

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 968 243**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 17/00 (2006.01)

H02P 9/00 (2006.01)

H02P 9/06 (2006.01)

H02P 9/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.11.2020** **E 20206975 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.09.2023** **EP 3822479**

54 Título: **Sistema y procedimiento para controlar una turbina eólica**

30 Prioridad:

11.11.2019 US 201916679802

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

08.05.2024

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC RENOVABLES ESPAÑA,
S.L. (100.0%)**

**Calle Roc Boronat 78
08005 Barcelona, ES**

72 Inventor/es:

**MCCLURE, MICHAEL GRAHAM y
SOURI, RAMY**

74 Agente/Representante:

DE ROOIJ, Mathieu Julien

ES 2 968 243 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema y procedimiento para controlar una turbina eólica

5 Campo

La presente divulgación se refiere, en general, a turbinas eólicas, y más en particular a sistemas y procedimientos para controlar turbinas eólicas en base a una condición de corriente de un generador de la turbina eólica.

10 Antecedentes

La energía eólica se considera una de las fuentes de energía más limpias y más respetuosas con el medioambiente disponibles actualmente, y las turbinas eólicas han obtenido una creciente atención a este respecto. Una turbina eólica moderna típicamente incluye una torre, un generador, una caja de engranajes, una góndola y una o más palas de rotor. La góndola incluye un conjunto de rotor acoplado a la caja de engranajes y al generador. El conjunto de rotor y la caja de engranajes están montados en un bastidor de soporte de bancada localizado dentro de la góndola. La una o más palas de rotor captan energía cinética del viento usando principios de perfil alar conocidos. Las palas de rotor transmiten la energía cinética en forma de energía de rotación para girar un eje que acopla las palas de rotor a una caja de engranajes o, si no se usa una caja de engranajes, directamente al generador. A continuación, el generador convierte la energía mecánica en energía eléctrica, la energía eléctrica se puede transmitir a un convertidor y/o un transformador alojado dentro de la torre y, posteriormente, distribuirse a una red de suministro. El documento US 2019/081473 A1 divulga un ejemplo de una turbina eólica.

Cuando se instala, la turbina eólica puede tener una potencia nominal basada en la capacidad de generación eléctrica del generador y los componentes correspondientes para una envolvente operativa determinada. Típicamente, el generador gira a una velocidad de rotación constante para proporcionar la potencia nominal para todas las condiciones ambientales y de red anticipadas dentro de la envolvente operativa de la turbina eólica. Como tal, el generador está dimensionado, en general, para proporcionar la potencia nominal sin que la condición de corriente del generador se aproxime nunca a un límite dependiente de la corriente para el generador. Dicho dimensionamiento puede requerir que el generador sea más grande de lo que se requeriría de otro modo para producir la potencia nominal. Por tanto, si bien los atributos físicos del generador pueden permitir que el generador genere energía en exceso de la potencia nominal, hacerlo puede dar como resultado que las condiciones de corriente del generador tengan más probabilidades de encontrar un límite de diseño para el generador.

Durante la vida útil de la turbina eólica, ésta puede actualizarse con componentes que permitan que la turbina eólica tenga una potencia nominal actualizada. En otras palabras, la turbina eólica actualizada puede comercializarse como si tuviera la capacidad de producir más electricidad de la que era producible cuando se instaló. Sin embargo, esta potencia nominal actualizada está limitada por la capacidad del generador para generar potencia a la potencia nominal deseada, para la envolvente operativa dado, sin encontrar límites de diseño. Típicamente, si se aproximan los límites de diseño, el generador puede comenzar a reducir su potencia, lo que da como resultado una producción de potencia por debajo del nivel deseado para las condiciones dadas. Esto, a su vez, puede establecer un límite superior en la potencia nominal actualizada de la turbina eólica.

Por ejemplo, una turbina eólica puede tener una potencia nominal de 1,6 MW y puede ser deseable actualizar la turbina eólica para comercializarla como capaz de proporcionar 1,95 MW a la red eléctrica. Sin embargo, intentar proporcionar 1,95 MW con el generador que tiene una velocidad de rotación constante puede dar como resultado que la corriente del generador alcance los límites de diseño, lo que requerirá que se reduzca la potencia del generador. En dicha situación, la reducción de potencia puede requerir comercializar la turbina eólica como si solo pudiera proporcionar 1,85 MW a la red eléctrica en toda la envolvente operativa de la turbina eólica.

Por lo tanto, la técnica busca continuamente sistemas nuevos y mejorados para controlar la turbina eólica y operar el generador más cerca de los límites de diseño sin reducir la potencia del generador. En consecuencia, la presente divulgación se refiere a sistemas y procedimientos para controlar una turbina eólica para ajustar la velocidad del generador y alterar un equilibrio rotor/estátor.

60 Breve descripción

Los aspectos y ventajas de la invención se expondrán en parte en la siguiente descripción, o pueden resultar evidentes a partir de la descripción.

En un aspecto, la presente divulgación se refiere a un procedimiento para controlar una turbina eólica. El procedimiento puede incluir determinar, por medio de un controlador, una condición de corriente del generador de la turbina eólica como se define en la reivindicación 1 adjunta.

En un modo de realización, el procedimiento también puede incluir recibir, con el controlador, datos indicativos de una condición de red eléctrica. El procedimiento también puede incluir recibir, con el controlador, datos indicativos de una condición ambiental. La condición de corriente puede depender, al menos en parte, de la condición de red y de la condición ambiental.

En un modo de realización, el límite dependiente de la corriente puede ser un límite de alta velocidad correspondiente a un límite de corriente del rotor del generador. En un modo de realización adicional, afectar a la velocidad del generador puede incluir ajustar un parámetro de operación de la turbina eólica para reducir una velocidad del eje del generador.

En un modo de realización adicional, ajustar el parámetro de operación de la turbina eólica puede incluir recibir, con el controlador, datos indicativos de una condición ambiental. El procedimiento también puede incluir recibir, con el controlador, una indicación de consigna de *pitch* para un rotor de la turbina eólica en la condición ambiental determinada. Adicionalmente, el procedimiento puede incluir recibir, con el controlador, datos indicativos de una velocidad de rotación para un eje rápido de la turbina eólica. El procedimiento puede incluir además seleccionar, con el controlador, el parámetro de operación para el ajuste en base a en la consigna de *pitch* del rotor, la velocidad de rotación del eje rápido y la condición de corriente del generador.

En un modo de realización, ajustar el parámetro de operación de la turbina eólica puede incluir incrementar el par de torsión del generador.

En un modo de realización, ajustar el parámetro de operación de la turbina eólica también puede incluir *pitchear* al menos una pala del rotor de la turbina eólica para desacelerar el rotor de la turbina eólica para la condición ambiental determinada.

En un modo de realización adicional, el límite dependiente de la corriente puede ser un límite de baja velocidad correspondiente a un límite de corriente del estátor. En un modo de realización, afectar a la velocidad del generador también puede incluir ajustar un parámetro de operación de la turbina eólica para incrementar una velocidad del eje del generador. En otro modo de realización, ajustar el parámetro de operación puede incluir determinar, con el controlador, datos indicativos de una condición ambiental. El procedimiento puede incluir recibir, con el controlador, una indicación de consigna de *pitch* para un rotor de la turbina eólica en la condición ambiental determinada. El procedimiento puede incluir recibir, con el controlador, datos indicativos de una velocidad de rotación para un eje rápido de la turbina eólica. El procedimiento puede incluir además seleccionar, con el controlador, el parámetro de operación para el ajuste en base a en la consigna de *pitch* del rotor, la velocidad de rotación del eje rápido y la condición de corriente.

En otro modo de realización, ajustar el parámetro de operación de la turbina eólica puede incluir disminuir el par de torsión del generador.

Adicionalmente, en un modo de realización, ajustar el parámetro de operación de la turbina eólica también puede incluir *pitchear* al menos una pala del rotor de la turbina eólica para acelerar el rotor de la turbina eólica para la condición ambiental determinada.

En un modo de realización, el procedimiento puede incluir establecer una potencia de salida del generador que sea mayor que una potencia nominal designada para el generador.

En otro aspecto, la presente divulgación se refiere a un sistema para controlar una turbina eólica como se define en la reivindicación 14 adjunta.

En un modo de realización, el sistema también puede incluir un sensor de red acoplado operativamente a una red de energía eléctrica y al controlador de convertidor o al controlador de la turbina. El sensor de red puede configurarse para detectar una condición de red anticipada para llevar la condición de corriente al límite dependiente de la corriente.

En un modo de realización, el sistema también puede incluir un sensor ambiental acoplado operativamente al controlador de turbina para recopilar datos indicativos de una condición ambiental. El sensor ambiental puede configurarse para detectar una condición ambiental anticipada para llevar la condición de corriente al límite dependiente de la corriente.

En un modo de realización adicional, el sistema también puede incluir un sensor de *pitch* acoplado operativamente a al menos una pala del rotor de la turbina eólica y al controlador de turbina. El sensor de *pitch* puede configurarse para comunicar una indicación de consigna de *pitch* al controlador de turbina. El sistema puede incluir un sensor de velocidad de rotación acoplado operativamente al controlador de turbina. El sensor de velocidad de rotación puede estar dirigido a un eje rápido de la turbina eólica. El controlador de turbina puede configurarse para seleccionar un parámetro de operación a ajustar para que afecte a la velocidad del generador

en base a, al menos, la consigna de *pitch* del rotor, la velocidad de rotación del eje rápido y la condición de corriente.

En un modo de realización, el sistema puede incluir un mecanismo de control de *pitch* de pala acoplado operativamente a la(s) pala(s) de la turbina eólica para establecer la consigna de *pitch*.

En otro modo de realización, el sistema puede incluir un convertidor acoplado operativamente al generador en el controlador de turbina. El convertidor puede configurarse para incrementar o disminuir un parámetro de par de torsión del generador para reducir o incrementar una consigna de velocidad del generador.

En otro modo de realización, el procedimiento puede incluir operar un generador de la turbina eólica a una nueva potencia nominal que es mayor que una potencia nominal para el generador.

Se debe entender que el sistema puede incluir además cualquiera de las etapas y/o rasgos característicos adicionales descritos en el presente documento.

Estos y otros rasgos característicos, aspectos y ventajas de la presente invención se entenderán mejor con referencia a la siguiente descripción y reivindicaciones adjuntas. Los dibujos adjuntos, que se incorporan en y constituyen una parte de esta memoria descriptiva, ilustran modos de realización de la invención y, conjuntamente con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención.

Breve descripción de los dibujos

Una divulgación completa y suficiente de la presente invención, incluyendo el mejor modo de la misma, dirigida a un experto en la técnica, se expone en la memoria descriptiva, que hace referencia a las figuras adjuntas, en las que:

La FIG. 1 ilustra una vista en perspectiva de un modo de realización de una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;

La FIG. 2 ilustra una vista interna, en perspectiva de una góndola de una turbina eólica de acuerdo con un modo de realización de la presente divulgación;

La FIG. 3 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un sistema de potencia de turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;

La FIG. 4 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un sistema para operar una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación, que ilustra en particular un diagrama esquemático de un controlador de la turbina eólica;

La FIG. 5 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de una lógica de control de un sistema para operar una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;

La FIG. 6 ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento para operar una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación; y

La FIG. 7 ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento para actualizar una capacidad de producción de potencia de una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación.

Se pretende que el uso repetido de caracteres de referencia en la presente memoria descriptiva y dibujos represente idénticos o análogos rasgos característicos o elementos de la presente invención.

Descripción detallada

Ahora se hará referencia en detalle a modos de realización de la invención, ilustrándose uno o más de sus ejemplos en los dibujos. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la invención, no de limitación de la invención. De hecho, resultará evidente para los expertos en la técnica que se pueden realizar diversas modificaciones y variaciones en la presente invención sin apartarse de los alcances de la invención. Por ejemplo, los rasgos característicos ilustrados o descritos como parte de un modo de realización se pueden usar con otro modo de realización para proporcionar todavía otro modo de realización. Por tanto, se pretende que la presente invención cubra dichas modificaciones y variaciones como dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

Como se usan en el presente documento, los términos "primero", "segundo" y "tercero" se pueden usar de manera intercambiable para distinguir un componente de otro y no se pretende que signifiquen la ubicación o importancia de los componentes individuales.

Los términos "acoplado", "fijado", "sujeto a" y similares se refieren tanto al acoplamiento, fijación o sujeción directos como al acoplamiento, fijación o sujeción indirectos a través de uno o más componentes o rasgos característicos intermedios, a menos que se especifique de otro modo en el presente documento.

Se aplica un lenguaje aproximado, como se usa en el presente documento a lo largo de la memoria descriptiva y de las reivindicaciones, para modificar cualquier representación cuantitativa que podría variar de forma permisible sin dar como resultado un cambio en la función básica con la que se relaciona. En consecuencia, un valor modificado por un término o términos, tal como "aproximadamente" y "sustancialmente", no se debe limitar al valor preciso especificado. En al menos algunos casos, el lenguaje aproximado puede corresponder a la precisión de un instrumento para medir el valor, o la precisión de los procedimientos o máquinas para construir o fabricar los componentes y/o sistemas. Por ejemplo, el lenguaje aproximado se puede referir a estar dentro de un margen de un 10 %.

Aquí y a lo largo de la memoria descriptiva, las limitaciones de intervalo se combinan e intercambian, dichos intervalos se identifican e incluyen todos los subintervalos contenidos en los mismos a menos que el contexto o el lenguaje lo indique de otro modo. Por ejemplo, todos los intervalos divulgados en el presente documento incluyen los valores extremo, y los valores extremo son independientemente combinables entre sí.

En general, la presente divulgación se refiere a sistemas y procedimientos para controlar una turbina eólica. En particular, la presente divulgación puede incluir un sistema y un procedimiento que pueden facilitar la operación de una turbina eólica actualizada a potencias nominales más altas que la potencia nominal presente cuando se instaló la turbina eólica. Los sistemas y procedimientos descritos en el presente documento pueden ser particularmente aplicables cuando un sistema convertidor-generador se aproxima a una condición subóptima que reduce la eficiencia o capacidad del sistema. Esto puede deberse a que el sistema alcance o se aproxime a una operación no deseado en base a la corriente, el voltaje o la eficiencia de nivel del sistema. En particular, la presente divulgación puede incluir la determinación de una condición de corriente del generador de la turbina eólica. Esta condición de corriente puede compararse entonces con un límite dependiente de la corriente del generador. En un modo de realización, el límite dependiente de la corriente puede ser un límite o umbral asociado con la cantidad de corriente que puede pasar a través de los devanados del rotor o del estátor del generador. Por ejemplo, esta puede ser la cantidad de corriente que puede pasar a través de los devanados sin generar una cantidad inaceptable de calor en el componente. Adicionalmente, este también puede ser el nivel de corriente que puede pasar antes de que el campo magnético generado por el componente se vuelva inestable en relación con el campo magnético producido por el componente opuesto. Si la condición de corriente se aproxima al límite dependiente de la corriente del rotor, el controlador puede afectar a la velocidad del generador para ralentizar el rotor y, de este modo, disminuir la corriente que pasa a través del rotor mientras se incrementa la corriente que pasa a través del estátor. Por otro lado, la velocidad del generador se puede incrementar si la condición de corriente se aproxima al límite dependiente de la corriente del estátor. Para afectar a la velocidad del generador, por ejemplo, un controlador de turbina puede afectar a un parámetro de operación de la turbina eólica tal como la consigna de *pitch* del rotor de la turbina eólica, la velocidad de rotación del eje rápido y/o el par de torsión del generador.

Debe apreciarse que operar el generador a velocidades de rotación variables puede permitir un reequilibrado del equilibrio rotor/estátor. El reequilibrado del equilibrio rotor/estátor puede, a su vez, permitir la operación de la turbina eólica a una potencia nominal mayor en toda la envolvente operativa de la turbina eólica eliminando o posponiendo el cruce de un límite dependiente de la corriente para la potencia nominal dada. Debe apreciarse además que reequilibrar el equilibrio rotor/estátor puede mejorar la eficiencia y/o capacidad del sistema.

En referencia ahora a los dibujos, la FIG. 1 ilustra una vista en perspectiva de un modo de realización de una turbina eólica 100 de acuerdo con la presente divulgación. Como se muestra, la turbina eólica 100 en general incluye una torre 102 que se extiende desde una superficie de soporte 104, una góndola 106 montada en la torre 102 y un rotor 108 acoplado a la góndola 106. El rotor 108 incluye un buje rotatorio 110 y al menos una pala de rotor 112 acoplada a y que se extiende hacia fuera del buje 110. Por ejemplo, en el modo de realización ilustrado, el rotor 108 incluye tres palas de rotor 112. Sin embargo, en un modo de realización alternativo, el rotor 108 puede incluir más o menos de tres palas de rotor 112. Cada pala de rotor 112 se puede espaciar alrededor del buje 110 para facilitar la rotación del rotor 108 para permitir que la energía cinética se transfiera del viento a energía mecánica utilizable y, posteriormente, energía eléctrica. Por ejemplo, el buje 110 se puede acoplar de forma rotatoria a un generador eléctrico 118 (FIG. 2) situado dentro de la góndola 106 para permitir que se produzca energía eléctrica.

La turbina eólica 100 también puede incluir un controlador 202 (FIGS. 2 y 3). En un modo de realización, el controlador 202 puede ser un controlador de turbina eólica 204 centralizado dentro de la góndola 106. No obstante, en otros modos de realización, el controlador 202 puede estar ubicado dentro de cualquier otro componente de turbina eólica 100 o en una ubicación fuera de la turbina eólica. Además, el controlador 202 puede estar acoplado en comunicación a cualquier número de componentes de la turbina eólica 100 para controlar los componentes. Como tal, el controlador 202 puede incluir un ordenador u otra unidad de procesamiento adecuada. Por tanto, en varios modos de realización, el controlador 202 puede incluir

instrucciones legibles por ordenador adecuadas que, cuando se implementan, configuran el controlador 202 para realizar diversas funciones diferentes, tales como recibir, transmitir y/o ejecutar señales de control de turbina eólica.

- 5 En referencia ahora a las FIG. 2, se ilustra una vista interna simplificada de un modo de realización de la góndola 106 de la turbina eólica 100 mostrada en la FIG. 1. Como se muestra, el generador 118 se puede acoplar al rotor 108 para producir potencia eléctrica a partir de la energía de rotación generada por el rotor 108. Por ejemplo, como se muestra en el modo de realización ilustrado, el rotor 108 puede incluir un eje de rotor 122 acoplado al buje 110 para su rotación con el mismo. El eje de rotor 122 se puede soportar de forma rotatoria por un rodamiento principal 144. El eje de rotor 122, a su vez, se puede acoplar de forma rotatoria a un eje rápido 124 del generador 118 a través de una caja de engranajes 126 conectada a un bastidor de soporte de bancada 136 mediante uno o más brazos de par de torsión 142. Como se entiende, en general, el eje de rotor 122 puede proporcionar una entrada de par de torsión alto y velocidad baja a la caja de engranajes 126 en respuesta a la rotación de las palas de rotor 112 y del buje 110. La caja de engranajes 126 puede estar configurada entonces para convertir la entrada de par de torsión alto y velocidad baja en una salida de par de torsión bajo y velocidad alta para accionar el eje rápido 124 y, por tanto, el generador 118. En un modo de realización, la caja de engranajes 126 se puede configurar con múltiples proporciones de engranajes para producir velocidades de rotación variables del eje rápido para una entrada de velocidad baja dada o viceversa.
- 10 Cada pala de rotor 112 puede incluir también un mecanismo de control de *pitch* 120 configurado para rotar cada pala de rotor 112 alrededor de su eje de *pitch* 116. El mecanismo de control de *pitch* 120 puede incluir un controlador de *pitch* 150 configurado para recibir al menos una instrucción de consigna de *pitch* desde el controlador 202. Además, cada mecanismo de control de *pitch* 120 puede incluir un motor de accionamiento de *pitch* 128 (por ejemplo, cualquier motor eléctrico, hidráulico o neumático adecuado), una caja de engranajes de accionamiento de *pitch* 130 y un piñón de accionamiento de *pitch* 132. En dichos modos de realización, el motor de accionamiento de *pitch* 128 se puede acoplar a la caja de engranajes de accionamiento de *pitch* 130 de modo que el motor de accionamiento de *pitch* 128 imparta fuerza mecánica a la caja de engranajes de accionamiento de *pitch* 130. De forma similar, la caja de engranajes de accionamiento de *pitch* 130 se puede acoplar al piñón de accionamiento de *pitch* 132 para la rotación con el mismo. El piñón de accionamiento de *pitch* 132 puede estar, a su vez, en enganche rotacional con un rodamiento de *pitch* 134 acoplado entre el buje 110 y una correspondiente pala de rotor 112 de modo que la rotación del piñón de accionamiento de *pitch* 132 provoca la rotación del rodamiento de *pitch* 134. Por tanto, en dichos modos de realización, la rotación del motor de accionamiento de *pitch* 128 acciona la caja de engranajes de accionamiento de *pitch* 130 y el piñón de accionamiento de *pitch* 132, rotando, de este modo, el rodamiento de *pitch* 134 y la(s) pala(s) de rotor 112 alrededor del eje de *pitch* 116. De forma similar, la turbina eólica 100 puede incluir uno o más mecanismos de accionamiento de orientación 138 acoplados de forma comunicativa al controlador 202, estando configurado cada mecanismo de accionamiento de orientación 138 para cambiar el ángulo de la góndola 106 con respecto al viento (por ejemplo, acoplándose a un rodamiento de orientación 140 de la turbina eólica 100).
- 20 La rotación de cada pala de rotor 112 alrededor de su eje de *pitch* 116 mediante su respectivo mecanismo de control de *pitch* 120 puede establecer un ángulo de *pitch* para cada una de las palas de rotor 112. En un modo de realización, el ángulo de *pitch* puede ser una desviación angular con respecto a una localización de *pitch* cero. La localización de *pitch* cero puede establecerse, por ejemplo, durante la instalación de las palas en base a una referencia mecánica en el encastre de pala o una protuberancia que desencadena un interruptor de límite para automatizar el proceso de calibración. El controlador 202 puede hacer un seguimiento del ángulo de *pitch* de la(s) pala(s) de rotor 112 en base a una desviación acumulativa con respecto a la localización de *pitch* cero. Por tanto, el controlador 202 puede transmitir la(s) instrucción(es) de consigna de *pitch* a los mecanismos de control de *pitch* 120 ordenando que la(s) pala(s) de rotor 112 roten un número específico de grados, según considere un codificador montado en el motor, en relación con el ángulo de *pitch* percibido de la(s) pala(s) de rotor 112.
- 25 Todavía en referencia a la FIG. 2, uno o más sensores 214, 216, 218 (FIG. 1) se pueden proporcionar en la turbina eólica 100 para monitorizar el rendimiento de la turbina eólica 100 y/o las condiciones ambientales que afectan a la turbina eólica 100. También se debe apreciar que, como se usa en el presente documento, el término "monitorizar" y variaciones del mismo indican que los diversos sensores de la turbina eólica 100 se pueden configurar para proporcionar una medición directa de los parámetros que se monitorizan o una medición indirecta de dichos parámetros. Por tanto, se pueden usar los sensores descritos en el presente documento, por ejemplo, para generar señales en relación con el parámetro que se monitoriza, que, a continuación, se puede utilizar por el controlador 202 para determinar la condición.
- 30 En referencia de nuevo a la FIG. 3, en al menos un modo de realización, el generador 118 puede ser un generador de inducción de doble alimentación (DFIG). Además, el generador 118 puede incluir un rotor y un estátor y se puede acoplar a un bus de estátor 154 y a un convertidor de potencia 162 por medio de un bus de rotor 156. El bus de estátor 154 puede proporcionar una potencia multifásica de salida (por ejemplo, potencia trifásica) desde un estátor del generador 118, y el bus de rotor 156 puede proporcionar una potencia multifásica de salida (por ejemplo, potencia trifásica) desde un rotor del generador 118. En referencia al convertidor de potencia 162, el generador 118 se puede acoplar por medio del bus de rotor 156 a un convertidor de lado de rotor

166. El convertidor de lado de rotor 166 se puede acoplar a un convertidor de lado de línea 168 que, a su vez, se puede acoplar a un bus de rotor 188.

En un modo de realización, el convertidor de lado de rotor 166 y el convertidor de lado de línea 168 se pueden configurar para el modo operativo normal en una disposición trifásica de modulación por ancho de pulso (PWM) usando transistores bipolares de puerta aislada (IGBT) o elementos de conmutación similares. El convertidor de lado de rotor 166 y el convertidor de lado de línea 168 se pueden acoplar por medio de un enlace de CC 146 en el cual hay un condensador de enlace de CC 148. En un modo de realización, un transformador 178, tal como un transformador de tres devanados, se puede acoplar al bus de rotor 188, al bus de estátor 154 y a un bus de sistema 160. El transformador 178 puede convertir el voltaje de potencia del bus de rotor 188 y del bus de estátor 154 a un voltaje adecuado para suministrar a una red eléctrica 184 por medio del bus de sistema 160.

El convertidor de potencia 162 puede estar acoplado a un controlador 202 para controlar la operación del convertidor de lado de rotor 166 y del convertidor de lado de línea 168 como un controlador de convertidor 220. Cabe destacar también que el controlador de convertidor 220 puede configurarse como una interfaz entre el convertidor de potencia 162 y el controlador de turbina 204. En una implementación, el controlador de convertidor 220 puede incluir un dispositivo de procesamiento (por ejemplo, microprocesador, microcontrolador, etc.) que ejecute instrucciones legibles por ordenador almacenadas en un medio legible por ordenador. Las instrucciones, cuando se ejecutan por el dispositivo de procesamiento, pueden provocar que el dispositivo de procesamiento realice operaciones, incluyendo proporcionar consignas de control (por ejemplo, consignas de modulación por ancho de pulso) a los elementos de conmutación del convertidor de potencia 162.

En operación, la potencia de corriente alterna generada en el generador 118 al hacer rotar el rotor 108 se puede proporcionar por medio de una ruta doble a una red eléctrica 184. Las rutas dobles pueden estar definidas por el bus de estátor 154 y el bus de rotor 156. En el lado de bus de rotor 156, se puede proporcionar potencia de corriente alterna (CA) multifásica (por ejemplo, trifásica) sinusoidal al convertidor de potencia 162. El convertidor de potencia de lado de rotor 166 puede convertir la potencia de CA proporcionada desde el bus de rotor 156 en potencia de corriente continua (CC) y proporcionar la potencia de CC al enlace de CC 146. Los elementos de conmutación (por ejemplo, IGBT) usados en circuitos en derivación del convertidor de potencia de lado de rotor 166 se pueden modular para convertir la potencia de CA proporcionada desde el bus de rotor 156 en potencia de CC adecuada para el enlace de CC 146.

El convertidor de lado de línea 168 puede convertir la potencia de CC en el enlace de CC 146 en potencia de salida de CA adecuada para la red eléctrica 184, tal como potencia de CA síncrona a la red eléctrica 184, que puede transformarse mediante el transformador 178 antes de proporcionarse a la red eléctrica 184. En particular, los elementos de conmutación (por ejemplo, IGBT) usados en circuitos en derivación del convertidor de potencia de lado de línea 168 se pueden modular para convertir la potencia de CC en el enlace de CC 146 en potencia de CA en el bus de rotor de línea 188. La potencia de CA desde el convertidor de potencia 162 se puede combinar con la potencia desde el estátor del generador 118 para proporcionar potencia multifásica (por ejemplo, potencia trifásica) que tenga una frecuencia mantenida sustancialmente a la frecuencia de la red eléctrica 184 (por ejemplo, 50 Hz/60 Hz).

El convertidor de potencia 162 puede recibir señales de control de, por ejemplo, el controlador de convertidor 220. Las señales de control pueden basarse, entre otras cosas, en condiciones detectadas o características operativas de la turbina eólica 100. Las señales de control pueden proporcionar el control de la operación del convertidor de potencia 162. Por ejemplo, retroalimentación en forma de velocidad detectada del generador 118 puede usarse para controlar la conversión de la potencia de salida del bus de rotor 156 para mantener un suministro de potencia multifásica (por ejemplo, trifásica) adecuado y equilibrado. También se puede usar otra retroalimentación de otros sensores por el controlador de convertidor 220 para controlar el convertidor de potencia 162, incluyendo, por ejemplo, retroalimentaciones de corriente y voltajes de bus de rotor y estátor. Usando las diversas formas de información de retroalimentación, se pueden generar señales de control de conmutación (por ejemplo, consignas de temporización de puerta para IGBT), señales de control de sincronización de estátor y señales de disyuntor de circuito.

En algunas implementaciones, el convertidor de potencia 162 puede controlarse para producir potencia reactiva para cumplir con un requisito de producción de potencia reactiva. El requisito de producción de potencia reactiva puede recibirse como una señal de red para satisfacer una condición de red de la red eléctrica conectada 184.

Se pueden incluir en la turbina eólica 100 diversos interruptores y disyuntores de circuito, tales como un disyuntor de bus de línea 186, disyuntor de bus de estátor 158 y disyuntor de red 182, para conectar o desconectar los correspondientes buses, por ejemplo, cuando el flujo de corriente es excesivo y puede dañar los componentes de la turbina eólica 100 o para otras consideraciones operativas. También se pueden incluir componentes de protección adicionales en la turbina eólica 100.

En referencia ahora a las FIGS. 4-5, se presentan diagramas esquemáticos de múltiples modos de realización de un sistema 200 para controlar una turbina eólica 100 de acuerdo con la presente divulgación. Como se muestra

en particular en la FIG. 4, se pueden incluir componentes adecuados dentro del controlador 202 de acuerdo con la presente divulgación. Por ejemplo, como se muestra, el controlador 202 puede incluir uno o más procesadores 206 y dispositivos de memoria asociados 208 configurados para realizar una variedad de funciones implementadas por ordenador (por ejemplo, realizar los procedimientos, etapas, cálculos, y similares, y almacenar datos pertinentes divulgados en el presente documento). Adicionalmente, el controlador 202 también puede incluir un módulo de comunicaciones 210 para facilitar las comunicaciones entre el controlador 202 y los diversos componentes de la turbina eólica 100. Además, el módulo de comunicaciones 210 puede incluir una interfaz de sensor 212 (por ejemplo, uno o más convertidores de analógico a digital) para permitir que las señales transmitidas desde uno o más sensores 214, 216, 218, 224 se conviertan en señales que se puedan entender y procesar por los procesadores 206. Se debe apreciar que los sensores 214, 216, 218, 224 se pueden acoplar de forma comunicativa al módulo de comunicaciones 210 usando cualquier medio adecuado. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 4, los sensores 214, 216, 218, 224 están acoplados a la interfaz de sensor 212 por medio de una conexión por cable. Sin embargo, en otros modos de realización, los sensores 214, 216, 218, 224 se pueden acoplar a la interfaz de sensor 212 por medio de una conexión inalámbrica, tal como usando cualquier protocolo de comunicaciones inalámbricas adecuado conocido en la técnica.

Como se usa en el presente documento, el término "procesador" no solo se refiere a circuitos integrados a los que se hace referencia en la técnica como que se incluyen en un ordenador, sino que también se refiere a un controlador, un microcontrolador, un microordenador, un controlador de lógica programable (PLC), un circuito integrado específico de aplicación y otros circuitos programables. Adicionalmente, el/los dispositivo(s) de memoria 208 puede(n) comprender, en general, elemento(s) de memoria, que incluye(n), pero sin limitarse a, medio legible por ordenador (por ejemplo, memoria de acceso aleatorio (RAM)), medio no volátil legible por ordenador (por ejemplo, una memoria *flash*), un disquete, una memoria de solo lectura en disco compacto (CD-ROM), un disco magnetoóptico (MOD), un disco versátil digital (DVD) y/u otros elementos de memoria adecuados. Dicho(s) dispositivo(s) de memoria 208 puede(n) configurarse generalmente para almacenar instrucciones adecuadas legibles por ordenador que, cuando se implementan mediante el/los procesador(es) 206, configuran el controlador 202 para realizar diversas funciones que incluyen, pero sin limitarse a, detectar una aproximación de la condición de corriente a un límite dependiente de la corriente y afectar a una velocidad del generador 118 para alterar un equilibrio rotor-estátor del generador 118 de modo que no se exceda el límite dependiente de la corriente y la turbina eólica 100 pueda operar a una potencia nominal, como se describe en el presente documento, así como diversas otras funciones adecuadas implementadas por ordenador.

Como se muestra, en general, en las FIGS. 4-5, el sistema 200 puede incluir al menos uno o más sensores ambientales 214 configurados para recopilar datos indicativos de al menos una condición ambiental 226. En un modo de realización, el/los sensor(es) ambiental(es) 214 pueden configurarse para detectar una condición ambiental 226 anticipada para impulsar la condición de corriente del generador 118 hacia el límite dependiente de la corriente. Por tanto, en un modo de realización, el/los sensor(es) ambiental(es) 214 puede(n) ser, por ejemplo, una veleta, un anemómetro, un sensor LIDAR un termómetro, un barómetro, u otro sensor adecuado. Los datos recopilados por el/los sensor(es) ambiental(es) 214 puede(n) incluir medidas de velocidad del viento, dirección del viento, variación de la velocidad del viento con la altura, ráfagas de viento, variación de la dirección del viento con la altura, presión atmosférica y/o temperatura. En al menos un modo de realización, el/los sensor(es) ambiental(es) 214 se puede(n) montar en la góndola 106 en una ubicación a sotavento del rotor 108. En modos de realización alternativos, el/los sensor(es) ambiental(es) 214 se puede(n) acoplar o integrar con el rotor 108. Se debe apreciar que el/los sensor(es) ambiental(es) 214 puede(n) incluir una red de sensores y se pueden situar lejos de la turbina eólica 100.

El sistema 200 también puede incluir al menos un sensor de red 218 acoplado operativamente a una red eléctrica 184 y al controlador de convertidor 220 o al controlador de turbina 204. El/los sensor(es) de red 218 puede(n) configurarse para detectar una condición de red 228 (FIG. 5) anticipada para llevar la condición de corriente 230 del generador 118 al límite dependiente de la corriente.

Como se muestra en 230 de la FIG. 5, en un modo de realización, el controlador 202 del sistema 200 puede detectar una condición de corriente 230 del generador 118 de la turbina eólica 100. Se pueden proporcionar datos indicativos de la condición de corriente 230 al controlador 202 por medio de un sensor de corriente 216 acoplado operativamente al generador 118. Como se usa en el presente documento, "condición de corriente" se refiere a la cantidad de corriente que fluye a través del rotor y el estátor, respectivamente. La relación de la corriente en el rotor del generador con la corriente en el estátor del generador puede considerarse el equilibrio rotor/estátor. En un modo de realización, a medida que se incrementa la velocidad de rotación del generador 118, el rotor puede ser impulsado a una corriente más alta mientras que la demanda de corriente en el estátor puede disminuir. También puede ser cierto lo contrario, donde a medida que disminuye la velocidad de rotación del generador 118, el estátor puede ser impulsado con más fuerza mientras que la demanda sobre el rotor puede disminuir. Debe apreciarse que la condición de corriente 230 también puede depender, al menos en parte, de la condición ambiental 226, tal como una temperatura ambiente alta, y la condición de red eléctrica 228.

Los atributos físicos de los componentes del generador 118 pueden dar como resultado límites dependientes de la corriente, que son conocidos para el generador 118. En un modo de realización, uno de dichos límites puede

ser un límite de alta velocidad correspondiente a un límite de corriente del rotor. Otro de dichos límites puede ser un límite de baja velocidad correspondiente a un límite de corriente del estátor. El límite de alta velocidad se puede encontrar cuando la velocidad de rotación del generador se incrementa hasta el punto en que la cantidad de corriente que pasa a través del rotor excede la capacidad del rotor para manejar la corriente. De manera similar, el límite de baja velocidad se puede encontrar cuando la velocidad de rotación del generador disminuye hasta el punto en que la cantidad de corriente que pasa a través del estátor excede la capacidad del estátor para manejar la corriente, tal como se puede encontrar cuando una condición de red impulsa un modo de operación de bajo voltaje para el generador 118. La capacidad del componente para manejar la corriente puede depender de factores relacionados con la construcción del componente (material del cable, diámetro del cable y longitud del cable) y/o condiciones ambientales, tales como la temperatura. Esto puede dar como resultado una generación excesiva de calor, una degradación inaceptable del sistema de aislamiento u otros resultados adversos.

Si no se corrige, una condición de corriente que exceda el límite de corriente del rotor puede provocar una reducción de la potencia del generador, lo que reduce la producción de potencia.

Como se muestra en 232 en la FIG. 5, en un modo de realización, el controlador 202 del sistema 200 puede recibir la condición de corriente 230, la condición de red 228 y/o la condición ambiental 226 para detectar una aproximación de la condición de corriente 230 a un límite dependiente de la corriente. En un modo de realización, por ejemplo, para detectar la aproximación a un límite dependiente de la corriente, el controlador de turbina 204 o el controlador de convertidor 220 pueden recibir, desde el sensor de corriente 216, una indicación de la condición de corriente 230. El controlador 202 también puede recibir datos indicativos de una condición de red eléctrica 228 y/o una condición ambiental 226. Conociendo la condición de red eléctrica 228 y la condición ambiental 226, el controlador 202 puede determinar un punto de operación para la turbina eólica 100 dentro de una envolvente operativa de la turbina eólica 100. El controlador 202 puede calcular y/o buscar, a continuación, el límite dependiente de la corriente para el generador 118 para el punto de operación determinado. El controlador puede comparar, a continuación, la condición de corriente con un límite dependiente de la corriente conocido para el punto de operación de la turbina eólica 100 para detectar una aproximación de la condición de corriente 230 al límite dependiente de la corriente.

En un modo de realización, el controlador 202 puede detectar una aproximación de la condición de corriente 230 al límite dependiente de la corriente y afectar a una velocidad del generador 118 para alterar un equilibrio rotor/estátor del generador 118 de modo que el límite dependiente de la corriente no se excede y la turbina eólica 100 puede operar a una potencia nominal. Al alterar el equilibrio rotor/estátor, la cantidad de corriente que fluye hacia el componente que se aproxima al límite dependiente de la corriente puede disminuir mientras que la cantidad de corriente que llega al otro componente se incrementa.

Debe apreciarse que afectar a la velocidad del generador 118 para afectar al equilibrio rotor/estátor puede permitir establecer una potencia de salida del generador 118 que sea mayor que una potencia nominal designada para el generador 118, tal como una potencia nominal, o de diseño, del generador 118. Esto, a su vez, puede permitir la actualización de la capacidad de producción de potencia de la turbina eólica sin necesidad de reemplazar el generador 118. De forma alternativa, la capacidad de operar el generador 118 a una potencia de salida mayor puede permitir el uso de generadores físicamente más pequeños para una potencia de salida dada que los que se emplean actualmente.

Como se muestra en 234 de la FIG. 5, el controlador 202 puede determinar, a continuación, si el límite dependiente de la corriente al que se aproxima es un límite de alta velocidad. Si el límite dependiente de la corriente es un límite de alta velocidad, como se muestra en 236, entonces el controlador 202 puede seleccionar un parámetro de operación (por ejemplo, tal como cualquiera de los parámetros operativos en los bloques 238, 240, 242, 244) de la turbina eólica 100 para ajustar con el fin de ralentizar una velocidad del eje del generador 118. En otro modo de realización, si el límite dependiente de la corriente no es un límite de alta velocidad, entonces, como se muestra en 246, el controlador 202 puede seleccionar un parámetro de operación 238, 240, 242, 244 de la turbina eólica 100 a ajustar para incrementar una velocidad del eje del generador 118.

Más específicamente, como se muestra en las FIGS. 4-5, en un modo de realización, el sistema 200 puede incluir al menos un sensor de velocidad de rotación 224 acoplado operativamente al controlador de turbina 204. El/los sensor(es) de velocidad de rotación 224 puede(n) estar dirigido(s) al eje rápido 124 de la turbina eólica 100. El/los sensor(es) de velocidad de rotación 224 pueden recopilar datos indicativos de la velocidad de rotación 248 del eje rápido 124. El/los sensor(es) de velocidad de rotación 224 puede(n) ser, en un modo de realización, un tacómetro analógico, un tacómetro de CC, un tacómetro de CA, un tacómetro digital, un tacómetro de contacto, un tacómetro sin contacto o un tacómetro de tiempo y frecuencia.

En modos de realización particulares, tal como se representa en la FIG. 5, el controlador 202 puede recibir datos indicativos de la velocidad de rotación 248 desde el(los) sensor(es) de velocidad de rotación 224. El controlador 202 también puede recibir una indicación de consigna de *pitch* 250 para el rotor 108 de la turbina eólica 100 por medio de un sensor de *pitch* 222 del mecanismo de control de *pitch* 120. Por tanto, en un modo de realización, la

- indicación de consigna de *pitch* 250 puede ser considerada por el controlador 202 en relación con la condición ambiental 226. Como se muestra en 236 y 246, el controlador 202 puede utilizar la indicación de consigna de *pitch* 250, la velocidad de rotación 248 del eje rápido y la condición de corriente 230 para seleccionar una condición operativa 238, 240, 242, 244 para ajuste. En un modo de realización, el controlador 202 puede equilibrar las entradas variables relacionadas con la operación de la turbina eólica 100 para seleccionar un parámetro de operación óptimo 238, 240, 242, 244 para ajuste. Debe apreciarse, sin embargo, que el controlador 202 puede, en consideración de las entradas variables, determinar que se debe reducir la potencia del generador en lugar de ajustar un parámetro de operación diferente.
- En un modo de realización, el controlador 202 puede seleccionar el *pitch* del rotor 108 como parámetro de operación a ajustar para afectar a la velocidad del eje del generador 118. Con ese fin, el controlador de turbina 204 puede generar y transmitir una instrucción de consigna de *pitch* al controlador de *pitch* 150 del mecanismo de control de *pitch* 120. La instrucción de consigna de *pitch* puede ordenar al mecanismo de control de *pitch* 120 que *pitch*ee al menos una pala 112 del rotor 108 de la turbina eólica 100 para desacelerar el rotor 108 de la turbina eólica 100 para la condición ambiental determinada 226. Una desaceleración del rotor 108 puede dar como resultado la desaceleración del eje de rotor 122, el eje rápido 124 y el generador 118, a su vez.
- En un modo de realización alternativo, el controlador de turbina 204 puede generar y transmitir una instrucción de consigna de *pitch* al controlador de *pitch* 150 del mecanismo de control de *pitch* 120. La instrucción de consigna de *pitch* puede ordenar al mecanismo de control de *pitch* 120 que *pitch*ee la(s) pala(s) 112 del rotor 108 de la turbina eólica 100 para acelerar el rotor 108 de la turbina eólica 100 para la condición ambiental determinada 226. Una aceleración del rotor 108 puede dar como resultado la aceleración del eje de rotor 122, el eje rápido 124 y el generador 118, a su vez.
- Todavía en referencia a la FIG. 5, como se muestra en 238, el controlador 202 puede seleccionar el par de torsión del generador como parámetro de operación a ajustar para afectar a la velocidad del eje del generador 118. Con ese fin, el controlador de turbina 204 puede generar y transmitir una consigna de par de torsión al controlador de convertidor 220. Por tanto, la consigna de par de torsión puede indicar al controlador de convertidor 220 que incremente el par de torsión del generador 118 para desacelerar el generador 118. De forma alternativa, en un modo de realización, la consigna de par de torsión puede indicar al controlador de convertidor 220 que disminuya el par de torsión del generador para facilitar la aceleración del generador 118 eliminando una resistencia a la misma.
- En otro modo de realización, la velocidad de rotación 248 del generador 118 puede verse afectada por cualquier otro medio adecuado. Por ejemplo, en al menos un modo de realización, el eje rápido 124 se puede desacelerar por medio de la aplicación de un sistema de frenado en la turbina eólica 100. En otro modo de realización más, la velocidad de rotación 248 del eje rápido puede verse afectada modificando una proporción de engranajes de la caja de engranajes 126.
- En referencia ahora a las FIG. 6, se ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento 300 para controlar una turbina eólica. El procedimiento 300 se puede implementar usando, por ejemplo, el sistema 200 de la presente divulgación analizado anteriormente con referencia a las FIGS. 1-5. La FIG. 6 representa las etapas realizadas en un orden particular para propósitos de ilustración y análisis. Usando las divulgaciones proporcionadas en el presente documento, los expertos en la técnica entenderán que diversas etapas del procedimiento 300, o cualquiera de los procedimientos divulgados en el presente documento, se pueden adaptar, modificar, reordenar, realizar simultáneamente o modificar de diversas formas sin apartarse del alcance de la presente divulgación.
- Como se muestra en (302), el procedimiento 300 puede incluir determinar, con un controlador, una condición de corriente de un generador de la turbina eólica. Como se muestra en (304), el procedimiento 300 puede incluir detectar, con el controlador, una aproximación de la condición de corriente a un límite dependiente de la corriente. Adicionalmente, como se muestra en (306), el procedimiento 300 puede incluir afectar a una velocidad del generador para alterar un equilibrio rotor/estátor del generador de modo que no se exceda el límite dependiente de la corriente en la turbina eólica que puede operar a una potencia nominal.
- En referencia ahora a las FIG. 7, se ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento 300 para controlar una turbina eólica. El procedimiento 400 se puede implementar usando, por ejemplo, el sistema 200 de la presente divulgación analizado anteriormente con referencia a las FIGS. 1-5. La FIG. 7 representa las etapas realizadas en un orden particular para propósitos de ilustración y análisis. Usando las divulgaciones proporcionadas en el presente documento, los expertos en la técnica entenderán que diversas etapas del procedimiento 400, o cualquiera de los procedimientos divulgados en el presente documento, se pueden adaptar, modificar, reordenar, realizar simultáneamente o modificar de diversas formas sin apartarse del alcance de la presente divulgación.
- Como se muestra en (402), el procedimiento 400 puede incluir operar el generador de la turbina eólica a una nueva potencia nominal que es mayor que una potencia nominal para el generador. Como se muestra en (404),

el procedimiento 400 puede incluir determinar, con un controlador, una condición de corriente de un generador. Adicionalmente, como se muestra en (406), el procedimiento 400 puede incluir detectar, con el controlador, una aproximación de la condición de corriente a un límite dependiente de la corriente. Como se muestra en (408), el procedimiento 400 también puede incluir afectar a una velocidad del generador para alterar un equilibrio rotor/estátor del generador de modo que no se exceda el límite dependiente de la corriente en la turbina eólica que puede operar a la nueva potencia nominal.

Además, el experto en la técnica reconocerá la intercambiabilidad de diversos rasgos característicos de diferentes modos de realización. Por supuesto, se debe entender que no todos de dichos objetivos o ventajas descritos anteriormente se pueden lograr necesariamente de acuerdo con cualquier modo de realización particular. Por tanto, por ejemplo, los expertos en la técnica reconocerán que los sistemas y técnicas descritos en el presente documento se pueden realizar o llevar a cabo de manera que logre u optimice una ventaja o grupo de ventajas, como se enseña en el presente documento sin lograr necesariamente otros objetivos o ventajas como se pueda enseñar o sugerir en el presente documento.

Esta descripción escrita usa ejemplos para divulgar la invención, incluyendo el mejor modo, y también para permitir 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 y puede incluir otros ejemplos que se les ocurran a los expertos en la técnica. Se pretende que dichos otros ejemplos estén dentro del alcance de las reivindicaciones si incluyen elementos estructurales que no difieran del texto literal de las

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un procedimiento para controlar una turbina eólica (100) que comprende un generador (118) que comprende un rotor y un estátor como componentes, comprendiendo el procedimiento:

determinar, con un controlador (202, 204), una condición de corriente del rotor y una condición de corriente del estátor, refiriéndose la condición de corriente respectiva a una cantidad de corriente eléctrica que fluye a través del rotor y el estátor, respectivamente;
10 detectar, con el controlador (202, 204), una aproximación de cualquiera de las condiciones de corriente a un límite dependiente de la corriente respectivo; y
afectar a una velocidad del generador (118) para alterar un equilibrio rotor/estátor del generador (118) de modo que no se excedan los límites dependientes de la corriente y la turbina eólica pueda operar a una potencia nominal, en el que una cantidad de corriente que fluye hacia el componente del
15 generador (110) que se aproxima al límite dependiente de la corriente disminuye mientras que una cantidad de corriente que fluye hacia el otro componente del generador (110) se incrementa.
2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el procedimiento comprende además:
20 recibir, con el controlador (202, 204), datos indicativos de una condición de red eléctrica;
recibir, con el controlador (202, 204), datos indicativos de una condición ambiental;
determinar la condición de corriente en base a, al menos en parte, la condición de red y la condición ambiental.
- 25 3. El procedimiento de las reivindicaciones 1-2, antes de determinar la condición de corriente, que comprende operar el generador de la turbina eólica a una nueva potencia nominal que es mayor que una potencia nominal para el generador, en el que se altera la velocidad del generador (118) de modo que la turbina eólica pueda operar a la nueva potencia nominal.
- 30 4. El procedimiento de las reivindicaciones 1-3, en el que afectar a la velocidad del generador (118) comprende además ajustar un parámetro de operación de la turbina eólica (100) para ralentizar una velocidad del eje del generador (118).
- 35 5. El procedimiento de la reivindicación 2 y la reivindicación 4, en el que ajustar el parámetro de operación de la turbina eólica (100) comprende además:

recibir, con el controlador (202, 204), una consigna de *pitch* de al menos una pala de rotor (112) de la turbina eólica (100) en la condición ambiental;
40 recibir, con el controlador (202, 204), datos indicativos de una velocidad de rotación para un eje rápido de la turbina eólica (100); y
seleccionar, con el controlador (202, 204), el parámetro de operación en base a la consigna de *pitch*, la velocidad de rotación del eje rápido y la condición de corriente del generador (118).
- 45 6. El procedimiento de las reivindicaciones 4-5, en el que ajustar el parámetro de operación de la turbina eólica (100) comprende además incrementar un par de torsión del generador (118).
7. El procedimiento de la reivindicación 2 y cualquiera de las reivindicaciones 4-6, en el que ajustar el parámetro de operación de la turbina eólica (100) comprende además *pitchear* al menos una pala de rotor (112) de la turbina eólica (100) para desacelerar un rotor (108) de la turbina eólica (100) para la condición
50 ambiental.
8. El procedimiento de la reivindicación 2, en el que el límite dependiente de la corriente es un límite de baja velocidad correspondiente a un límite de corriente del estátor del generador (118).
- 55 9. El procedimiento de las reivindicaciones 1, 2 u 8, en el que afectar a la velocidad del generador comprende además ajustar un parámetro de operación de la turbina eólica (100) para incrementar una velocidad del eje del generador (118).
- 60 10. El procedimiento de la reivindicación 2, la reivindicación 8 o las reivindicaciones 2 y 9, en el que ajustar el parámetro de operación de la turbina eólica (100) comprende además:

recibir, con el controlador (202, 204), una consigna de *pitch* de al menos una pala de rotor (112) de la turbina eólica (100) en la condición ambiental;
65 recibir, con el controlador (202, 204), datos indicativos de una velocidad de rotación para un eje rápido de la turbina eólica (100);

seleccionar, con el controlador (202, 204), el parámetro de operación para el ajuste en base a la consigna de *pitch*, la velocidad de rotación del eje rápido y la condición de corriente.

- 5 11. El procedimiento de las reivindicaciones 1, 2, 8, 9 o 10, en el que ajustar el parámetro de operación de la turbina eólica (100) comprende además disminuir un par de torsión del generador (118).
12. El procedimiento de las reivindicaciones 2, 8, 2 y 9, 10 o 2 y 11, en el que ajustar el parámetro de operación de la turbina eólica (100) comprende además *pitch*ear al menos una pala de rotor (112) de la turbina eólica (100) para acelerar un rotor (108) de la turbina eólica (100) para la condición ambiental.
- 10 13. El procedimiento de las reivindicaciones 1-12, que comprende además:
establecer una potencia de salida del generador (118) que es mayor que una potencia nominal para la turbina eólica (100).
- 15 14. Un sistema para controlar una turbina eólica (100), comprendiendo el sistema:

un sensor de corriente acoplado operativamente a un generador (118) de la turbina eólica (100), comprendiendo el generador (118) un rotor y un estátor como componentes;
un controlador de convertidor (202) acoplado operativamente al sensor de corriente y al generador (118), el controlador de convertidor (202) configurado para determinar una condición de corriente del rotor y una condición de corriente del estátor, refiriéndose la condición de corriente respectiva a una cantidad de corriente eléctrica que fluye a través del rotor y el estátor, respectivamente, y para detectar una aproximación de cualquiera de las condiciones de corriente a un límite dependiente de la corriente respectivo; y
25 un controlador de turbina (204) acoplado operativamente al controlador de convertidor (202), estando configurado el controlador de turbina (204) para afectar a una velocidad del generador (118) para alterar un equilibrio rotor/estátor del generador (118) de modo que no se exceda el límite dependiente de la corriente y la turbina eólica pueda operar a una potencia nominal, en el que al alterar el equilibrio rotor/estátor del generador (118), una cantidad de corriente que fluye hacia el componente del generador (110) que se aproxima al límite dependiente de la corriente disminuye mientras que una cantidad de corriente que fluye hacia el otro componente del generador (110) se incrementa.
- 30 15. El sistema de la reivindicación 14, que comprende además:

un sensor de red acoplado operativamente a una red de energía eléctrica y al controlador de convertidor (202) o al controlador de turbina (204), estando configurado el sensor de red para detectar una condición de red anticipada para llevar la condición de corriente al límite dependiente de la corriente;
un sensor ambiental (214) acoplado operativamente al controlador de turbina (204) para recopilar datos indicativos de una condición ambiental, estando configurado el sensor ambiental para detectar una condición ambiental anticipada para llevar la condición de corriente al límite dependiente de la corriente;
40 un sensor de *pitch* (222) acoplado operativamente a al menos una pala (112) de un rotor (108) de la turbina eólica (100) y al controlador de turbina (204), estando configurado el sensor de *pitch* para comunicar una indicación de consigna de *pitch* al controlador de turbina (204);
un sensor de velocidad de rotación (224) acoplado operativamente al controlador de turbina (204), estando dirigido el sensor de velocidad de rotación a un eje rápido de la turbina eólica (100), en el que el controlador de turbina (204) está configurado para seleccionar un parámetro de operación a ajustar para afectar a una velocidad del generador (118) en base a, al menos, la consigna de *pitch* del rotor (108) en relación con la condición ambiental, la velocidad de rotación del eje rápido y la condición de corriente del generador (118);
50 un mecanismo de control de *pitch* de pala acoplado operativamente a al menos una pala (112) de un rotor (108) de la turbina eólica (100) para establecer la consigna de *pitch* para la al menos una pala (112) en base a una instrucción de consigna de *pitch* recibida del controlador de turbina (204), determinándose la instrucción de consigna de *pitch* para reducir una velocidad de rotación del rotor (108); y
un convertidor de potencia (162) acoplado operativamente al generador (118) y al controlador de turbina (204), estando configurado el convertidor de potencia (162) para incrementar un parámetro de par de torsión del generador (118) para reducir una consigna de velocidad del generador cuando el límite dependiente de la corriente es un límite de alta velocidad correspondiente a un límite de corriente del rotor del generador (118) y disminuir un parámetro de par de torsión del generador (118) para incrementar una consigna de velocidad del generador cuando el límite dependiente de la corriente es un límite de baja velocidad correspondiente a un límite de corriente del estátor del generador (118).
- 60

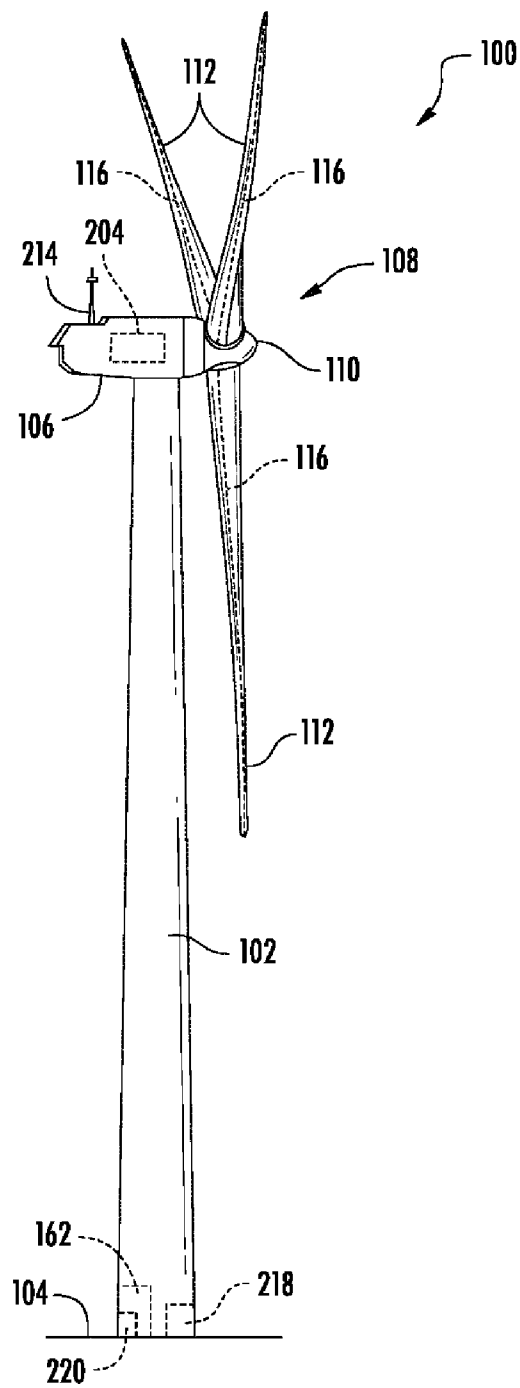
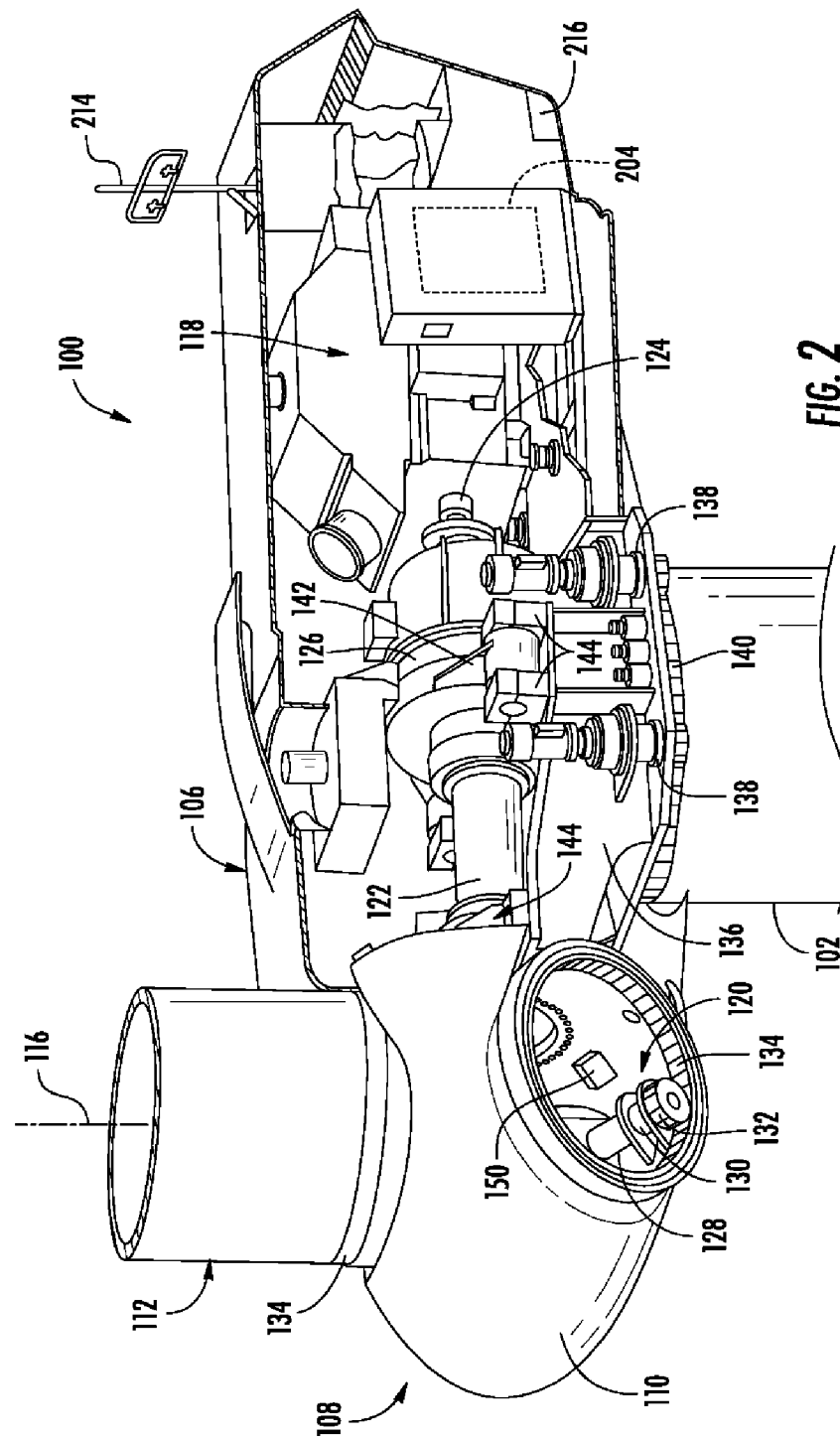


FIG. 1



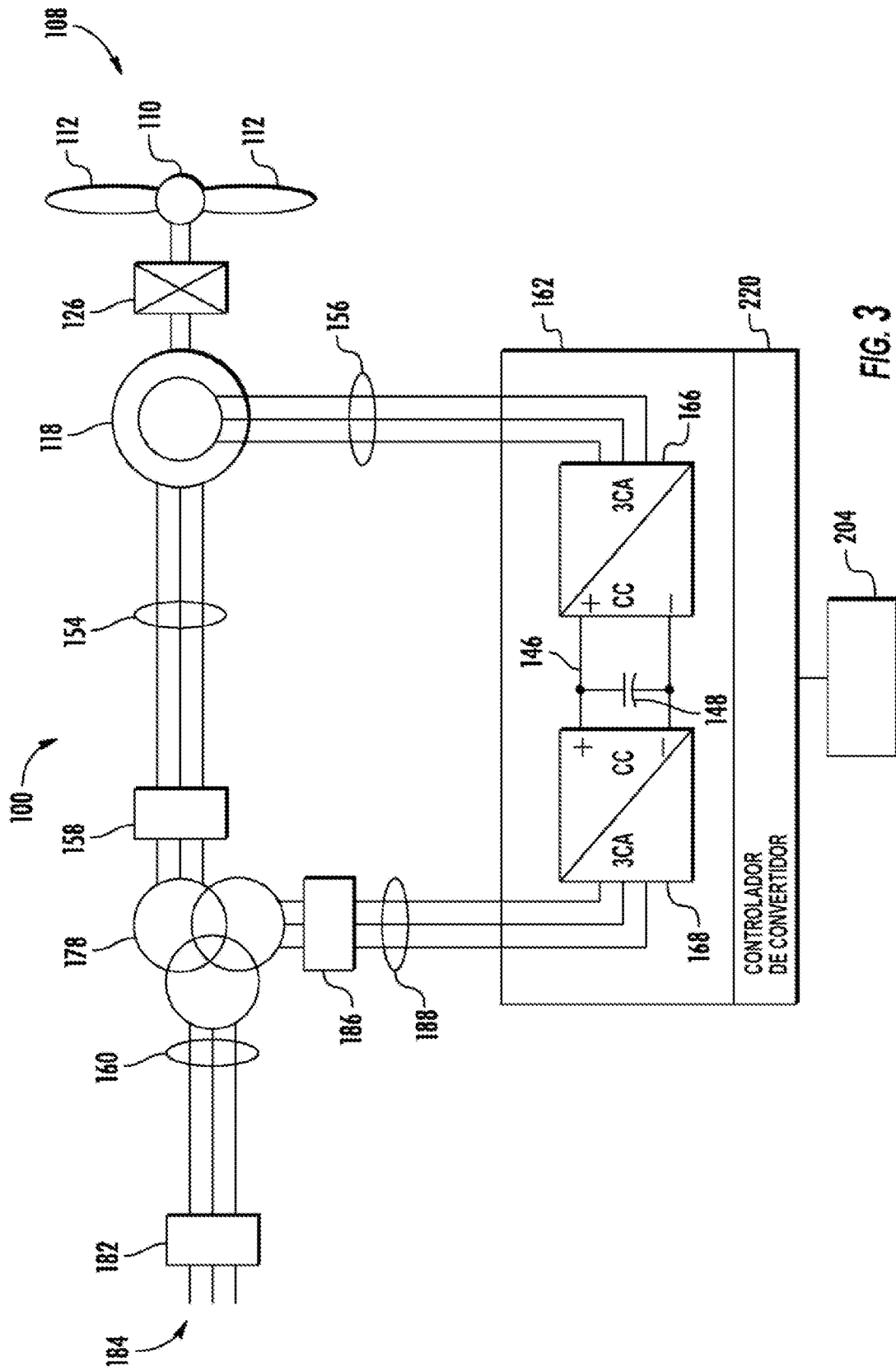


FIG. 3

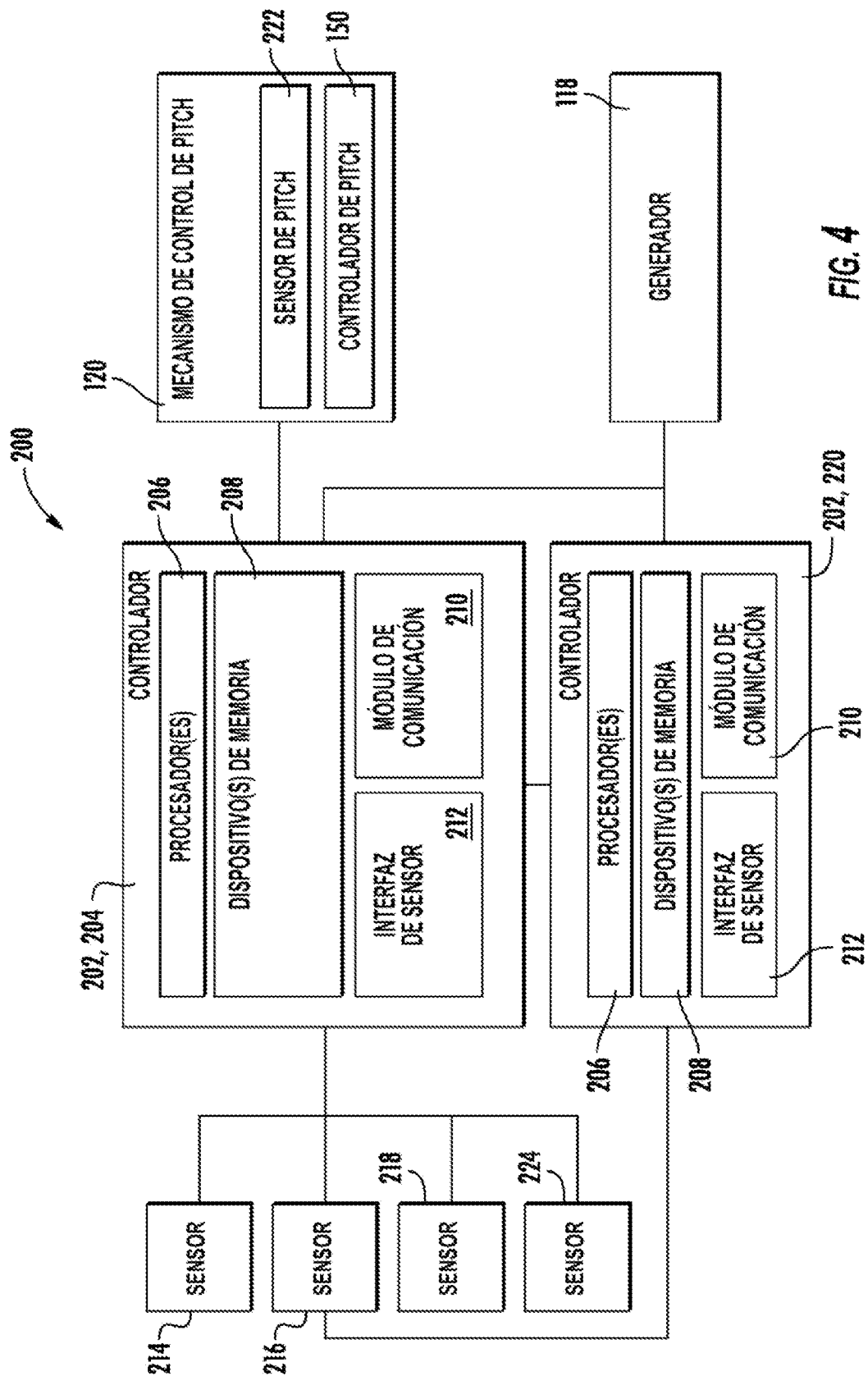


FIG. 4

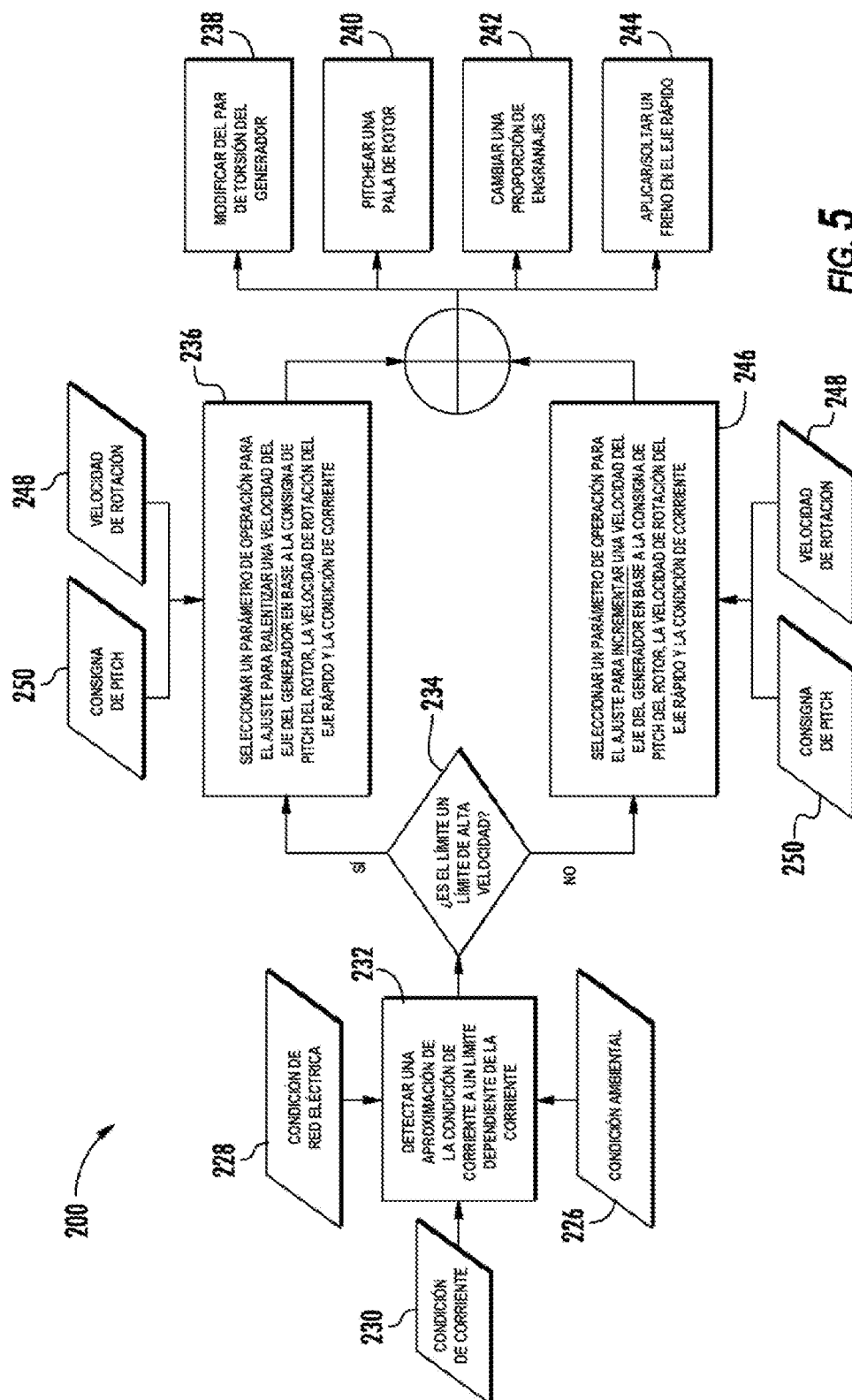


FIG. 5

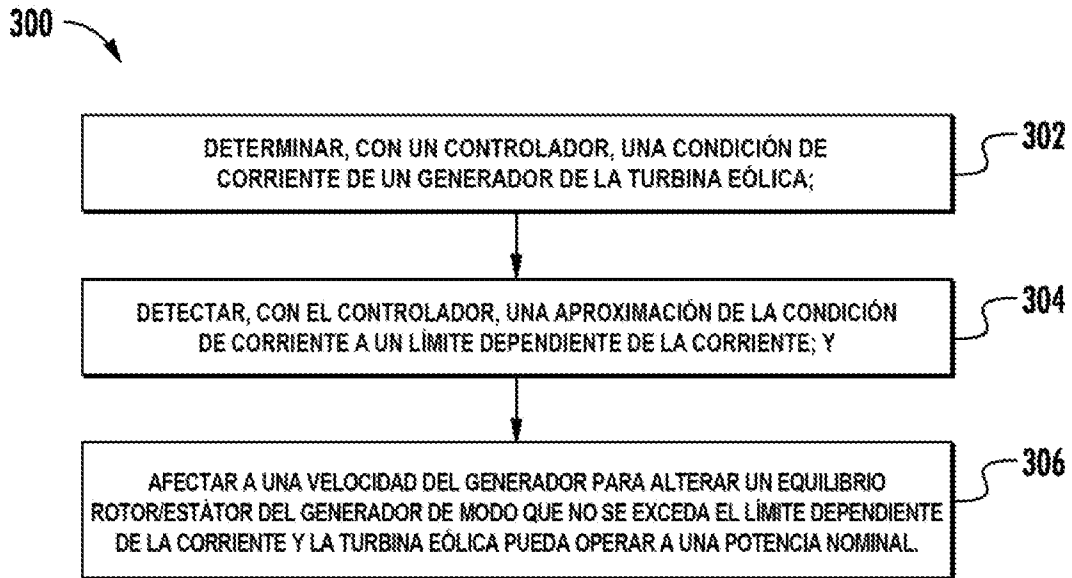


FIG. 6

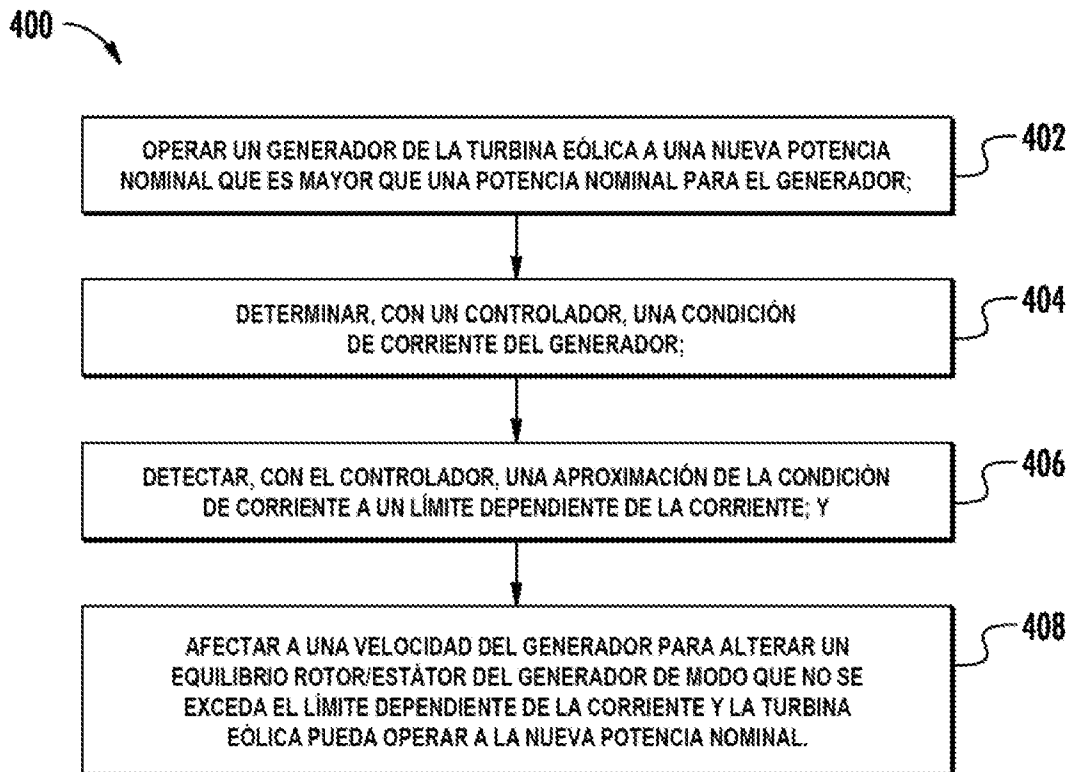


FIG. 7