede ser un par de torsión aplicado al uno o más ejes rotatorios.

[0076] De acuerdo con los modos de realización, el rotor se puede acoplar de forma rotatoria al generador por medio de un eje lento, una caja de engranajes multiplicadora y/o un eje rápido. El uno o más ejes rotatorios pueden incluir el eje rápido y/o el eje lento. En consecuencia, el parámetro de flujo de potencia puede ser el par de torsión aplicado al eje lento o el par de torsión aplicado al eje rápido.

[0077] Las figuras 5a-5d ilustran modos de realización de ejemplo del parámetro de flujo de potencia. En las figs. 5a y 5b se muestran el eje lento 112, la caja de engranajes multiplicadora 114 y el eje rápido 116. Un extremo del eje lento se puede acoplar de forma rotatoria al rotor; el otro extremo del eje lento se puede acoplar a la caja de engranajes multiplicadora. Un extremo del eje rápido se puede acoplar de forma rotatoria a la caja de engranajes multiplicadora, y el otro extremo del eje rápido se puede acoplar de forma rotatoria al generador. En consecuencia, como se indica por la ruta dirigida 330, la potencia eólica se puede extraer en el rotor y transformarse por el rotor en una potencia de rotación mecánica del eje lento; la potencia de rotación del eje lento se puede aumentar por la caja de engranajes multiplicadora; la potencia de rotación aumentada se puede transferir desde la caja de engranajes multiplicadora al eje rápido; la potencia de rotación aumentada del eje rápido se puede alimentar al generador.

[0078] En la fig. 5a, el parámetro de flujo de potencia es el par de torsión aplicado al eje lento 112. Esto se ilustra esquemáticamente por un nodo de referencia 510 dispuesto en el eje lento. El nodo de referencia 510 está dispuesto en la parte de la ruta dirigida 330 que interseca el eje lento. El par de torsión aplicado al eje lento 112 puede ser indicativo de la potencia que fluye desde el rotor al conjunto de conversión de potencia. Más específicamente, el par de torsión aplicado al eje lento 112 puede ser indicativo de la potencia que fluye, desde el rotor al conjunto de conversión de potencia, en el nodo de referencia 510.

[0079] En la fig. 5b, el parámetro de flujo de potencia es el par de torsión aplicado al eje rápido. Esto se indica por un nodo de referencia 520 dispuesto en el eje rápido 116. El nodo de referencia 520 está dispuesto en la parte de la ruta dirigida 330 que interseca el eje rápido. El par de torsión aplicado al eje rápido puede ser indicativo de la potencia que fluye desde el rotor al conjunto de conversión de potencia. Más específicamente, el par de torsión aplicado al eje rápido puede ser indicativo de la potencia que fluye, desde el rotor al conjunto de conversión de potencia, en el nodo de referencia 520.

[0080] De acuerdo con modos de realización que se pueden combinar con otros modos de realización descritos en el presente documento, el generador se puede acoplar de forma rotatoria al rotor por medio de un único eje, en el que un extremo del único eje se puede acoplar de forma rotatoria al rotor y otro extremo del único eje se puede acoplar al generador. En consecuencia, la potencia eólica se puede extraer en el rotor y transformarse por el rotor en una potencia de rotación mecánica del eje único. La potencia de rotación del eje único se puede alimentar al generador. El parámetro de flujo de potencia puede ser el par de torsión aplicado al uno o más ejes rotatorios.

[0081] De acuerdo con modos de realización que se pueden combinar con otros modos de realización descritos en el presente documento, el parámetro de flujo de potencia puede ser el par de torsión de entrehierro aplicado a un rotor de generador incluido en el generador. Una situación de este tipo se ilustra en la fig. 5c, que muestra el rotor de generador 122 y el estátor de generador 120 incluidos en el generador 118. El nodo de referencia 530 está dispuesto en la parte de la ruta dirigida 330 que pasa a través del rotor de generador, para indicar que el parámetro de flujo de potencia es el par de torsión de entrehierro aplicado al rotor de generador. El par de torsión de entrehierro que actúa sobre el rotor de generador puede ser indicativo de la potencia que fluye desde el rotor al conjunto de conversión de potencia. Específicamente, el par de torsión de entrehierro puede ser indicativo de la

potencia que fluye a lo largo de la ruta dirigida 330 en el nodo de referencia 530.

[0082] El par de torsión de entrehierro se puede entender como el par de torsión que actúa sobre el rotor de generador. Más específicamente, el par de torsión de entrehierro se puede referir al par de torsión que actúa sobre el rotor de generador a través del entrehierro que existe entre el rotor y el estátor. El par de torsión de entrehierro puede ser proporcional a la potencia eléctrica producida por el generador. Puede ser inversamente proporcional a la velocidad angular del rotor de generador.

[0083] De acuerdo con modos de realización que se pueden combinar con otros modos de realización descritos en el presente documento, el parámetro de flujo de potencia puede ser la potencia eléctrica generada por el generador. Esto se ilustra en la fig. 5d, donde el nodo de referencia 540 está dispuesto en la parte de la ruta dirigida 330 entre el generador y el conjunto de conversión de potencia. La potencia generada por el generador 118 puede ser indicativa de la potencia que fluye desde el rotor al conjunto de conversión de potencia. Específicamente, la potencia generada por el generador 118 puede ser indicativa de la potencia que fluye en el nodo de referencia 540.

[0084] El sistema de turbina eólica puede incluir un transformador, tal como, por ejemplo, el transformador principal de potencia eléctrica 234 mostrado en la fig. 2. El transformador se puede adaptar para transmitir potencia generada por el sistema de turbina eólica a una red eléctrica. El transformador puede tener un lado de transformador primario y un lado de transformador secundario. De acuerdo con modos de realización que se pueden combinar con otros modos de realización descritos en el presente documento, monitorizar la potencia de salida del sistema de turbina eólica puede incluir monitorizar la potencia de salida en el lado de transformador primario y/o monitorizar la potencia de salida en el lado de transformador secundario.

[0085] El transformador puede incluir un devanado primario y un devanado secundario, en el que el devanado primario y secundario pueden definir el lado primario y secundario del transformador, respectivamente. De acuerdo con modos de realización típicos, el devanado primario está adaptado para recibir la potencia eléctrica suministrada al transformador y el devanado secundario está adaptado para transmitir potencia desde el transformador a la red eléctrica. En el modo de realización mostrado en la fig. 2, el lado de transformador primario es el lado derecho del transformador, es decir, el lado en el que está dispuesto el bus de lado de generador 236, y el lado de transformador secundario es el lado izquierdo del transformador, es decir, el lado en el que está dispuesto el bus de lado de disyuntor 240.

[0086] De acuerdo con modos de realización que se pueden combinar con otros modos de realización descritos en el presente documento, controlar una o más variables operativas del sistema de turbina eólica en respuesta a monitorizar la potencia de salida puede incluir una o más de las siguientes opciones: la potencia de salida del sistema de turbina eólica; la velocidad de rotación del rotor; un par de torsión aplicado a un eje rotatorio acoplado al rotor y/o al generador; el *pitch* de al menos una pala del rotor.

[0087] La una o más variables operativas del sistema de turbina eólica que se controlan en respuesta a monitorizar la potencia de salida, y la una o más variables operativas que se controlan en respuesta a monitorizar el parámetro de extracción de potencia, se refieren a las mismas variables operativas que se controlan o, en modos de realización no reivindicados, a parcialmente las mismas variables operativas o a diferentes variables operativas.

[0088] La figura 6 muestra un modo de realización de un sistema de turbina eólica que incluye una unidad de monitorización 600. La unidad de monitorización 600 se puede adaptar para monitorizar el parámetro de flujo de potencia, en el que el parámetro de flujo de potencia puede ser indicativo de la potencia que fluye desde el rotor al conjunto de conversión de potencia antes de convertirse en el conjunto de conversión de potencia. Se puede proporcionar una unidad de monitorización en todos los demás modos de realización descritos en el presente documento. En el modo de realización de ejemplo mostrado en la fig. 6, el parámetro de flujo de potencia puede ser la potencia eléctrica generada por el generador; esto se indica por la unidad de monitorización que está dispuesta en la parte de la ruta dirigida 330 entre el generador y el conjunto de conversión de potencia. Sin embargo, el parámetro de flujo de potencia puede ser un parámetro de flujo de potencia como se describe, por ejemplo, con respecto a las figs. 5a-5d, o, en general, cualquier parámetro de flujo de potencia que sea indicativo de la potencia que fluye desde el rotor al generador antes de convertirse en el conjunto de conversión de potencia.

[0089] La unidad de monitorización se puede disponer en el sistema de turbina eólica tal como para facilitar monitorizar el parámetro de flujo de potencia. La unidad de monitorización se puede disponer fuera del conjunto de conversión de potencia. En algunas condiciones, la unidad de monitorización se puede incluir en el conjunto de conversión de potencia o ser parte del conjunto de conversión de potencia; por ejemplo, la unidad de monitorización puede ser parte del conjunto de conversión de potencia, en el que el parámetro de flujo de potencia se puede calcular por el conjunto de conversión de potencia.

[0090] La unidad de monitorización mostrada en la fig. 6 se puede adaptar para proporcionar datos sobre el parámetro de flujo de potencia monitorizado a la unidad de control 650. Esto se indica por la línea discontinua 610 que se extiende desde la unidad de monitorización a la unidad de control.

[0091] La unidad de control 650 se puede configurar para recibir los datos sobre el parámetro de flujo de potencia como datos de entrada. La unidad de control 650 se puede configurar además para controlar una o más variables operativas del sistema de turbina eólica, como se indica por la flecha 620. La unidad de control 650 se puede configurar para controlar la una o más variables operativas en respuesta a recibir los datos de entrada sobre el parámetro de flujo de potencia. En el modo de realización de ejemplo mostrado, la flecha 620 apunta desde la unidad de control al rotor, indicando que la una o más variables operativas controladas por la unidad de control pueden incluir, por ejemplo, la velocidad de rotación del rotor. Sin embargo, se pueden controlar otras variables operativas por la unidad de control 650.

[0092] Los modos de realización descritos en el presente documento se refieren a un sistema de turbina eólica. El sistema de turbina eólica puede incluir un rotor, un generador y un conjunto de conversión de potencia de acuerdo con los modos de realización descritos en el presente documento. El sistema de turbina eólica puede incluir además una unidad de monitorización y una unidad de control.

[0093] La unidad de monitorización se puede adaptar para monitorizar el parámetro de flujo de potencia. Para facilitar la monitorización del parámetro de flujo de potencia, la unidad de monitorización puede incluir uno o más sensores, tales como sensores de tensión o corriente eléctrica y/u otros sensores. El uno o más sensores se pueden adaptar para medir el parámetro de flujo de potencia y/o medir uno o más parámetros adicionales que pueden facilitar monitorizar el parámetro de flujo de potencia. La unidad de monitorización también puede incluir un procesador para procesar información y/o realizar cálculos. El procesador se puede adaptar para calcular y/o estimar el parámetro de flujo de potencia. Por ejemplo, el procesador se puede adaptar para calcular el parámetro de flujo de potencia en base a datos medidos, en el que los datos medidos se pueden medir por sensores incluidos en la unidad de monitorización y/o por otros sensores.

[0094] La unidad de monitorización se puede adaptar además para proporcionar datos sobre el parámetro de flujo de potencia monitorizado a la unidad de control. Los datos sobre el parámetro de flujo de potencia monitorizado pueden incluir: un valor numérico que se aproxima al valor real del parámetro de flujo de potencia en un momento dado en el tiempo; un conjunto de valores numéricos que se aproximan a los valores reales del parámetro de flujo de potencia durante un período de tiempo; un conjunto de valores numéricos que se aproximan a los valores reales del parámetro de flujo de potencia durante un período de tiempo a intervalos regulares o irregulares; o una combinación de los mismos.

[0095] La unidad de control se puede configurar para controlar una o más variables operativas del sistema de turbina eólica en respuesta a recibir los datos sobre el parámetro de flujo de potencia monitorizado. La una o más variables operativas controladas por la unidad de control pueden ser similares a, las mismas que, o parcialmente las mismas que la una o más variables operativas controladas en respuesta a monitorizar el parámetro de flujo de potencia, de acuerdo con modos de realización del procedimiento descrito en el presente documento.

[0096] De acuerdo con modos de realización que se pueden combinar con modos de realización descritos en el presente documento, el sistema de turbina eólica se puede adaptar para llevar a cabo un procedimiento para controlar el sistema de turbina eólica de acuerdo con modos de realización descritos en el presente documento. De acuerdo con modos de realización, la unidad de monitorización se puede adaptar para monitorizar el parámetro de flujo de potencia y/o la unidad de control se puede adaptar para controlar una o más variables operativas en respuesta a la monitorización del parámetro de flujo de potencia por la unidad de monitorización.

[0097] La fig. 7 muestra un modo de realización de ejemplo de un sistema de turbina eólica en el que la unidad de monitorización 600 puede ser una primera unidad de monitorización 600 incluida en el sistema de turbina eólica, y el sistema de turbina eólica puede incluir una segunda unidad de monitorización 700. El dispositivo de monitorización 700 puede incluir sensores de tensión y corriente eléctrica 252. Como se muestra en la fig. 7, la unidad de control 650 se puede incluir en el controlador de turbina 202. La unidad de control 650 puede ser una primera unidad de control 650 incluida en el controlador de turbina. El controlador de turbina puede incluir una segunda unidad de control 750 y una unidad de selección de control 790.

[0098] La segunda unidad de monitorización mostrada en la fig. 7 se puede configurar para monitorizar la potencia de salida del sistema de turbina eólica. La segunda unidad de monitorización se puede configurar para proporcionar datos sobre la potencia de salida monitorizada a la segunda unidad de control, como se indica por la línea discontinua 710 que se extiende desde los sensores de tensión y corriente eléctrica 252 a la segunda unidad de control. Los sensores de tensión y corriente eléctrica 252 se pueden adaptar, por ejemplo, para medir la potencia de salida del sistema de turbina eólica.

[0099] La segunda unidad de control 750 se puede configurar para controlar una o más variables operativas del sistema de turbina eólica, como se indica por la flecha 720. La segunda unidad de control 750 se puede configurar para controlar la una o más variables operativas en respuesta a recibir los datos sobre la potencia de salida del sistema de turbina eólica. En el modo de realización de ejemplo mostrado, la flecha 720 apunta desde la segunda unidad de control hacia el transistor 234, indicando que la una o más variables operativas controladas por la segunda unidad de control pueden incluir, por ejemplo, la potencia de salida del sistema de turbina eólica.

Sin embargo, se pueden controlar otras y/o variables operativas adicionales por la segunda unidad de control 750.

[0100] El sistema de turbina eólica mostrado en la fig. 7 puede tener una potencia nominal. La unidad de selección de control 790 se puede configurar para poner en funcionamiento la primera unidad de control 650 mientras el sistema de turbina eólica funciona por debajo de su potencia nominal y/o para poner en funcionamiento la segunda unidad de control 750 mientras el sistema de turbina eólica funciona a o por encima de su potencia nominal.

[0101] La puesta en funcionamiento de la primera y segunda unidad de control puede incluir encender la primera y segunda unidad de control, respectivamente. Por ejemplo, la unidad de selección de control 790 puede incluir un primer conmutador (no mostrado) para encender y apagar la primera unidad de control, y un segundo conmutador (no mostrado) para encender y apagar la segunda unidad de control. El primer conmutador puede ser diferente del segundo conmutador. De forma alternativa, el primer conmutador puede ser igual al segundo conmutador, es decir, un único conmutador adaptado para encender y apagar tanto la primera como la segunda unidad de control. Se puede encender la primera unidad de control mientras el sistema de turbina eólica funciona por debajo de su potencia nominal y se puede encender la segunda unidad de control mientras el sistema de turbina eólica funciona a o por encima de su potencia nominal.

[0102] En aras de la claridad, pero sin limitación del alcance, las primera y segunda unidades de control se dibujan de forma de ejemplo como unidades de control físicamente separadas en la fig. 7. Sin embargo, las primera y segunda unidades de control no necesitan ser unidades de control separadas. La primera y la segunda unidad de control pueden ser una primera y una segunda subentidad, respectivamente, de una unidad de control común del sistema de turbina eólica, en el que la primera y la segunda subentidad pueden no estar separadas físicamente dentro de la unidad de control común. La primera y la segunda unidad de control pueden representar un primer y un segundo grupo de tareas de control, respectivamente, que el sistema de control común puede estar configurado para llevar a cabo. El primer y segundo grupo de tareas de control pueden ser grupos diferentes de tareas de control. El primer grupo de tareas de control puede incluir controlar una o más variables operativas del sistema de turbina eólica en respuesta a recibir datos sobre el parámetro de flujo de potencia monitorizado, en el que los datos sobre el parámetro de flujo de potencia monitorizado se pueden proporcionar a la unidad de control común por la primera unidad de monitorización. El segundo grupo de tareas de control puede incluir controlar una o más variables operativas del sistema de turbina eólica en respuesta a recibir datos sobre la potencia de salida monitorizada, en el que los datos sobre la potencia de salida monitorizada se pueden proporcionar a la unidad de control común por la segunda unidad de monitorización.

[0103] De acuerdo con modos de realización que se pueden combinar con otros modos de realización descritos en el presente documento, el sistema de turbina eólica puede tener una potencia nominal, la unidad de monitorización puede ser una primera unidad de monitorización y la unidad de control puede ser una primera unidad de control. El sistema de turbina eólica puede incluir además una segunda unidad de monitorización, una segunda unidad de control y una unidad de selección de control.

[0104] La segunda unidad de monitorización se puede configurar para monitorizar la potencia de salida del sistema de turbina eólica y proporcionar datos sobre la potencia de salida monitorizada a la segunda unidad de control. Los datos sobre la potencia de salida monitorizada pueden incluir: un valor numérico que se aproxima al valor real de la potencia de salida en un momento dado en el tiempo; un grupo de valores numéricos que se aproximan a los valores reales de la potencia de salida durante un período de tiempo; un grupo de valores numéricos que se aproximan a los valores reales de la potencia de salida durante un período de tiempo a intervalos regulares o irregulares; o una combinación de los mismos. Los datos sobre la potencia de salida monitorizada se pueden proporcionar a partir de un proceso de monitorización de la potencia de salida de acuerdo con modos de realización del procedimiento descrito en el presente documento.

[0105] La segunda unidad de control se puede configurar para controlar una o más variables operativas del sistema de turbina eólica en respuesta a recibir los datos sobre la potencia de salida monitorizada.

[0106] La una o más variables operativas controladas por la segunda unidad de control pueden ser similares a, las mismas que, o parcialmente las mismas que modos de realización de la una o más variables operativas controladas en respuesta a monitorizar la potencia de salida, de acuerdo con modos de realización del procedimiento descrito en el presente documento.

[0107] La una o más variables operativas controladas por la segunda unidad de control pueden ser diferentes, las mismas que o parcialmente las mismas que las variables operativas controladas por la primera unidad de control.

[0108] La unidad de selección de control se puede configurar para poner la primera unidad de control en funcionamiento mientras el sistema de turbina eólica funciona por debajo de su potencia nominal y para poner la segunda unidad de control en funcionamiento mientras el sistema de turbina eólica funciona a o por encima de su potencia nominal. En consecuencia, mientras funciona por debajo de su potencia nominal, el sistema de turbina

eólica se puede configurar para controlar una o más variables operativas del sistema de turbina eólica en respuesta a monitorizar el parámetro de extracción de potencia, de acuerdo con los modos de realización del procedimiento descrito en el presente documento; y, mientras funciona a o por encima de su potencia nominal, el sistema de turbina eólica se puede configurar para controlar una o más variables operativas del sistema de turbina eólica en respuesta a monitorizar la potencia de salida, de acuerdo con los modos de realización del procedimiento descrito en el presente documento.

[0109] Las figuras 8 y 9 son diagramas de flujo esquemáticos que ilustran procedimientos para controlar una turbina eólica de acuerdo con los modos de realización descritos en el presente documento.

[0110] El diagrama de flujo esquemático mostrado en la figura 8 ilustra un procedimiento para controlar un sistema de turbina eólica, en el que el sistema de turbina eólica puede incluir un conjunto de conversión de potencia para convertir potencia eléctrica en potencia eléctrica convertida. Como se indica por el signo de referencia 801, el procedimiento puede incluir monitorizar un parámetro de extracción de potencia, en el que el parámetro de extracción de potencia es indicativo de la potencia extraída por el sistema de turbina eólica del viento antes de convertirse en el conjunto de conversión de potencia. Como se indica además por el signo de referencia 802, el procedimiento puede incluir además controlar una o más variables operativas del sistema de turbina eólica en respuesta a monitorizar el parámetro de extracción de potencia.

[0111] El diagrama de flujo esquemático mostrado en la figura 9 ilustra otro procedimiento para controlar un sistema de turbina eólica. El sistema de turbina eólica puede incluir un rotor para transformar la potencia eólica en una potencia de rotación mecánica; un generador para convertir la potencia de rotación mecánica en potencia eléctrica; y un conjunto de conversión de potencia para convertir la potencia eléctrica generada por el generador en una potencia eléctrica convertida. Como se indica por el signo de referencia 901, el procedimiento puede incluir monitorizar un parámetro de flujo de potencia, siendo el parámetro de flujo de potencia indicativo de la potencia que fluye desde el rotor al conjunto de conversión de potencia antes de convertirse en el conjunto de conversión de potencia. Como se indica además por el signo de referencia 902, el procedimiento puede incluir además controlar una o más variables operativas del sistema de turbina eólica en respuesta a monitorizar el parámetro de flujo de potencia.

[0112] Los modos de realización de ejemplo de sistemas de turbinas eólicas y procedimientos para controlar sistemas de turbinas eólicas se describen anteriormente en detalle. Los sistemas y procedimientos no se limitan a los modos de realización específicos descritos en el presente documento, sino que, en su lugar, los componentes de los sistemas y/o etapas de los procedimientos se pueden utilizar independientemente y por separado de otros componentes y/o etapas descritos en el presente documento.

[0113] Aunque se pueden mostrar las características específicas de diversos modos de realización de la invención en algunos dibujos y no en otros, esto solo es por conveniencia. De acuerdo con los principios de la invención, se puede hacer referencia a y/o reivindicar cualquier característica de un dibujo en combinación con cualquier característica de cualquier otro dibujo.

[0114] Esta descripción escrita usa ejemplos para divulgar la invención, incluyendo el mejor modo, y también para posibilitar que cualquier experto en la técnica practique la invención, incluyendo fabricar y usar cualquier dispositivo o sistema y realizar cualquier procedimiento incorporado. El alcance patentable de la invención se define por las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para controlar un sistema de turbina eólica (100), incluyendo el sistema de turbina eólica un conjunto de conversión de potencia (210) para convertir potencia eléctrica en una potencia eléctrica convertida, en el que el sistema de turbina eólica (100) está adaptado para funcionar a una potencia nominal, comprendiendo el procedimiento:

controlar el sistema de turbina eólica de forma adaptativa dependiendo de si el sistema de turbina eólica funciona por debajo de su potencia nominal o si el sistema de turbina eólica funciona a o por encima de su potencia nominal, en el que se monitoriza una potencia en el sistema de turbina eólica en diferentes puntos operativos y el sistema de turbina eólica se controla posteriormente en respuesta a la monitorización, en el que los puntos operativos dependen de si el sistema de turbina eólica funciona por debajo de su potencia nominal o a/por encima de su potencia nominal, en el que el procedimiento comprende:

a) monitorizar (801) un parámetro de extracción de potencia mientras el sistema de turbina eólica funciona por debajo de su potencia nominal, en el que el parámetro de extracción de potencia es indicativo de la potencia extraída por el sistema de turbina eólica (100) del viento antes de convertirse en el conjunto de conversión de potencia (210);

b) controlar (802) una o más variables operativas del sistema de turbina eólica (100) en respuesta a monitorizar el parámetro de extracción de potencia, mientras el sistema de turbina eólica (100) funciona por debajo de su potencia nominal;

c) monitorizar (901) la potencia de salida del sistema de turbina eólica (100) mientras el sistema de turbina eólica funciona a o por encima de su potencia nominal, en el que la potencia de salida incluye la potencia suministrada por el sistema de turbina eólica a una red eléctrica; y

d) controlar (902) una o más variables operativas del sistema de turbina eólica (100) en respuesta a monitorizar la potencia de salida, mientras el sistema de turbina eólica funciona a o por encima de su potencia nominal, en el que la una o más variables operativas del sistema de turbina eólica que se controlan en respuesta a monitorizar la potencia de salida, y la una o más variables operativas que se controlan en respuesta a monitorizar el parámetro de extracción de potencia son las mismas variables operativas,

en el que monitorizar la potencia de salida del sistema de turbina eólica (100) comprende:

monitorizar la potencia de salida del sistema de turbina eólica (100) en un lado primario y/o secundario de un transformador (234) incluido en el sistema de turbina eólica, en el que el transformador (234) está adaptado para transmitir potencia generada por el sistema de turbina eólica (100) a la red eléctrica.

2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, comprendiendo además el procedimiento:

usar el parámetro de extracción de potencia monitorizado para calcular la velocidad del viento;

en el que controlar una o más variables operativas del sistema de turbina eólica (100) en respuesta a monitorizar el parámetro de extracción de potencia incluye controlar la una o más variables operativas usando la velocidad del viento calculada.

3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el sistema de turbina eólica (100) incluye un rotor (106) adaptado para transformar la potencia eólica en una potencia de rotación mecánica, y en el que la potencia extraída por el sistema de turbina eólica (100) del viento es una potencia que fluye desde el rotor (106) al conjunto de conversión de potencia (210).

4. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3, en el que el conjunto de conversión de potencia (210) está adaptado para convertir la potencia eléctrica generada por un generador (118) incluido en el sistema de turbina eólica (100), en el que el generador (118) está adaptado para convertir la potencia de rotación mecánica en potencia eléctrica.

5. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el conjunto de conversión de potencia (210) está adaptado para convertir la potencia eléctrica generada por un generador (118) incluido en el sistema de turbina eólica (100), en el que el generador (118) está adaptado para convertir la potencia de rotación mecánica en potencia eléctrica, y en el que el parámetro de extracción de potencia es al menos uno de:

a) el par de torsión de entrehierro aplicado a un rotor de generador incluido en el generador (118);

b) la potencia generada por el generador (118);

c) el par de torsión aplicado a un eje rotatorio (112) incluido en el sistema de turbina eólica (100), estando acoplado de forma rotatoria el generador (118), por medio del eje rotatorio (112), a un rotor (106) incluido en el sistema de turbina eólica, estando adaptado el rotor para transformar la potencia eólica en la potencia de rotación mecánica; y

d) la velocidad de rotación de un eje rotatorio (112) incluido en el sistema de turbina eólica (100), estando acoplado de forma rotatoria el generador (118), por medio del eje rotatorio (112), a un rotor (106) incluido en el sistema de turbina eólica, estando adaptado el rotor para transformar la potencia eólica en la potencia de rotación mecánica.

6. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que controlar una o más variables operativas incluye al menos uno de:

a) controlar la velocidad de rotación del rotor (106);

b) controlar el *pitch* de al menos una pala (108) incluida en el rotor (106); y

c) controlar una carga magnética del generador (118).

7. Un sistema de turbina eólica (100) adaptado para funcionar a una potencia nominal que comprende:

a) un rotor (106) para transformar la potencia eólica en una potencia de rotación mecánica;

b) un generador (118) para convertir la potencia de rotación mecánica en potencia eléctrica;

c) un conjunto de conversión de potencia (210) para convertir la potencia eléctrica generada por el generador (118) en una potencia eléctrica convertida;

d) una primera unidad de monitorización adaptada para monitorizar un parámetro de flujo de potencia, siendo el parámetro de flujo de potencia indicativo de la potencia que fluye desde el rotor (106) al conjunto de conversión de potencia (210) antes de convertirse en el conjunto de conversión de potencia; y

e) una segunda unidad de monitorización configurada para monitorizar la potencia de salida del sistema de turbina eólica, en el que la potencia de salida incluye la potencia suministrada por el sistema de turbina eólica a una red eléctrica;

en el que el sistema de turbina eólica está configurado para controlarse de forma adaptativa dependiendo de si el sistema de turbina eólica funciona por debajo de su potencia nominal o si el sistema de turbina eólica funciona a o por encima de su potencia nominal, en el que una potencia en el sistema de turbina eólica se monitoriza en diferentes puntos operativos y el sistema de turbina eólica se controla posteriormente en respuesta a la monitorización, en el que los puntos operativos dependen de si el sistema de turbina eólica funciona por debajo de su potencia nominal o a/por encima de su potencia nominal, en el que el sistema de turbina eólica comprende además

una unidad de control (202) configurada para controlar una o más variables operativas del sistema de turbina eólica (100) en respuesta a recibir datos sobre el parámetro de flujo de potencia monitorizado mientras el sistema de turbina eólica funciona por debajo de su potencia nominal, proporcionándose los datos sobre el parámetro de flujo de potencia monitorizado a la unidad de control por la primera unidad de monitorización, y configurada además para controlar una o más variables operativas del sistema de turbina eólica (100) en respuesta a recibir datos sobre la potencia de salida monitorizada mientras el sistema de turbina eólica funciona a o por encima de su potencia nominal, proporcionándose los datos sobre la potencia de salida monitorizada a la unidad de control por la segunda unidad de monitorización, en la que la una o más variables operativas del sistema de turbina eólica que se controlan en respuesta a monitorizar la potencia de salida, y la una o más variables operativas que se controlan en respuesta a monitorizar el parámetro de flujo de potencia son las mismas variables operativas;

el sistema de turbina eólica (100) comprende además un transformador (234) para transmitir la potencia generada por el sistema de turbina eólica (100) a la red eléctrica, teniendo el transformador (234) un lado de transformador primario y uno secundario; y

la segunda unidad de monitorización está adaptada para monitorizar la potencia de salida del sistema de turbina eólica (100) en el lado de transformador primario y/o secundario.

8. El sistema de turbina eólica (100) de acuerdo con la reivindicación 7, en el que el sistema de turbina eólica

(100) comprende además:

- a) una primera unidad de control y una segunda unidad de control; y
 - 5 b) una unidad de selección de control configurada para poner en funcionamiento la primera unidad de control mientras el sistema de turbina eólica (100) funciona por debajo de su potencia nominal y para poner en funcionamiento la segunda unidad de control mientras el sistema de turbina eólica funciona a o por encima de su potencia nominal.
- 10 9. El sistema de turbina eólica (100) de acuerdo con la reivindicación 7, en el que el parámetro de flujo de potencia es al menos uno de:
- a) el par de torsión de entrehierro aplicado a un rotor de generador incluido en el generador (118);
 - 15 b) la potencia generada por el generador (118);
 - c) el par de torsión aplicado a un eje rotatorio (112) incluido en el sistema de turbina eólica (100), estando el rotor (106) acoplado de forma rotatoria al generador (118) por medio del eje rotatorio; y
 - 20 d) la velocidad de rotación de un eje rotatorio (112) incluido en el sistema de turbina eólica (100), estando el rotor (106) acoplado de forma rotatoria al generador (118) por medio del eje rotatorio (112).
10. Sistema de turbina eólica (100) de acuerdo con la reivindicación 7, en el que la una o más variables operativas controladas por la unidad de control (202) comprenden al menos una de:
- 25
- a) la velocidad de rotación del rotor (106);
 - b) el *pitch* de al menos una pala (108) incluida en el rotor (106); y
 - 30 c) una carga magnética del generador (118).

FIG. 1

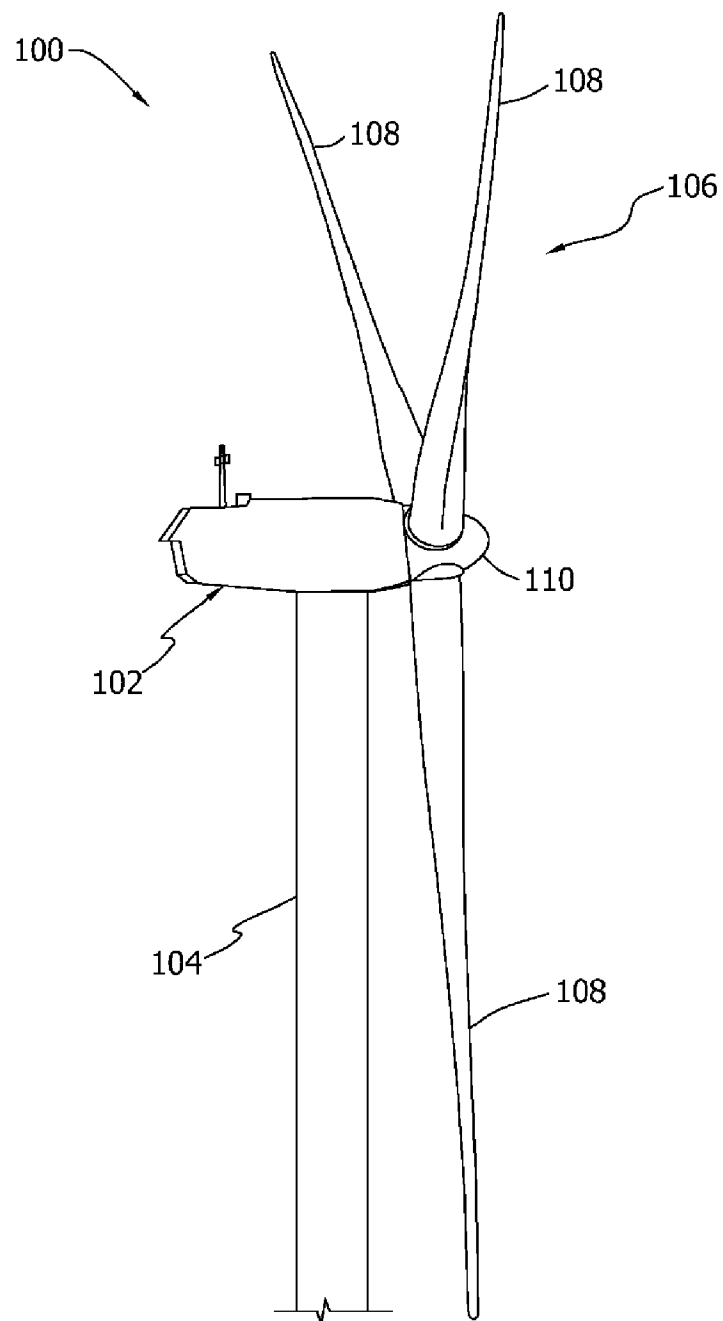


FIG. 2

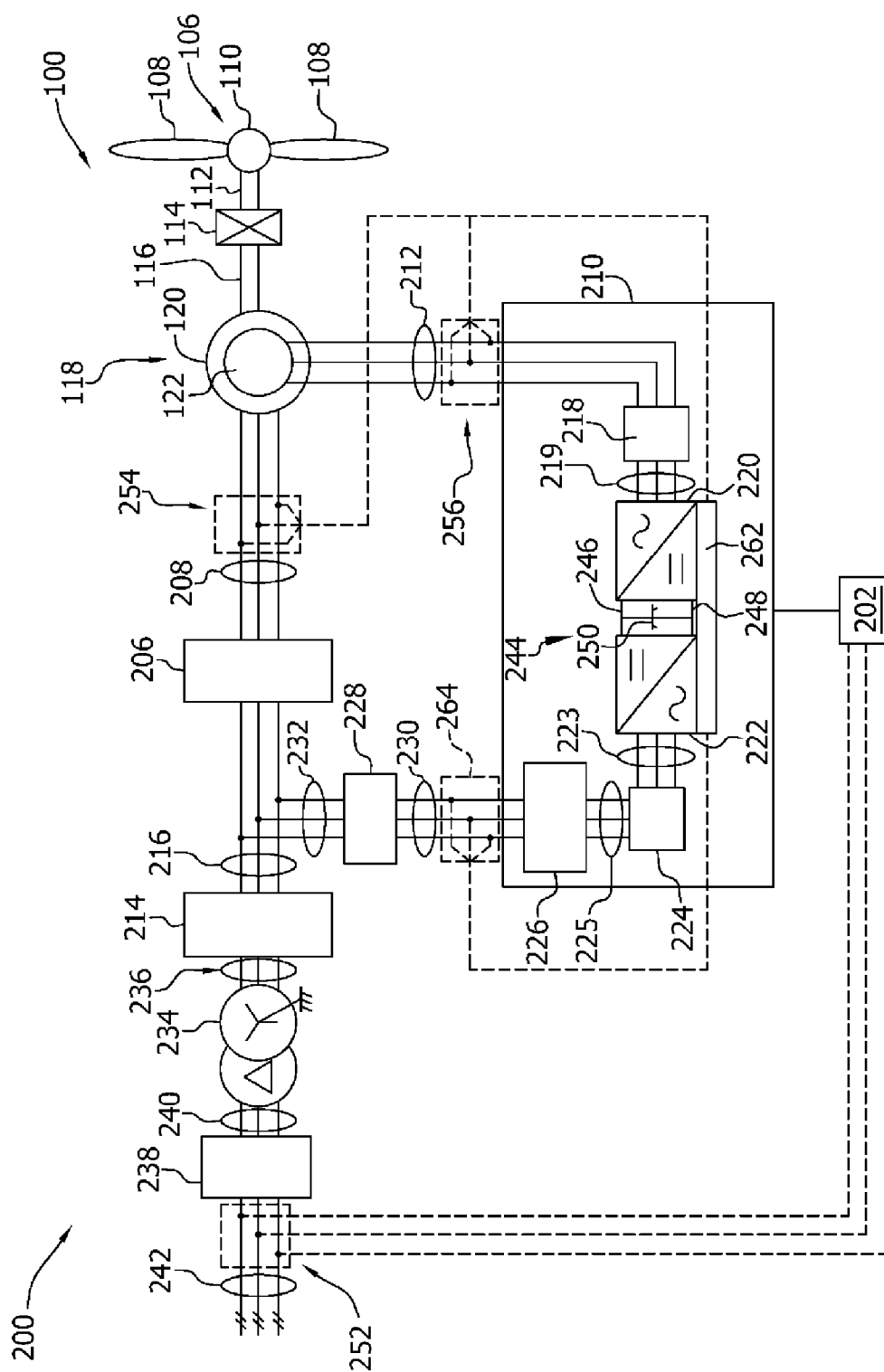


Fig. 3

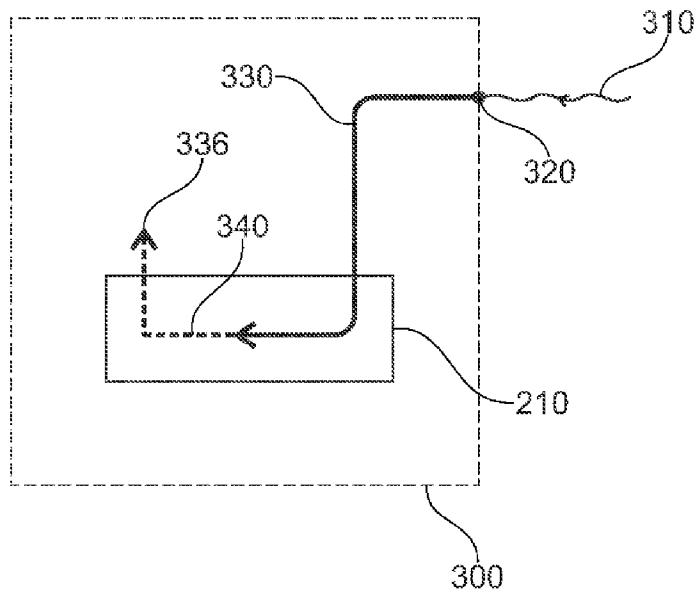


Fig. 4

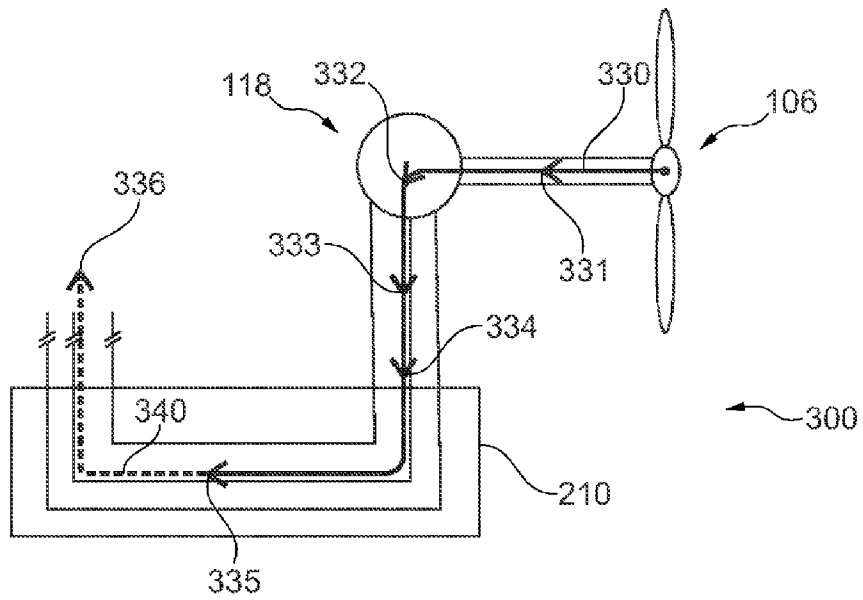


Fig. 5a

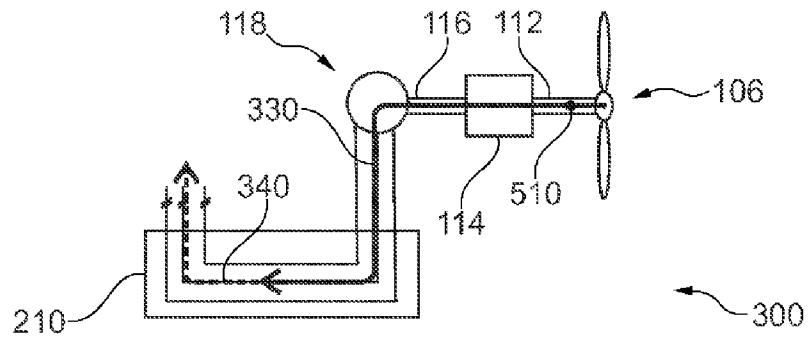


Fig. 5b

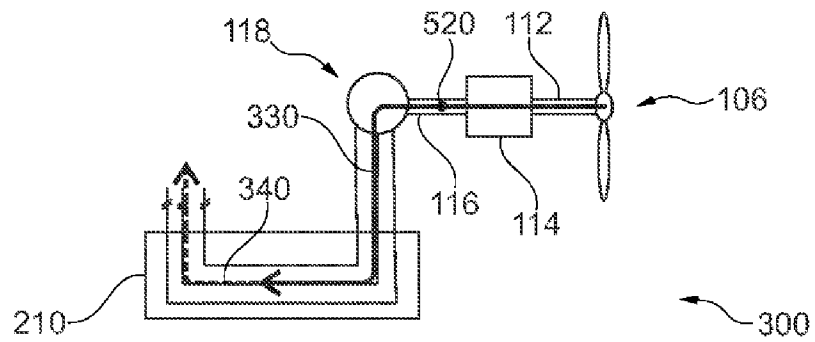


Fig. 5c

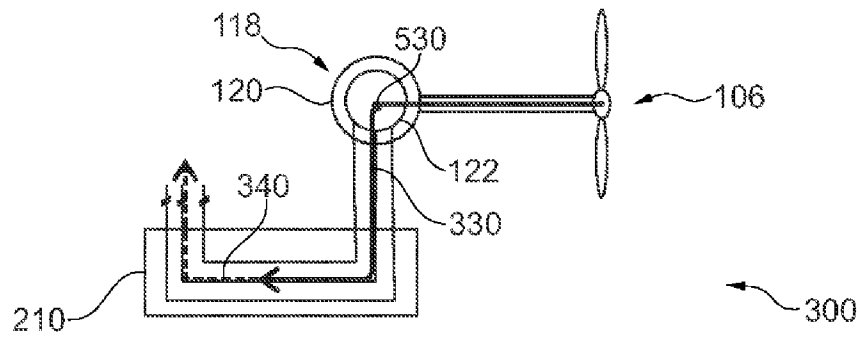


Fig. 5d

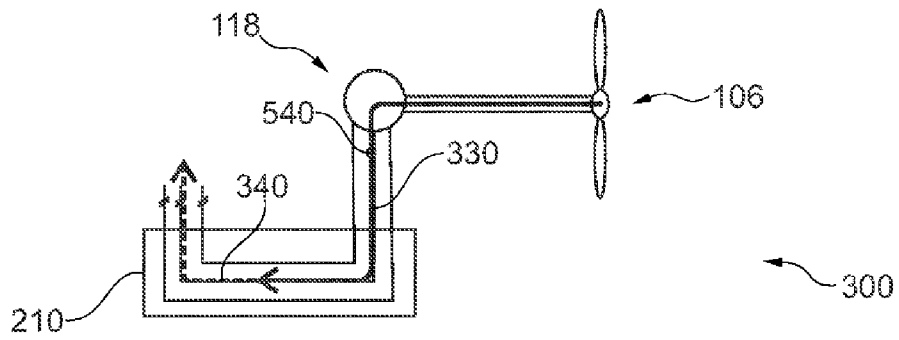


Fig. 6

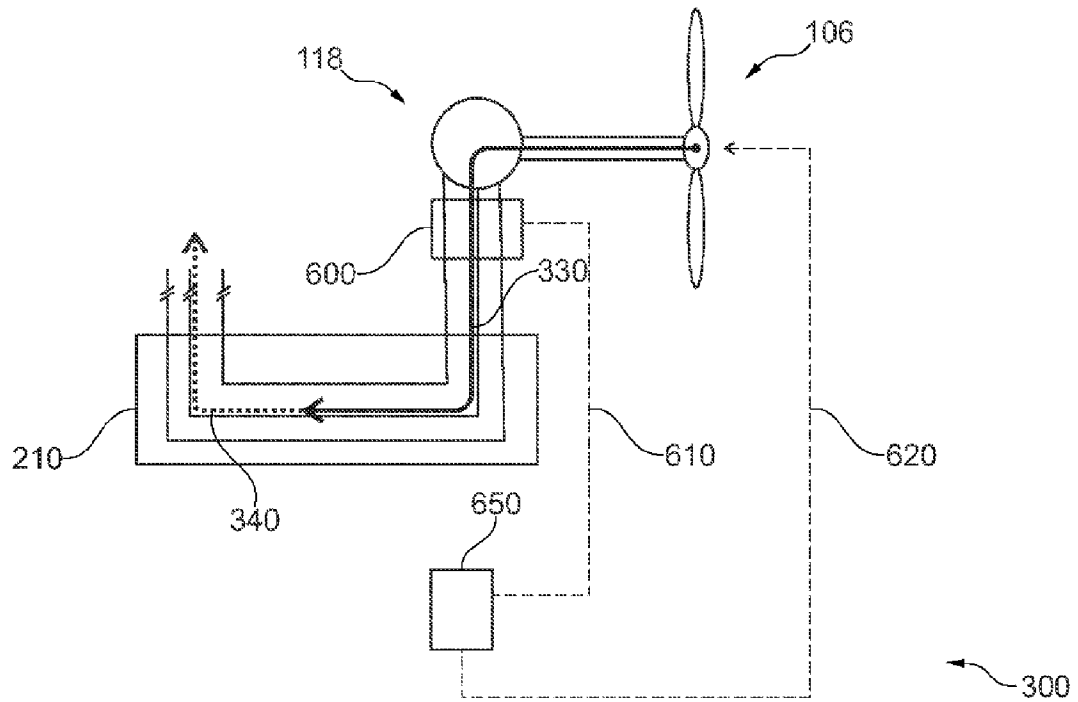


Fig. 7

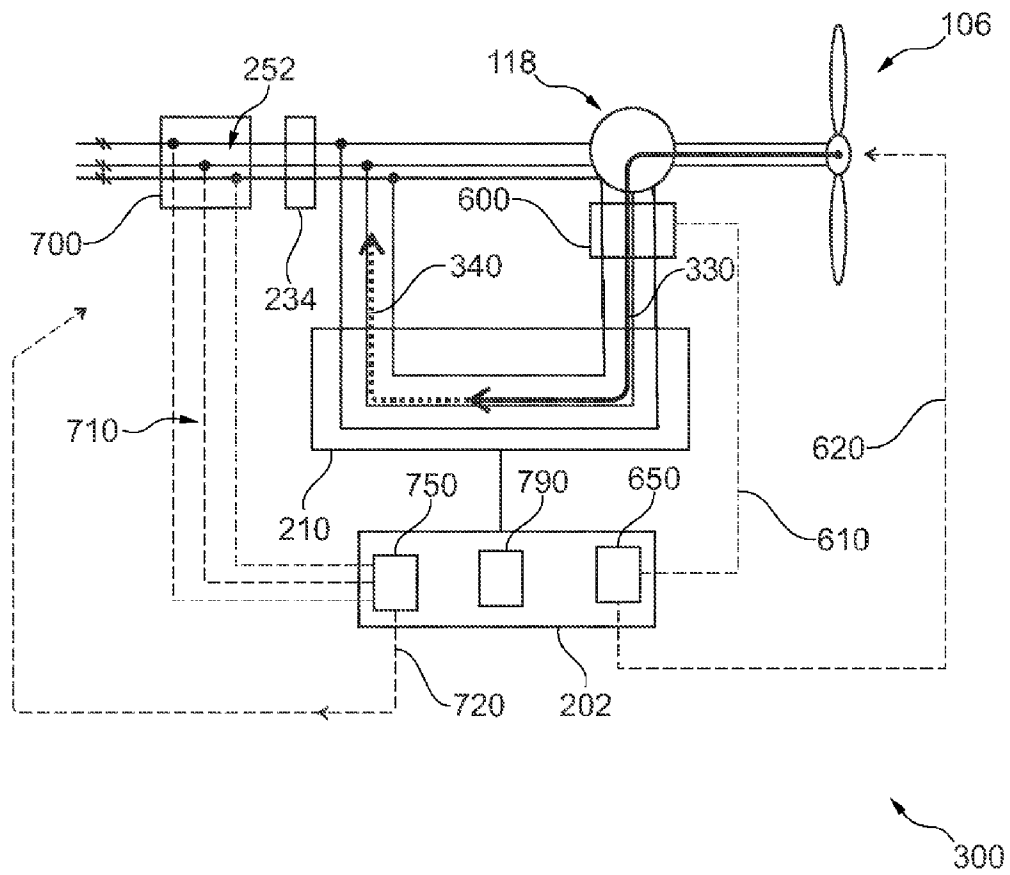


Fig. 8

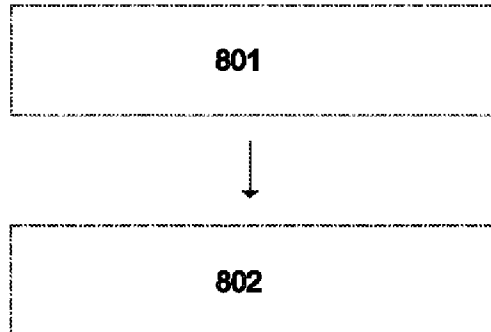


Fig. 9

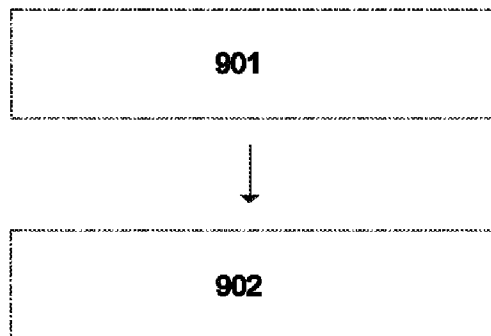


Fig. 10

