

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 842 929**

51 Int. Cl.:

H02J 3/38 (2006.01)

H02J 3/48 (2006.01)

H02J 3/50 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.11.2018 E 18203922 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.09.2020 EP 3484008**

54 Título: **Control dinámico de la capacidad de potencia activa y reactiva para parques eólicos**

30 Prioridad:

13.11.2017 US 201715810269

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

15.07.2021

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**HARDWICKE, EDWARD WAYNE;
WAGONER, ROBERT GREGORY;
SCHNETZKA, HAROLD ROBERT;
SALAMAH, SAMIR;
BURRA, RAJNI KANT y
VENKITANARAYANAN, VAIDHYA NATH**

74 Agente/Representante:

FORTEA LAGUNA, Juan José

ES 2 842 929 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

Control dinámico de la capacidad de potencia activa y reactiva para parques eólicos

5 **[0001]** La presente divulgación se refiere, en general, a parques eólicos que tienen una pluralidad de turbinas eólicas, y, más en particular, a sistemas y procedimientos para determinar la capacidad de potencia activa y reactiva dinámica para parques eólicos.

10 **[0002]** La energía eólica se considera una de las fuentes de energía más limpias y más respetuosas con el medio ambiente disponibles actualmente, y las turbinas eólicas han obtenido cada vez más atención a este respecto. Una turbina eólica moderna típicamente incluye una torre, un generador, una multiplicadora, una góndola y una o más palas de rotor. Las palas de rotor capturan la energía cinética del viento usando principios de superficie aerodinámica conocidos. Por ejemplo, las palas de rotor típicamente tienen el perfil en sección transversal de una superficie aerodinámica de modo que, durante el funcionamiento, el aire fluye sobre la pala, lo que produce una diferencia de presión entre los lados. En consecuencia, una fuerza ascensional, que se dirige desde un lado de presión hacia un lado de succión, actúa sobre la pala. La fuerza ascensional genera par de torsión en el eje de rotor principal, que está engranado a un generador para producir electricidad. Además, una pluralidad de turbinas eólicas se pueden disponer en una localización geológica predeterminada y conectar eléctricamente entre sí para formar un parque eólico.

20 **[0003]** Durante el funcionamiento, el viento impacta en las palas de rotor de la turbina eólica y las palas transforman la energía eólica en un par de torsión rotacional mecánico que acciona de forma rotatoria un eje a baja velocidad. El eje a baja velocidad se configura para accionar la multiplicadora que posteriormente eleva la baja velocidad de rotación del eje a baja velocidad para accionar un eje a alta velocidad a una velocidad de rotación incrementada. En general, el eje a alta velocidad se acopla de forma rotatoria a un generador para accionar de forma rotatoria un rotor de generador. Como tal, se puede inducir un campo magnético rotatorio por el rotor de generador y se puede inducir una tensión dentro de un estator de generador que se acople magnéticamente al rotor de generador. En determinadas configuraciones, la energía eléctrica asociada se puede transmitir a un transformador de turbina que típicamente se conecta a una red eléctrica por medio de un disyuntor de red. Por tanto, el transformador de turbina eleva la tensión de cresta de la energía eléctrica de modo que la energía eléctrica transformada se pueda transmitir además a la red eléctrica.

35 **[0004]** En muchas turbinas eólicas, el rotor de generador se puede acoplar eléctricamente a un convertidor de potencia bidireccional que incluye un convertidor del lado de rotor unido a un convertidor del lado de línea por medio de un enlace de CC regulado. Más específicamente, algunas turbinas eólicas, tales como los sistemas de generador de inducción doblemente alimentado (DFIG) accionado por el viento o los sistemas de conversión de potencia completa, pueden incluir un convertidor de potencia con una topología CA-CC-CA.

40 **[0005]** El DFIG se puede configurar para proporcionar tanto potencia activa o real (medida en vatios) como reactiva (medida en VAR). Por ejemplo, controlando el ciclo de conmutación del convertidor del lado de rotor, se puede controlar la potencia real y reactiva generada por el estator. De forma similar, controlando un ciclo de conmutación del convertidor del lado de línea, se puede controlar la potencia real y reactiva generada por el rotor. Por tanto, la cantidad combinada de potencia reactiva generada por el sistema de turbina eólica con DFIG se puede controlar para que cumpla con un requisito de producción de potencia reactiva, tal como un requisito de producción de potencia reactiva establecido por un sistema de control de reparto de una compañía eléctrica. En una configuración típica, el estator de un DFIG se puede configurar para suministrar la potencia reactiva para el sistema a menos que el estator se quede sin margen de corriente, en cuyo caso, el convertidor del lado de línea se puede usar para ayudar a que la potencia reactiva cumpla con el requisito de producción de potencia reactiva.

50 **[0006]** En un parque eólico, el viento no se impulsa de forma constante a través del parque en cualquier instante de tiempo, sino que, más bien, algunas turbinas eólicas perciben vientos fuertes en un momento de tiempo, mientras que otras perciben mucho menos viento al mismo tiempo. Por tanto, la presente divulgación se dirige a sistemas y procedimientos para determinar la capacidad de potencia real y reactiva dinámica para parques eólicos que tienen en cuenta el viento cambiante.

55 **[0007]** Los documentos de patente WO 2009083446 A2 y WO 2015086022 A1 divulgan procedimientos de control de parque eólico para parques con generadores de inducción doblemente alimentados (DFIG). El documento US 2010025994 A1 también divulga controles de parque eólico. Los tres documentos enumerados se refieren al control en base a parámetros eléctricos.

60 **[0008]** Diversos aspectos y ventajas de la invención se expondrán en parte en la siguiente descripción, o se pueden aclarar a partir de la descripción, o se pueden aprender a través de la puesta en práctica de la invención.

65 **[0009]** En un aspecto, la presente divulgación se dirige a un procedimiento de control para controlar dinámicamente la capacidad de potencia real y reactiva de un parque eólico que tiene una pluralidad de turbinas eólicas. Cada una de la pluralidad de turbinas eólicas tiene un generador de inducción doblemente alimentado

(DFIG) y un convertidor de potencia. Cada convertidor de potencia tiene un convertidor del lado de línea y un convertidor del lado de rotor. El procedimiento de control incluye obtener, por un dispositivo de control que comprende uno o más procesadores y uno o más dispositivos de memoria, uno o más parámetros de funcionamiento en tiempo real de cada una de las turbinas eólicas. El procedimiento también incluye obtener, por el dispositivo de control, uno o más límites de sistema de cada una de las turbinas eólicas. Además, el procedimiento incluye medir, por medio de uno o más sensores, al menos una condición de viento en tiempo real en cada una de las turbinas eólicas. Además, el procedimiento incluye calcular continuamente, por el dispositivo de control, una capacidad de potencia activa máxima global y una capacidad de potencia reactiva máxima global para cada una de las turbinas eólicas como una función de los uno o más parámetros de funcionamiento en tiempo real, los uno o más límites de sistema y al menos una condición de viento en tiempo real. Además, el procedimiento incluye generar, por el dispositivo de control, una curva de capacidad de generador para cada una de las turbinas eólicas usando las capacidades de potencia activa y reactiva máximas globales y una curva de potencia. Por tanto, el procedimiento incluye comunicar las curvas de capacidad de generador para cada una de las turbinas eólicas a un controlador a nivel de parque del parque eólico y controlar, por medio del controlador a nivel de parque, el parque eólico en base a las curvas de capacidad de generador.

[0010] En otro aspecto, la presente divulgación se dirige a un sistema de control para una turbina eólica. La turbina eólica tiene un DFIG y un convertidor de potencia. El convertidor de potencia tiene un convertidor del lado de línea y un convertidor del lado de rotor. El sistema de control incluye uno o más procesadores y uno o más dispositivos de memoria. Además, el sistema de control se configura para realizar una o más operaciones, incluyendo, pero sin limitarse a, obtener uno o más parámetros de funcionamiento en tiempo real de cada una de las turbinas eólicas, obtener uno o más límites de sistema de cada una de las turbinas eólicas, obtener al menos una condición de viento en tiempo real en cada una de las turbinas eólicas, calcular continuamente una capacidad de potencia activa máxima global y una capacidad de potencia reactiva máxima global para cada una de las turbinas eólicas como una función de los uno o más parámetros de funcionamiento en tiempo real, los uno o más límites de sistema, y la al menos una condición de viento en tiempo real, generar una curva de capacidad de generador para cada una de las turbinas eólicas usando las capacidades de potencia activa y reactiva máximas globales y una curva de potencia, y comunicar las curvas de capacidad de generador para cada de las turbinas eólicas a un controlador a nivel de parque del parque eólico.

[0011] Se pueden realizar variaciones y modificaciones en estos modos de realización de ejemplo de la presente divulgación.

[0012] Diversos 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 la presente memoria descriptiva, ilustran modos de realización de la invención y, conjuntamente con la descripción, sirven para explicar la invención.

[0013] En los dibujos:

la FIG. 1 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un sistema de turbina eólica con DFIG de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 2 ilustra un diagrama esquemático de otro modo de realización de un sistema de turbina eólica con DFIG de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 3 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un parque eólico que tiene una pluralidad de turbinas eólicas de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 4 ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento para controlar dinámicamente la capacidad de potencia real y reactiva de un parque eólico que tiene una pluralidad de turbinas eólicas de acuerdo con la presente divulgación; y

la FIG. 5 ilustra un dispositivo de control de ejemplo de acuerdo con aspectos de ejemplo de la presente divulgación.

[0014] Ahora se hará referencia en detalle a modos de realización de la invención, de los que se ilustra uno o más 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 puedan realizarse diversas modificaciones y variaciones en la presente invención sin alejarse del alcance o el 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 de modo que entren dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas y sus equivalentes.

[0015] En general, los aspectos de ejemplo de la presente divulgación se dirigen a sistemas y procedimientos

para generar y comunicar las capacidades de potencia activa y reactiva disponibles máximas de un sistema de turbina eólica con DFIG en un parque eólico a un controlador a nivel de parque del parque eólico. En un parque eólico, el viento no se impulsa de forma constante a través del parque en cualquier instante de tiempo, sino que, más bien, algunas turbinas experimentan vientos fuertes en un momento de tiempo, mientras que otras turbinas experimentan menos viento al mismo tiempo. Como tal, la presente divulgación se dirige a un procedimiento de control que posibilita que las turbinas eólicas que experimentan vientos fuertes generen una potencia real máxima (P) a un nivel que esté en o incluso por encima de su potencia nominal (es decir, minimizando su salida de potencia reactiva (Q) y/o incrementando la tensión entre bornes), sin exceder las restricciones eléctricas de la turbina eólica (por ejemplo, tamaño de transformador, tamaño de cableado de alimentación, tamaño de protección, etc.). Mientras tanto, las turbinas eólicas que experimentan menos vientos se configuran para proporcionar más de la capacidad reactiva requerida del parque eólico.

[0016] Diversas turbinas eólicas en el parque eólico también se pueden controlar independientemente para ajustar sus salidas de potencia reactiva para regular diversas tensiones dentro del parque eólico. Por tanto, el controlador a nivel de parque del parque eólico se configura para maximizar su capacidad de salida de potencia real instantánea para maximizar la AEP del parque mientras se mantiene la capacidad de generar la potencia reactiva requerida. Además, la optimización de la distribución de potencia reactiva dentro del sistema eléctrico de turbina eólica por medio de controles y la utilización completa de la capacidad de potencia reactiva del convertidor del lado de línea se configura para incrementar la capacidad disponible dentro del diseño de generador para la generación de potencia real del sistema de turbina.

[0017] Para soportar esta capacidad, el procedimiento de control de la presente divulgación también puede incorporar las diversas fuentes de potencia reactiva y optimizar los medios de control para maximizar la potencia reactiva disponible de la turbina eólica. Dichas fuentes de potencia reactiva pueden incluir el factor de amplificación en VAR de generador DFIG, la capacidad en VAR de generador DFIG real (en lugar de una capacidad en VAR especificada y, por tanto, limitada) y la capacidad en VAR del lado de línea del convertidor. También se considera que la temperatura de funcionamiento instantánea y la altitud de la instalación de cada turbina extienden la capacidad de la turbina eólica. Por tanto, la curva de capacidad de generador del generador DFIG de la presente divulgación no es plana en la parte superior y en la parte inferior, sino que varía como una función de las RPM, tensión y temperatura de funcionamiento.

[0018] En referencia ahora a los dibujos, la FIG. 1 ilustra un modo de realización de un sistema de turbina eólica con generador de inducción doblemente alimentado (DFIG) 100 accionado por el viento de acuerdo con la presente divulgación. Los aspectos de ejemplo de la presente divulgación se analizan con referencia al sistema de turbina eólica con DFIG 100 de la FIG. 1 con propósitos de ilustración y análisis. Los expertos en la técnica, usando las divulgaciones proporcionadas en el presente documento, deben entender que los aspectos de ejemplo de la presente divulgación también son aplicables en otros sistemas energéticos, tales como turbinas eólicas síncronas, asíncronas, de imán permanente y de conversión de potencia completa, turbina a gas solar u otros sistemas de generación de potencia adecuados.

[0019] En el sistema 100 de ejemplo, un rotor 106 incluye una pluralidad de palas de rotor 108 acopladas a un buje rotatorio 110. El rotor 106 se acopla a una multiplicadora 118 opcional que, a su vez, se acopla a un generador 120. De acuerdo con aspectos de la presente divulgación, el generador 120 es un generador de inducción doblemente alimentado (DFIG) 120.

[0020] El DFIG 120 puede incluir un rotor y un estator. Además, como se muestra, el DFIG 120 típicamente se acopla a una barra colectora de estator 154 y un convertidor de potencia 162 por medio de una barra colectora de rotor 156. La barra colectora de estator 154 proporciona una potencia multifásica de salida (por ejemplo, potencia trifásica) desde un estator del DFIG 120 y la barra colectora de rotor 156 proporciona una potencia multifásica de salida (por ejemplo, potencia trifásica) de un rotor del DFIG 120. Con referencia al convertidor de potencia 162, el DFIG 120 se acopla por medio de la barra colectora de rotor 156 a un convertidor del lado de rotor 166. El convertidor del lado de rotor 166 se acopla a un convertidor del lado de línea 168 que, a su vez, se acopla a una barra colectora del lado de línea 188.

[0021] En configuraciones de ejemplo, el convertidor del lado de rotor 166 y el convertidor del lado de línea 168 se configuran para un modo de funcionamiento normal en una disposición de modulación por anchura de impulsos (PWM) trifásica usando un transistor bipolar de puerta aislada (IGBT) o elementos de conmutación similares. El convertidor del lado de rotor 166 y el convertidor del lado de línea 168 se pueden acoplar por medio de un enlace de CC 136 a través del que está el condensador 138 del enlace de CC. En un modo de realización, un transformador 178, tal como un transformador de tres devanados, se puede acoplar a la barra colectora de línea 188, a la barra colectora de estator 154 y a una barra colectora de sistema 160. El transformador 178 puede convertir la tensión de la energía de la barra colectora de línea 188 y la barra colectora de estator 154 en una tensión adecuada para proporcionarla a una red eléctrica 184 por medio de la barra colectora de sistema 160.

[0022] El sistema de conversión de potencia 162 se puede acoplar a un dispositivo de control 174 para controlar el funcionamiento del convertidor del lado de rotor 166 y del convertidor del lado de línea 168. Cabe destacar que

el dispositivo de control 174, en modos de realización típicos, se configura como una interfaz entre el sistema de conversión de potencia 162 y un sistema de control 176. En una implementación, el dispositivo de control 174 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 comandos de control (por ejemplo, comandos de modulación por anchura de impulsos) a los elementos de conmutación del convertidor de potencia 162 y otros aspectos del sistema de turbina eólica 100.

[0023] En funcionamiento, la potencia en corriente alterna generada en el DFIG 120 por la rotación del rotor 106 se proporciona por medio de una trayectoria doble con respecto a la red eléctrica 184. Las trayectorias dobles se definen por la barra colectora de estator 154 y la barra colectora de rotor 156. En el lado de barra colectora de rotor 156, se proporciona potencia en corriente alterna (CA) multifásica (por ejemplo, trifásica) sinusoidal al convertidor de potencia 162. El convertidor de potencia del lado de rotor 166 convierte la potencia en CA proporcionada desde la barra colectora de rotor 156 en potencia en corriente continua (CC) y proporciona la potencia en CC al enlace de CC 136. Los elementos de conmutación (por ejemplo, IGBT) usados en circuitos en derivación del convertidor de potencia del lado de rotor 166 se pueden modular para convertir la potencia en CA proporcionada desde la barra colectora de rotor 156 en potencia en CC adecuada para el enlace de CC 136.

[0024] El convertidor del lado de línea 168 convierte la potencia en CC en el enlace de CC 136 en potencia de salida en CA adecuada para la red eléctrica 184, tal como potencia en CA síncrona con respecto a la red eléctrica 184, que se puede transformar por el transformador 178 antes proporcionarse a la red eléctrica 184. En particular, los elementos de conmutación (por ejemplo, IGBT) usados en circuitos en derivación del convertidor de potencia del lado de línea 168 se pueden modular para convertir la potencia en CC en el enlace de CC 136 en potencia en CA en la barra colectora del lado de línea 188. La potencia en CA del convertidor de potencia 162 se puede combinar con la potencia del estator del DFIG 120 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).

[0025] El convertidor de potencia 162 puede recibir señales de control, por ejemplo, del sistema de control 174. Las señales de control se pueden basar, entre otras cosas, en condiciones detectadas o características de funcionamiento del sistema de turbina eólica 100. Típicamente, las señales de control proporcionan el control del funcionamiento del convertidor de potencia 162. Por ejemplo, se puede usar la retroalimentación en forma de velocidad detectada del DFIG 120 para controlar la conversión de la potencia de salida de la barra colectora de rotor 156 para mantener una fuente de alimentación multifásica (por ejemplo, trifásica) apropiada y equilibrada. También se puede usar otra retroalimentación de otros sensores por el controlador 174 para controlar el convertidor de potencia 162, incluyendo, por ejemplo, las tensiones de barra colectora de rotor y estator y retroalimentaciones de corriente. Usando las diversas formas de información de retroalimentación, se pueden generar señales de control de conmutación (por ejemplo, comandos de temporización de puerta para los IGBT), señales de control de sincronización de estator y señales de disyuntor de circuito.

[0026] Se pueden incluir diversos disyuntores y conmutadores de circuito, tales como un disyuntor de barra colectora de línea 186, un disyuntor de barra colectora de estator 158 y un disyuntor de red 182 en el sistema 100 para conectar o desconectar las correspondientes barras colectoras, por ejemplo, cuando el flujo de corriente es excesivo y puede dañar componentes del sistema de turbina eólica 100 o para otras consideraciones de funcionamiento. También se pueden incluir componentes de protección adicionales en el sistema de turbina eólica 100.

[0027] En referencia ahora a la FIG. 2, se ilustra una implementación alternativa de un sistema de turbina eólica con DFIG 100 de acuerdo con aspectos de ejemplo adicionales de la presente divulgación. Se hace referencia a los elementos que son iguales o similares a los de la FIG. 1 con los mismos números de referencia. Como se muestra, en algunas implementaciones, un estator de un DFIG 120 se puede acoplar a una barra colectora de estator 154, que se puede acoplar a la barra colectora de línea 188. La potencia del convertidor de potencia 162 se puede combinar con potencia de la barra colectora de estator 154, y proporcionar al transformador 178 acoplado a una barra colectora de sistema 160. En algunas implementaciones, como se muestra, el transformador 178 puede ser un transformador elevador de dos devanados o un transformador de aislamiento. Además, como se muestra, la barra colectora de sistema 160 se puede acoplar a la red eléctrica 184. En algunas implementaciones, una pluralidad de sistemas de turbina eólica con DFIG 100 se pueden acoplar entre sí en una agrupación, y la potencia de la agrupación de sistemas de turbinas eólicas con DFIG 100 se puede proporcionar a un transformador de agrupación (no mostrado) antes de que se proporcione energía a la red eléctrica 184.

[0028] En referencia ahora a la FIG. 3, las turbinas eólicas 100 se pueden disponer juntas en una localización geográfica común como un parque eólico 200 y conectar a la red eléctrica 184. Más específicamente, como se muestra, cada una de las turbinas eólicas 100 se puede conectar a la red eléctrica 184 por medio de un transformador 178 principal. Además, como se muestra, el parque eólico 200 se puede conectar a la red eléctrica 184 por medio de un transformador de subestación 202. Por tanto, como se muestra, el parque eólico 200 también

puede incluir un controlador de transformador 210, un regulador de tensión automático (por ejemplo, un cambiador de tomas) y/o uno o más dispositivos de potencia de reactor 214. Por ejemplo, los dispositivos de potencia de reactor 214 pueden incluir uno cualquiera de los siguientes: una batería de condensadores 216, una batería de reactores 218 y/o un compensador síncrono estático (STATCOM) 220.

[0029] En referencia ahora a la FIG. 4, se ilustra un diagrama de flujo de un procedimiento 300 de ejemplo para controlar dinámicamente la capacidad de potencia real y reactiva del parque eólico 200. El procedimiento 300 se puede implementar por un dispositivo de control y/o sistema de control, tal como un dispositivo de control 174 o un sistema de control 176 representado en la FIG. 1 o el dispositivo/sistema de control 510 representado en la FIG. 5. Además, la FIG. 4 representa las etapas realizadas en un orden particular con propósitos de ilustración y análisis. Los expertos en la técnica, usando las divulgaciones proporcionadas en el presente documento, entenderán que diversas etapas de cualquiera de los procedimientos divulgados en el presente documento se pueden adaptar, omitir, reorganizar o expandir de diversos modos sin desviarse del alcance de la presente divulgación.

[0030] Como se muestra en 302, el procedimiento 300 puede incluir obtener uno o más parámetros de funcionamiento en tiempo real de cada una de las turbinas eólicas 100 del parque eólico 200. En determinados modos de realización, el/los parámetro(s) de funcionamiento en tiempo real pueden incluir rotaciones por minuto (RPM) de funcionamiento de una de las turbinas eólicas 100, temperatura, potencia, altitud, corriente, tensión o cualquier otro parámetro de funcionamiento adecuado. Por ejemplo, el dispositivo de control 174 se puede conectar operativamente a uno o más sensores, tal como uno o más sensores de tensión, corriente, potencia, temperatura o velocidad de rotación de DFIG, y se puede configurar para recibir mediciones indicativas de uno o más parámetros de funcionamiento del parque eólico 200. En algunas implementaciones, el dispositivo de control 174 se puede configurar para determinar uno o más parámetros de funcionamiento en base a uno o más parámetros de funcionamiento obtenidos de uno o más sensores.

[0031] Como se muestra en 304, el procedimiento 300 incluye obtener uno o más límites de sistema de cada una de las turbinas eólicas 100 en el parque eólico 200. Por ejemplo, en determinados modos de realización, el/los límite(s) de sistema puede(n) incluir una limitación eléctrica de un componente de una de las turbinas eólicas 100 (por ejemplo, tensión, corriente, etc.), una limitación de tamaño de un componente de una de las turbinas eólicas 100 (tamaño de transformador, tamaño de cableado de alimentación, tamaño de protección, etc.), ganancia en VAR, una capacidad de potencia reactiva predefinida o una capacidad de potencia real predefinida.

[0032] Como se muestra en 306, el procedimiento 300 incluye medir al menos una condición de viento en tiempo real en cada una de las turbinas eólicas 100. Por ejemplo, en un modo de realización, la(s) condiciones de viento en tiempo real puede(n) corresponder a la velocidad del viento, turbulencia del viento, ráfagas de viento, dirección del viento, aceleración del viento, cizalladura del viento, viraje del viento, efecto sombra o cualquier otro parámetro del viento. Además, como se menciona, el dispositivo de control 174 se puede conectar operativamente a uno o más sensores, tales como uno o más sensores de viento, y se puede configurar para recibir mediciones indicativas de diversas condiciones de viento en el parque eólico 200.

[0033] Como se muestra en 308, el procedimiento 300 incluye calcular continuamente una capacidad de potencia activa máxima global y una capacidad de potencia reactiva máxima global para cada una de las turbinas eólicas 100 en el parque eólico 200 como una función del/de los parámetro(s) de funcionamiento en tiempo real, el/los límite(s) de sistema y la velocidad del viento en tiempo real. Más específicamente, en un modo de realización, las capacidades de potencia activa y reactiva máximas se pueden calcular de forma instantánea. En modos de realización alternativos, las capacidades de potencia activa y reactiva máximas se pueden calcular a intervalos regulares predefinidos.

[0034] En modos de realización particulares, el dispositivo de control 174 puede usar un parámetro de funcionamiento de corriente, un parámetro de funcionamiento de tensión, un parámetro de funcionamiento de temperatura u otros parámetros de funcionamiento, así como el/los límite(s) de sistema y la velocidad del viento en tiempo real para determinar la capacidad de potencia reactiva global (es decir, una capacidad máxima de una fuente de potencia reactiva para producir potencia reactiva) en un punto de tiempo particular. Usando una tabla de consulta o un cálculo, la capacidad de potencia reactiva se puede determinar por el dispositivo de control 174 en base a la cantidad de potencia activa producida por la fuente de potencia activa y reactiva, por ejemplo, el DFIG 120. En algunas implementaciones, la capacidad de potencia reactiva se puede determinar además en base a otros parámetros, tales como la temperatura de funcionamiento del componente, uno o más límites de tensión o corriente para el componente, u otros parámetros de funcionamiento.

[0035] Por ejemplo, en un modo de realización, el dispositivo de control 174 se configura para calcular las capacidades de potencia activa y reactiva máximas para el convertidor del lado de línea 168 del convertidor de potencia 162 y las capacidades de potencia activa y reactiva máximas para el convertidor del lado de rotor 166 del convertidor de potencia 162. Más específicamente, en un modo de realización, cuando se calculan las capacidades de potencia reactiva máximas para el convertidor del lado de rotor 166, el dispositivo de control 174 puede tener en cuenta todas las fuentes de potencia reactiva de cada turbina 100 individual, que pueden incluir, por ejemplo, la capacidad en VAR de generador DFIG real, el factor de amplificación en VAR de generador, la capacidad en

VAR de convertidor del lado de línea y la temperatura de funcionamiento instantánea y la altitud de la instalación de cada turbina. Por ejemplo, un DFIG presenta una capacidad de amplificar el generador de potencia reactiva por el estator 124 por medio del rotor 122. El nivel de amplificación es una función del diseño del DFIG 120 y las RPM de funcionamiento. La ganancia del rotor 122 con respecto al estator 124 es una función de las RPM de funcionamiento.

[0036] Por tanto, el dispositivo de control 174 puede calcular, a continuación, las capacidades de potencia activa y reactiva máximas globales para las turbinas eólicas 100 en el parque eólico 200 en base a las capacidades de potencia activa y reactiva máximas para el convertidor del lado de línea 168 y las capacidades de potencia activa y reactiva máximas para el convertidor del lado de rotor 166, así como la capacidad de generador 120. En dichos modos de realización, el dispositivo de control 174 puede usar cualquier combinación de corriente, tensión, temperatura, etc. de los convertidores del lado de línea y del lado de rotor 166, 168 y/o el generador 120, así como el/los límite(s) de sistema y la velocidad del viento en tiempo real para determinar la capacidad de potencia reactiva global (es decir, una capacidad máxima de una fuente de potencia reactiva para producir potencia reactiva) en un punto de tiempo particular.

[0037] En referencia todavía a la FIG. 4, como se muestra en 310, el procedimiento 300 incluye generar una curva de capacidad de generador para cada una de las turbinas eólicas 100 usando las capacidades de potencia activa y reactiva máximas globales y una curva de potencia. Más específicamente, como se usa en el presente documento, una curva de capacidad de generador (también denominada comúnmente curva D) se refiere, en general, a una curva que representa límites de salida activa y reactiva de un sistema. Las curvas de capacidad de generador convencionales a menudo usan restricciones rectangulares o planas para los límites de salida activa y reactiva. Sin embargo, las curvas de capacidad de generador de la presente divulgación presentan restricciones curvadas que varían como una función de la velocidad de funcionamiento (RPM).

[0038] Como se muestra en 312, el procedimiento 300 incluye comunicar las curvas de capacidad de generador para cada una de las turbinas eólicas 100 a un controlador a nivel de parque 204 (FIG. 4) del parque eólico 200. En modos de realización alternativos, el procedimiento 300 puede incluir comunicar la información contenida en las curvas de capacidad de generador en un formato diferente, por ejemplo, un conjunto de vectores, incluyendo condiciones de funcionamiento controlables junto con la capacidad esperada, un cambio esperado con respecto al estado o capacidad de funcionamiento presente, y/o cualquier otra función que indique una capacidad mejorada.

[0039] Como se muestra en 314, el procedimiento 300 incluye controlar el parque eólico 200 en base a las curvas de capacidad de generador por medio del controlador a nivel de parque 204, una o más configuraciones del cambiador de tomas del cambiador de tomas 212, o configuraciones del/de los dispositivo(s) de potencia reactiva 214 del parque eólico 200. Más específicamente, en un modo de realización, el dispositivo de control 174 puede comparar la velocidad del viento en cada una de las turbinas eólicas 100 con un umbral predeterminado. La velocidad del viento en cada turbina eólica 100 individual se puede medir o las turbinas eólicas 100 se pueden dividir en uno o más conjuntos 206, 208 de turbinas eólicas, como se muestra en la FIG. 3, y la velocidad del viento se puede medir para cada conjunto. Se debe entender, sin embargo, que los primer y segundo conjuntos 206, 208 de turbinas eólicas 100 descritos en el presente documento pueden incluir una o más turbinas eólicas 100. Como tal, si la velocidad del viento para un primer conjunto 206 (FIG. 3) de turbinas eólicas 100 (o una única turbina eólica 100) en el parque eólico 200 está por encima del umbral predeterminado, el dispositivo de control 174 se configura para maximizar una salida de potencia activa para el primer conjunto 206 de turbinas eólicas 100 en base a las curvas de capacidad de generador asociadas. En modos de realización particulares, la etapa de maximizar la salida de potencia activa para el primer conjunto 206 de turbinas eólicas 100 puede incluir minimizar una salida de potencia reactiva del primer conjunto 206 de turbinas eólicas 100 y ajustar al menos una tensión o corriente aplicada al rotor 122 del DFIG 120 del primer conjunto 206 de turbinas eólicas 100.

[0040] Por el contrario, si la velocidad del viento para un segundo conjunto 208 de turbinas eólicas 100 está por debajo del umbral predeterminado, el sistema de control 176 y/o el dispositivo de control 174 se configura para maximizar una salida de potencia reactiva del segundo conjunto 208 de turbinas eólicas 100 en base a las curvas de capacidad de generador asociadas para lograr al menos una parte de un requisito de producción de potencia reactiva para el parque eólico 200. Por ejemplo, en un modo de realización, el sistema de control 176 y/o el dispositivo de control 174 pueden maximizar la salida de potencia reactiva del segundo conjunto 208 de turbinas eólicas 100 ajustando una fase de una tensión del rotor 122 del DFIG del segundo conjunto 208 de turbinas eólicas 100. Más específicamente, el sistema de control 176 y/o el dispositivo de control 174 pueden controlar un ciclo de conmutación del convertidor del lado de línea 168 de cada una de las turbinas eólicas 100 para producir potencia reactiva. Por ejemplo, el sistema de control 176 y/o el dispositivo de control 174 pueden controlar un comportamiento de conmutación del convertidor del lado de línea 168 de modo que una corriente del convertidor del lado de línea 168 esté en fase o en desfase con una tensión sinusoidal de la red eléctrica 184 para producir o absorber potencia reactiva. De forma similar, el sistema de control 176 y/o el dispositivo de control 174 pueden controlar un ciclo de conmutación del convertidor del lado de rotor 166 para producir o absorber potencia reactiva del DFIG 120.

[0041] El requisito de producción de potencia reactiva como se describe en el presente documento puede ser un

punto de ajuste de producción de potencia reactiva recibido de un sistema de control, tal como un sistema de control externo 190 (por ejemplo, un sistema de control de reparto de una eléctrica). Por ejemplo, las turbinas eólicas 100 se pueden repartir para proporcionar potencia reactiva para soportar la red eléctrica 184. El dispositivo de control 174 se puede configurar para recibir el requisito de producción de potencia reactiva, por ejemplo, recibiendo un comando indicativo del requisito de producción de potencia reactiva del sistema de control 190. Por tanto, el dispositivo de control 174 puede controlar el parque eólico 200 en base a, al menos en parte, el requisito de producción de potencia reactiva. Por ejemplo, el dispositivo de control 174 puede controlar cada una de las turbinas eólicas 100 de modo que la producción de potencia reactiva combinada de las mismas cumpla con el requisito de producción de potencia reactiva.

[0042] En otros modos de realización, la etapa de controlar el parque eólico 200 en base a las curvas de capacidad de generador puede incluir ajustar independientemente las salidas de potencia reactiva de cada una de la pluralidad de turbinas eólicas 100 para regular tensiones predeterminadas en el parque eólico 200.

[0043] La FIG. 5 ilustra un dispositivo/sistema de control 510 de ejemplo de acuerdo con modos de realización de ejemplo de la presente divulgación. El dispositivo/sistema de control 510 puede ser, por ejemplo, un dispositivo de control 174 o un sistema de control 176, y se puede asociar con un sistema de turbina eólica individual, un parque eólico (por ejemplo, un dispositivo de control a nivel de agrupación o a nivel de parque) y/o puede incluir uno o más dispositivos de control asociados con aspectos de un sistema de turbina eólica, tales como uno o más dispositivos de control configurados para controlar un convertidor de potencia 162. En algunos modos de realización, los uno o más dispositivos de control 510 pueden incluir uno o más procesadores 512 y uno o más dispositivos de memoria 514. El/los procesador(es) 512 y dispositivo(s) de memoria 514 se pueden distribuir de modo que estén localizados en una o más localizaciones o con diferentes dispositivos.

[0044] El/los procesador(es) 512 y dispositivo(s) de memoria 514 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) 512, pueden provocar que el/los procesador(es) 512 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) 512, pueden provocar que el/los procesador(es) 512 implemente(n) los procedimientos analizados en el presente documento.

[0045] Además, el dispositivo de control 510 puede incluir una interfaz de comunicaciones 516 para facilitar las comunicaciones entre el dispositivo de control 510 y diversos componentes de un sistema de turbina eólica, parque eólico o sistema energético, incluyendo los requisitos de producción de potencia reactiva o los parámetros de funcionamiento detectados como se describe en el presente documento. Además, la interfaz de comunicaciones 518 puede incluir una interfaz de sensor 518 (por ejemplo, uno o más convertidores de analógico a digital) para permitir que las señales transmitidas desde uno o más sensores 520, 522 se conviertan en señales que se puedan entender y procesar por el/los procesador(es) 512. Se debe apreciar que los sensores (por ejemplo, los sensores 520, 522) se pueden acoplar de forma comunicativa a la interfaz de comunicaciones 518 usando cualquier medio adecuado, tal como una conexión alámbrica o inalámbrica. Las señales se pueden comunicar usando cualquier protocolo de comunicaciones adecuado. Los sensores (520, 522) pueden ser, por ejemplo, sensores de tensión, sensores de corriente, sensores de potencia, sensores de velocidad de rotación de DFIG, sensores de temperatura o cualquier otro dispositivo sensor descrito en el presente documento.

[0046] Como tal, el/los procesador(es) 512 se puede(n) configurar para recibir una o más señales de los sensores 520, 522. Por ejemplo, en algunos modos de realización, el/los procesador(es) 512 puede(n) recibir señales indicativas de una tensión o corriente desde el sensor 520. En algunos modos de realización, el/los procesador(es) 512 puede(n) recibir señales indicativas de temperatura (por ejemplo, temperatura del DFIG, temperatura del convertidor del lado de línea) del sensor 522.

[0047] 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 514 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*), un disco compacto-memoria de solo lectura (CD-ROM), un disco magnetoóptico (MOD), un disco versátil digital (DVD) y/u otros elementos de memoria adecuados. Dicho(s) dispositivo(s) de memoria 514 se puede(n) configurar, en general, para almacenar instrucciones legibles por ordenador adecuadas que, cuando se implementan por el/los procesador(es) 512, configuran el controlador 510 para realizar las diversas funciones como se describe en el presente documento.

[0048] 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.

5

Los componentes distribuidos pueden funcionar secuencialmente o en paralelo.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de control (300) para controlar dinámicamente la capacidad de potencia real y reactiva de un parque eólico (200) que tiene una pluralidad de turbinas eólicas (100), teniendo cada una de la pluralidad de turbinas eólicas (100) un generador de inducción doblemente alimentado (DFIG) (120) y un convertidor de potencia (162), teniendo el convertidor de potencia (162) un convertidor del lado de línea (168) y un convertidor del lado de rotor (166), el procedimiento de control (300) **caracterizado por** que comprende:
 - obtener (302), por un dispositivo de control (174), que comprende uno o más procesadores (512) y uno o más dispositivos de memoria (514), uno o más parámetros de funcionamiento en tiempo real de cada una de las turbinas eólicas (100);
 - obtener (304), por el dispositivo de control (174), uno o más límites de sistema de cada una de las turbinas eólicas (100);
 - medir (306), por medio de uno o más sensores (520, 522), al menos una condición de viento en tiempo real en cada una de las turbinas eólicas (100);
 - calcular continuamente (308), por el dispositivo de control (174), una capacidad de potencia activa máxima global y una capacidad de potencia reactiva máxima global para cada una de las turbinas eólicas (100) como una función de los uno o más parámetros de funcionamiento en tiempo real, los uno o más límites de sistema, y la al menos una condición de viento en tiempo real;
 - generar (310), por el dispositivo de control (174), una curva de capacidad de generador para cada una de las turbinas eólicas (100) usando las capacidades de potencia activa y reactiva máximas globales;
 - comunicar (312) las curvas de capacidad de generador para cada una de las turbinas eólicas (100) a un controlador a nivel de parque (204) del parque eólico (200); y
 - controlar (314), por medio del controlador a nivel de parque (204), el parque eólico (200) en base a las curvas de capacidad de generador.
2. El procedimiento de control (300) de la reivindicación 1, que comprende además controlar el parque eólico (200) por medio del controlador a nivel de parque (204) en base a al menos una de una o más configuraciones del cambiador de tomas o configuraciones del dispositivo de potencia reactiva del parque eólico (200), comprendiendo el dispositivo de potencia reactiva (214) al menos uno de una batería de condensadores (216), una batería de reactores (218) o un compensador síncrono estático (STATCOM) (220).
3. El procedimiento de control (300) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que calcular continuamente la capacidad de potencia activa máxima global y la capacidad de potencia reactiva máxima global para las una o más turbinas eólicas (100) comprende además:
 - calcular una capacidad de potencia activa máxima y una capacidad de potencia reactiva máxima para un convertidor del lado de línea (168) del convertidor de potencia (162);
 - calcular una capacidad de potencia activa máxima y una capacidad de potencia reactiva máxima para un convertidor del lado de rotor (166) del convertidor de potencia (162); y,
 - calcular la capacidad de potencia activa máxima global y la capacidad de potencia reactiva máxima global para las una o más turbinas eólicas (100) en base a las capacidades de potencia activa y reactiva máximas para el convertidor del lado de línea (168) y las capacidades de potencia activa y reactiva máximas para el convertidor del lado de rotor (166).
4. El procedimiento de control (300) de la reivindicación 3, en el que calcular la capacidad de potencia activa máxima y la capacidad de potencia reactiva máxima para el convertidor del lado de rotor (166) del convertidor de potencia (162) comprende además incorporar al menos una de una capacidad de potencia reactiva de generador real, un factor de amplificación de potencia reactiva de generador, o una capacidad de potencia reactiva del convertidor del lado de línea (168) en el cálculo.
5. El procedimiento de control (300) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además calcular la capacidad de potencia activa máxima y la capacidad de potencia reactiva máxima en tiempo real.
6. El procedimiento de control (300) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además calcular la capacidad de potencia activa máxima y la capacidad de potencia reactiva máxima a intervalos regulares predefinidos.

7. El procedimiento de control (300) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que controlar el parque eólico (200) en base a las curvas de capacidad de generador comprende además:

comparar la al menos una condición de viento para cada una de las turbinas eólicas (100) con un umbral predeterminado;

si la al menos una condición de viento para un primer conjunto de turbinas eólicas (100) en el parque eólico (200) está por encima del umbral predeterminado, maximizar una salida de potencia activa para el primer conjunto de turbinas eólicas (100) en base a las curvas de capacidad de generador asociadas; y,

si la al menos una condición de viento para un segundo conjunto de turbinas eólicas (100) está por debajo del umbral predeterminado, maximizar una salida de potencia reactiva del segundo conjunto de turbinas eólicas (100) en base a las curvas de capacidad de generador asociadas para lograr al menos una parte de un requisito de producción de potencia reactiva para el parque eólico (200), comprendiendo cada uno de los primer y segundo conjuntos de turbinas eólicas (100) una o más turbinas eólicas (100).

8. El procedimiento de control (300) de la reivindicación 7, en el que maximizar la salida de potencia activa para el primer conjunto de turbinas eólicas (100) en base a las curvas de capacidad de generador asociadas comprende además minimizar una salida de potencia reactiva del primer conjunto de turbinas eólicas (100) y ajustar al menos una tensión o corriente aplicada a un rotor del DFIG (120) del primer conjunto de turbinas eólicas (100).

9. El procedimiento de control (300) de la reivindicación 8, en el que maximizar la salida de potencia reactiva del segundo conjunto de turbinas eólicas (100) en base a las curvas de capacidad de generador asociadas comprende además ajustar una fase de una tensión del rotor del DFIG (120) del segundo conjunto de turbinas eólicas (100).

10. El procedimiento de control (300) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que generar la curva de capacidad de generador para cada una de las turbinas eólicas (100) usando las capacidades de potencia activa y reactiva máximas globales comprende además:

seleccionar un punto de funcionamiento en una curva de potencia;

generar la curva de capacidad de generador para cada una de las turbinas eólicas (100) usando las capacidades de potencia activa y reactiva máximas globales y el punto de funcionamiento.

11. El procedimiento de control (300) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que controlar el parque eólico (200) en base a las curvas de capacidad de generador comprende además ajustar independientemente las salidas de potencia reactiva de cada una de la pluralidad de turbinas eólicas (100) para regular tensiones predeterminadas en el parque eólico (200).

12. El procedimiento de control (300) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que los uno o más parámetros de funcionamiento en tiempo real comprenden al menos una de rotaciones por minuto (RPM) de funcionamiento de una o más de la pluralidad de turbinas eólicas (100), temperatura, potencia, altitud, corriente o tensión.

13. El procedimiento de control (300) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que los uno o más límites de sistema comprenden al menos una de una limitación eléctrica de un componente de una de las turbinas eólicas (100), una limitación de tamaño de un componente de una de las turbinas eólicas (100), una capacidad de potencia reactiva predefinida o una capacidad de potencia real predefinida.

14. El procedimiento de control (300) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la al menos una condición de viento en tiempo real comprende al menos una de velocidad del viento, turbulencia del viento, ráfagas de viento, dirección del viento, aceleración del viento, cizalladura del viento, viraje del viento o efecto sombra.

15. Un sistema de control para una turbina eólica, teniendo la turbina eólica un generador de inducción doblemente alimentado (DFIG (120)) y un convertidor de potencia (162), teniendo el convertidor de potencia (162) un convertidor del lado de línea (168) y un convertidor del lado de rotor (166), comprendiendo el sistema de control:

uno o más procesadores y uno o más dispositivos de memoria, el sistema de control estando **caracterizado por** que está configurado para realizar una o más operaciones, comprendiendo las una o más operaciones:

obtener uno o más parámetros de funcionamiento en tiempo real de cada una de las turbinas eólicas

(100);

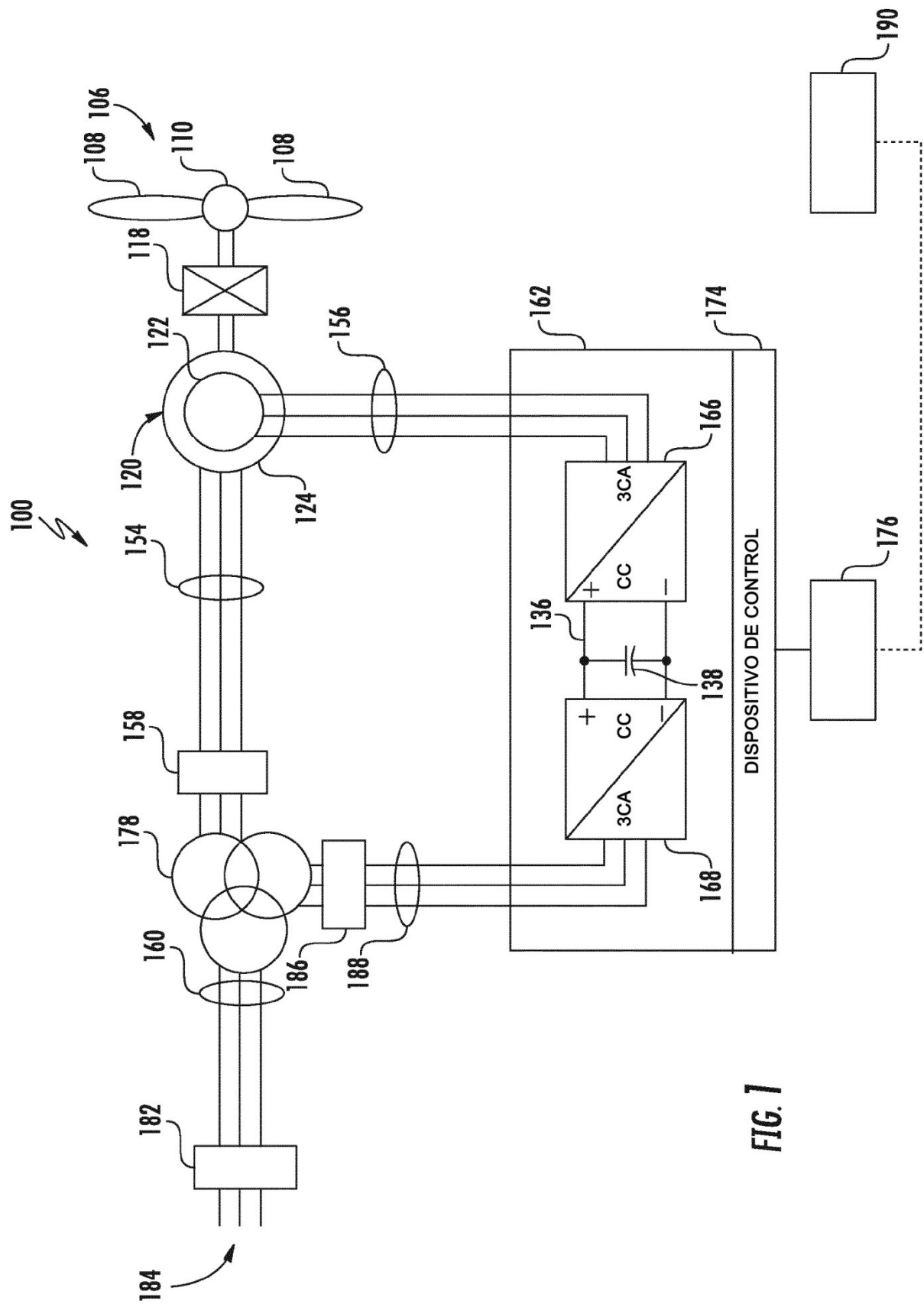
obtener uno o más límites de sistema de cada una de las turbinas eólicas (100);

5 obtener al menos una condición de viento en tiempo real en cada una de las turbinas eólicas (100);

10 calcular continuamente una capacidad de potencia activa máxima global y una capacidad de potencia reactiva máxima global para cada una de las turbinas eólicas (100) como una función de los uno o más parámetros de funcionamiento en tiempo real, los uno o más límites de sistema, y la al menos una condición de viento en tiempo real;

generar una curva de capacidad de generador para cada una de las turbinas eólicas (100) usando las capacidades de potencia activa y reactiva máximas globales;

15 comunicar las curvas de capacidad de generador para cada una de las turbinas eólicas (100) a un controlador a nivel de parque del parque eólico (200).



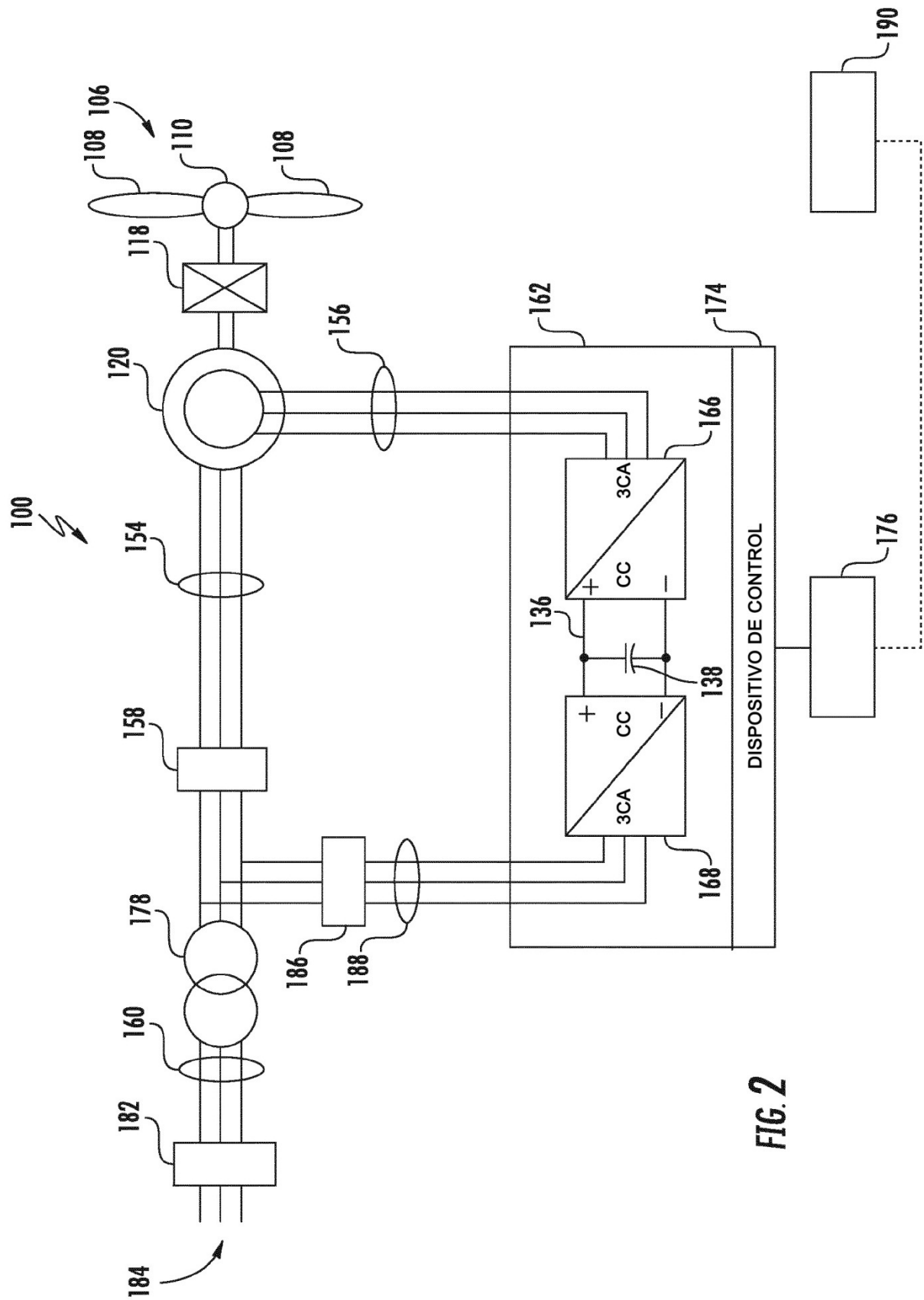


FIG. 2

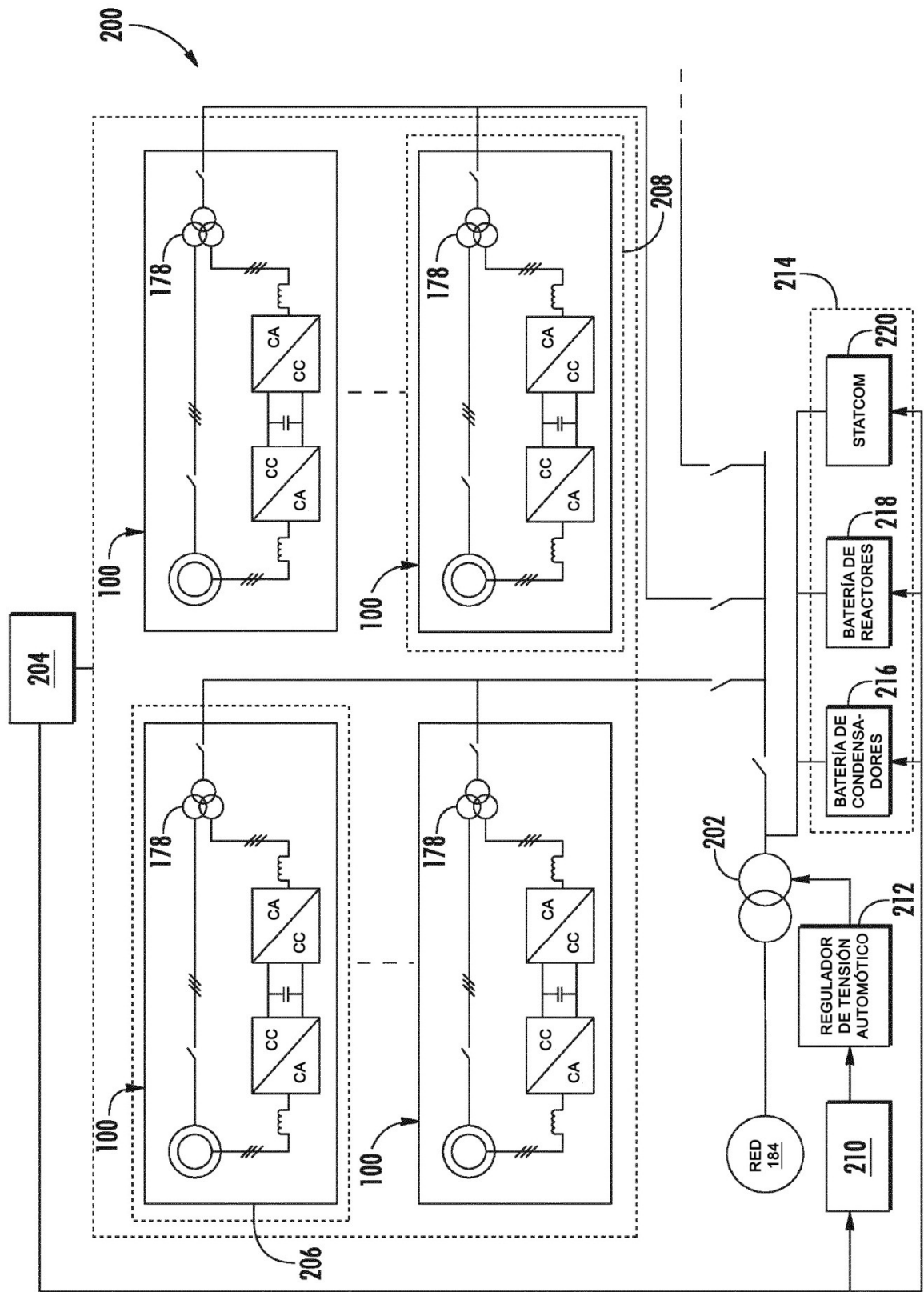


FIG. 3

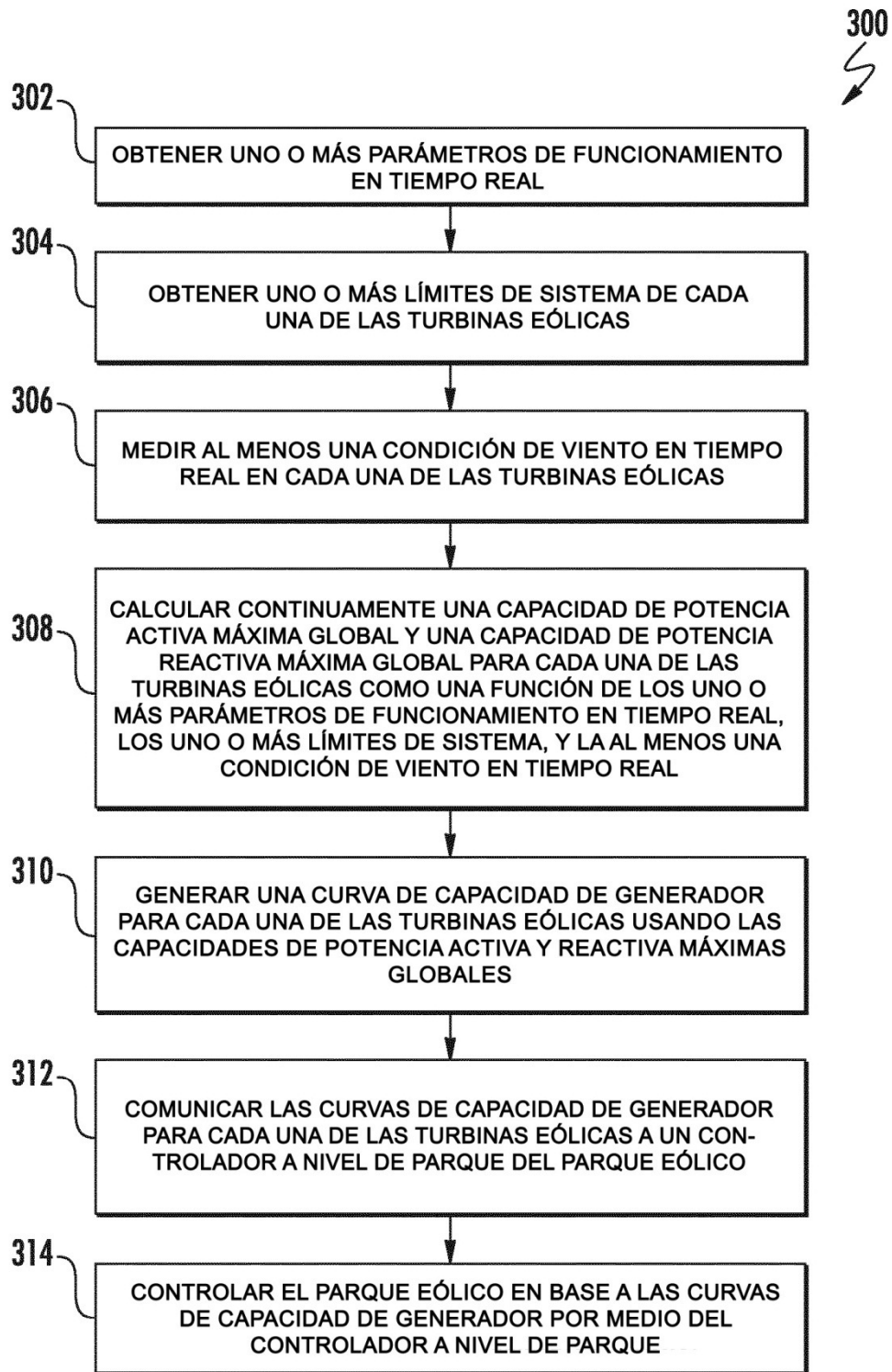


FIG. 4

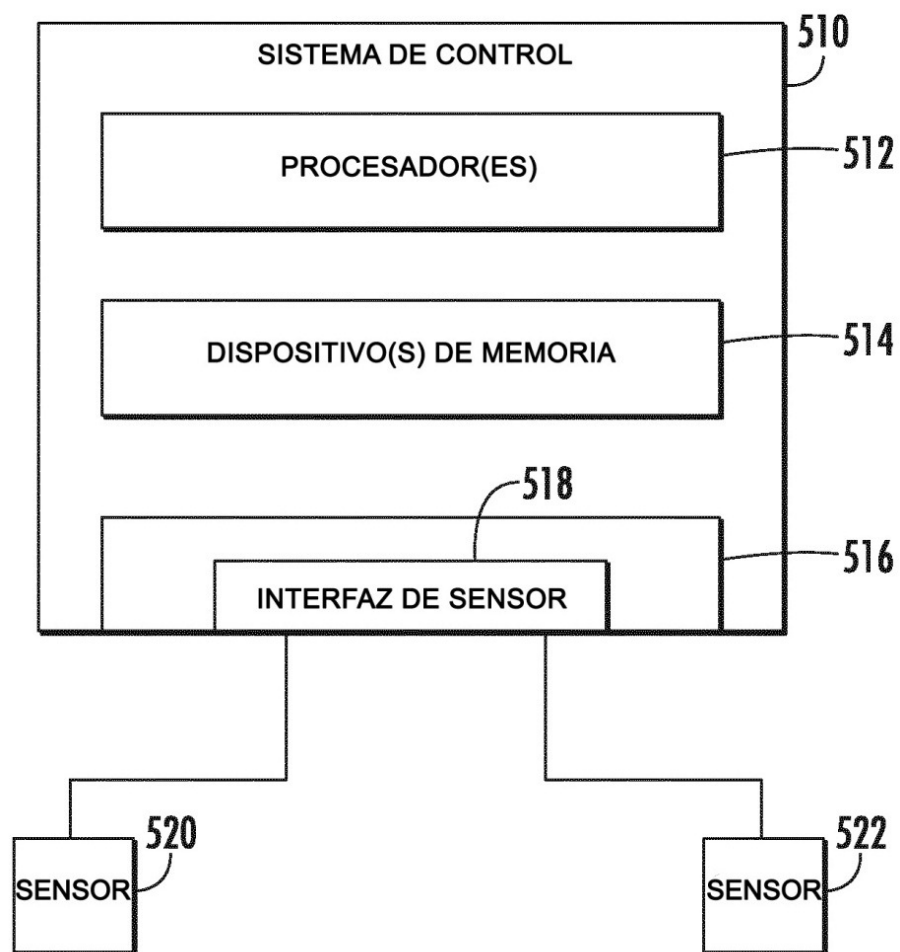


FIG. 5