

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 989 033**

51 Int. Cl.:

H02J 3/38 (2006.01)

F03D 9/25 (2006.01)

H02P 9/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.05.2018 PCT/US2018/031322**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.11.2018 WO18208649**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.05.2018 E 18798221 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.07.2024 EP 3635838**

54 Título: **Procedimiento y sistema de amortiguación de corriente adaptativa para el control de convertidor de potencia mejorado en sistemas de turbina eólica y sistema de control**

30 Prioridad:

12.05.2017 US 201715594079

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

25.11.2024

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC RENOVABLES ESPAÑA,
S.L. (100.0%)
Calle Roc Boronat 78
08005 Barcelona, ES**

72 Inventor/es:

**REN, WEI y
LARSEN, EINAR VAUGHN**

74 Agente/Representante:

DE ROOIJ, Mathieu Julien

ES 2 989 033 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

Procedimiento y sistema de amortiguación de corriente adaptativa para el control de convertidor de potencia mejorado en sistemas de turbina eólica y sistema de control

5

Campo

[0001] La presente divulgación se refiere, en general, a turbinas eólicas, y, más en particular, a procedimientos y sistemas para un módulo de amortiguación de corriente para el control de convertidor de potencia mejorado en turbinas eólicas.

10

Antecedentes

[0002] En general, una turbina eólica incluye un rotor que incluye un conjunto de buje rotatorio que tiene múltiples palas. Las palas transforman la energía eólica en un par de torsión de rotación mecánico que acciona uno o más generadores por medio del rotor. Los generadores a veces, pero no siempre, están acoplados rotacionalmente al rotor a través de una caja de engranajes. La caja de engranajes eleva la velocidad de rotación inherentemente baja del rotor para que el generador convierta eficazmente la energía mecánica de rotación en energía eléctrica, que se alimenta en una red de suministro por medio de al menos una conexión eléctrica. También existen turbinas eólicas de accionamiento directo sin engranajes. El rotor, generador, caja de engranajes y otros componentes típicamente se montan dentro de una carcasa, o góndola, que se sitúa en la parte superior de una torre.

15

20

[0003] Algunas configuraciones de turbina eólica incluyen generadores de inducción doblemente alimentados ("doubly-fed induction generators" o DFIG, también conocidos como generadores asíncronos de doble alimentación). Dichas configuraciones también pueden incluir convertidores de potencia que se usan para convertir una frecuencia de potencia eléctrica generada en una frecuencia sustancialmente similar a una frecuencia de red de suministro. Además, dichos convertidores, junto con el DFIG, también transmiten potencia eléctrica entre la red de suministro y el generador, así como también transmiten potencia de excitación del generador a un rotor de generador devanado desde una de las conexiones a la red de suministro eléctrica. Por ejemplo, la publicación de Z. Dong *et al.*: "Improving Stability of a DFIG-Based Wind Power System With Tuned Damping Controller [Mejora de la estabilidad de un sistema de energía eólica basado en DFIG con controlador de amortiguación adaptado]", IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION. IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, EE. UU., vol. 24, n.º 3, 2009, páginas 650-660, describe un controlador de amortiguación para un sistema de DFIG y adaptación coordinada del controlador de amortiguación para potenciar la amortiguación de los modos oscilatorios usando la técnica de búsqueda de alimento bacteriano. Además, la publicación de R. Bhattarai *et al.*: "Minimum variance controller based adaptive control for Doubly fed induction generator [Control adaptativo basado en un controlador de varianza mínima para un generador de inducción doblemente alimentado]", 2016 NORTH AMERICAN POWER SYMPOSTUM (NAPS), IEEE, 18 de septiembre de 2016 (2016-09-18), páginas 1-6, XP033007431, describe un controlador de varianza mínima basado en la identificación del sistema para el control de potencia activa y reactiva de un DFIG. Además, la publicación de M- Zhixin *et al.*: "Control of DFIG-Based Wind Generation to Improve Interarea Oscillation Damping [Control de generación eólica basada en DFIG para mejorar la amortiguación de oscilaciones entre áreas]", IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION. IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, EE. UU., vol. 24, n.º 2, 2009, páginas 415-422, XP011257948, describe un esquema de control para un DFIG con convertidor de lado de rotor para amortiguar las oscilaciones entre áreas. De forma alternativa, algunas configuraciones de turbina eólica incluyen, sin limitación, tipos alternativos de generadores de inducción, generadores síncronos de imanes permanentes (IP), 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.

25

30

35

40

45

50

[0004] Al menos algunas redes de suministro eléctricas conocidas incluyen una o más líneas de transmisión compensadas en serie. Dichas líneas de transmisión a menudo crean corrientes de resonancia subsíncronas que se pueden amortiguar ligeramente. Cuando al menos algunas turbinas eólicas conocidas están acopladas eléctricamente a dichas líneas de transmisión, las turbinas eólicas disminuyen la amortiguación de las corrientes subsíncronas. Como tales, las corrientes subsíncronas se pueden incrementar en amplitud y pueden provocar que se produzca un fallo o "desconexión" ("trip") y hacer que la turbina eólica sea inoperativa. Además, dichas corrientes subsíncronas pueden dañar o de otro modo acortar la vida útil de uno o más componentes de la turbina eólica y/o de la red de suministro eléctrica.

55

60

Breve descripción

[0005] Los aspectos y ventajas de la invención se expondrán en parte en la siguiente descripción, o pueden ser evidentes a partir de la descripción, o se pueden aprender a través de la práctica de la invención.

65

[0006] De acuerdo con la invención, se proporciona un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 para controlar un convertidor de potencia en un sistema de turbina eólica.

[0007] De acuerdo con la invención, se proporciona un sistema de control de acuerdo con la reivindicación 9 para un sistema de turbina eólica.

5 [0008] El sistema de turbina eólica puede ser un sistema de turbina eólica de generador de inducción doblemente alimentado (DFIG). El sistema de turbina eólica de DFIG puede incluir un generador DFIG. El generador DFIG puede incluir un rotor y un estátor. El sistema de turbina eólica de DFIG puede incluir además un convertidor de potencia. El convertidor de potencia puede incluir una pluralidad de dispositivos de conmutación y un módulo de amortiguación de corriente. El sistema de turbina eólica de DFIG puede incluir además un sistema de control. El sistema de control puede incluir uno o más procesadores y uno o más dispositivos de memoria configurados para almacenar instrucciones que, cuando se ejecutan por los uno o más procesadores, provocan que los uno o más procesadores realicen operaciones. Las operaciones pueden incluir determinar, por un dispositivo de control, una magnitud de flujo de un entrehierro ("air-gap") entre un rotor y un estátor en el generador. Las operaciones pueden incluir además determinar una señal de referencia de ajuste de orientación para el módulo de amortiguación de corriente en base al menos en parte a la magnitud de flujo. Las operaciones pueden incluir además controlar el convertidor de potencia en base al menos en parte a la señal de referencia de ajuste de orientación. Como resultado del control del convertidor de potencia, el sistema de turbina eólica puede presentar una característica de amortiguación positiva para un intervalo de frecuencias subsíncronas.

20 [0009] Se pueden realizar variaciones y modificaciones en estos modos de realización de ejemplo de la presente divulgación.

[0010] 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

30 [0011] En la memoria descriptiva se expone una divulgación completa y habilitante de la presente invención, incluyendo el mejor modo de la misma, dirigida a un experto en la técnica, que hace referencia a las figuras adjuntas, en las que:

35 la FIG. 1 representa una vista en perspectiva de una parte de una turbina eólica de acuerdo con aspectos de ejemplo de la presente divulgación;

la FIG. 2 representa una vista esquemática de un sistema eléctrico y de control que se puede usar en una turbina eólica de acuerdo con aspectos de ejemplo de la presente divulgación;

40 la FIG. 3 representa un diagrama de bloques de un sistema de convertidor de potencia que se puede usar con un sistema de turbina eólica de acuerdo con aspectos de ejemplo de la presente divulgación;

45 la FIG. 4 representa un diagrama de bloques de un módulo de control de convertidor de rotor que se puede usar con un sistema de turbina eólica de acuerdo con aspectos de ejemplo de la presente divulgación;

la FIG. 5 representa un diagrama de bloques de un módulo de amortiguación de corriente de acuerdo con aspectos de ejemplo de la presente divulgación;

50 la FIG. 6 representa un gráfico de una relación entre una magnitud de flujo y una señal de referencia de ajuste de orientación de acuerdo con aspectos de ejemplo de la presente divulgación;

la FIG. 7 representa un diagrama de flujo de un procedimiento de acuerdo con aspectos de ejemplo de la presente divulgación;

55 la FIG. 8 representa un gráfico de ejemplo de una simulación que muestra la resistencia y reactancia en un intervalo de frecuencias subsíncronas con y sin implementar aspectos de ejemplo de la presente divulgación;

60 la FIG. 9 representa un dispositivo de control de ejemplo de acuerdo con aspectos de ejemplo de la presente divulgación.

Descripción detallada

65 [0012] 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, será evidente para los expertos en la técnica que se pueden realizar diversas modificaciones y variaciones en la presente invención sin alejarse del alcance o espíritu 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 que entran dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas y de sus equivalentes.

5 [0013] En general, los aspectos de ejemplo de la presente divulgación se dirigen a sistemas de turbina eólica y procedimientos de control para un convertidor de potencia en un sistema de turbina eólica. Más en particular, un sistema de turbina eólica puede incluir un generador y un convertidor de potencia. El convertidor de potencia puede incluir una pluralidad de dispositivos de conmutación y un módulo de amortiguación de corriente. Un procedimiento para controlar el convertidor de potencia puede permitir que un sistema de turbina eólica presente una característica de amortiguación positiva para un intervalo de frecuencias subsíncronas.

15 [0014] La estabilidad de interacción de control subsíncrona ("subsynchronous control interaction stability" o SSCI) es una característica importante que determinados parques eólicos pueden necesitar demostrar antes de que se puedan interconectar a una red, en particular, cuando están presentes líneas de transmisión compensadas en serie. Las turbinas eólicas, tales como los generadores de inducción doblemente alimentados (DFIG), pueden demostrar inestabilidad de SSCI cuando el DFIG presenta una resistencia negativa en un intervalo de frecuencias subsíncronas. Por ejemplo, un sistema de turbina eólica de DFIG se puede interconectar a una red de transmisión y distribución de potencia eléctrica, y un intervalo de frecuencias subsíncronas puede ser un intervalo de frecuencias que sea menor que una frecuencia de la red de transmisión y distribución de potencia eléctrica (por ejemplo, 50/60 Hz). Durante la operación del DFIG, el rotor puede presentar una resistencia variada a medida que varía el voltaje terminal del generador de turbina eólica. Por ejemplo, la resistencia de rotor se puede volver negativa cuando la velocidad del rotor es ligeramente mayor que la frecuencia subsíncrona y la frecuencia de deslizamiento se vuelve negativa. En una situación de este tipo, la resistencia negativa del rotor puede amplificar, en lugar de amortiguar, una inestabilidad en el intervalo de frecuencias subsíncronas. Debido al efecto de saturación, la reactancia magnetizante equivalente de un generador puede cambiar a medida que varía el flujo de entrehierro. Cuando esta reactancia magnetizante cambia, la resistencia de frecuencia total del generador de turbina eólica (desde la perspectiva de lado de estátor) también puede cambiar.

20 [0015] De acuerdo con aspectos de ejemplo de la presente divulgación, un convertidor de potencia se puede controlar de modo que el sistema de turbina eólica presente una característica de amortiguación positiva para un intervalo de frecuencias subsíncronas. Como se usa en el presente documento, el término "característica de amortiguación positiva" se refiere a una interacción de control subsíncrona en la que un generador de turbina eólica es estable para un intervalo de frecuencias subsíncronas. Por ejemplo, un control estable de SSCI debe brindar una resistencia de frecuencia positiva (es decir, amortiguación positiva) en el intervalo de frecuencias subsíncronas en todas las condiciones operativas.

25 [0016] Un procedimiento para controlar un convertidor de potencia puede incluir determinar una magnitud de flujo de un entrehierro entre un rotor y un estátor en el generador. Por ejemplo, una magnitud de flujo se puede estimar por un estimador de magnitud de flujo. En un modo de realización, el estimador de magnitud de flujo puede estimar la magnitud de flujo en base a un voltaje del estátor.

30 [0017] El procedimiento puede incluir además determinar una señal de referencia de ajuste de orientación para el módulo de amortiguación de corriente en base al menos en parte a la magnitud de flujo. Por ejemplo, el estimador de magnitud de flujo puede proporcionar una magnitud de flujo estimada a una lógica de ajuste de ángulo de orientación adaptativa. La lógica de ajuste de ángulo de orientación adaptativa puede determinar una señal de referencia de ajuste de orientación en base al menos en parte a la magnitud de flujo. En un modo de realización, la señal de referencia de ajuste de orientación se puede determinar a partir de una tabla de consulta, tal como consultando una correspondiente señal de referencia de ajuste de orientación para una magnitud de flujo particular. En otro modo de realización, la señal de referencia de ajuste de orientación se puede determinar por una ecuación, tal como una ecuación en la que la señal de referencia de ajuste de orientación sea el mínimo de un primer umbral o un segundo umbral, en la que el segundo umbral se determina en base a la magnitud de flujo.

35 [0018] El procedimiento puede incluir además controlar el convertidor de potencia en base al menos en parte a la señal de referencia de ajuste de orientación. Por ejemplo, el comportamiento de conmutación de la pluralidad de dispositivos de conmutación en el convertidor de potencia se puede controlar en base al menos en parte a la señal de referencia de ajuste de orientación. Por ejemplo, se puede controlar un ciclo de trabajo ("duty cycle") de la pluralidad de dispositivos de conmutación, por ejemplo, controlando una señal de conmutación para la pluralidad de dispositivos de conmutación.

40 [0019] De este modo, los sistemas y procedimientos de acuerdo con aspectos de ejemplo de la presente divulgación pueden tener el efecto técnico de proporcionar estabilidad de SSCI para un sistema de turbina eólica para un intervalo de frecuencias subsíncronas en condiciones operativas que habrían sido inestables en esquemas de control previos. En particular, los sistemas y procedimientos de acuerdo con aspectos de ejemplo de la presente divulgación pueden permitir una resistencia de frecuencia positiva en un intervalo de frecuencias subsíncronas controlando el convertidor de potencia en un sistema de turbina eólica. Esto puede permitir un ahorro de costes

significativo, ya que puede permitir reducir o eliminar la inestabilidad de SSCI sin la necesidad de instalar un circuito de amortiguación de *hardware*.

5 [0020] Con referencia ahora a las FIGS., ahora se analizarán en detalle modos de realización de ejemplo de la presente divulgación. La FIG. 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 FIG. 1). La góndola 102 está montada en una torre 104 (estando mostrada una parte de la torre 104 en la FIG. 1). La torre 104 puede tener cualquier altura adecuada que facilite la operación 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 110 rotatorio. De forma alternativa, la turbina eólica 100 incluye cualquier número de palas 108 que faciliten la operación 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 FIG. 1) acoplada operativamente al rotor 106 y un generador (no mostrado en la FIG. 1).

15 [0021] La FIG. 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 114 elevadora ("step-up") que está configurada para elevar 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 elevadora 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 elevadora 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 elevadora que facilite la operación 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.

20 [0022] El eje rápido 116 está acoplado de forma rotatoria al generador 118. En un modo de realización de ejemplo, el generador 118 es un generador (asíncrono) de inducción doblemente alimentado (DFIG) de rotor devanado multifásico (por ejemplo, trifásico) 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.

30 [0023] 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 FIG. 2). Como se usa en el presente documento, el término ordenador no está limitado a circuitos integrados a los que se hace referencia en la técnica como ordenador, sino que se refiere ampliamente a un procesador, un microcontrolador, una microordenador, un controlador lógico programable ("programmable logic controller" o PLC), un circuito integrado específico de aplicación y otros circuitos programables (ninguno mostrado en la FIG. 2), y estos términos se usan de manera intercambiable en el presente documento. En el modo de realización de ejemplo, la memoria puede incluir, pero no se limita a, un medio legible por ordenador, tal como una memoria de acceso aleatorio ("random access memory" o RAM) (ninguno mostrado en la FIG. 2). De forma alternativa, también se pueden usar uno o más dispositivos de almacenamiento, tales como un disquete, una memoria de solo lectura-disco compacto ("compact disc read only memory" o CD-ROM), un disco magnetoóptico ("magneto-optical disk" o MOD) y/o un disco versátil digital ("digital versatile disc" o DVD) (ninguno mostrado en la FIG. 2). Además, en el modo de realización de ejemplo, los canales de entrada adicionales (no mostrados en la FIG. 2) pueden ser, pero no se limitan a, periféricos de ordenador asociados con una interfaz de operario, tal como un ratón y un teclado (ninguno mostrado en la FIG. 2). Además, en el modo de realización de ejemplo, los canales de salida adicionales pueden incluir, pero no se limitan a, un monitor de interfaz de operario (no mostrado en la FIG. 2).

40 [0024] Uno o más procesadores para el controlador de turbina 202 pueden procesar información transmitida desde una pluralidad de dispositivos eléctricos y electrónicos que pueden incluir, pero no se limitan a, transductores de voltaje y corriente. La RAM y los dispositivos de almacenamiento almacenan y transfieren información e instrucciones que se van a ejecutar por el procesador. También se pueden usar dispositivos de almacenamiento y RAM 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*.

50 [0025] 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 210 bidireccional 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 facilite la operación 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 completa (no mostrado) conocido en la técnica, en el que un conjunto de conversión de potencia completa (no mostrado en la FIG. 2), que es similar en diseño y operación al conjunto de conversión de potencia 210, está acoplado eléctricamente al estátor de generador 120, y dicho conjunto de conversión de potencia completa facilita la canalización de potencia eléctrica entre el estátor de generador 120 y una red de transmisión y distribución de potencia eléctrica 213. En un modo de realización de ejemplo, el bus de estátor 208 transmite potencia multifásica (por ejemplo, trifásica) desde el estátor de generador 120 al conmutador de sincronización de estátor 206. El bus de rotor 212 transmite potencia multifásica (por ejemplo, trifásica) desde el rotor de generador 122 al conjunto de conversión de potencia 210. En un 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.

[0026] 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 derivaciones de convertidor de potencia que incluyen semiconductores de potencia (no mostrados). En un 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 de modulación por ancho de pulso ("pulse width modulation" o PWM) multifásica (por ejemplo, trifásica) que incluye dispositivos de conmutación de transistor bipolar de puerta aislada ("insulated gate bipolar transistor" o IGBT) (no mostrados en la FIG. 2) que operan como se conoce 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 use cualquier dispositivo de conmutación que facilite la operación 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 la operación del convertidor de potencia de lado de rotor 220 y del convertidor de potencia de lado de línea 222.

[0027] En un 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, en el que cualquier esquema de protección (no mostrado) está configurado para tener en cuenta la retirada 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 un bus de lado de disyuntor 240. El disyuntor de circuito de red 238 está conectado a la red de transmisión y distribución de potencia eléctrica 213 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 de lado de disyuntor 240. En otro modo de realización, no se usan 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 213 por medio del bus de lado de disyuntor 240 y bus de red 242.

[0028] En un 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 FIG. 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 o en paralelo entre el carril positivo 246 y el carril negativo 248.

[0029] El controlador de turbina 202 está configurado para recibir una pluralidad de señales de medición de voltaje y corriente eléctrica desde un primer conjunto de sensores de voltaje y corriente eléctrica 252. Además, el controlador de turbina 202 está configurado para monitorizar y controlar al menos algunas de las variables operativas asociadas a la turbina eólica 100. En el modo de realización de ejemplo, cada uno de los tres sensores de voltaje 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 voltaje y corriente eléctrica 252 están acoplados eléctricamente al bus de sistema 216. Como otra alternativa, los sensores de voltaje y corriente eléctrica 252 están acoplados

eléctricamente a cualquier parte del sistema eléctrico y de control 200 que facilite la operación del sistema eléctrico y de control 200 como se describe en el presente documento. Como todavía otra alternativa, el controlador de turbina 202 está configurado para recibir cualquier número de señales de medición de voltaje y corriente eléctrica desde cualquier número de sensores de voltaje y corriente eléctrica 252, incluyendo, pero sin limitarse a, una señal de medición de voltaje y corriente eléctrica de un transductor.

[0030] Como se muestra en la FIG. 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 voltaje y corriente eléctrica desde un segundo conjunto de sensores de voltaje y corriente eléctrica 254 acoplados en comunicación electrónica de datos con el bus de estátor 208, un tercer conjunto de señales de medición de voltaje y corriente eléctrica desde un tercer conjunto de sensores de voltaje y corriente eléctrica 256 acoplados en comunicación electrónica de datos con el bus de rotor 212, y un cuarto conjunto de señales de medición de voltaje y corriente eléctrica desde un cuarto conjunto de sensores de voltaje y corriente eléctrica 264 acoplados en comunicación electrónica de datos con el bus de disyuntor de circuito de conversión 230. El segundo conjunto de sensores de voltaje y corriente eléctrica 254 es sustancialmente similar al primer conjunto de sensores de voltaje y corriente eléctrica 252, y el cuarto conjunto de sensores de voltaje y corriente eléctrica 264 es sustancialmente similar al tercer conjunto de sensores de voltaje y corriente eléctrica 256. El controlador de convertidor 262 es sustancialmente similar al controlador de turbina 202 y está acoplado en comunicación eléctrica 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 facilite la operación del sistema eléctrico y de control 200 como se describe en el presente documento.

[0031] En el modo de realización de ejemplo, la red de transmisión y distribución de potencia eléctrica 213 incluye una o más líneas de transmisión 270 (solo una mostrada para mayor claridad) que están acopladas al bus de red 242 por medio de un acoplamiento de red 272. Las líneas de transmisión 270 y/o la red de transmisión y distribución de potencia eléctrica 213 incluyen uno o más elementos de compensación en serie 274, tal como uno o más condensadores, para facilitar la reducción de las pérdidas de potencia reactiva en las líneas de transmisión 270. Como se describe en el presente documento, los elementos de compensación en serie 274 pueden crear una o más resonancias subsíncronas dentro de la red de transmisión y distribución de potencia eléctrica 213. Las líneas de transmisión 270 y/o la red de transmisión y distribución de potencia eléctrica 213 también incluyen uno o más conmutadores 276 acoplados a cada elemento de compensación en serie 274. Los conmutadores 276 acoplan y desacoplan elementos de compensación en serie 274 a y de la red de transmisión y distribución de potencia eléctrica 213, respectivamente, como se desee. Más específicamente, los conmutadores 276 se abren para acoplar elementos de compensación en serie 274 a la red de transmisión y distribución de potencia eléctrica 213, y los conmutadores 276 se cierran para desacoplar elementos de compensación en serie 274 de la red de transmisión y distribución de potencia eléctrica 213. La red de transmisión y distribución de potencia eléctrica 213 está acoplada operativamente a una o más cargas 278 para proporcionar potencia a las cargas 278.

[0032] Durante la operación, el viento incide en las palas 108 y las palas 108 transforman la energía 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, eleva 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 un voltaje dentro del estátor de generador 120 que está acoplado magnéticamente al rotor de generador 122. El generador 118 convierte la energía mecánica de rotación en una señal de energía eléctrica de corriente alterna (CA) multifásica (por ejemplo, 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 eleva la amplitud de voltaje de la potencia eléctrica y la potencia eléctrica transformada se transmite además a la red de transmisión y distribución de potencia eléctrica 213 por medio del bus de lado de disyuntor 240, el conmutador de red 238 y el bus de red 242.

[0033] En un modo de realización de ejemplo, se proporciona una segunda vía de transmisión de potencia eléctrica. Se genera potencia de CA sinusoidal multifásica (por ejemplo, trifásica) eléctrica 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, en el que la potencia eléctrica se modifica para la tasa de cambio del voltaje de salida asociado 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 multifásica (por ejemplo, trifásica) sinusoidal a 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 voltaje del enlace de CC 244 al facilitar la mitigación de una onda de CC asociada con la rectificación de CA.

[0034] La potencia de CC se transmite posteriormente desde el enlace de CC 244 al convertidor de potencia de lado de línea 222, en el que 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 sinusoidal multifásica

(por ejemplo, trifásica) con voltajes, corrientes y frecuencias predeterminados. 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 multifásica (por ejemplo, trifásica) del estátor de generador 120 con la potencia multifásica (por ejemplo, trifásica) del conjunto de conversión de potencia 210.

[0035] 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 los correspondientes buses, por ejemplo, cuando el flujo de corriente es excesivo y 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 puede controlar para formar una desconexión abriendo un contactor (no mostrado en la FIG. 2) correspondiente a cada una de las líneas del bus de línea 225.

[0036] El conjunto de conversión de potencia 210 compensa o ajusta la frecuencia de la potencia multifásica (por ejemplo, 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.

[0037] 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 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. En el 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 multifásica (por ejemplo, trifásica) sinusoidal a 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 voltaje del enlace de CC 244 al facilitar la mitigación de una onda de CC asociada a veces con la rectificación de CA multifásica (por ejemplo, trifásica).

[0038] La potencia de CC se transmite posteriormente desde el enlace de CC 244 al convertidor de potencia de lado de rotor 220, en el que 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 multifásica (por ejemplo, trifásica) con voltajes, corrientes y frecuencias predeterminados. 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, una operación subsíncrona.

[0039] 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 del sistema eléctrico y de control 200, recibidas por el controlador de turbina 202 y usadas para controlar la operación del conjunto de conversión de potencia 210. Se puede usar retroalimentación de los sensores 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, voltajes o retroalimentaciones de corriente del bus de disyuntor de circuito de conversión 230, bus de estátor y bus de rotor por medio del segundo conjunto de sensores de voltaje y corriente eléctrica 254, el tercer conjunto de sensores de voltaje y corriente eléctrica 256 y el cuarto conjunto de sensores de voltaje y corriente eléctrica 264. Usando esta información de retroalimentación y, por ejemplo, señales de control de conmutación, se pueden generar de cualquier manera conocidas 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 voltaje de red con características predeterminadas, el controlador de convertidor 262 suspenderá sustancialmente al menos temporalmente la conducción de los dispositivos de conmutación (por ejemplo, IGBT) dentro del convertidor de potencia de lado de línea 222. Dicha suspensión de la operación 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 a aproximadamente cero.

[0040] La FIG. 3 muestra un sistema de convertidor de potencia 300 de ejemplo que se puede usar con el sistema eléctrico y de control 200 (mostrado en la FIG. 2). En un modo de realización de ejemplo, el sistema de convertidor de potencia 300 incluye un convertidor de potencia de lado de rotor 220 y un convertidor de potencia de lado de línea 222. El sistema de convertidor de potencia 300 también incluye un regulador de par de torsión 302, un

regulador de potencia reactiva 304, un bucle de enganche de fase (PLL) 306 de sincronización y un regulador de voltaje de CC 308.

5 **[0041]** El regulador de par de torsión 302 transmite una primera señal de instrucción ("command") de corriente de rotor 312 al convertidor de potencia de lado de rotor 220 y, más específicamente, a un módulo de control de convertidor de rotor 314. La primera señal de instrucción de corriente de rotor 312 se usa para ajustar una corriente de rotor en base a una señal de instrucción de par de torsión de generador 316 deseada recibida desde el controlador de turbina 202 (mostrado en la FIG. 2). El regulador de potencia reactiva 304 recibe una señal de instrucción de potencia reactiva y voltaje de estátor 318 desde el controlador de turbina 202 y transmite una
10 segunda señal de instrucción de corriente de rotor 320 al módulo de control de convertidor de rotor 314. La segunda señal de instrucción de corriente de rotor 320 se usa para controlar un factor de potencia del generador 118 (mostrado en la FIG. 2) ajustando una proporción de potencia real con respecto a potencia reactiva del generador 118. En un modo de realización de ejemplo, el regulador de par de torsión 302 y el regulador de potencia reactiva 304 se alojan dentro del controlador de convertidor 262 (mostrado en la FIG. 2). En un modo de realización alternativo, el regulador de par de torsión 302 y/o el regulador de potencia reactiva 304 se pueden alojar dentro de otro controlador adecuado, tal como el controlador de turbina 202. Cualquiera de los reguladores y/o módulos descritos en el presente documento puede ser lógica informática o instrucciones legibles por ordenador que se implementen por uno o más dispositivos de procesamiento.

20 **[0042]** El PLL 306 de sincronización recibe una señal de retroalimentación de posición de rotor 322 desde un sensor de posición de rotor (no mostrado) y una señal de retroalimentación de voltaje de estátor 324 desde el segundo conjunto de sensores de voltaje y corriente eléctrica 254 (mostrado en la FIG. 2). El PLL 306 de sincronización determina una señal de ángulo de transformación 326 y una señal de ángulo de referencia 328 que se usan para transformar voltajes de rotor y corrientes de rotor entre dos o más marcos de referencia de señal, tales como un marco de referencia en base al tiempo y un marco de referencia en base a fasores. En un modo de realización, la señal de ángulo de transformación 326 y la señal de ángulo de referencia 328 se usan para transformar voltajes de rotor y corrientes de rotor en uno o más fasores que incluyen las componentes X e Y de los voltajes de rotor y/o corrientes de rotor. Como se usa en el presente documento, una componente X se refiere a una componente real de un fasor, y una componente Y se refiere a una componente imaginaria de un fasor. La
25 señal de ángulo de transformación 326 y la señal de ángulo de referencia 328 se transmiten al módulo de control de convertidor de rotor 314 y a un módulo de control de convertidor de línea 330 que se sitúa dentro del convertidor de potencia de lado de línea 222. El regulador de voltaje de CC 308 recibe una señal de referencia de voltaje de CC 332 que se establece, por ejemplo, durante la puesta en marcha de la turbina eólica, y transmite una señal de instrucción de corriente de línea 334 al módulo de control de convertidor de línea 330. La señal de instrucción de corriente de línea 334 se usa para ajustar un voltaje de CC del enlace de CC 244 (mostrado en la FIG. 2).

35 **[0043]** El módulo de control de convertidor de rotor 314 está acoplado a un conjunto de conmutación de convertidor de rotor 336, y el módulo de control de convertidor de línea 330 está acoplado a un conjunto de conmutación de convertidor de línea 338. En un modo de realización de ejemplo, el conjunto de conmutación de convertidor de rotor 336 y el conjunto de conmutación de convertidor de línea 338 incluyen cada uno una pluralidad de dispositivos de conmutación, tales como transistores bipolares de puerta aislada ("IGBT") (no mostrados). De forma alternativa, el conjunto de conmutación de convertidor de rotor 336 y/o el conjunto de conmutación de convertidor de línea 338 incluyen cualquier dispositivo de conmutación adecuado que posibilite que el convertidor de potencia de lado de rotor 220 y el convertidor de potencia de lado de línea 222 operen como se describe en el presente documento (por ejemplo, transistores de efecto campo de óxidos metálicos semiconductores ("metal-oxide-semiconductor field-effect transistors" o "MOSFET")). En un modo de realización de ejemplo, el módulo de control de convertidor de rotor 314 y el módulo de control de convertidor de línea 330 usan modulación por ancho de pulso para controlar un ciclo de trabajo de una señal de control de conmutación de convertidor de rotor 340 y de una señal de control de conmutación de convertidor de línea 342, respectivamente. La señal de control de conmutación de convertidor de rotor 340 controla un comportamiento de conmutación del conjunto de conmutación de convertidor de rotor 336, y la señal de control de conmutación de convertidor de línea 342 controla un comportamiento de conmutación del conjunto de conmutación de convertidor de línea 338. Como tal, el conjunto de conmutación de convertidor de rotor 336 y el conjunto de conmutación de convertidor de línea 338 se controlan para producir una o más características de voltaje y/o corriente de rotor y/o estátor deseadas.

55 **[0044]** Aunque no mostrados en la FIG. 3, uno o más componentes de control del sistema de convertidor de potencia 300 reciben una o más señales de retroalimentación para facilitar el mantenimiento de la operación apropiada del sistema de convertidor de potencia 300. Dichas señales de retroalimentación incluyen, sin limitación, una señal de voltaje CC, una señal de corriente de rotor multifásica (por ejemplo, trifásica) (tal como del tercer conjunto de sensores 256 de voltaje y corriente eléctrica), una señal de corriente multifásica (por ejemplo, trifásica) (tal como del segundo conjunto de sensores 254 de voltaje y corriente eléctrica), una señal de corriente de línea multifásica (por ejemplo, trifásica) (tal como del cuarto conjunto de sensores de voltaje y corriente eléctrica 264), una señal de voltaje de estátor multifásica (por ejemplo, trifásica) (tal como del segundo conjunto de sensores de voltaje y corriente eléctrica 254), y/o una señal de posición de rotor.

5 [0045] La FIG. 4 muestra esquemáticamente el módulo de control de convertidor de rotor 314 que se puede usar con el sistema de convertidor de potencia 300 (mostrado en la FIG. 3). En un modo de realización de ejemplo, el módulo de control de convertidor de rotor 314 incluye un módulo de transformación de corriente 402, un módulo de alimentación anticipada de impedancia 404, un módulo de regulador 406, un módulo de transformación de voltaje 408 y un módulo de amortiguación de corriente 410.

10 [0046] El módulo de transformación de corriente 402 recibe una señal de retroalimentación de corriente 412 que incluye mediciones de corriente desde el tercer conjunto de sensores de corriente eléctrica 256 (mostrado en la FIG. 2) de cada fase del bus de rotor 212 (mostrado en la FIG. 2). En un modo de realización de ejemplo, la señal de retroalimentación de corriente 412 incluye una o más componentes de corriente de la red de transmisión y distribución de potencia eléctrica 213 por medio del sistema de convertidor de potencia 300 y/o por medio del generador 118 (mostrado en la FIG. 2). En un modo de realización, una o más componentes de corriente pueden incluir, por ejemplo, una o más componentes de frecuencia de corriente subsíncrona y/o una o más componentes de frecuencia de red que se ajustan sustancialmente a una frecuencia de la red de transmisión y distribución de potencia eléctrica 213. El módulo de transformación de corriente 402 recibe una señal de ángulo de transformación 326 y transforma las corrientes instantáneas multifásicas (por ejemplo, trifásicas) de la señal de retroalimentación de corriente 412 en un marco de referencia en base a fasores. El módulo de transformación de corriente 402 transmite un fasor de retroalimentación de corriente 414 a un comparador de retroalimentación de corriente 416. El comparador de retroalimentación de corriente 416 recibe un fasor de instrucción de corriente 418, que incluye una primera señal de instrucción de corriente de rotor 312 y una segunda señal de instrucción de corriente de rotor 320 (ambas mostradas en la FIG. 2), y calcula una diferencia entre el fasor de retroalimentación de corriente 414 y el fasor de instrucción de corriente 418. El comparador de retroalimentación de corriente 416 transmite la diferencia resultante como un fasor de error de corriente 420 al módulo de regulador 406 y al módulo de amortiguación de corriente 410.

25 [0047] El módulo de regulador 406 recibe el fasor de error de corriente 420 y realiza una regulación de retroalimentación proporcional más integral para ajustar una salida del módulo de regulador 406 para facilitar la reducción de un error del fasor de error de corriente 420 a sustancialmente 0. El módulo de regulador 406 transmite un fasor de salida de regulador 422 resultante, que es una señal de fasor de voltaje, a un sumador de regulador 424.

30 [0048] El módulo de alimentación anticipada de impedancia 404 recibe un fasor de instrucción de corriente 418 y una señal de frecuencia de deslizamiento 426. El módulo de alimentación anticipada de impedancia 404 calcula una amplitud de un fasor de instrucción de alimentación anticipada 428 como una señal de fasor de voltaje de alimentación anticipada para complementar una regulación de corriente de bucle cerrado del módulo de regulador 406.

35 [0049] En el modo de realización de ejemplo, el módulo de amortiguación de corriente 410 recibe el fasor de error de corriente 420 y facilita la reducción de una amplitud de una o más componentes de frecuencia de corriente representadas por el fasor de error de corriente 420. En un modo de realización de ejemplo, las una o más componentes de frecuencia de corriente son subsíncronas a una frecuencia de corriente de la red de transmisión y distribución de potencia eléctrica 213 (mostrada en la FIG. 2). Como se usa en el presente documento, el término "subsíncrona" se refiere a una frecuencia que es menor que una frecuencia de referencia y, en determinados modos de realización, a una frecuencia que es menor que la frecuencia de la red de transmisión y distribución de potencia eléctrica 213. El módulo de amortiguación de corriente 410 transmite un fasor de control de amortiguación 434 resultante, que es una señal de fasor de voltaje, al sumador de regulador 424.

40 [0050] El sumador de regulador 424 combina un fasor de salida de regulador 422, el fasor de instrucción de alimentación anticipada 428 y un fasor de control de amortiguación 434, y transmite un fasor de instrucción de voltaje 430 resultante al módulo de transformación de voltaje 408. El módulo de transformación de voltaje 408 transforma el fasor de instrucción de voltaje 430 en un marco de referencia en base al tiempo usando la señal de ángulo de transformación 326 y emite una señal de instrucción de voltaje sinusoidal trifásica 432 resultante. La señal de instrucción de voltaje 432 se modula por un módulo de modulación por ancho de pulso (PWM) 436. El módulo de PWM 436 transmite la señal de control de conmutación de convertidor de rotor 340 al conjunto de conmutación de convertidor de rotor 336 (mostrado en la FIG. 2) para controlar una operación de conmutación, tal como un ciclo de trabajo, de los dispositivos de conmutación dentro del conjunto de conmutación de convertidor de rotor 336.

45 [0051] La FIG. 5 muestra esquemáticamente una parte del módulo de amortiguación de corriente 410 que se puede usar con el módulo de control de convertidor de rotor 314 (mostrado en la FIG. 3). En el modo de realización de ejemplo, el módulo de amortiguación de corriente 410 incluye un módulo de integrador 502, un módulo de transformación de entrada 504, uno o más módulos de regulador de control de amortiguación subsíncrona (SSDC) 506 y un módulo de transformación de salida 508. El módulo de integrador 502 recibe una señal de frecuencia subsíncrona 510 predeterminada que, en un modo de realización, representa una o más frecuencias de corriente subsíncronas predeterminadas que se van a amortiguar. La señal de frecuencia subsíncrona 510 se selecciona como una frecuencia de un marco de referencia sobre el que actúa la frecuencia subsíncrona de la resonancia de

red por el módulo de regulador de SSDC 506. En un modo de realización, el marco de referencia puede tener una frecuencia de sustancialmente cero, de modo que una frecuencia de una o más señales que entren en el módulo de regulador de SSDC 506 será igual a una frecuencia de señales como se observa desde un marco de referencia estacionario. En otro modo de realización, el marco de referencia se puede seleccionar para que rote cerca de una frecuencia anticipada de la resonancia de red subsíncrona. La selección de la señal de frecuencia subsíncrona 510 apropiada es dependiente del resto del sistema en el que está incorporado el módulo de amortiguación de corriente 410, y se realiza durante los estudios de diseño para adaptar el rasgo característico de amortiguación subsíncrona del sistema.

[0052] El módulo de integrador 502 integra la señal de frecuencia subsíncrona 510 y transmite una señal de ángulo subsíncrona 512 resultante a un comparador de ángulos de referencia 514. El comparador de ángulos de referencia 514 calcula una diferencia entre la señal de ángulo subsíncrona 512 y la señal de ángulo de referencia 328, y emite una señal de ángulo de referencia subsíncrona 516 resultante al módulo de transformación de entrada 504 y a un sumador de orientación subsíncrona 518.

[0053] El módulo de transformación de entrada 504 recibe el fasor de error de corriente 420 y realiza una transformación del fasor de error de corriente 420 usando la señal de ángulo de referencia subsíncrona 516. Más específicamente, el módulo de transformación de entrada 504 transforma el fasor de error de corriente 420 en un marco de referencia rotatorio que incluye dos componentes, α y β , usando las siguientes ecuaciones:

$$\alpha = x' \cos \theta + y' \sin \theta \text{ (Ec. 1)}$$

$$\beta = x' \sin \theta + y' \cos \theta \text{ (Ec. 2)}$$

donde x es una componente real del fasor de error de corriente 420, y es una componente imaginaria del fasor de error de corriente 420, y θ es la señal de ángulo de referencia subsíncrona 516. El marco de referencia rotatorio que incluye α y β rota sustancialmente a la frecuencia de la frecuencia de corriente subsíncrona. El módulo de transformación de entrada 504 transmite una señal de transformación de error de corriente 520 que incluye α y β al módulo de regulador de SSDC 506. La señal de transformación de error de corriente 520 incluye una componente de frecuencia que es sustancialmente igual a la frecuencia de corriente subsíncrona. En un modo de realización de ejemplo, el módulo de regulador de SSDC 506 incluye, y/o está configurado para realizar, una función de transferencia proporcional más integral. De forma alternativa, el módulo de regulador de SSDC 506 incluye cualquier función de transferencia adecuada u otro algoritmo que posibilite que el módulo de amortiguación de corriente 410 opere como se describe en el presente documento. El módulo de regulador de SSDC 506 integra y añade una ganancia a la señal de transformación de error de corriente 520. El módulo de regulador de SSDC 506 transmite una señal de transformación de amortiguación subsíncrona de corriente 522 resultante al módulo de transformación de salida 508. La señal de transformación de amortiguación subsíncrona 522 incluye una componente de frecuencia que es sustancialmente igual a la frecuencia de corriente subsíncrona.

[0054] El sumador de orientación subsíncrona 518 combina la señal de ángulo de referencia subsíncrona 516 con una señal de referencia de ajuste de orientación 524, y transmite una señal de orientación de salida 526 resultante al módulo de transformación de salida 508. De acuerdo con la invención, la señal de referencia de ajuste de orientación 524 se determina por una lógica de ajuste de ángulo de orientación adaptativa 530. De acuerdo con la invención, la señal de referencia de ajuste de orientación 524 está determinada por la lógica de ajuste de ángulo de orientación 530 en base a una magnitud de flujo 532.

[0055] La magnitud de flujo 532 se puede determinar por un estimador de flujo 534. En diversos modos de realización, el estimador de flujo 534 se puede incluir en un módulo de amortiguación de corriente 410, o puede ser un estimador de flujo 534 externo al módulo de amortiguación de corriente. El estimador de flujo 534 puede ser un módulo configurado para estimar la magnitud de flujo de entrehierro, como se conoce en la técnica. Por ejemplo, se puede configurar un estimador de flujo 534 para estimar un flujo de entrehierro en base al voltaje de un estátor. Adicionalmente y/o de forma alternativa, la magnitud de flujo 532 se puede determinar por cualquier procedimiento o dispositivo adecuado conocido en la técnica. En uno o más modos de realización, el estimador de flujo 534 puede estimar la magnitud de flujo 534 en un valor por unidad ("PU"). Por ejemplo, el flujo de entrehierro entre el rotor y el estátor en un generador se puede saturar y, cuando está saturado, puede ser un valor por unidad de 1,0.

[0056] La magnitud de flujo 532 se puede usar por la lógica de ajuste de ángulo de orientación adaptativa 530 para ajustar la señal de referencia de ajuste de orientación 524. Por ejemplo, la lógica de ajuste de ángulo de orientación adaptativa 530 se puede configurar para emitir la señal de referencia de ajuste de orientación 524 en base al menos en parte a la magnitud de flujo 532, tal como, por ejemplo, al recibir la magnitud de flujo 532 y usar una tabla de consulta para determinar la correspondiente señal de referencia de ajuste de orientación 524.

[0057] De acuerdo con la invención, la lógica de ajuste de ángulo de orientación adaptativa 530 está configurada para determinar la señal de referencia de ajuste de orientación 524 en base a una fórmula. De acuerdo con la

invención, la lógica de ajuste de ángulo de orientación adaptativa 530 determina la señal de referencia de ajuste de orientación 524 en base a la siguiente ecuación:

$$\delta = \min \{ C_1, \max \{ C_2, C_3 + (F - C_3) * (C_2 - C_1) / (C_4 - C_3) \} \} \quad (\text{Ec. 3})$$

dónde δ es la señal de referencia de ajuste de orientación 524 expresada en grados, F es la magnitud de flujo 532 expresada en un valor por unidad, y C_1 , C_2 , C_3 , y C_4 son constantes. Como se señala, la magnitud de flujo 532 (es decir, F) se puede proporcionar por el estimador de flujo 534 en un valor por unidad, y, en base al valor de la magnitud de flujo 532, se puede determinar la señal de referencia de ajuste de orientación 524 (es decir, δ). Las constantes C_1 y C_2 pueden ser ángulos de orientación seleccionados en una fase de diseño, y las constantes C_3 , y C_4 pueden ser valores por unidad seleccionados en una fase de diseño. La FIG. 6 representa un gráfico de la relación entre la señal de referencia de ajuste de orientación 524 y una magnitud de flujo 532 usando la ec. 3. Como se muestra en la FIG. 6, a medida que varía el flujo de entrehierro, la señal de referencia de ajuste de orientación se puede ajustar en base a la magnitud de flujo de entrehierro.

[0058] En referencia, de nuevo, a la FIG. 5, la señal de referencia de ajuste de orientación 524 se puede combinar con la señal de ángulo de referencia subsíncrona 516 por el sumador de orientación subsíncrona 518 para generar la señal de orientación de salida 526. La señal de orientación de salida 526 se usa para ajustar la orientación de un faser de salida generado por el módulo de transformación de salida 508. El módulo de transformación de salida 508 transforma la señal de transformación de amortiguación subsíncrona de corriente 522 en un marco de referencia en base a fasores, de una manera sustancialmente inversa a como se realizada por el módulo de transformación de entrada 504. Como tal, una inversa de la ec. 1 se realiza en una componente α de la señal de transformación de amortiguación subsíncrona 522, y una inversa de la ec. 2 se realiza en una componente β de la señal de transformación de amortiguación subsíncrona 522. El módulo de transformación de salida 508 emite un faser de control de amortiguación 434 resultante como se muestra en la FIG. 4. El faser de control de amortiguación 434 incluye una componente de frecuencia que es sustancialmente igual a una diferencia entre la frecuencia de la red de transmisión y distribución de potencia eléctrica 213 y la frecuencia de corriente subsíncrona.

[0059] En referencia ahora a la FIG. 7, se representa un diagrama de flujo de un procedimiento (700) de ejemplo para controlar un convertidor de potencia de acuerdo con un modo de realización de ejemplo de la presente divulgación. El convertidor de potencia puede ser un convertidor de potencia en un sistema de turbina eólica, que también puede incluir un generador con un rotor y un estátor. El procedimiento 700 se puede implementar por un dispositivo de control o sistema de control, tal como un sistema eléctrico y de control 200 o un controlador de turbina 202 representados en la FIG. 2, o un dispositivo de control 1010 representado en la FIG. 9. Además, la FIG. 7 representa las etapas realizadas en un orden particular con propósitos de ilustración y análisis.

[0060] En (702), un procedimiento (700) puede incluir determinar una magnitud de flujo de un entrehierro entre un rotor y un estátor en el generador. Por ejemplo, un estimador de flujo 534 puede estimar una magnitud de flujo 532 de un entrehierro entre el rotor y un estátor tal como, por ejemplo, estimando la magnitud de flujo en base a un voltaje del estátor. El estimador de flujo 532 puede ser un estimador de flujo como se conoce en la técnica o cualquier dispositivo o procedimiento adecuado para determinar una magnitud de flujo.

[0061] En (704), el procedimiento (700) puede incluir determinar una señal de referencia de ajuste de orientación para el módulo de amortiguación de corriente en base al menos en parte a la magnitud de flujo. Por ejemplo, se puede proporcionar una magnitud de flujo 532 a una lógica de ajuste de ángulo de orientación adaptativa 530 en un módulo de amortiguación de corriente 410. La lógica de ajuste de ángulo de orientación adaptativa 530 puede determinar una señal de referencia de ajuste de orientación 524 para el módulo de amortiguación de corriente 410 en base al menos en parte a la magnitud de flujo 532. Por ejemplo, en (706) la señal de referencia de ajuste de orientación 524 se puede determinar usando una ecuación, tal como la ec. 3, como se analiza en el presente documento. De forma alternativa, en (708), la señal de referencia de ajuste de orientación 524 se puede determinar a partir de una tabla de consulta. Por ejemplo, un dispositivo de control 1000 puede hacer referencia a una tabla de consulta y seleccionar una señal de referencia de ajuste de orientación 524 correspondiente al valor de una magnitud de flujo 532.

[0062] En (710), el procedimiento (700) puede incluir controlar el convertidor de potencia en base al menos en parte a la señal de referencia de ajuste de orientación. Por ejemplo, un sistema de convertidor de potencia 300 puede incluir un conjunto de conmutación de convertidor de rotor 336 y un conjunto de conmutación de convertidor de línea 338, cada uno de los cuales puede incluir una pluralidad de dispositivos de conmutación. Se puede acoplar un módulo de control de convertidor de rotor 314 al conjunto de conmutación de convertidor de rotor 336 y se puede acoplar un módulo de control de convertidor de línea 330 al conjunto de conmutación de convertidor de línea 338. El módulo de control de convertidor de rotor 314 se puede controlar en base al menos en parte a la señal de referencia de ajuste de orientación 524 como se describe en el presente documento. En (712), el procedimiento (700) puede incluir controlar un comportamiento de conmutación de la pluralidad de dispositivos de conmutación. Por ejemplo, el módulo de control de convertidor de rotor 314 puede controlar un comportamiento de conmutación del conjunto de conmutación de convertidor de rotor 336, y una señal de control de conmutación de

convertidor de línea 342 puede controlar un comportamiento de conmutación de un conjunto de conmutación de convertidor de línea 338. Además, en (714), el procedimiento (700) puede incluir controlar un ciclo de trabajo de la pluralidad de dispositivos de conmutación. Por ejemplo, un módulo de control de convertidor de rotor 314 puede usar modulación por ancho de pulso para controlar un ciclo de trabajo de una señal de control de conmutación de convertidor de rotor 340. La señal de control de conmutación de convertidor de rotor 340 puede controlar un comportamiento de conmutación de la pluralidad de dispositivos de conmutación en el conjunto de conmutación de convertidor de rotor 336. De este modo, el convertidor de potencia se puede controlar en base al menos en parte a la señal de referencia de ajuste de orientación 524, y además, se puede controlar un comportamiento de conmutación de la pluralidad de dispositivos de conmutación, tal como controlando un ciclo de trabajo de la pluralidad de dispositivos de conmutación.

[0063] En referencia ahora a la FIG. 8, se muestra una simulación de ejemplo que representa el problema abordado por aspectos de ejemplo de la presente divulgación. La FIG. 8 representa una resistencia por unidad 802 y una reactancia por unidad 804 para un intervalo de frecuencias subsíncronas para el sistema de turbina eólica con un convertidor de potencia que no está controlado en base a una lógica de ajuste de ángulo de orientación adaptativa de acuerdo con aspectos de ejemplo de la presente divulgación. De forma similar, también se representa una resistencia 812 por unidad y una reactancia 814 por unidad para un intervalo de frecuencias subsíncronas para el sistema de turbina eólica con un convertidor de potencia que se controla en base a una lógica de ajuste de ángulo de orientación adaptativa de acuerdo con aspectos de ejemplo de la presente divulgación.

[0064] Como se muestra, la resistencia 802 se vuelve negativa para una parte del intervalo de frecuencias subsíncronas. Por ejemplo, la resistencia 802 por unidad cae por debajo de resistencia cero para una parte del intervalo de frecuencias subsíncronas. En una situación de este tipo, el generador de turbina eólica puede presentar inestabilidad de SSCI. Sin embargo, al usar aspectos de ejemplo de la presente divulgación, la resistencia 812 puede permanecer positiva para el intervalo de frecuencias subsíncronas de modo que el sistema de turbina eólica presente una característica de amortiguación positiva para el intervalo de frecuencias subsíncronas. Por ejemplo, la resistencia puede permanecer entre 0 y 1 en un valor por unidad para el intervalo de frecuencias subsíncronas. De este modo, el sistema de turbina eólica de acuerdo con aspectos de ejemplo de la presente divulgación puede presentar una característica de amortiguación positiva para el intervalo de frecuencias subsíncronas. El intervalo de frecuencias subsíncronas puede ser, por ejemplo, un intervalo de frecuencias que sea menor que una frecuencia de una red de transmisión y distribución de potencia eléctrica (por ejemplo, 50/60 Hz).

[0065] En referencia ahora a la FIG. 9, se representa un dispositivo/sistema de control de ejemplo 1010 de acuerdo con modos de realización de ejemplo de la presente divulgación. El dispositivo/sistema de control 1010 se puede usar, por ejemplo, como un sistema eléctrico y de control 200 o un controlador de turbina 202 como se muestra en la FIG. 2 y/o implementar cualquiera de los reguladores o módulos descritos en el presente documento. En algunos modos de realización, el dispositivo/sistema de control 1010 puede incluir uno o más procesadores 1012 y uno o más dispositivos de memoria 1014. El/los procesador(es) 1012 y el/los dispositivo(s) de memoria 1014 se pueden distribuir de modo que se localicen en uno o más lugares o con diferentes dispositivos.

[0066] El/los procesador(es) 1012 y el/los dispositivo(s) de memoria 1014 se pueden configurar para realizar una variedad de funciones y/o instrucciones implementadas por ordenador (por ejemplo, realizar los procedimientos, etapas, cálculos y similares y almacenar datos pertinentes como se divulga en el presente documento). Las instrucciones, cuando se ejecutan por el/los procesador(es) 1012, pueden provocar que el/los procesador(es) 1012 realice(n) operaciones de acuerdo con aspectos de ejemplo de la presente divulgación. Por ejemplo, las instrucciones, cuando se ejecutan por el/los procesador(es) 1012, pueden provocar que el/los procesador(es) 1012 implemente(n) el procedimiento de las FIGS. 7 (700) analizado en el presente documento.

[0067] Además, el dispositivo de control 1010 puede incluir una interfaz de comunicaciones 1016 para facilitar las comunicaciones entre el dispositivo de control 1010 y diversos componentes de un sistema de turbina eólica, parque eólico o sistema de potencia, incluyendo parámetros de potencia, parámetros de corriente, parámetros de voltaje u otros parámetros descritos en el presente documento. Además, la interfaz de comunicaciones 1018 puede incluir una interfaz de sensor 1018 (por ejemplo, uno o más convertidores de analógico a digital) para permitir que las señales transmitidas desde uno o más sensores 1020, 1022 se conviertan en señales que se puedan entender y procesar por el/los procesador(es) 1012. Se debe apreciar que los sensores (por ejemplo, los sensores 1020, 1022) se pueden acoplar en comunicación a la interfaz de comunicaciones 1018 usando cualquier medio adecuado, tal como una conexión alámbrica o inalámbrica. Las señales se pueden comunicar usando cualquier protocolo de comunicaciones adecuado. Los sensores (1020, 1022) pueden ser, por ejemplo, sensores de voltaje, sensores de corriente, sensores de potencia o cualquier otro dispositivo de sensor descrito en el presente documento.

[0068] Como tal, el/los procesador(es) 1012 se puede(n) configurar para recibir una o más señales de los sensores 1020 y 1022. Por ejemplo, en algunos modos de realización, el/los procesador(es) 1012 puede(n) recibir señales indicativas de una corriente del sensor 1020. En algunos modos de realización, el/los procesador(es) 1012 puede(n) recibir señales indicativas de voltaje (por ejemplo, voltaje de estátor) del sensor 1022.

5 **[0069]** 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 están incluidos en un ordenador, sino que también se refiere a un dispositivo de control, un dispositivo de microcontrol, un microordenador, un dispositivo de control lógico programable (PLC), un circuito integrado específico de aplicación y otros circuitos programables. Adicionalmente, el/los dispositivo(s) de memoria 1014 puede(n) incluir, en general, elemento(s) de memoria, incluyendo, pero sin limitarse a, un medio legible por ordenador (por ejemplo, una memoria de acceso aleatorio (RAM)), un medio no volátil legible por ordenador (por ejemplo, una memoria *flash*), una memoria de solo lectura-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 1014 se puede(n) configurar, en general, para almacenar instrucciones legibles por ordenador adecuadas que, cuando se implementan por el/los procesador(es) 1012, configuran el controlador 1010 para realizar las diversas funciones como se describe en el presente documento.

15 **[0070]** La tecnología analizada en el presente documento hace referencia a sistemas basados en ordenador y acciones tomadas por y la información enviada a y desde sistemas basados en ordenador. Un experto en la técnica reconocerá que la flexibilidad inherente de los sistemas basados en ordenador permite una gran variedad de posibles configuraciones, combinaciones y divisiones de tareas y funcionalidad entre los componentes. Por ejemplo, los procesos analizados en el presente documento se pueden implementar usando un único dispositivo informático o múltiples dispositivos informáticos que trabajen en combinación. Las bases de datos, memoria, instrucciones y aplicaciones se pueden implementar en un único sistema o distribuir a través de múltiples sistemas. 20 Los componentes distribuidos se pueden operar secuencialmente o en paralelo.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento (700) para controlar un convertidor de potencia (200) en un sistema de turbina eólica, comprendiendo el sistema de turbina eólica un generador (118) y un convertidor de potencia (200), comprendiendo el convertidor de potencia (200) una pluralidad de dispositivos de conmutación y un módulo de amortiguación de corriente (410), comprendiendo el procedimiento (700):

determinar, por uno o más procesadores (1012), una magnitud de flujo (F, 532) de un entrehierro entre un rotor (122) y un estátor (120) en el generador (118);

determinar, por una lógica de ajuste de ángulo de orientación adaptativa (530), una señal de referencia de ajuste de orientación (δ , 524) para el módulo de amortiguación de corriente (410) en base a la magnitud de flujo (F, 532) de acuerdo con la ecuación:

$$\delta = \arcsin(C_1 \cdot \max(C_2, C_1 + (F - C_3) \cdot (C_2 - C_1) / (C_4 - C_3)))$$

donde C_1 , C_2 , C_3 y C_4 son constantes; y

controlar, por los uno o más procesadores (1012), el convertidor de potencia (200) en base al menos en parte a la señal de referencia de ajuste de orientación (δ , 524).

2. El procedimiento (700) de la reivindicación 1, en el que el convertidor de potencia (200) se controla de modo que el sistema de turbina eólica presente una característica de amortiguación positiva para un intervalo de frecuencias subsíncronas.

3. El procedimiento (700) de la reivindicación 2, en el que el sistema de turbina eólica está acoplado a una red de transmisión y distribución de potencia eléctrica (213); y

en el que el intervalo de frecuencias subsíncronas comprende un intervalo de frecuencias que es menor que una frecuencia de la red de transmisión y distribución de potencia eléctrica (213).

4. El procedimiento (700) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que determinar, por los uno o más procesadores (1012), una magnitud de flujo (532) del entrehierro comprende estimar una magnitud de flujo (532) con un estimador de magnitud de flujo (534).

5. El procedimiento (700) de la reivindicación 4, en el que la magnitud de flujo estimada (532) se basa al menos en parte en el voltaje del estátor (120).

6. El procedimiento (700) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la señal de referencia de ajuste de orientación (δ , 524) se expresa en grados, la magnitud de flujo (532, F) se proporciona en un valor por unidad, las constantes C_1 y C_2 son ángulos de orientación seleccionados en una fase de diseño, y las constantes C_3 y C_4 son valores por unidad seleccionados en una fase de diseño.

7. El procedimiento (700) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que controlar, por los uno o más procesadores (1012), el convertidor de potencia (200) en base al menos en parte a la señal de referencia de ajuste de orientación (δ , 524) comprende:

controlar, por los uno o más procesadores (1012), un comportamiento de conmutación de la pluralidad de dispositivos de conmutación.

8. El procedimiento (700) de la reivindicación 7, en el que controlar, por los uno o más procesadores (1012), el comportamiento de conmutación de la pluralidad de dispositivos de conmutación comprende:

controlar, por los uno o más procesadores (1012), un ciclo de trabajo de la pluralidad de dispositivos de conmutación.

9. Un sistema de control para un sistema de turbina eólica, comprendiendo el sistema de turbina eólica un generador (118) y un convertidor de potencia (200), comprendiendo el convertidor de potencia (200) una pluralidad de dispositivos de conmutación y un módulo de amortiguación de corriente (410) que comprende una lógica de ajuste de ángulo de orientación adaptativa (530), comprendiendo el sistema de control:

uno o más procesadores (1012) y uno o más dispositivos de memoria (1014) configurados para almacenar instrucciones que, cuando se ejecutan por los uno o más procesadores (1012), provocan que los uno o más procesadores (1012) realicen operaciones, comprendiendo las operaciones:

determinar una magnitud de flujo (F, 532) de un entrehierro entre un rotor (122) y un estátor (120) en el generador (118); y

5 controlar el convertidor de potencia (200) en base al menos en parte a una señal de referencia de ajuste de orientación (δ , 524) para el módulo de amortiguación de corriente (410), determinándose la señal de referencia de ajuste de orientación (δ , 524) por la lógica de ajuste de ángulo de orientación adaptativa (530) en base a la magnitud de flujo (F, 532) de acuerdo con la ecuación:

$$\delta = \min(C_1, \max(C_2, C_3 + (F - C_2) * (C_2 - C_1) / (C_4 - C_2))),$$

10 donde C_1 , C_2 , C_3 y C_4 son constantes;

en el que el convertidor de potencia (200) se controla de modo que el sistema de turbina eólica presente una característica de amortiguación positiva para un intervalo de frecuencias subsíncronas.

15 10. El sistema de control de la reivindicación 9, en el que el sistema de turbina eólica está acoplado a una red de transmisión y distribución de potencia eléctrica (213); y

20 en el que el intervalo de frecuencias subsíncronas comprende un intervalo de frecuencias que es menor que una frecuencia de la red de transmisión y distribución de potencia eléctrica (213).

11. El sistema de control de las reivindicaciones 9-10, en el que determinar una magnitud de flujo (532) del entrehierro comprende estimar una magnitud de flujo (532) con un estimador de magnitud de flujo (534).

25 12. El sistema de control de las reivindicaciones 9-11, en el que controlar el convertidor de potencia (200) en base al menos en parte a la señal de referencia de ajuste de orientación (524) comprende:
controlar un comportamiento de conmutación de la pluralidad de dispositivos de conmutación.

30 13. El sistema de control de la reivindicación 12, en el que controlar el comportamiento de conmutación de la pluralidad de dispositivos de conmutación comprende:
controlar un ciclo de trabajo de la pluralidad de dispositivos de conmutación.

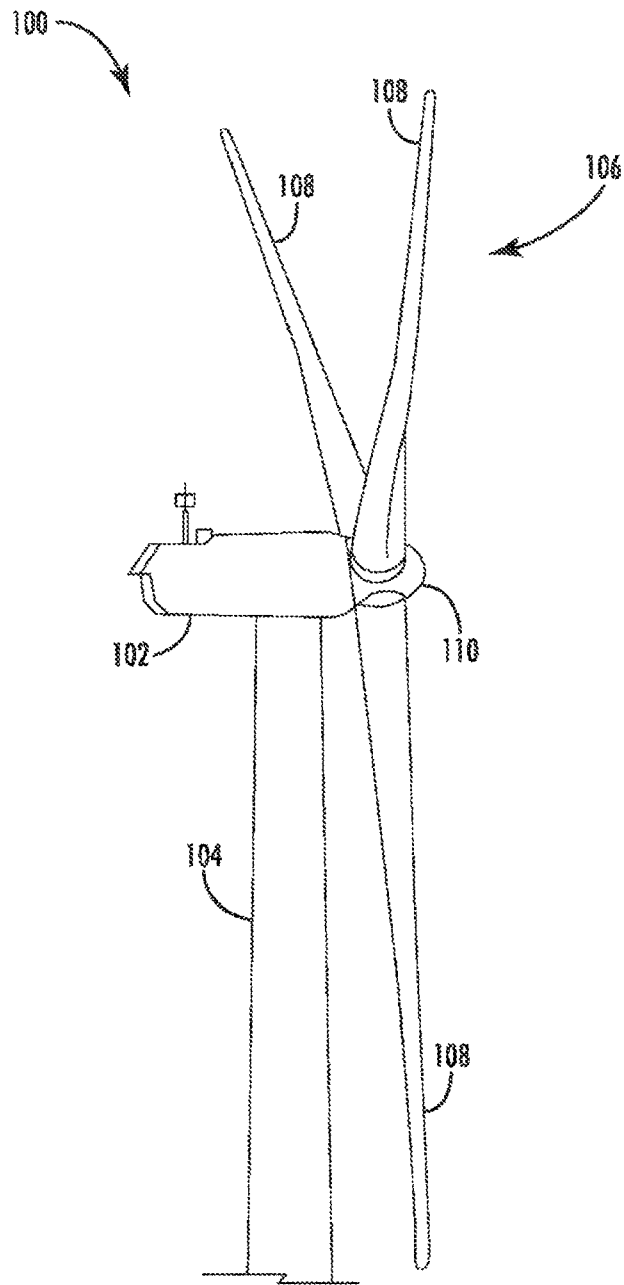


FIG 1

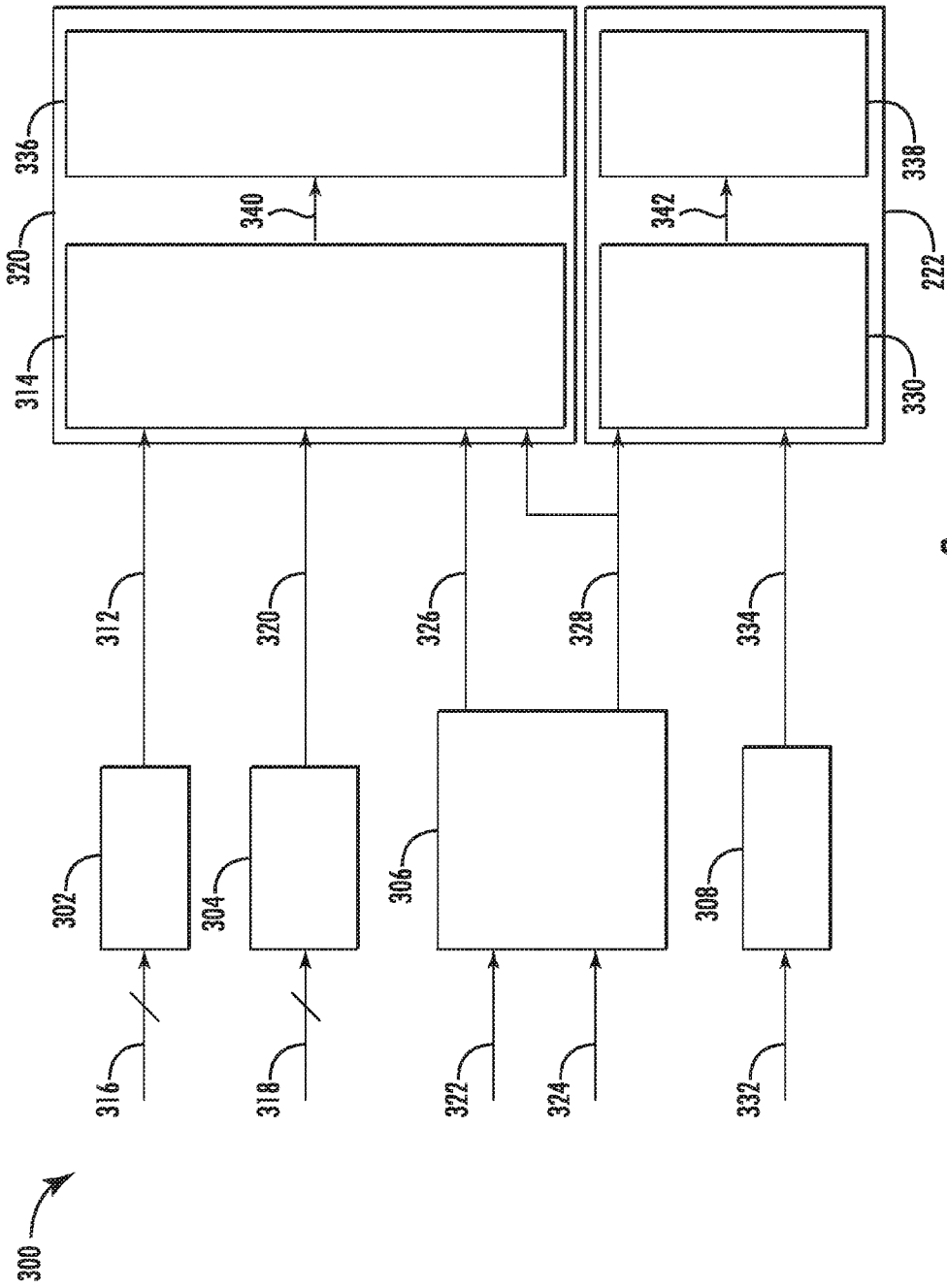


FIG. 3

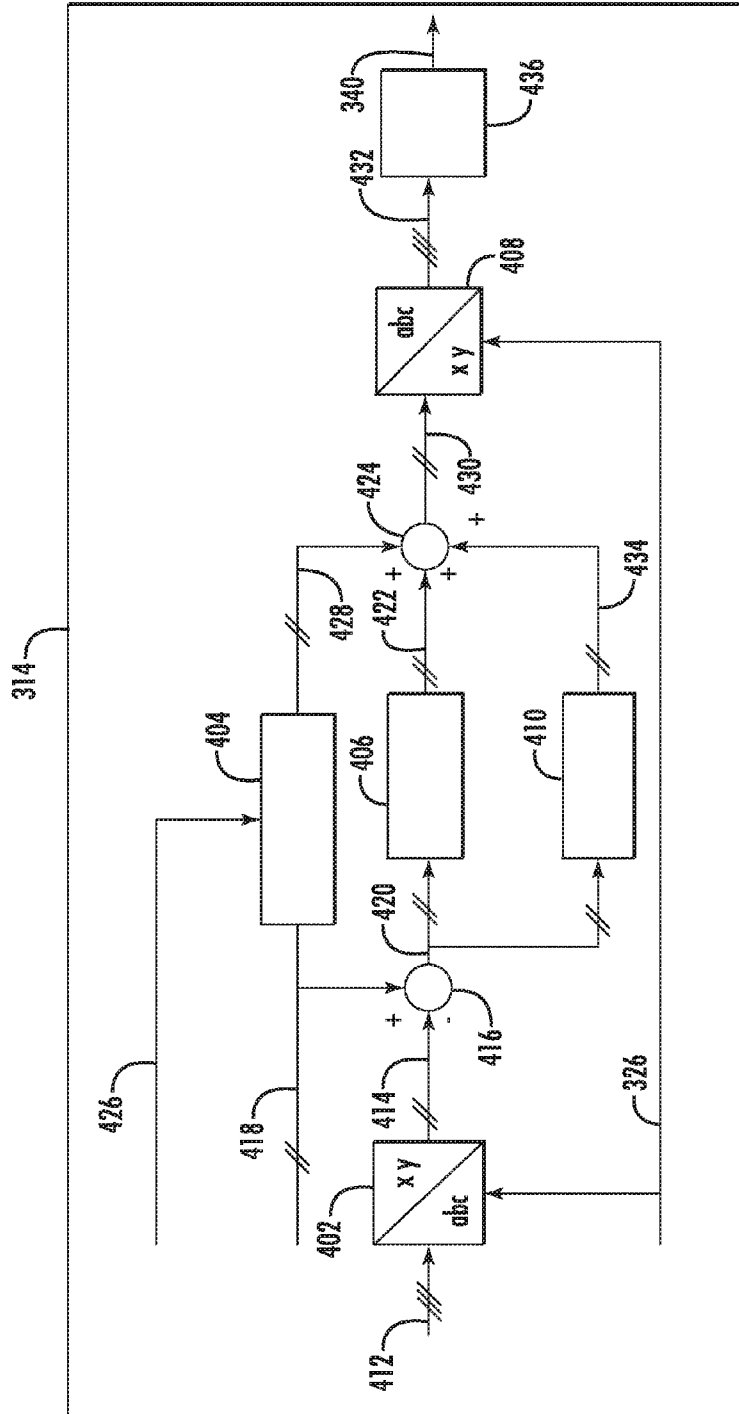


FIG 4

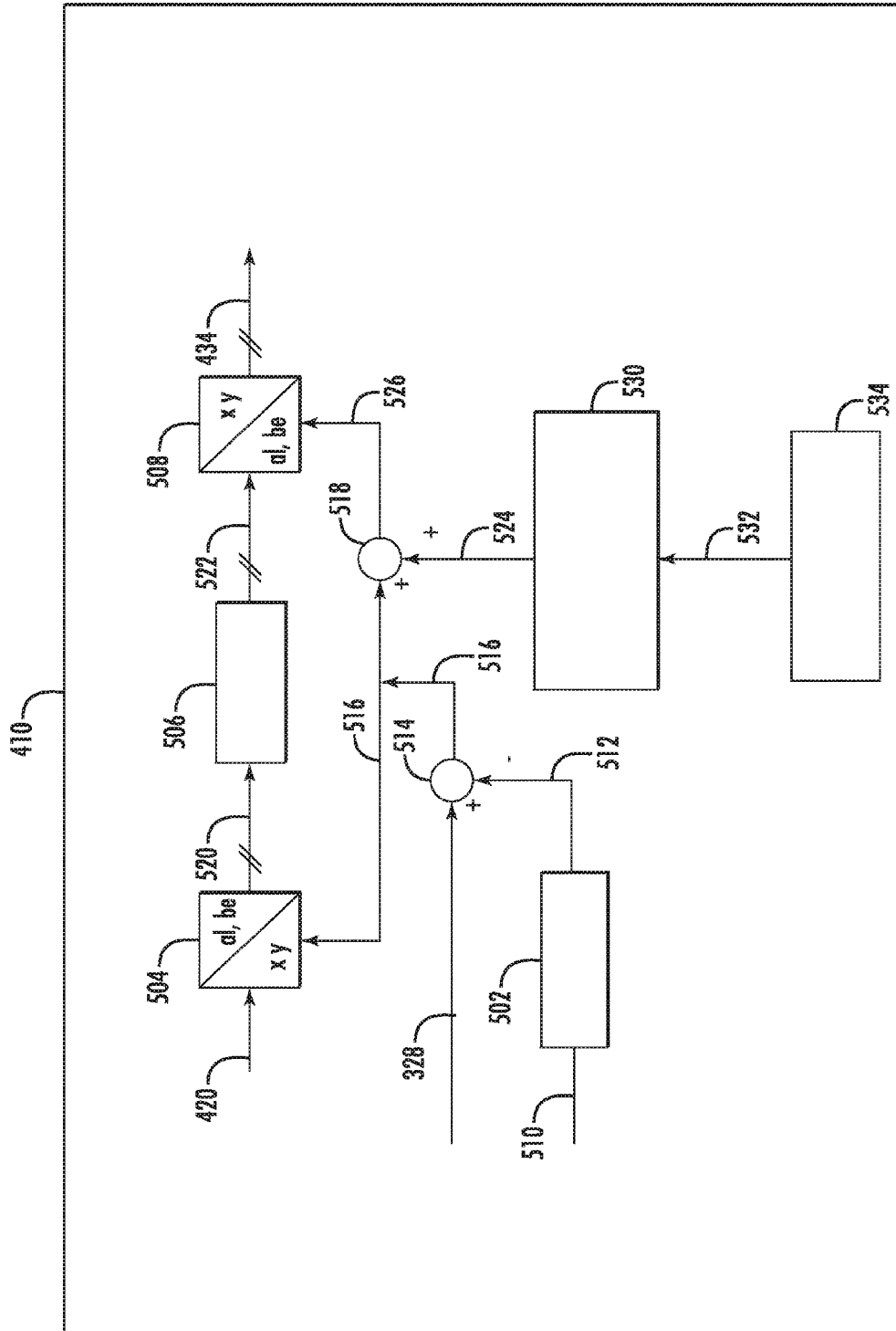


FIG. 5

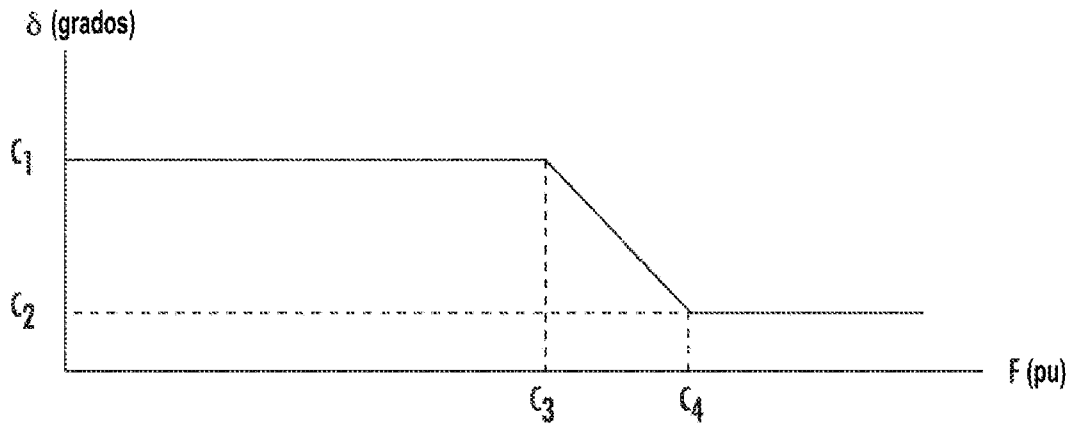


FIG 6

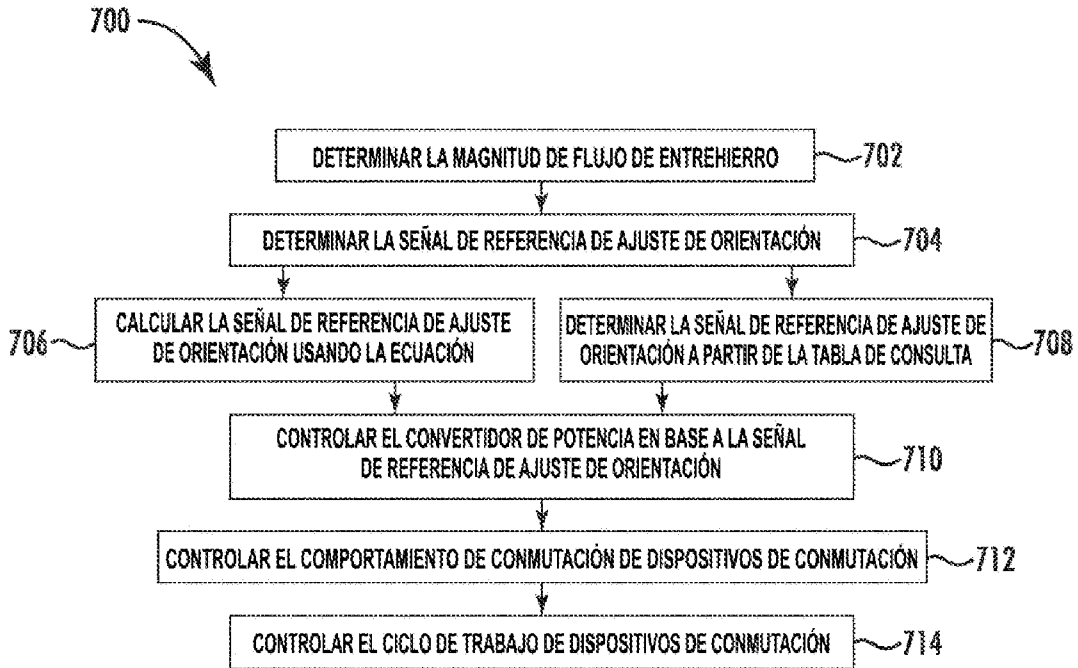


FIG 7

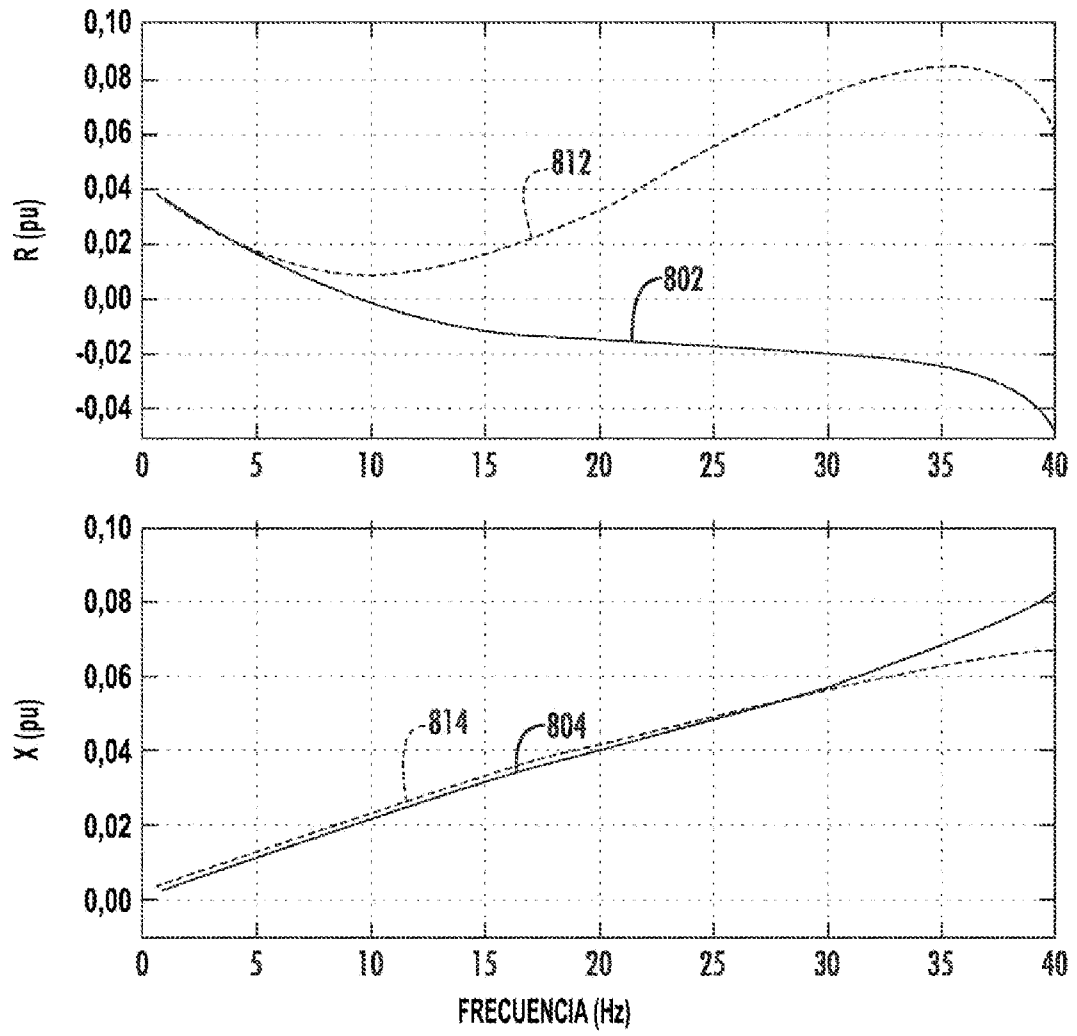


FIG 8

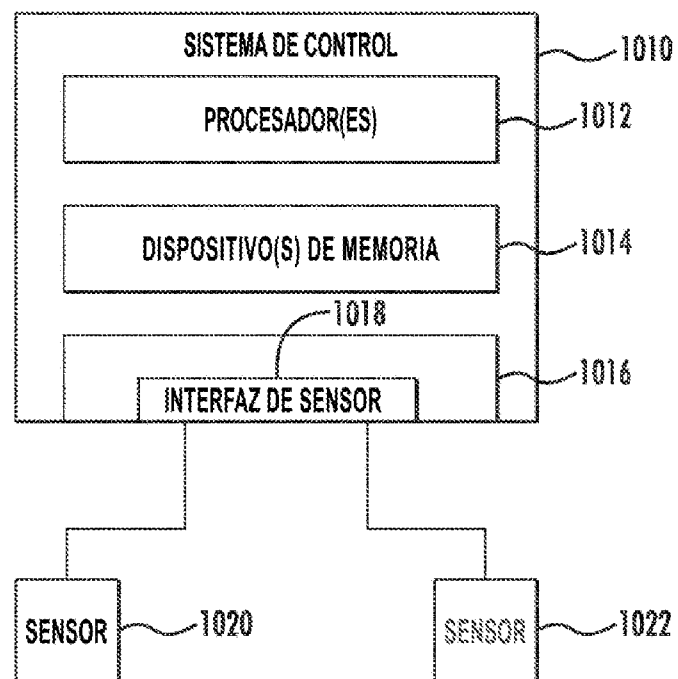


FIG 9