

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 802 821**

51 Int. Cl.:

**H02J 3/38** (2006.01)

**H02J 11/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.09.2014 E 14183620 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.04.2020 EP 2866323**

54 Título: **Sistema de energía eléctrica auxiliar y procedimiento de regulación de voltajes del mismo**

30 Prioridad:

**11.09.2013 US 201314024044**

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

**21.01.2021**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**SCHNETZKA, HAROLD ROBERT;  
JAYKO, TIMOTHY WILCOX;  
WILMOT, THEODORE STEVEN y  
VUJANOVIC, BRANISLAV**

74 Agente/Representante:

**CONTRERAS PÉREZ, Yahel**

**ES 2 802 821 T3**

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

## DESCRIPCIÓN

Sistema de energía eléctrica auxiliar y procedimiento de regulación de voltajes del mismo

5 La materia que se describe en este documento se refiere en general a sistemas de energía eléctrica, y más en concreto, a una regulación de voltaje de un sistema de energía eléctrica auxiliar para una turbina eólica.

10 Muchas instalaciones de energía renovable conocidas están acopladas a una red de suministro de energía eléctrica. Al menos algunas de estas instalaciones de energía renovable conocidas incluyen turbinas eólicas. En general, una turbina eólica incluye un rotor que incluye un mecanismo de buje rotatorio con múltiples palas. Las palas transforman la energía del viento en un par de rotación mecánica que acciona uno o más generadores a través del rotor. Al menos algunas de las turbinas eólicas conocidas están físicamente agrupadas conjuntamente en una región geográfica común para formar un parque de turbinas eólicas, a veces denominado parque eólico. Una operación de velocidad variable de la turbina eólica facilita una mayor captura de energía en comparación con una operación de velocidad constante de la turbina eólica. Sin embargo, una operación de velocidad variable de la turbina eólica produce energía eléctrica con un voltaje y/o frecuencia variable. Un convertidor de energía puede estar acoplado entre el generador eléctrico de la turbina eólica y una red de suministro de energía eléctrica. El convertidor de energía recibe la energía eléctrica procedente del generador de la turbina eólica y transmite la electricidad con un voltaje y una frecuencia fijos para su posterior transmisión a la red de suministro de energía eléctrica a través de un transformador de energía principal. Normalmente, la parte de alto voltaje del transformador principal está acoplada a la red y la parte de bajo voltaje está acoplada al convertidor de energía. A la inversa, durante los periodos en que el generador no está en servicio, la energía eléctrica puede ser proporcionada por parte de la red a través de la parte de alto voltaje del transformador de energía principal a la parte de bajo voltaje del transformador de energía principal y luego a través del convertidor de energía.

15 Las turbinas eólicas conocidas incluyen equipos de soporte auxiliares que facilitan una operación de dichas turbinas eólicas, por ejemplo, motores de control de ángulo de paso de palas, motores de bombeo de lubricación y sistemas de control de turbinas eólicas y convertidores de energía. En al menos algunas instalaciones de turbinas eólicas, cuando el generador de turbina eólica está en servicio, dichos equipos de soporte auxiliares reciben al menos una parte de la energía eléctrica generada por el generador de turbina eólica a través de un transformador de energía auxiliar. La parte de alto voltaje del transformador de energía auxiliar está acoplada a la parte de bajo voltaje del transformador principal y la parte de bajo voltaje del transformador auxiliar puede estar acoplada al equipamiento de soporte auxiliar. Cuando el generador de turbina eólica no está en servicio, dicho equipamiento de soporte auxiliar recibe energía eléctrica procedente de la red a través del transformador principal y del transformador auxiliar. Además, dichos equipos de soporte auxiliares normalmente tienen un rango de tolerancia de voltaje predeterminado. Por ejemplo, al menos algunos equipos de soporte conocidos pueden tener un rango de tolerancia que va desde el 90% del voltaje de la placa de identificación al 110% del voltaje de la placa de identificación.

20 Además, muchas redes de energía eléctrica conocidas tienen rangos de tolerancia de voltaje que facilitan una transmisión y distribución fiable de energía eléctrica en una gran diversidad de condiciones de operación para servir a un amplio mercado. Por ejemplo, muchas redes de energía eléctrica conocidas incluyen un rango de tolerancia de voltaje de red que va desde menos del 90% del voltaje nominal hasta más del 110% del voltaje nominal. Como tales, muchas turbinas eólicas conocidas incluyen un equipamiento de soporte auxiliar que está diseñado para operar dentro de una ventana de voltaje que no es totalmente complementaria a la ventana de voltaje de la red de suministro de energía eléctrica asociada. Exceder los rangos de tolerancia de voltaje del equipamiento o equipos puede perjudicar la operación del equipo. La sustitución o reemplazo de dicho equipamiento auxiliar de soporte por un equipamiento especializado con tolerancias de energía eléctrica más amplias puede ser costosa y puede requerir un período prolongado de tiempo en el que la turbina eólica debe ser retirada del servicio.

25 Además, a medida que se acoplan más fuentes de energía renovable a la red, los requisitos de capacidad de un generador eléctrico para permanecer en conexión durante períodos cortos de voltaje anómalo son cada vez más estrictos. Específicamente, al menos en algunas jurisdicciones, los requerimientos temporales y los rangos de amplitud de voltaje transitorio para asegurar la capacidad de un generador eléctrico para permanecer en conexión durante períodos cortos de voltaje anómalo se están ampliando. Es posible que la turbina eólica pueda no ser capaz de operar durante ciertos eventos de la red que se producen en la parte de alto voltaje del transformador, ya que los dispositivos de control de turbina eólica requieren un período de tiempo finito para detectar el evento, y luego hacer ajustes en la operación de la turbina eólica para que tengan efecto después de detectar dicho evento de la red. Por lo tanto, en el período intermedio, la turbina eólica puede sufrir desgaste y/o daños a causa de ciertos eventos de la red. Dichos eventos de la red pueden incluir fallos eléctricos que, en determinadas circunstancias, pueden inducir fluctuaciones del voltaje de la red que pueden incluir transitorios de bajo voltaje con fluctuaciones de voltaje cercanas a cero voltios. Además, dichos eventos de la red pueden incluir fluctuaciones de voltaje de la red que pueden incluir transitorios de alto voltaje con fluctuaciones de voltaje que se pueden acercar y/o exceder los valores nominales del equipo. Además, dichos eventos de la red, bajo ciertas condiciones, pueden

inducir también fluctuaciones de frecuencia. Véase, por ejemplo, los documentos WO 2011/019321 y EP 1 804 372.

5 Al menos algunos dispositivos y sistemas de protección conocidos facilitan una continuidad de operación durante ciertos eventos de la red. Por ejemplo, para transitorios de la red tales como cortocircuitos, se puede producir una condición de bajo o cero voltaje en la red. Bajo dichas condiciones, dichos dispositivos y sistemas de protección conocidos definen una capacidad para permanecer en conexión durante períodos cortos de bajo y/o cero voltaje (LVRT y ZVRT, respectivamente). Dichas capacidades para LVRT/ZVRT facilitan la operación de los convertidores de energía de turbinas eólicas individuales y de los parques de 10 turbinas eólicas para transmitir energía reactiva a la red de suministro de energía eléctrica. Dicha inyección de energía reactiva en la red facilita la estabilización del voltaje de la red mientras los dispositivos de aislamiento de la red externos al parque eólico, tales como re-conectores automáticos, se abran y volverán a cerrarse para eliminar el fallo mientras las características de LVRT/ZVRT de las turbinas eólicas mantienen los generadores acoplados a la red de suministro de energía. Además, para condiciones de red 15 de alto voltaje, dichos dispositivos y sistemas de protección conocidos definen una capacidad para permanecer en conexión durante períodos cortos de alto voltaje (HVRT).

20 La mayoría de los transformadores de energía principales y los transformadores de energía auxiliares conocidos tienden a transmitir los transitorios de voltaje asociados procedentes de la red a los equipos. En el caso del sistema de energía eléctrica auxiliar, las capacidades para HVRT/LVRT/ZVRT incluyen sistemas de cambio de tomas en el transformador de energía principal y/o en el transformador de energía auxiliar para regular el voltaje de la energía eléctrica transmitida desde la red al equipamiento auxiliar. Sin embargo, estos sistemas de cambio son electromecánicos y pueden no operar con la rapidez suficiente para mantener el voltaje del equipamiento auxiliar en la banda de tolerancia del 90% al 110%. Además, dichos sistemas 25 de cambio de tomas regulan el voltaje en etapas discretas e incrementales y pueden no proporcionar el voltaje dentro de la banda de tolerancia para facilitar una operación prolongada y continuada del equipamiento auxiliar.

30 En consecuencia, se proporciona la presente invención según se define en las reivindicaciones adjuntas.

Diversos aspectos y formas de realización de la presente invención se describirán ahora en conexión con los dibujos adjuntos, en los cuales:

35 La Figura 1 es un diagrama de bloques de un dispositivo informático de ejemplo que se puede utilizar para monitorizar y/o controlar la operación de una parte de un sistema de energía eléctrica.

La Figura 2 es un diagrama de bloques de una parte de un sistema de ejemplo de protección y control de sistema de energía eléctrica.

La Figura 3 es una vista esquemática de una turbina eólica de ejemplo.

40 La Figura 4 es una vista esquemática de un sistema de energía eléctrica de ejemplo para un generador de inducción de doble alimentación (DFIG) que se puede utilizar con la turbina eólica que se muestra en la Figura 3.

La Figura 5 es una vista esquemática de un sistema de energía eléctrica auxiliar de ejemplo que se puede utilizar con el sistema de energía eléctrica que se muestra en la Figura 4.

45 La Figura 6 es una vista esquemática de un ejemplo de unidad de motor-generador que se puede utilizar con el sistema de energía eléctrica auxiliar que se muestra en la Figura 5.

La Figura 7 es una vista esquemática de un ejemplo de unidad de motor-generador alternativo que se puede utilizar con el sistema de energía eléctrica auxiliar que se muestra en la Figura 5.

50 La Figura 8 es una vista esquemática de otro de ejemplo de unidad de motor-generador alternativo que se puede utilizar con el sistema de energía eléctrica auxiliar que se muestra en la Figura 5.

La Figura 9 es una vista esquemática de otro de ejemplo de unidad de motor-generador alternativo que se puede utilizar con el sistema de energía eléctrica auxiliar que se muestra en la Figura 5.

55 La Figura 10 es una vista esquemática de un ejemplo alternativo de sistema de energía eléctrica que se puede utilizar con la turbina eólica que se muestra en la Figura 3 que puede utilizar el sistema de energía eléctrica auxiliar que se muestra en la Figura 5.

La Figura 11 es una vista esquemática de un ejemplo alternativo de sistema de energía eléctrica y un ejemplo alternativo de sistema de energía eléctrica auxiliar que se pueden utilizar con una turbina eólica alternativa de ejemplo.

60 Según se utiliza en el presente documento, el término "pala" se pretende que sea representativo de cualquier dispositivo que proporciona una fuerza reactiva cuando está en movimiento en relación con un fluido envolvente. Según se utiliza en este documento, el término "turbina eólica" pretende ser representativo de cualquier dispositivo que genera energía rotacional a partir de la energía del viento, y más en concreto, convierte la energía cinética del viento en energía mecánica. Según se utiliza en este documento, el término "generador de turbina eólica" pretende ser representativo de cualquier turbina eólica 65 que genera energía eléctrica a partir de la energía de rotación generada por la energía del viento, y más en concreto, convierte la energía mecánica convertida a partir de la energía cinética del viento en energía eléctrica.

Según se utilizan en el presente documento, los términos "perturbación", "perturbación de red", "fallo", "fallo de sistema", "transitorio" y otros términos similares se refieren en general a cualquier evento que causa perturbaciones en la señal de entrada procedente de la red de suministro de energía eléctrica/energético. Por ejemplo, dichas perturbaciones pueden incluir impulsos, escalonados, fallos, interrupciones momentáneas, caídas/aumentos de voltaje, distorsiones armónicas y titileos. Por lo general, la señal de la red es una señal trifásica que incluye componentes de secuencia que tienen frecuencias particulares. La señal trifásica incluye componentes de secuencia positiva, componentes de secuencia negativa y componentes de secuencia cero o neutra. Cada uno de los componentes incluye información de frecuencia, información de fase e información de magnitud. A medida que una diversidad de instalaciones de generación contribuyen a la señal de la red, y a medida que se producen diversos fenómenos que incluyen eventos transitorios, los componentes de secuencia pueden desarrollar frecuencias armónicas o cambios de fase, cualquiera de los cuales puede crear perturbaciones que pueden complicar la operación eficiente de los sistemas de control y/o disminuir otros aspectos de rendimiento de la red.

Muchos efectos técnicos de los procedimientos, aparatos y sistemas que se describen en este documento incluyen al menos uno de: (a) Utilización de unidades de motor-generator (m-g) para suministrar energía eléctrica auxiliar a un equipamiento auxiliar dentro de un rango de voltaje predeterminado en todo el rango de operación de una turbina eólica, incluidos los períodos en que el generador de la turbina eólica es retirado del servicio y/o durante transitorios eléctricos en la red de suministro de energía eléctrica; (b) Utilización de un momento en unidades de motor-generator para facilitar una generación extendida de energía eléctrica auxiliar para el equipamiento auxiliar dentro de un rango de voltaje predeterminado; (c) Facilitar una extensión del rango de valores nominales de sistemas de energía eléctrica auxiliares y generadores de turbina eólica asociados para cumplir con regulaciones de red en una pluralidad de jurisdicciones y países; (d) Facilitar una extensión del rango de valores nominales de sistemas de energía eléctrica auxiliares y generadores de turbina eólica asociados para que sean compatibles con una pluralidad de fortalezas y fiabilidades de la red; (e) Facilitar un acoplamiento de generadores de turbina eólica con líneas de transmisión compensadas en serie mediante compensación de transitorios de voltaje de red que pueden ser exacerbados por condensadores en serie asociados; (f) Reducir la necesidad y/o la frecuencia de operación de cambiadores de tomas en transformadores de energía principales y en transformadores de energía auxiliares; y, (g) Mejorar capacidades para HVRT/LVRT/ZVRT y rendimiento de turbinas eólicas.

Los procedimientos, aparatos y sistemas que se describen en el presente documento facilitan el uso de unidades de motor-generator (m-g) para proporcionar energía eléctrica auxiliar a equipos auxiliares dentro de rangos de voltaje predeterminados en todo el rango de operación de una turbina eólica. Específicamente, los procedimientos, aparatos y sistemas que se describen en el presente documento facilitan dicho suministro de energía eléctrica auxiliar durante períodos que incluyen cuando el generador de turbina eólica es retirado del servicio y/o durante transitorios eléctricos en la red de suministro de energía eléctrica. Más en concreto, los procedimientos, aparatos, y sistemas que se describen en este documento facilitan el uso de un momento en unidades de motor-generator para facilitar una generación extendida de energía eléctrica auxiliar para un equipamiento auxiliar dentro de un rango de voltaje predeterminado durante transitorios de voltaje en la red. También, específicamente, las unidades de motor-generator facilitan una extensión de la flexibilidad para adaptar sistemas de energía eléctrica auxiliares y generadores de turbina eólica asociados para cumplir con un rango extendido de valores nominales de regulaciones de red en una pluralidad de jurisdicciones y países, facilitando de este modo una extensión del rango de valores nominales de sistemas de energía eléctrica auxiliares y generadores de turbina eólica asociados para que sean compatibles con una pluralidad de fortalezas y fiabilidades de red, que incluyen aquellas redes con líneas de transmisión compensadas en serie. Dicha flexibilidad reduce los costes del equipamiento auxiliar facilitando el uso de equipamiento de soporte auxiliar estándar con valores nominales de tolerancia de voltaje estándares, en lugar de utilizar equipamiento de soporte auxiliar más costoso que es totalmente complementario con rangos de voltaje prolongados de la red de suministro de energía eléctrica asociada. Además, dicha flexibilidad facilita una reducción de la necesidad y/o de la frecuencia de operación de cambiadores de tomas en los transformadores de energía principales y en los transformadores de energía auxiliares durante transitorios de HVRT/LVRT/ZVRT.

Además, los procedimientos, aparatos y sistemas que se describen en el presente documento incluyen el uso de una diversidad de tipos de unidades de motor-generator, que incluyen motores de inducción y motores de imanes permanentes con y sin mecanismos de arranque acoplados a generadores de imanes permanentes con y sin reguladores de voltaje. Por lo tanto, los procedimientos, aparatos y sistemas que se describen en este documento facilitan la eliminación de la necesidad de hardware especializado, disminuyendo de este modo los costes de construcción y los costes de operación y de mantenimiento.

Aunque en el presente documento se describen en general con respecto a una instalación de turbinas eólicas, los sistemas que se describen en el presente documento son aplicables a cualquier tipo de sistema de generación de electricidad que incluye, por ejemplo, sistemas de generación de energía solar, pilas de combustible, generadores geotérmicos, generadores de energía hidroeléctrica y/u otros dispositivos que generan energía a partir de fuentes de energía renovables y/o no renovables.

La Figura 1 es un diagrama de bloques de un dispositivo informático de ejemplo 105 que se puede utilizar para monitorizar y/o controlar la operación de una parte de un sistema de energía eléctrica auxiliar (que no se muestra en la Figura 1). El dispositivo informático 105 incluye un dispositivo de memoria 110 y un procesador 115 acoplado operativamente al dispositivo de memoria 110 para ejecución de instrucciones. Según se utiliza en el presente documento, el término "procesador" incluye cualquier circuito programable adecuado tal como, pero sin limitarse a, uno o más sistemas y microcontroladores, microprocesadores, una unidad central de procesamiento (CPU) de propósito general, circuitos de conjunto de instrucciones reducidas (RISC), circuitos integrados de aplicación específica (ASIC), circuitos lógicos programables (PLC), matrices de puertas programables de campo (FPGA), y/o cualquier otro circuito capaz de ejecutar las funciones que se describen en el presente documento. Los ejemplos anteriores son sólo de ejemplo y, por lo tanto, no pretenden limitar en modo alguno la definición y/o el significado del término "procesador".

El procesador 115 puede incluir una o más unidades de procesamiento (por ejemplo, en una configuración de múltiples núcleos). En algunas formas de realización, las instrucciones ejecutables se almacenan en el dispositivo de memoria 110. El dispositivo informático 105 es configurable para realizar una o más operaciones que se describen en el presente documento por parte del procesador de programación 115. Por ejemplo, el procesador 115 se puede programar codificando una operación como una o más instrucciones ejecutables y proporcionando las instrucciones ejecutables en el dispositivo de memoria 110.

Además, en la forma de realización de ejemplo, el dispositivo de memoria 110 es al menos un dispositivo acoplado al procesador 115 que permite el almacenamiento y la recuperación de información tal como instrucciones ejecutables informáticamente y datos, que incluyen, pero no se limitan a, datos de operación, parámetros, puntos de ajuste, valores de umbral y/o cualquier otro dato que permita al dispositivo informático 105 operar según se describe en el presente documento. El dispositivo de memoria 110 puede incluir uno o más medios tangibles, no transitorios y legibles informáticamente, tales como, pero sin limitarse a, una memoria de acceso aleatorio (RAM), una memoria dinámica de acceso aleatorio (DRAM), una memoria estática de acceso aleatorio (SRAM), un disco de estado sólido, un disco duro, una memoria de sólo lectura (ROM), una ROM programable borrable (EPROM), una ROM programable borrable eléctricamente (EEPROM) y/o una memoria RAM no volátil (NVRAM). Los tipos de memoria mencionados son sólo de ejemplo, y por lo tanto no limitan los tipos de memoria utilizables para el almacenamiento de un programa informático.

Además, según se utilizan en el presente documento, los términos "software" y "firmware" son intercambiables, e incluyen cualquier programa informático almacenado en una memoria para ser ejecutado por dispositivos informáticos personales, estaciones de trabajo, clientes y servidores.

El dispositivo de memoria 110 puede estar configurado para almacenar mediciones de operación que incluyen, pero no se limitan a, lecturas de voltaje y de corriente de la red de suministro de energía eléctrica (que no se muestran en la Figura 1), lecturas de voltaje y de corriente de subestación (que no se muestran en la Figura 1), lecturas de voltaje y de corriente localizadas en todo un sistema de energía eléctrica, que incluye un sistema de energía eléctrica auxiliar y un sistema de generación de energía eléctrica (que no se muestran en la Figura 1), y/o cualquier otro tipo de datos. En algunas formas de realización, el procesador 115 elimina o "purga" datos del dispositivo de memoria 110 en función de la antigüedad de los datos. Por ejemplo, el procesador 115 puede sobrescribir datos registrados y almacenados previamente asociados con un momento y/o un evento posterior. Además, o alternativamente, el procesador 115 puede eliminar datos que exceden un intervalo de tiempo predeterminado. Además, el dispositivo de memoria 110 incluye, pero no se limita a, suficientes datos, algoritmos y comandos para facilitar un control centralizado y distribuido de sistemas de protección y control de sistemas de energía eléctrica (que se comentan más adelante).

En algunas formas de realización, el dispositivo informático 105 incluye una interfaz de presentación 120 acoplada al procesador 115. La interfaz de presentación 120 presenta información, tal como una interfaz de usuario y/o una alarma, a un usuario 125. En una forma de realización, la interfaz de presentación 120 incluye un adaptador de visualizador (que no se muestra) que está acoplado a un dispositivo de visualización (que no se muestra), tal como un visualizador de tubo de rayos catódicos (CRT), un visualizador de cristal líquido (LCD), un visualizador de LED orgánico (OLED) y/o un visualizador de "tinta electrónica". En algunas formas de realización, la interfaz de presentación 120 incluye uno o más dispositivos de visualización. Además, o alternativamente, la interfaz de presentación 120 incluye un dispositivo de salida de audio (que no se muestra) (por ejemplo, un adaptador de audio y/o un altavoz) y/o una impresora (que no se muestra). En algunas formas de realización, la interfaz de presentación 120 presenta una alarma asociada a una máquina síncrona (que no se muestra en la Figura 1), tal como usando una interfaz máquina hombre (HMI) (que no se muestra).

En algunas formas de realización, el dispositivo informático 105 incluye una interfaz de entrada de usuario 130. En la forma de realización de ejemplo, la interfaz de entrada de usuario 130 está acoplada al procesador 115 y recibe una entrada de usuario 125. La interfaz de entrada de usuario 130 puede incluir,

por ejemplo, un teclado, un dispositivo apuntador, un ratón, un lápiz óptico, un panel sensible al tacto (por ejemplo, un panel táctil o una pantalla táctil) y/o una interfaz de entrada de audio (que incluye, por ejemplo, un micrófono). Un solo componente, tal como una pantalla táctil, puede operar tanto como dispositivo de visualización de la interfaz de presentación 120 como de interfaz de entrada de usuario 130.

5

Una interfaz de comunicaciones 135 está acoplada al procesador 115 y está configurada para su acoplamiento en comunicación con uno o más dispositivos, tales como un sensor u otro dispositivo informático 105, y para realizar operaciones de entrada y salida con respecto a dichos dispositivos. Por ejemplo, la interfaz de comunicaciones 135 puede incluir, pero no se limita a, un adaptador de red alámbrica, un adaptador de red inalámbrica, un adaptador de telecomunicaciones móviles, un adaptador de comunicación en serie y/o un adaptador de comunicación en paralelo. La interfaz de comunicaciones 135 puede recibir datos procedentes de uno o más dispositivos remotos y/o transmitir datos a uno o más dispositivos remotos. Por ejemplo, una interfaz de comunicaciones 135 de un dispositivo informático 105 puede transmitir una alarma a la interfaz de comunicaciones 135 de otro dispositivo informático 105.

10

15

La interfaz de presentación 120 y/o la interfaz de comunicaciones 135 son ambas capaces de proporcionar información adecuada para su uso con los procedimientos que se describen en el presente documento (por ejemplo, al usuario 125 u a otro dispositivo). En consecuencia, la interfaz de presentación 120 y la interfaz de comunicaciones 135 se pueden denominar dispositivos de salida. De modo similar, la interfaz de presentación 130 y la interfaz de comunicaciones 135 son capaces de recibir información adecuada para su uso con los procedimientos que se describen en el presente documento y se pueden denominar dispositivos de entrada.

20

La Figura 2 es un diagrama de bloques de una parte de un sistema de ejemplo de protección y control de sistema de energía eléctrica auxiliar 200 que se puede utilizar para monitorizar y/u operar al menos una parte de un sistema de energía eléctrica auxiliar 205. El sistema de protección y control de sistema de energía eléctrica auxiliar 200 incluye un controlador de sistema de protección y control de sistema de energía eléctrica auxiliar 215 que puede estar acoplado a otros dispositivos 220 a través de una red de comunicaciones 225. El controlador del sistema de protección y control 215 puede ser, pero no se limita a, un controlador centralizado a nivel de subestación, un controlador centralizado a nivel de turbina eólica y uno de entre una pluralidad de controladores distribuidos. Formas de realización de la red 225 pueden incluir un acoplamiento operacional con, pero sin limitación, Internet, una red de área local (LAN), una red de área amplia (WAN), una LAN inalámbrica (WLAN) y/o una red privada virtual (VPN). Si bien a continuación se describen ciertas operaciones con respecto a determinados dispositivos informáticos 105, se contempla que cualquier dispositivo informático 105 puede realizar una o más de las operaciones descritas. Por ejemplo, el controlador 215 puede realizar todas las operaciones que se indican a continuación.

25

30

35

En referencia a las Figuras 1 y 2, el controlador 215 es un dispositivo informático 105. En la forma de realización de ejemplo, el dispositivo informático 105 está acoplado a la red 225 a través de la interfaz de comunicaciones 135. En una forma de realización alternativa, el controlador 215 está integrado con otros dispositivos 220. Según se utiliza en este documento, el término "dispositivo informático" y términos relacionados, por ejemplo, "sistema informático", no se limitan a circuitos integrados que en la técnica se denominan dispositivo informático, sino que en general se refiere a un microcontrolador, un microordenador, un controlador lógico programable (PLC), un circuito integrado específico de aplicación y otros circuitos programables (que no se muestran en la Figura 2), y estos términos se utilizan indistintamente en este documento.

40

45

El controlador 215 interactúa con un primer operador 230 (por ejemplo, a través de la interfaz de entrada de usuario 130 y/o la interfaz de presentación 120). En una forma de realización, el controlador 215 presenta información sobre el sistema de energía eléctrica auxiliar 205, tal como alarmas, al operador 230. Otros dispositivos 220 interactúan con un segundo operador 235 (por ejemplo, a través de la interfaz de entrada de usuario 130 y/o la interfaz de presentación 120). Por ejemplo, otros dispositivos 220 presentan alarmas y/u otra información de operación al segundo operador 235. Según se utiliza en el presente documento, el término "operador" incluye a cualquier persona con cualquier capacidad relacionada con la operación y el mantenimiento del sistema de energía eléctrica auxiliar 205, que incluye, pero no se limita a, personal de operaciones de turno, técnicos de mantenimiento y supervisores del sistema.

50

55

En la forma de realización de ejemplo, el sistema de protección y control 200 incluye uno o más sensores de monitorización 240. Los sensores de monitorización 240 recogen mediciones de operación que incluyen, pero no se limitan a, lecturas de voltaje y de corriente en todo el sistema de energía eléctrica auxiliar 205, que incluyen, pero no se limitan a, lecturas de voltaje y de corriente de la red de suministro de energía eléctrica (que no se muestran en las Figuras 1 y 2), lecturas de voltaje y de corriente de subestación (que no se muestran en las Figuras 1 y 2), lecturas localizadas de voltaje y de corriente en todo un sistema de energía eléctrica, que incluye el sistema de energía eléctrica auxiliar 205 y un sistema de generación de energía eléctrica (que no se muestran en las Figuras 1 y 2), y/o cualquier otro tipo de datos. Los sensores de monitorización 240 transmiten repetidamente (por ejemplo, de forma periódica, continua, y/o a petición)

60

65

lecturas de mediciones de operación en el momento de la medición. El controlador 215 recibe y procesa las lecturas de mediciones de operación. Además, el controlador 215 incluye, pero no se limita a, suficientes datos, algoritmos y comandos para facilitar una protección y un control centralizados y/o distribuidos del sistema de energía eléctrica auxiliar 205 (según se comenta más adelante).

5

Además, en la forma de realización de ejemplo, el sistema de energía eléctrica auxiliar 205 incluye sensores de monitorización adicionales (que no se muestran) similares a los sensores de monitorización 240 que recogen mediciones de datos de operación asociados con el resto del sistema de energía eléctrica auxiliar 205, que incluyen, pero no se limitan a, datos de dispositivos adicionales similares al controlador 215 y datos ambientales, que incluyen, pero no se limitan a, temperaturas exteriores locales. Dichos datos se transmiten a través de la red 225 y se puede acceder a los mismos por medio de cualquier dispositivo capaz de acceder a la red 225, que incluye, pero no se limita a, dispositivos informáticos de escritorio, dispositivos informáticos portátiles y asistentes digitales personales (PDA) (ninguno de los cuales se muestra).

10

15

Los procedimientos que se describen en el presente documento se pueden codificar como instrucciones y algoritmos ejecutables realizados en un medio tangible, no transitorio y legible informáticamente, que incluye, pero no se limita a, un dispositivo de almacenamiento y/o un dispositivo de memoria. Dichas instrucciones y algoritmos, cuando son ejecutados por un procesador, hacen que el procesador realice al menos una parte de los procedimientos que se describen en el presente documento. Además, según se utiliza en el presente documento, la expresión "medios legibles informáticamente no transitorios" incluye todos los medios tangibles legibles informáticamente, tales como firmware, almacenamiento físico y virtual, CD-ROM, DVD y otra fuente digital tal como una red o Internet, así como medios digitales aún no desarrollados, con la única excepción de una señal transitoria que se propaga.

20

25

La Figura 3 es una vista esquemática de un ejemplo de generador de turbina eólica 300. El generador de turbina eólica 300 es un dispositivo de generación de energía eléctrica que incluye una góndola 302 que alberga un generador (que no se muestra en la Figura 3). La góndola 302 está montada sobre una torre 304 (una parte de la torre 304 se muestra en la Figura 3). La torre 304 puede estar a cualquier altura que facilite la operación del generador de turbina eólica 300 según se describe en el presente documento. El generador de turbina eólica 300 también incluye un rotor 306 que incluye tres palas de rotor 308 acopladas a un buje rotatorio 310. Alternativamente, el generador de turbina eólica 300 incluye cualquier número de palas 308 que facilite la operación del generador de turbina eólica 300 según se describe en el presente documento. En la forma de realización de ejemplo, el generador de turbina eólica 300 incluye una multiplicadora (que no se muestra en la Figura 3) acoplada de forma rotatoria al rotor 306 y al generador.

30

35

La Figura 4 es una vista esquemática de un ejemplo de sistema de energía eléctrica 400 que se puede utilizar con la turbina eólica 300. El rotor 306 incluye una pluralidad de palas de rotor 308 acopladas al buje rotatorio 310. El rotor 306 también incluye un eje de baja velocidad 312 acoplado de forma rotatoria al buje 310. El eje de baja velocidad está acoplado a una multiplicadora 314. La multiplicadora 314 está configurada para aumentar la velocidad de rotación del eje de baja velocidad 312 y transferir dicha velocidad a un eje de alta velocidad 316. En la forma de realización de ejemplo, la multiplicadora 314 puede tener una relación de aumento de aproximadamente 70:1. Por ejemplo, el eje de baja velocidad 312 que rota aproximadamente a 20 revoluciones por minuto (20) acoplado a la multiplicadora 314 con una relación de aumento de aproximadamente 70:1 genera una velocidad del eje de alta velocidad 316 de aproximadamente 1400 rpm. Alternativamente, la multiplicadora 314 tiene cualquier relación de aumento que facilite la operación de la turbina eólica 300 según se describe en el presente documento. También, alternativamente, la turbina eólica 300 incluye un generador de accionamiento directo en el que el rotor del generador (que no se muestra en la Figura 4) está acoplado de forma rotatoria al rotor 306 sin ninguna multiplicadora intermedia.

40

45

50

El eje de alta velocidad 316 está acoplado de forma rotatoria a un generador 318. En la forma de realización de ejemplo, el generador 318 es un generador de inducción de doble alimentación (DFIG) síncrono, trifásico, de 60 Hz y con rotor bobinado que incluye un estator de generador 320 acoplado magnéticamente a un rotor de generador 322. Alternativamente, el generador 318 es cualquier generador de cualquier número de fases que facilite la operación de la turbina eólica 300 según se describe en el presente documento.

55

El sistema de energía eléctrica 400 es un sistema trifásico e incluye un controlador 402. El controlador 402 es cualquier dispositivo de procesamiento que permite la operación del sistema de energía eléctrica 400 según se describe en el presente documento, que incluye, pero no se limita al, controlador 215 (que se muestra en la Figura 2). Procesadores para el controlador 402 procesan información transmitida por una pluralidad de dispositivos eléctricos y electrónicos que pueden incluir, pero no se limitan a, transductores de velocidad y potencia, transformadores de corriente y/o transductores de corriente, indicadores de posición de disyuntor, transformadores de energía y/o transductores de voltaje, y similares.

60

65

El sistema de energía eléctrica 400 también incluye un tacómetro de rotor de generador 404 que está acoplado en comunicación electrónica de datos con el generador 318 y el controlador 402. El estator del generador 320 está acoplado eléctricamente a un conmutador de sincronización del estator 406 a través de un bus del estator 408. En la forma de realización de ejemplo, para facilitar la configuración del generador

DFIG, el rotor del generador 322 está acoplado eléctricamente a una unidad de conversión de energía eléctrica bidireccional 410 a través de un bus de rotor 412. Alternativamente, el sistema 400 está configurado como un sistema de conversión de plena potencia (que no se muestra), en el que una unidad de conversión de energía eléctrica 410 está acoplada eléctricamente al estator 320 y dicha unidad de conversión de plena potencia facilita canalizar la energía eléctrica entre el estator 320 y una red de transmisión y distribución de energía eléctrica (que no se muestra). El bus del estator 408 transmite energía trifásica procedente del estator 320 y el bus del rotor 412 transmite energía trifásica procedente del rotor 322 a la unidad de conversión de energía eléctrica 410. El conmutador de sincronización del estator 406 está acoplado eléctricamente a un disyuntor de circuito del transformador principal 414 a través de un bus del sistema 416.

La unidad de conversión de energía eléctrica 410 incluye un filtro de rotor 418 que está acoplado eléctricamente al rotor 322 a través del bus de rotor 412. El filtro del rotor 418 está acoplado eléctricamente a un convertidor de energía bidireccional en el lado del rotor 420 a través de un bus de filtro de rotor 419. El convertidor 420 está acoplado eléctricamente a un convertidor de energía bidireccional en el lado de la línea 422. Los convertidores 420 y 422 son sustancialmente idénticos. El convertidor de energía 422 está acoplado eléctricamente a un filtro de línea 424 y a un interruptor de línea 426 a través de un bus de convertidor de energía en el lado de la línea 423 y un bus de línea 425. En la forma de realización de ejemplo, los convertidores 420 y 422 están configurados en una configuración de modulación de ancho de pulso (PWM) trifásica que incluye dispositivos de conmutación de transistores bipolares de puerta aislada (IGBT) (que no se muestran en la Figura 4) que "son activados" según se conoce en la técnica. Alternativamente, los convertidores 420 y 422 tienen cualquier configuración que utilice cualquier dispositivo de conmutación que facilite la operación del sistema 400 según se describe en el presente documento. La unidad 410 está acoplada en comunicación electrónica de datos con el controlador 402 para controlar la operación de los convertidores 420 y 422.

El interruptor de línea 426 está acoplado eléctricamente a un disyuntor de circuito de conversión 428 a través de un bus de disyuntor de circuito de conversión 430. El disyuntor de circuito 428 también está acoplado eléctricamente al disyuntor de circuito del sistema 414 a través del bus del sistema 416 y del bus de conexión 432. El disyuntor de circuito del sistema 414 está acoplado eléctricamente a un transformador principal de energía eléctrica 434 a través de un bus en el lado del generador 436. El transformador principal 434 está acoplado eléctricamente a un disyuntor de circuito de red 438 a través de un bus en el lado del disyuntor 440. El disyuntor de red 438 está conectado a una red de transmisión y distribución de energía eléctrica a través de un bus de la red 442.

En la forma de realización de ejemplo, los convertidores 420 y 422 están acoplados en comunicación eléctrica entre sí a través de un único enlace de corriente continua (CC) 444. Alternativamente, los convertidores 420 y 422 están acoplados eléctricamente a través de enlaces de corriente continua individuales y separados (que no se muestran en la Figura 4). El enlace de corriente continua 444 incluye una vía positiva 446, una vía negativa 448, y al menos un condensador 450 acoplado entre las mismas. Alternativamente, el condensador 450 es uno o más condensadores configurados en serie o en paralelo entre las vías 446 y 448.

El sistema de energía eléctrica 400 puede incluir además un regulador de bucle bloqueado en fase (PLL) 451 que está configurado para recibir una pluralidad de señales de medición de voltaje procedentes de una pluralidad de transductores de voltaje 452. En la forma de realización de ejemplo, cada uno de los tres transductores de voltaje 452 está acoplado eléctricamente a cada una de las tres fases del bus 442. Alternativamente, los transductores de voltaje 452 están acoplados eléctricamente al bus de sistema 416. También, alternativamente, los transductores de voltaje 452 están acoplados eléctricamente a cualquier parte del sistema 400 que facilite la operación del sistema 400 según se describe en este documento. El regulador de bucle bloqueado en fase 451 está acoplado en comunicación electrónica de datos con el controlador 402 y los transductores de voltaje 452 a través de una pluralidad de conductos eléctricos 454. Alternativamente, el regulador de bucle bloqueado en fase 451 está configurado para recibir cualquier número de señales de medición de voltaje procedentes de cualquier número de transductores de voltaje 452, que incluyen, pero no se limitan a, una señal de medición de voltaje procedente de un transductor de voltaje 452. El controlador 402 también puede recibir cualquier número de retroalimentaciones de corriente procedentes de transformadores o transductores de corriente que están acoplados eléctricamente a cualquier parte del sistema 400 que facilitan la operación del sistema 400 según se describe en el presente documento tales como, por ejemplo, sin limitarse a, una retroalimentación de corriente del estator procedente del bus de estator 408, una retroalimentación de corriente de la red procedente del bus en el lado del generador 436.

Durante la operación, el viento impacta en las palas 308 y las palas 308 transforman la energía mecánica del viento en un par mecánico rotacional que acciona de forma rotatoria el eje de baja velocidad 312 a través del buje 310. El eje de baja velocidad 312 acciona la multiplicadora 314 que posteriormente aumenta la baja velocidad de rotación del eje 312 para accionar el eje de alta velocidad 316 a una velocidad de

rotación mayor. El eje de alta velocidad 316 acciona de forma rotatoria el rotor 322. Se induce un campo magnético rotatorio dentro del rotor 322 y se induce un voltaje dentro del estator 320 que es acoplado magnéticamente al rotor 322. El generador 318 convierte la energía mecánica rotacional en una señal de energía eléctrica de corriente alterna (CA) sinusoidal y trifásica en el estator 320. La energía eléctrica asociada es transmitida al transformador principal 434 a través del bus 408, del conmutador 406, del bus 416, del disyuntor de circuito 414 y del bus 436. El transformador principal 434 aumenta la amplitud del voltaje de la energía eléctrica y la energía eléctrica transformada es transmitida adicionalmente a una red a través del bus 440, del disyuntor de circuito 438 y del bus 442.

En la configuración de generador de inducción de doble alimentación, se proporciona una segunda vía de transmisión de energía eléctrica. La energía eléctrica trifásica sinusoidal de corriente alterna se genera dentro del rotor bobinado 322 y se transmite a la unidad 410 a través del bus 412. Dentro de la unidad 410, la energía eléctrica se transmite al filtro del rotor 418, en el que se modifica la energía eléctrica según la velocidad de cambio de las señales de PWM asociadas al convertidor 420. El convertidor 420 actúa como un rectificador y rectifica la energía sinusoidal trifásica de CA en energía de CC. La energía de CC se transmite al enlace de CC 444. El condensador 450 facilita una mitigación de variaciones de amplitud de voltaje en el enlace de CC 444 facilitando una mitigación de una ondulación de CC asociada con la rectificación de CA.

La energía de CC se transmite posteriormente desde el enlace de CC 444 al convertidor de energía 422, en el que el convertidor 422 actúa como un inversor configurado para convertir la energía eléctrica de CC procedente del enlace de CC 444 en energía eléctrica de CA sinusoidal y trifásica con voltajes, corrientes y frecuencias predeterminadas. Esta conversión se monitoriza y controla a través del controlador 402. La energía de CA convertida se transmite desde el convertidor 422 al bus 416 a través de los buses 423 y 425, del interruptor de línea 426, del bus 430, del disyuntor de circuito 428 y del bus 432. El filtro de línea 424 compensa o ajusta las corrientes armónicas en la energía eléctrica transmitida desde el convertidor 422. El conmutador de sincronización del estator 406 está configurado para cerrarse de tal manera que se facilita la conexión de la energía trifásica procedente del estator 320 con la energía trifásica procedente de la unidad 410.

Los disyuntores de circuito 428, 414 y 438 están configurados para desconectar los correspondientes buses, por ejemplo, cuando el flujo de corriente es excesivo y puede dañar los componentes del sistema 400. También se proporcionan componentes de protección adicionales, que incluyen el interruptor de línea 426, que puede ser controlado para que se forme una desconexión abriendo un conmutador (que no se muestra en la Figura 4) correspondiente a cada una de las líneas del bus de línea 430.

La unidad 410 compensa o ajusta la frecuencia de la energía trifásica procedente del rotor 322 para cambios, por ejemplo, en la velocidad del viento en el buje 310 y en las palas 308. Por lo tanto, de esta manera, se desacoplan las frecuencias mecánicas y eléctricas del rotor y se facilita sustancialmente la correspondencia de frecuencias del estator y del rotor, con independencia de la velocidad mecánica del rotor.

Además, en la forma de realización de ejemplo, el sistema de energía eléctrica 400 incluye el sistema de energía eléctrica auxiliar 205 que incluye el sistema de protección y control del sistema de energía eléctrica auxiliar 200 y el controlador asociado del sistema de protección y control del sistema de energía eléctrica auxiliar 215. El controlador 215 está acoplado al sistema de energía eléctrica auxiliar 205 y controla su operación, lo que facilita la transmisión de energía eléctrica a sistemas y dispositivos auxiliares, por ejemplo, y sin limitación a, dispositivos de bombeo de lubricación, equipos de elevación de torre, sistemas de iluminación, sistemas de alimentación ininterrumpida y, en algunas formas de realización, algunos sistemas de control para la unidad de conversión de energía eléctrica 410 y generador DFIG 318. El sistema 205 está acoplado al bus de conexión 432 a través de una pluralidad de conductos eléctricos 456.

En la forma de realización de ejemplo, el controlador 215 es una parte de un esquema de control distribuido, en el que, en algunas formas de realización, el controlador 215 es un controlador descentralizado para el sistema de energía eléctrica auxiliar 205 y el sistema de protección y control del sistema de energía eléctrica auxiliar 200. Alternativamente, el controlador 215 es un controlador centralizado para la totalidad del sistema de energía eléctrica 400. Además, el sistema de protección y control del sistema de energía eléctrica auxiliar 200 incluye al menos un sensor de monitorización 240 (que se muestra en la Figura 2) acoplado a diversos dispositivos para recoger mediciones de operación que incluyen, pero no se limitan a, lecturas de voltaje y de corriente en todo el sistema de energía eléctrica auxiliar 205, que incluyen, pero no se limitan a, lecturas de voltaje y de corriente del bus de la red de suministro de energía eléctrica 442 a través de una pluralidad de conductos eléctricos 458. Además, el sistema 200 puede incluir al menos un sensor de monitorización 240 para recoger mediciones de operación que incluyen, pero no se limitan a, lecturas adicionales de voltaje y de corriente en todo el sistema de energía eléctrica auxiliar 205, que incluyen, pero no se limitan a, lecturas de voltaje y de corriente de subestación (que no se muestran), lecturas localizadas de voltaje y de corriente en todo el sistema de energía eléctrica 400, que incluye el sistema de energía eléctrica auxiliar 205 y un sistema de generación de energía eléctrica, por ejemplo, pero sin limitarse a, la unidad de conversión de

## ES 2 802 821 T3

energía eléctrica 410, el generador DFIG 318 y el transformador de energía principal 434, y/o cualquier otro tipo de datos.

5 En operación, la energía eléctrica de CA trifásica sinusoidal generada por el estator 320 del generador DFIG 318 se transmite al bus de la red de suministro de energía eléctrica 442 a través del bus del estator 408, del conmutador de sincronización del estator 406, del bus de la línea 416, del disyuntor del transformador principal 414, del bus en el lado del generador 436, del transformador de energía principal 434, del bus en el lado del disyuntor 440 y del disyuntor de circuito de red 438 al bus de la red de suministro de energía eléctrica 442, según muestran las flechas 460.

10 También, en operación, las velocidades relativas entre el rotor del generador 322 y el estator del generador 320 determinan la operación de la unidad de conversión de energía eléctrica 410. En las circunstancias en que el rotor del generador 322 rota a una velocidad inferior a la velocidad sincrónica definida por el estator 320 del generador, es decir, a una velocidad inferior a la sincrónica, la unidad de conversión de energía eléctrica 410 excita el rotor 322 del generador con la energía reactiva 465 transmitida desde el convertidor de energía en el lado del rotor 420 a través del bus del rotor 412. El rotor 322 del generador parecerá entonces que rota a una velocidad sincrónica con respecto al estator 320 del generador y el estator 320 generará la energía eléctrica deseada, es decir, la frecuencia sincrónica 460 que se transmite al bus de la red de suministro de energía eléctrica 442 según se ha descrito anteriormente.

20 En las circunstancias en que el rotor 322 del generador está rotando a la velocidad sincrónica, la unidad de conversión de energía eléctrica 410 excita el rotor 322 del generador con la energía real 470 transmitida desde el convertidor de energía en el lado del rotor 420 a través del bus del rotor 412. El estator del generador 320 genera energía eléctrica 460 a la frecuencia sincrónica que es transmitida al bus de la red de suministro de energía eléctrica 442 según se ha descrito anteriormente.

30 En las circunstancias en que el rotor del generador 322 está rotando a una velocidad superior a la velocidad sincrónica, es decir, a una velocidad súper sincrónica, la unidad de conversión de energía eléctrica 410 excita el rotor del generador 322 con la energía reactiva 470 transmitida desde el convertidor de energía en el lado del rotor 420 a través del bus del rotor 412, mientras que al mismo tiempo extrae la energía real 480 del rotor del generador 322 a través del bus del rotor 412 hacia el convertidor de energía en el lado del rotor 420. El rotor del generador 322 parecerá entonces que está rotando a una velocidad sincrónica con respecto al estator del generador 320 y el estator 320 generará energía eléctrica 460 a la frecuencia sincrónica que es transmitida al bus de la red de suministro de energía eléctrica 442 según se ha descrito anteriormente.

35 La frecuencia de la energía 480 extraída del rotor del generador 322 será convertida a la frecuencia sincrónica a través de la unidad de conversión de energía eléctrica 410 y la energía eléctrica generada por el rotor 480 será añadida a la energía generada por el estator 460.

40 Además, en operación, cuando el rotor del generador 322 está generando energía eléctrica 460 para su transmisión al bus de la red 442, el convertidor de energía en el lado de la línea 422 de la unidad de conversión de energía eléctrica 410 está sincronizado con la frecuencia del bus del sistema 416, normalmente una constante sustancialmente igual a 60 Hertz (Hz). Alternativamente, la frecuencia sincrónica es cualquier frecuencia que permita la operación del sistema de energía eléctrica 400 y del sistema de energía eléctrica auxiliar 205 según se describe en el presente documento, que incluye, pero no se limita a, 50 Hz. Por lo tanto, según los requisitos de frecuencia, los dispositivos de conmutación del convertidor de energía en el lado de la línea 422 conmutan a una velocidad de conmutación que permite una frecuencia sincrónica de 50 o 60 Hz.

50 Además, durante esa operación en los modos sub-síncrono, síncrono y súper-síncrono, el controlador del convertidor 402 opera los dispositivos de conmutación en el convertidor de energía en el lado de la línea 422 a la frecuencia predeterminada, por ejemplo, 60 Hz, para convertir energía de CC en energía de CA para su transmisión al bus de la red de suministro de energía eléctrica 442. Como tal, el controlador 402 regula las propiedades inductivas, y por lo tanto las pérdidas de energía, de los buses 430 y 432, incluyendo todos los dispositivos inductivos acoplados a los mismos, de modo que se transmite un valor predeterminado de corriente desde un conductor eléctrico, es decir, la vía positiva de CC 446 y la vía negativa de CC 448 del enlace de CC 444 al bus de red 442 en función de un voltaje medido en el enlace de CC 444.

60 Además, en operación, cuando el generador DFIG 318 está generando y transmitiendo energía eléctrica 460 al bus de la red 442, una parte de la energía eléctrica 460 es transmitida al sistema de energía eléctrica auxiliar 205, según muestran las flechas 490. Alternativamente, cuando el generador DFIG 318 es retirado del servicio, la energía eléctrica auxiliar es transmitida desde el bus de la red 442 a través del disyuntor de circuito de red 438, del transformador 434 y del disyuntor de circuito 414 al sistema de energía eléctrica auxiliar 205, según muestran las flechas 495.

65 La Figura 5 es una vista esquemática de un ejemplo de sistema de energía eléctrica auxiliar 205 que se utiliza con el sistema de energía eléctrica 400. El sistema de energía eléctrica auxiliar 205 incluye al menos

una unidad de motor-generador (m/g) 500 (sólo se muestra una) acoplada al bus del sistema 416 a través de un conducto de suministro 502. El sistema de energía eléctrica auxiliar 205 incluye cualquier número de unidades de motor-generador 500 que permite la operación del sistema 205 según se describe en el presente documento. La unidad de motor-generador 500 está configurada para recibir energía eléctrica generada 490 o energía de la red 495, en función del estado de operación del generador DFIG 318. La unidad de motor-generador 500 también está configurada para generar energía eléctrica auxiliar 503 con un voltaje dentro de un primer rango predeterminado. La unidad de motor-generador 500 puede estar acoplada al controlador 215 del sistema de protección y control del sistema de energía eléctrica auxiliar 200.

El sistema de energía eléctrica auxiliar 205 también incluye una pluralidad de conductos de carga auxiliar 504 y 506, cada uno de los cuales está configurado para recibir energía eléctrica procedente de la unidad de motor-generador 500 que tiene un voltaje dentro del primer rango predeterminado. El sistema 205 incluye además al menos un transformador de energía auxiliar 508 (sólo se muestra uno) que está acoplado a por lo menos uno de los conductos 504 y 506. El transformador de energía auxiliar 508 está configurado para recibir energía eléctrica auxiliar 503 que tiene un voltaje dentro del primer rango predeterminado y generar energía eléctrica auxiliar 510 que tiene un voltaje dentro de un segundo rango predeterminado para una pluralidad de conductos de carga auxiliares 512.

El sistema de energía eléctrica auxiliar 205 también incluye una pluralidad de buses de carga auxiliares 514, 516 y 518. El bus de carga auxiliar 514 está configurado para suministrar a unas cargas auxiliares (que no se muestran) energía eléctrica auxiliar 503 que tiene un voltaje dentro del primer rango predeterminado. Por ejemplo, y sin limitación, dichas cargas pueden incluir aquellas cargas que tienen un voltaje nominal de aproximadamente 690 VCA. Los buses de carga auxiliares 516 y 518 están configurados para suministrar a unas cargas auxiliares (que no se muestran) energía eléctrica auxiliar 510 que tiene un voltaje dentro del segundo rango predeterminado. Dichas cargas incluyen, pero no se limitan a, aquellas cargas que tienen un voltaje nominal de 400 VCA, 208 VCA, 173 VCA, incluyendo corriente alterna monofásica y trifásica, por ejemplo, pero sin limitarse a, elevadores, bombas, ventiladores, calentadores y fuentes de alimentación universales (UPS). Múltiples transformadores de energía auxiliar 508 con diferentes valores de voltaje de entrada y salida pueden estar puestos en cascada para suministrar diferentes voltajes a las cargas auxiliares.

En algunas formas de realización alternativas, la unidad de motor-generador 500, el transformador de energía auxiliar 508, los buses de carga auxiliares 514, 516 y 518 y sus respectivas cargas están configuradas de tal manera que la unidad de motor-generador 500 está configurada para transmitir energía eléctrica auxiliar 510 al transformador de energía auxiliar 508 y al bus de carga auxiliar 514 en el segundo rango de tolerancia de voltaje predeterminado y el transformador de energía auxiliar 508 está configurado para transmitir energía eléctrica auxiliar 503 a los buses de carga auxiliares 516 y 518 en el primer rango de tolerancia de voltaje predeterminado. Por ejemplo, y sin limitación, el transformador de energía auxiliar 508 está configurado como un transformador reductor en la forma de realización de ejemplo y puede estar configurado como un transformador elevador en formas de realización alternativas.

En operación, la unidad de motor-generador 500 recibe la energía eléctrica generada 490 cuando el generador DFIG 318 está en servicio y recibe la energía de la red 495 cuando el generador DFIG 318 es retirado del servicio. La unidad de motor-generador 500 genera la energía eléctrica auxiliar 503 con una frecuencia de aproximadamente 60 Hz y dentro del primer rango de tolerancia de voltaje predeterminado que incluye 690 VCA. La energía eléctrica auxiliar 503 se transmite al bus de carga auxiliar 514 a través del conducto 506. La energía eléctrica auxiliar 503 también se transmite al transformador de energía auxiliar 508 que genera y transmite la energía eléctrica auxiliar 510 con una frecuencia de aproximadamente 60 Hz y dentro del segundo rango de tolerancia de voltaje predeterminado que incluye al menos uno de entre 400 VCA, 208 VCA y 173 VCA. Alternativamente, el primer y segundo rangos de tolerancia de voltaje predeterminados pueden incluir cualesquiera voltajes que permitan la operación del sistema de energía eléctrica auxiliar 205 según se describe en el presente documento.

También, en operación, con circunstancias que incluyen el generador DFIG 318 fuera de servicio y la energía eléctrica de la red 495 transmitida al sistema de energía eléctrica auxiliar 205, los voltajes de la energía eléctrica de la red 495 pueden variar dentro de un rango de tolerancia de voltaje predeterminado que puede ser más amplio que los rangos de tolerancia de voltaje nominal de las cargas alimentadas desde los buses de carga auxiliares 514, 516 y 518. Por lo tanto, la unidad de motor-generador 500 recibe la energía eléctrica de la red 495 procedente del bus de la red 442 a través del transformador de energía principal 434. En algunas formas de realización, el transformador 434 puede incluir unos dispositivos para mitigar los efectos de las fluctuaciones de voltaje en el bus de la red 442, por ejemplo, pero sin limitarse a, cambiadores de tomas (que no se muestran). Sin embargo, es posible que los cambiadores de tomas no funcionen con la rapidez suficiente para mitigar los transitorios de voltaje en los buses de carga auxiliares 514, 516 y 518, de modo que no se superan las bandas de tolerancia de voltaje nominal de los buses 514, 516 y 518. Además, los cambiadores de tomas funcionan en unidades incrementales discretas que pueden ser demasiado grandes para mitigar eficazmente las fluctuaciones de voltaje procedentes del bus de la red

442. Además, es posible que el transformador 434 no tenga dicho dispositivo de corrección de excursiones de voltaje y que los transitorios de voltaje pasen a través del transformador 434 con poca o ninguna mitigación.

5 Por lo tanto, en operación, la unidad de motor-generador 500 recibe la energía eléctrica de la red 495 con las fluctuaciones de voltaje y genera una de energía eléctrica auxiliar 503 y 510 que incluye voltajes dentro de las bandas de tolerancia de voltaje de las cargas en el bus 514. El transformador de energía auxiliar 508 recibe cualquiera de las energías eléctricas auxiliares 503 y 510 y genera unos voltajes dentro de las bandas de tolerancia nominal de las cargas en los buses 516 y 518. También se puede conseguir una mitigación  
10 similar de las fluctuaciones de voltaje cuando el generador DFIG 318 está en servicio y el sistema de energía eléctrica auxiliar 205 está recibiendo la energía generada 490.

15 Las unidades de motor-generador 500 o bien incluyen suficientes características de regulación incorporadas o bien están acopladas a un controlador externo para regular el voltaje de la energía eléctrica suministrada al equipamiento procedente de las unidades 500. Para transitorios más grandes y/o prolongados, por ejemplo, transitorios de LVRT/ZVRT, el momento inherente de la unidad de motor-generador 500 facilita el proceso de conversión de energía dentro de la unidad de motor-generador 500, especialmente durante transitorios prolongados. Además, la unidad de motor-generador 500 facilita el suministro de energía eléctrica a los buses de carga auxiliares 514, 516 y 518 con voltajes dentro de las bandas de tolerancia de  
20 voltaje nominal de las cargas acopladas a los mismos a través de transitorios de HVRT.

25 La Figura 6 es una vista esquemática de un ejemplo de unidad de motor-generador (m/g) 520 que se puede utilizar con el sistema de energía eléctrica auxiliar 205 (que se muestra en la Figura 5) como unidad de motor-generador 500. La unidad de motor-generador 520 incluye un motor de inducción 522 que está acoplado al conducto 502 (que se muestra en la Figura 5) y está configurado para recibir la energía eléctrica generada 490 y la energía de la red 495, en función del estado de operación del generador DFIG 318 (que se muestra en la Figura 5). La unidad de motor-generador 520 también incluye un generador de imanes permanentes (p-m) 524 acoplado de forma rotatoria al motor de inducción 522. El generador de imanes permanentes 524 genera una de entre la energía eléctrica auxiliar 503 dentro del primer rango de tolerancia de voltaje predeterminado y la energía eléctrica auxiliar 510 dentro del segundo rango de tolerancia de  
30 voltaje predeterminado. La unidad de motor-generador 520 genera la energía eléctrica auxiliar 503 o 510 a un solo voltaje predeterminado sin modulación con una salida de corriente predeterminada. La unidad de motor-generador 520 facilita una operación continuada del sistema de energía eléctrica auxiliar 205 con voltajes dentro de las bandas de tolerancia nominal para el equipamiento que recibe la energía eléctrica auxiliar 503 o 510 que normalmente no tiene la necesidad de operar dentro de rangos de voltaje relativamente ajustados y estrictos. Por lo tanto, la unidad de motor-generador 520 facilita la operación de  
35 las cargas que reciben la energía eléctrica auxiliar 503 o 510 en lugar de las características de la red.

40 La Figura 7 es una vista esquemática de un ejemplo de una unidad de motor-generador (m/g) alternativa 530 que se puede utilizar con el sistema de energía eléctrica auxiliar 205 (que se muestra en la Figura 5) como unidad de motor-generador 500. La unidad de motor-generador 530 incluye el motor de inducción 522 que está acoplado al conducto 502 (que se muestra en la Figura 5) y está configurado para recibir la energía eléctrica generada 490 y la energía de la red 495, en función del estado de operación del generador DFIG 318 (que se muestra en la Figura 5). La unidad de motor-generador 530 también incluye un generador de imanes permanentes (p-m) 534 acoplado de forma rotatoria al motor de inducción 522. El generador de imanes permanentes 534 genera una de entre la energía eléctrica auxiliar 503 dentro del primer rango de tolerancia de voltaje predeterminado y la energía eléctrica auxiliar 510 dentro del segundo rango de tolerancia de voltaje predeterminado. El generador de imanes permanentes 534 incluye un controlador de regulación de voltaje, es decir, un regulador 536 que puede ser cualquiera de entre un dispositivo autónomo o acoplado al controlador 215 del sistema de protección y control del sistema de energía eléctrica auxiliar  
45 200. La unidad de motor-generador 530 genera la energía eléctrica auxiliar 503 o 510 a un voltaje predeterminado con modulación. La salida de corriente también puede ser modulada. La unidad de motor-generador 530 facilita la operación continuada del sistema de energía eléctrica auxiliar 205 con voltajes dentro de las bandas de tolerancia nominal para redes que pueden tener unos transitorios de voltaje severos o prolongados y operar dentro de rangos de voltaje relativamente amplios. Por lo tanto, la unidad de motor-generador 530 con el regulador de voltaje 536 facilita la operación de las cargas que reciben la energía eléctrica auxiliar 503 o 510 que normalmente tienen la necesidad de operar dentro de rangos de voltaje relativamente ajustados y estrictos.  
50

60 La Figura 8 es una vista esquemática de otro ejemplo de unidad de motor-generador (m/g) alternativa 540 que se puede utilizar con el sistema de energía eléctrica auxiliar 205 (que se muestra en la Figura 5) como unidad de motor-generador 500. La unidad de motor-generador 540 es similar a la unidad de motor-generador 530 (que se muestra en la Figura 8) con la excepción de que la unidad de motor-generador 540 incluye un arrancador de motor de inducción 548 acoplado al motor de inducción 522. El arrancador de motor de inducción 548 puede ser cualquiera de entre un dispositivo autónomo o acoplado al controlador 215 del sistema de protección y control del sistema de energía eléctrica auxiliar 200. La unidad de motor-generador 540 facilita la operación continuada del sistema de energía auxiliar 205 con voltajes dentro de  
65

las bandas de tolerancia nominal para redes que pueden tener transitorios de voltaje severos o prolongados y operar dentro de rangos de voltaje relativamente amplios. El arrancador de motor de inducción 548 facilita la reducción y/o el control de la irrupción de corriente cuando el motor de inducción 522 está en servicio.

5 La Figura 9 es una vista esquemática de otro de ejemplo de unidad de motor-generador (m/g) alternativa 550 que se puede utilizar con el sistema de energía eléctrica auxiliar que se muestra en la Figura 5 como la unidad de motor-generador 500. La unidad de motor-generador 550 incluye un motor de imanes permanentes (p-m) 552 que está acoplado al conducto 502 (que se muestra en la Figura 5) y está configurado para recibir la energía eléctrica generada 490 y la energía de la red 495, en función del estado de operación del generador DFIG 318 (que se muestra en la Figura 5). La unidad de motor-generador 550 también incluye el generador de imanes permanentes 534 acoplado de forma rotatoria al motor de imanes permanentes 552. El generador de imanes permanentes 534 incluye un regulador de voltaje 536 que puede ser cualquiera de entre un dispositivo autónomo o acoplado al controlador 215 del sistema de protección y control del sistema de energía eléctrica auxiliar 200. La unidad de motor-generador 550 incluye un arrancador de motor de imanes permanentes 558 acoplado al motor de imanes permanentes 552. El arrancador de motor de imanes permanentes 558 puede ser cualquiera de entre un dispositivo autónomo o acoplado al controlador 215 del sistema de protección y control del sistema de energía eléctrica auxiliar 200. La unidad de motor-generador 550 genera la energía eléctrica auxiliar 503 o 510 a un voltaje predeterminado con modulación. La corriente también puede ser modulada. La unidad de motor-generador 550 facilita la operación continuada del sistema de energía eléctrica auxiliar 205 con voltajes dentro de las bandas de tolerancia nominal para redes que pueden tener transitorios de voltaje severos o prolongados y operar dentro de rangos de voltaje relativamente amplios. Formas de realización alternativas de la unidad de motor-generador 500 pueden incluir, pero no se limitan a, un generador de imanes permanentes 524 (que se muestra en la Figura 6), es decir, sin un regulador de voltaje. El motor de imanes permanentes 552 facilita el aumento de la eficiencia global de la unidad de motor-generador 550.

La Figura 10 es una vista esquemática de un ejemplo alternativo de sistema de energía eléctrica 600 que se puede utilizar con la turbina eólica 300 (que se muestra en la Figura 3) que puede utilizar el sistema de energía eléctrica auxiliar 205. El sistema de energía eléctrica 600 incluye un transformador de energía principal alternativo 602 que incluye una unidad de bobinados en el lado de alto voltaje 604 y dos unidades de bobinados en el lado de bajo voltaje, es decir, una primera unidad de bobinados en el lado de bajo voltaje 606 y una segunda unidad de bobinados en el lado de bajo voltaje 608. Los bobinados en el lado de alto voltaje 604 están acoplados a un panel de conmutación de medio voltaje (MV) 610 que acopla y desacopla el bus de la red 442 con respecto al transformador de energía principal 602. Los primeros bobinados en el lado de bajo voltaje 606 están acoplados al disyuntor de circuito 414 a través del primer bus de transformador de energía principal 612. Además, los bobinados 606 están configurados para recibir energía eléctrica 460 procedente del estator 320 a un primer voltaje  $V_1$ .

El sistema de energía eléctrica 600 también incluye un sistema de conversión alternativo 614. El sistema de conversión 614 incluye la unidad de conversión de energía eléctrica 410 acoplada al rotor 322. La unidad de conversión de energía eléctrica 410 también está acoplada al segundo bobinado en el lado de bajo voltaje 608 a través de un conducto 615, una pluralidad de dispositivos inductivos 616, un disyuntor de circuito 618 y un interruptor de convertidor 620 que facilita retirar del servicio la unidad 410 cuando se retira del servicio el generador DFIG 318. El sistema de conversión 614 también incluye un sistema de control de conversión 622 que recibe una diversidad de señales de retroalimentación, regula la unidad de conversión 410 y transmite señales a diversos otros sistemas, que incluyen, pero no se limitan a, señales de apertura y cierre al panel de conmutación de medio voltaje 610. La energía real generada por el rotor 480 a un segundo voltaje  $V_2$  es transmitida al bus de red 442 a través de los segundos bobinados en el lado de bajo voltaje 608 y la energía real 470 al rotor 322 es transmitida desde el bus de red 442 a la unidad de conversión 410 a través de los bobinados 608 al voltaje  $V_2$ . De modo similar, la energía de la red 495 se transmite a través de los bobinados 608 al conducto 615 al voltaje  $V_2$  y la energía generada 480 se transmite a través de la unidad de conversión 410 al conducto 615. El conducto 615 está acoplado al conducto 502 y la energía 495 y la energía 490 se utilizan en el sistema de energía eléctrica auxiliar 205 según se ha descrito anteriormente.

El transformador de energía principal 602 y el transformador de energía principal 434 (que se muestra en la Figura 5) son intercambiables entre los sistemas 400 y 600, al igual que la unidad de conversión 410 y el sistema de conversión 614.

La Figura 11 es una vista esquemática de un ejemplo alternativo de sistema de energía eléctrica y un ejemplo alternativo de sistema de energía eléctrica auxiliar 700 que se pueden utilizar con un generador de turbina eólica de ejemplo alternativo 704. El generador de turbina eólica 704 incluye las palas de la turbina eólica 308 acopladas a un rotor 706 que incluye un eje de baja velocidad 708 y un eje de alta velocidad 710. El generador de turbina eólica 704 también incluye una multiplicadora 712 acoplada de forma rotatoria al eje de baja velocidad 708 y al eje de alta velocidad 710. Un generador 714 está acoplado de forma rotatoria al eje de alta velocidad 710. En la forma de realización de ejemplo, el generador 714 es cualquier tipo de generador que permite la operación del generador de la turbina eólica 300 según se describe en el

presente documento, que incluye, pero no se limita a, un generador síncrono de imanes permanentes (PMG) y un generador síncrono de excitación eléctrica (EESG). La multiplicadora 712 aumenta la velocidad de rotación del eje de baja velocidad 708 para que alcance una velocidad de rotación del eje de alta velocidad 710 que se acerque más a la velocidad síncrona.

5

Además, en esta forma de realización alternativa de ejemplo, el sistema de energía eléctrica 700 es un sistema trifásico. El generador 714 incluye un estator de generador 716 que se extiende alrededor de un rotor de generador 718 que está acoplado de forma rotatoria al eje de alta velocidad 710. El estator 716 está acoplado a un bus de estator 720 a través de una pluralidad de dispositivos inductivos 722. El bus de estator 720 está acoplado a un convertidor de energía eléctrica 724. El convertidor de energía eléctrica 724 incluye una parte en el lado del generador 726 acoplada al bus de estator 720. La parte en el lado del generador 726 está acoplada a una parte en el lado de la línea 728 a través de un enlace de corriente continua 730. El enlace de CC 730 incluye al menos un dispositivo capacitivo 732 acoplado a un bus de CC positivo 734 y a un bus de CC negativo 736. La parte en el lado de la línea 728 está acoplada a un bus de línea de CA 738 que incluye al menos un dispositivo inductivo 740. El bus de estator 720 transmite energía eléctrica trifásica a la parte en el lado del generador 726 y el bus de línea de CA 738 transmite energía eléctrica trifásica alejándola de la parte en el lado de la línea 728.

Cada una de la parte en el lado del generador 726 y la parte en el lado de la línea 728 del convertidor de energía eléctrica 724 incluye una pluralidad de dispositivos de conmutación de semiconductores 742 acoplados conjuntamente en una disposición en serie para cada fase de la energía eléctrica que recibe, convierte y transmite el convertidor de energía eléctrica 724. En la forma de realización de ejemplo, los dispositivos de conmutación 742 son dispositivos de semiconductores, por ejemplo, transistores bipolares de puerta aislada (IGBT), que incluyen unas partes de base, emisor y colector (que no se muestran) y un diodo inverso o anti paralelo 744. Alternativamente, los dispositivos de conmutación 742 son cualquier otro transistor adecuado o cualquier otro dispositivo de conmutación adecuado, que incluyen, pero no se limitan a, tiristores de puerta de apagado (GTO). Alternativamente, la parte en el lado del generador 726 y la parte en el lado de la línea 728 pueden incluir cualquier número adecuado de dispositivos de conmutación 742 dispuestos en cualquier configuración adecuada. Un conmutador de sincronización del estator 746 acopla el bus de la línea de CA 738 a un transformador de energía principal 748 que acopla el sistema de energía eléctrica 700 al bus de la red de suministro de energía eléctrica 442 cuando el interruptor 746 es cerrado. El transformador de energía principal 748 puede ser similar a uno de entre el transformador de energía principal 434 (que se muestra en las Figuras 4 y 5) y el transformador de energía principal 602 (que se muestra en la Figura 10). Alternativamente, el transformador de energía principal 748 tiene cualquier configuración que permite la operación del sistema de energía eléctrica 700 y del sistema de energía eléctrica auxiliar 702 según se describe en el presente documento.

El sistema de energía eléctrica 700 incluye el sistema de energía eléctrica auxiliar 702 que es similar al sistema de energía eléctrica auxiliar 205 (que se muestra en las Figuras 2, 4, 5 y 10). La pluralidad de conductos de suministro 750 es similar al conducto de suministro 502 (que se muestra en las Figuras 5 y 10). Los conductos de suministro 750 transmiten la energía real generada 752 y la energía de la red 754. La operación del sistema de energía eléctrica auxiliar 702 es sustancialmente similar a la del sistema de energía eléctrica auxiliar 205.

En algunas formas de realización alternativas, se utiliza una combinación de dispositivos de generación de energía eléctrica junto con, o en lugar de, los generadores de turbina eólica 300 y 704. En al menos una forma de realización alternativa, el generador de turbina eólica 300/704 es sustituido por paneles solares (que no se muestran) acoplados para formar una o más matrices solares (que no se muestran) para facilitar una operación a una salida de energía deseada con energía suplementaria de origen solar. Los paneles solares incluyen, en una forma de realización alternativa, uno o más de entre un panel fotovoltaico, un colector solar térmico o cualquier otro dispositivo que convierta la energía solar en energía eléctrica. En dichas formas de realización alternativas, cada panel solar es un panel fotovoltaico que genera una energía de corriente continua sustancialmente directa como resultado de la energía solar que incide en los paneles solares.

55

Además, en dichas formas de realización alternativas, cada matriz solar está acoplada a un convertidor de energía que es similar a por lo menos una parte del convertidor de energía eléctrica 724 que convierte la energía de CC en energía de CA que es transmitida a un transformador, similar al transformador de energía principal 748, y posteriormente al bus de red 442. Además, aunque en general se describe en el presente documento con respecto al generador de turbina eólica 704 y a una instalación de matriz solar, los procedimientos y sistemas que se describen en el presente documento son aplicables a cualquier tipo de sistema de generación eléctrica, con o sin un convertidor de energía, que incluyen, por ejemplo, pilas de combustible, generadores de energía térmica, generadores geotérmicos, generadores hidroeléctricos, generadores diésel, generadores de gasolina, y/o cualquier otro dispositivo que genere energía a partir de fuentes de energía renovables y/o no renovables.

65

## ES 2 802 821 T3

Anteriormente se han descrito detalladamente formas de realización de ejemplo de una instalación de generación de energía eléctrica, un sistema de energía eléctrica y un sistema de energía eléctrica auxiliar, y procedimientos para operarlos.

- 5 Aunque se pueden mostrar características específicas de diversas formas de realización de la invención en algunos dibujos y no en otros, esto es sólo por conveniencia. Cualquier característica de un dibujo puede ser referenciada en combinación con cualquier característica de cualquier otro dibujo.
- 10 Esta descripción escrita utiliza ejemplos para divulgar la invención, que incluyen el modo preferido, y también para permitir a cualquier persona experta en la materia llevar a la práctica la invención, que incluye la fabricación y el uso de cualesquiera dispositivos o sistemas y la realización de cualesquiera procedimientos incorporados. El alcance patentable de la invención está definido por las reivindicaciones. Otros ejemplos pretenden estar dentro del alcance de las reivindicaciones si tienen elementos estructurales que no difieren del lenguaje literal de las reivindicaciones, o si incluyen elementos estructurales equivalentes
- 15 con diferencias insustanciales con respecto al lenguaje literal de las reivindicaciones.

## REIVINDICACIONES

1. Un sistema de energía eléctrica (500) para una turbina eólica (300) que comprende un generador (318, 714), comprendiendo dicho sistema de energía eléctrica (500) al menos un transformador de energía principal (434) acoplado al generador (318, 714) y a una red de suministro de energía eléctrica, comprendiendo además el sistema de energía eléctrica (500):  
 5 al menos un bus de carga auxiliar (514, 516, 518) configurado para transmitir energía eléctrica a un equipamiento auxiliar, teniendo la energía eléctrica (503, 510) un voltaje dentro de uno de entre un primer rango de tolerancia predeterminado o un segundo rango de tolerancia predeterminado, estando el primer y  
 10 el segundo rangos de tolerancia predeterminados dentro de unas bandas de tolerancia nominal de las cargas en dicho al menos un bus de carga auxiliar (514, 516, 518),  
 al menos una unidad de motor-generator (500) acoplada a dicho transformador de energía principal (434) para recibir una de entre energía generada (490) o energía eléctrica de red (495), estando dicha unidad de motor-generator (500) **caracterizada por** estar configurada para generar energía eléctrica auxiliar que  
 15 tiene un voltaje dentro de uno de entre el primer rango de tolerancia predeterminado o el segundo rango de tolerancia predeterminado,  
 en el que la energía eléctrica de la red (495) tiene un voltaje dentro de un rango de tolerancia de voltaje predeterminado que es más amplio que las bandas de tolerancia de voltaje nominal de dichas cargas alimentadas desde el al menos un bus de carga auxiliar (514, 516, 518),  
 20 en el que el al menos un bus de carga auxiliar (514, 516, 518) está acoplado a la unidad de motor-generator (500) y está configurado para recibir energía eléctrica procedente de la unidad de motor-generator (500).
2. El sistema de energía eléctrica (500) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el generador (318, 714) es un generador de inducción de doble alimentación (DFIG) (318).
3. El sistema de energía eléctrica de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, que comprende además al menos un transformador de energía auxiliar acoplado a dicha unidad de motor-generator y a dicho bus de carga auxiliar (514, 516, 518).
- 30 4. El sistema de energía eléctrica (500) de acuerdo con la reivindicación 3, en el que:  
 dicha unidad de motor-generator está configurada para transmitir energía eléctrica a dicho transformador de energía auxiliar en el primer rango de tolerancia de voltaje predeterminado; y  
 dicho transformador de energía auxiliar está configurado para transmitir energía eléctrica a dicho bus de carga auxiliar en el segundo rango de tolerancia de voltaje predeterminado.
- 35 5. El sistema de energía eléctrica (500) de acuerdo con cualquier reivindicación anterior cuando depende de la reivindicación 2, en el que dicha unidad de motor-generator (500) está configurada para recibir energía eléctrica procedente de cada uno de entre el generador (318, 714) y la red de suministro de energía eléctrica.
- 40 6. El sistema de energía eléctrica (500) de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que dicha unidad de motor-generator comprende:  
 uno de entre un motor de inducción (522) y un motor de imanes permanentes (530); y  
 45 un generador de imanes permanentes (524) acoplado a dicho motor de inducción y dicho motor de imanes permanentes (530).
7. El sistema de energía eléctrica (500) de acuerdo con la reivindicación 6, en el que dicha unidad de motor-generator comprende además un arrancador de motor de inducción acoplado a dicho motor de inducción (522).
- 50 8. El sistema de energía eléctrica (500) de acuerdo con la reivindicación 6 o la reivindicación 7, en el que dicho generador de imanes permanentes (524) comprende un controlador de regulación de voltaje (536).
- 55 9. El sistema de energía eléctrica (500) de acuerdo con la reivindicación 8, en el que dicho controlador de regulación de voltaje (536) comprende:  
 al menos un procesador; y  
 al menos un medio de almacenamiento no transitorio legible informáticamente acoplado a dicho procesador, teniendo dicho medio de almacenamiento no transitorio legible informáticamente unas instrucciones ejecutables informáticamente incorporadas en el mismo, en el que cuando son ejecutadas por  
 60 dicho procesador, las instrucciones ejecutables informáticamente hacen que dicho procesador opere dicha unidad de motor-generator para regular el voltaje y corriente transmitidos a dicho bus de carga auxiliar.
10. Una instalación de generación de energía renovable (300) que comprende:  
 65 al menos un generador de inducción de doble alimentación de energía eléctrica (DFIG) (318); y  
 un sistema de energía eléctrica auxiliar (205) acoplado a dicho generador DFIG (318), comprendiendo dicho sistema de energía eléctrica auxiliar:

al menos un sistema de energía eléctrica (500) según se define en la reivindicación 1; y  
al menos una carga auxiliar de generador de energía eléctrica acoplada a dicho bus de carga auxiliar,  
estando dicho bus de carga auxiliar (514, 516, 518) configurado para transmitir energía eléctrica a dicha  
carga auxiliar.

5

11. El sistema de generación de energía renovable (300) de acuerdo con la reivindicación 10, que  
comprende además al menos un transformador de energía auxiliar (508) acoplado a dicha unidad de motor-  
generador (500) y a dicho bus de carga auxiliar.

10

12. El sistema de generación de energía renovable (300) de acuerdo con la reivindicación 11, en el que:  
dicha unidad de motor-generador (500) está configurada para transmitir energía eléctrica a dicho  
transformador de energía auxiliar (508) en el primer rango de tolerancia de voltaje predeterminado; y  
dicho transformador de energía auxiliar (508) está configurado para transmitir energía eléctrica a dicho  
bus de carga auxiliar (514, 516, 518) en el segundo rango de tolerancia de voltaje predeterminado.

15

13. El sistema de generación de energía renovable (300) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones  
10 a 12, en el que dicha unidad de motor-generador (500) está configurada para recibir energía eléctrica  
procedente de cada uno del generador de inducción de doble alimentación (318, 714) y de la red de  
suministro de energía eléctrica.

20

14. Un procedimiento para controlar una operación de la instalación de generación de energía renovable  
(300) de la reivindicación 10, comprendiendo dicho procedimiento:

transmitir energía eléctrica desde uno de entre el DFIG (318) y una red de suministro de energía eléctrica  
a la por lo menos una unidad de motor-generador (500), teniendo la energía eléctrica un voltaje dentro del  
rango de tolerancia predeterminado; y

25

regular la unidad de motor-generador (500) para transmitir energía eléctrica que tiene un voltaje dentro  
del primer rango de tolerancia predeterminado al bus de carga auxiliar (514, 516, 518).

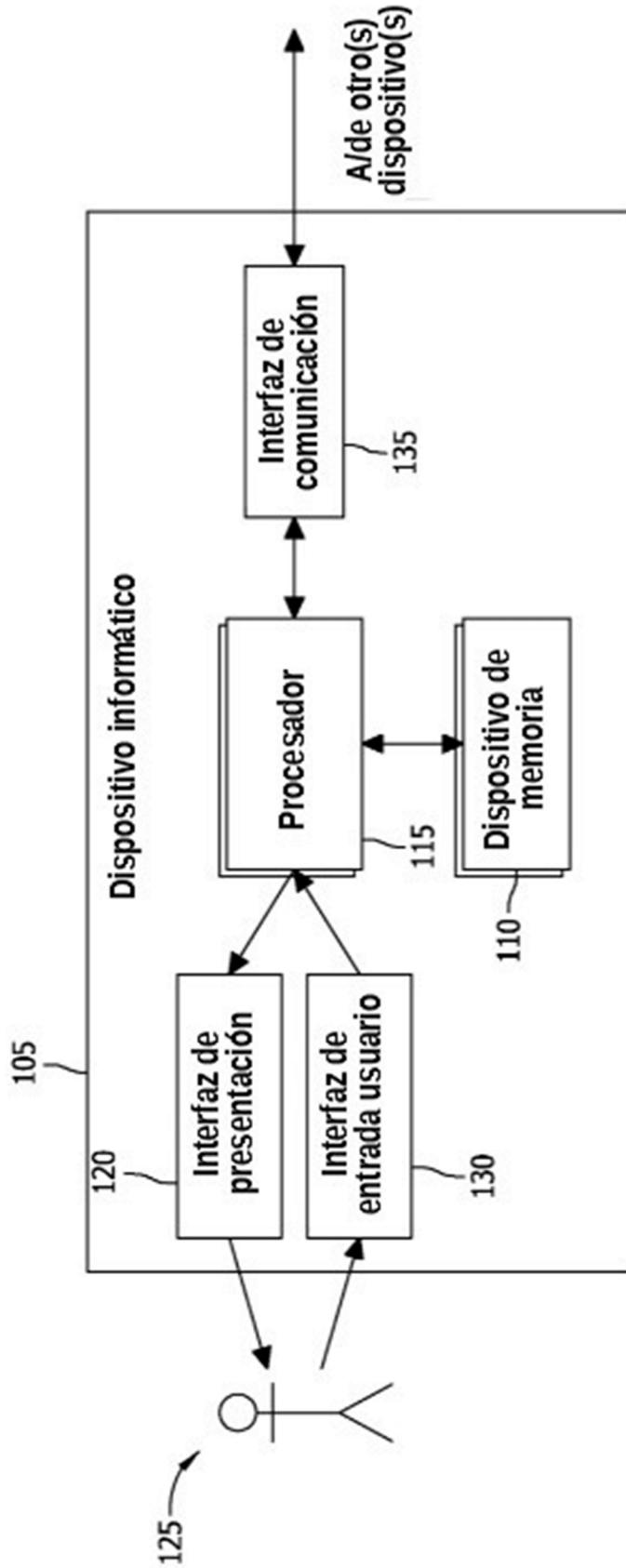


FIG. 1

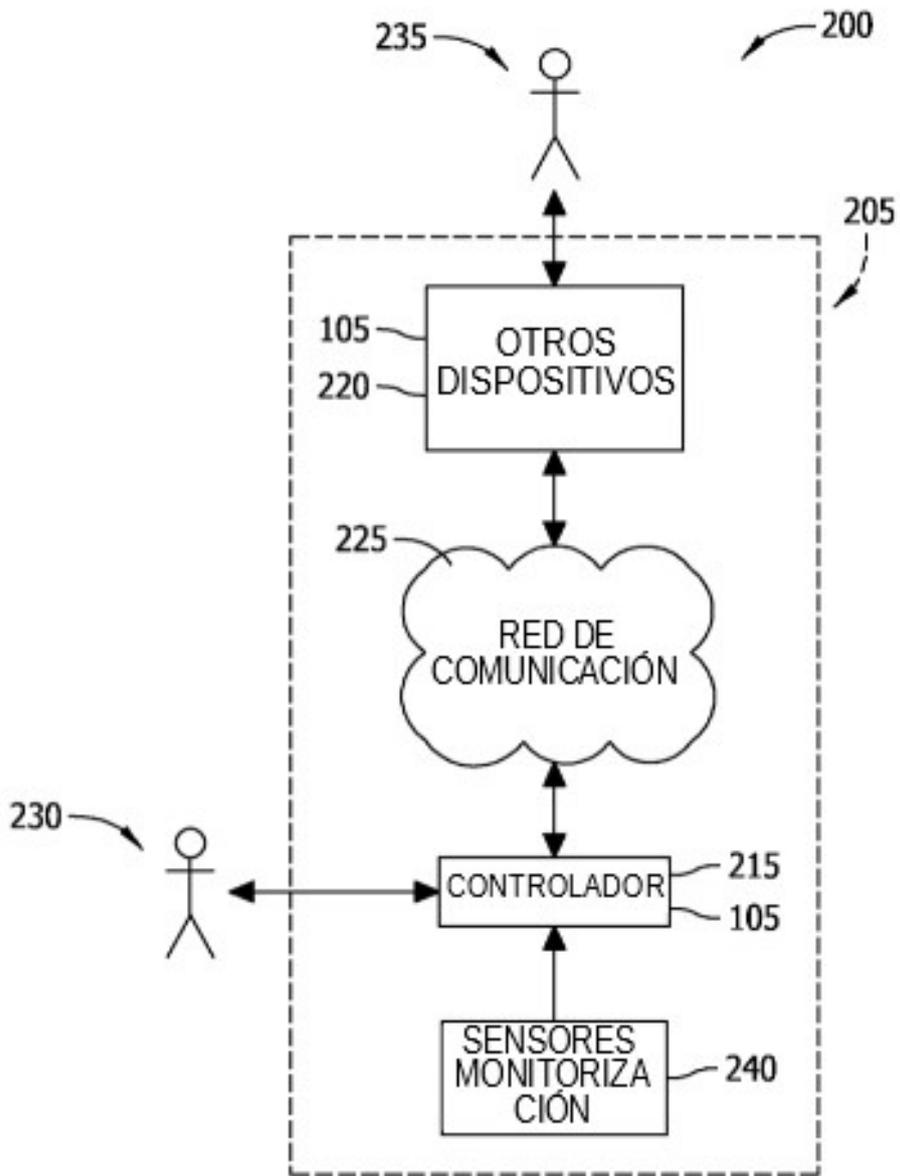


FIG. 2

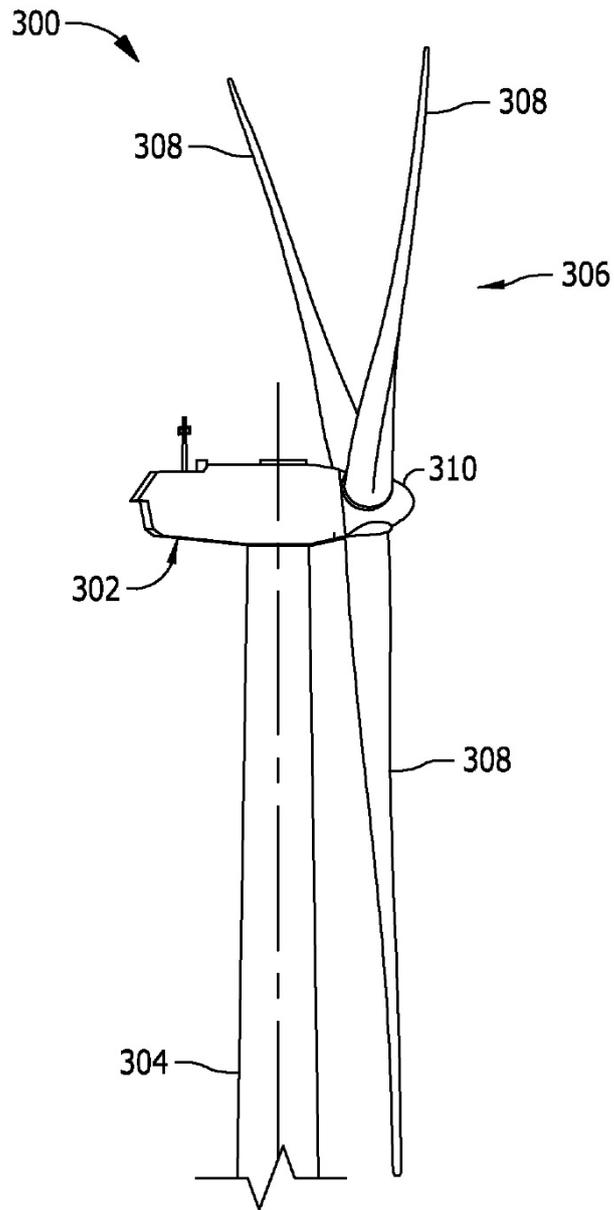


FIG. 3

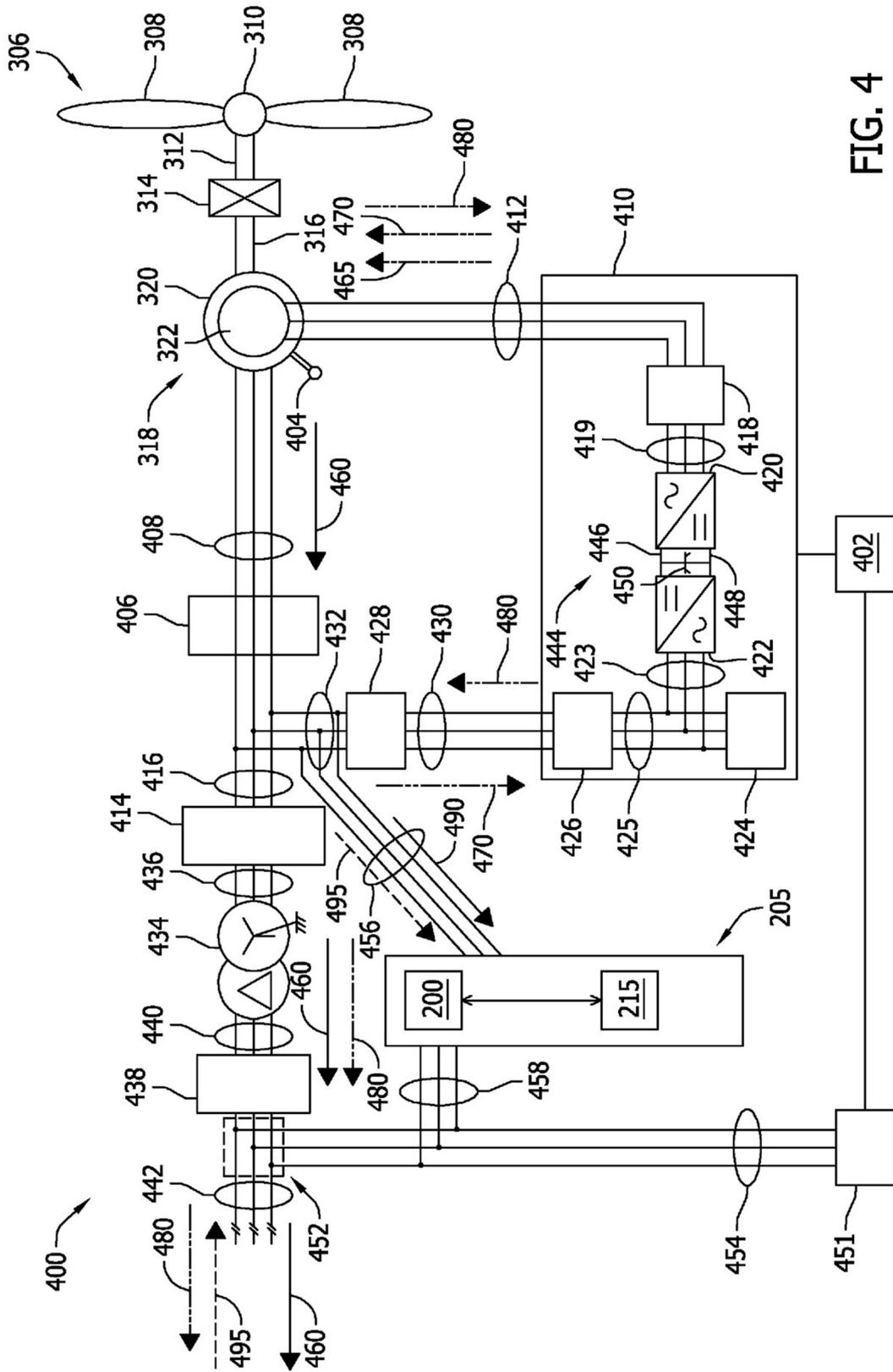


FIG. 4

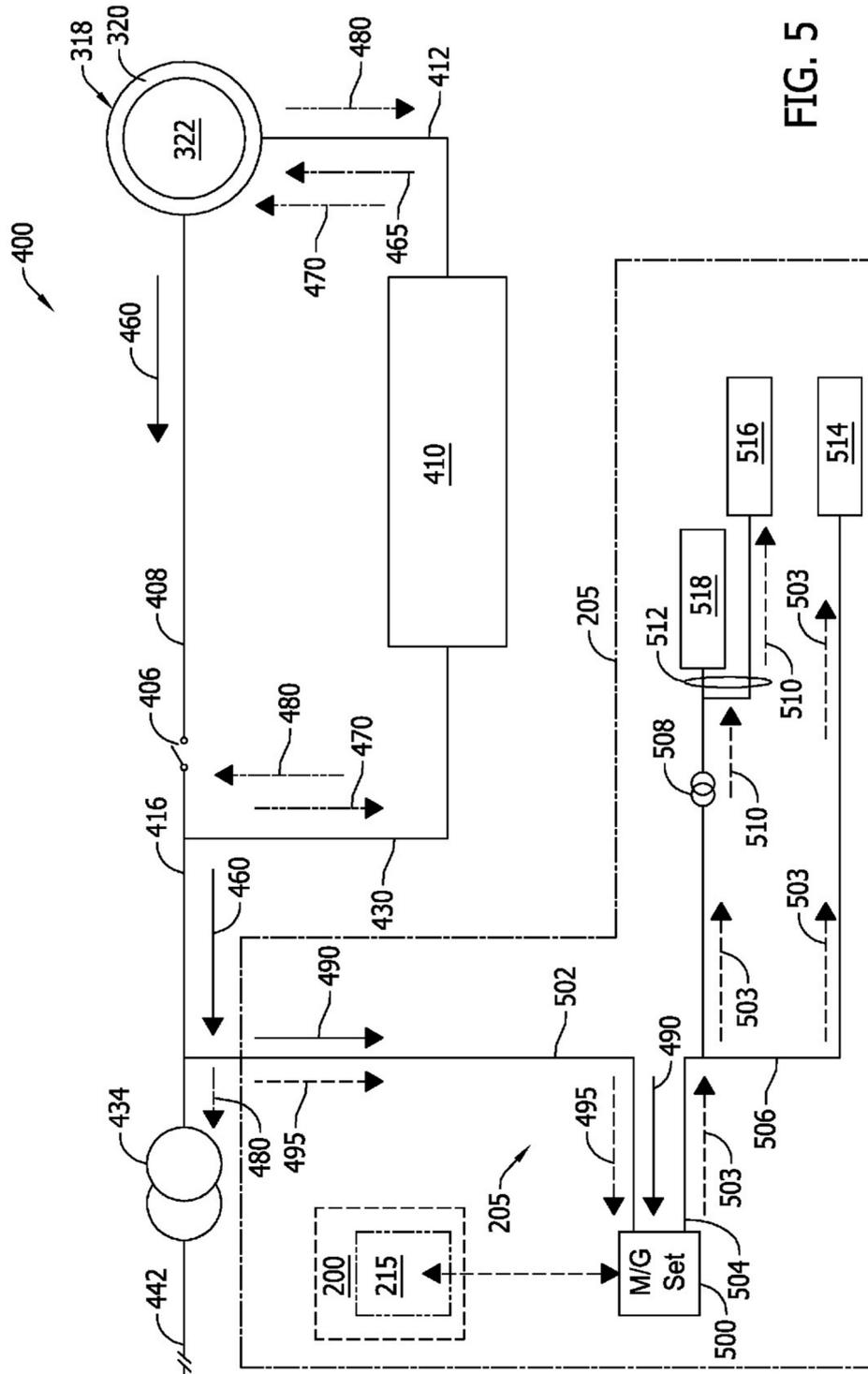


FIG. 5

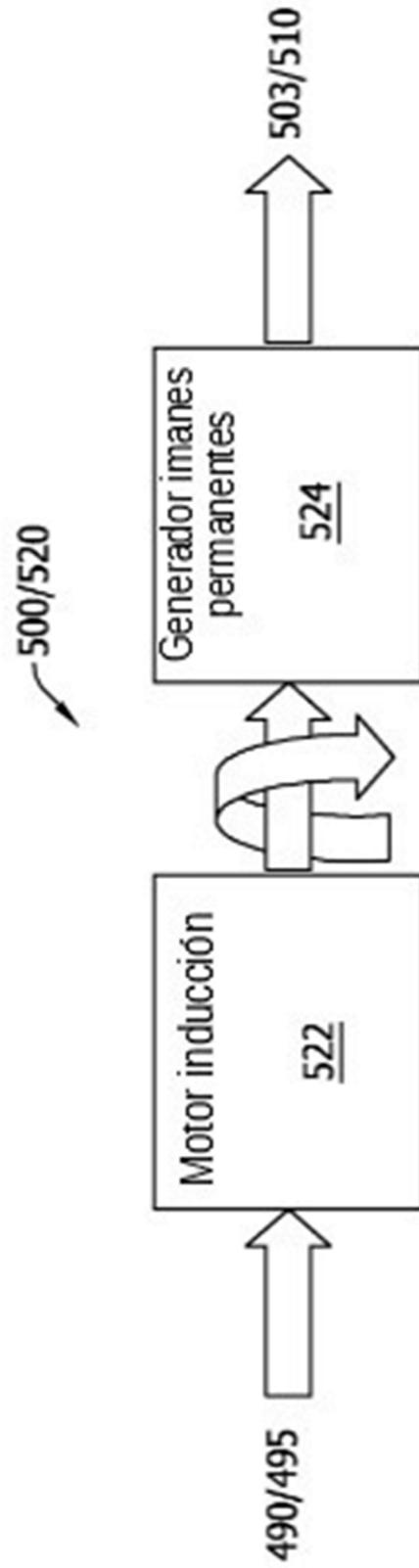


FIG. 6

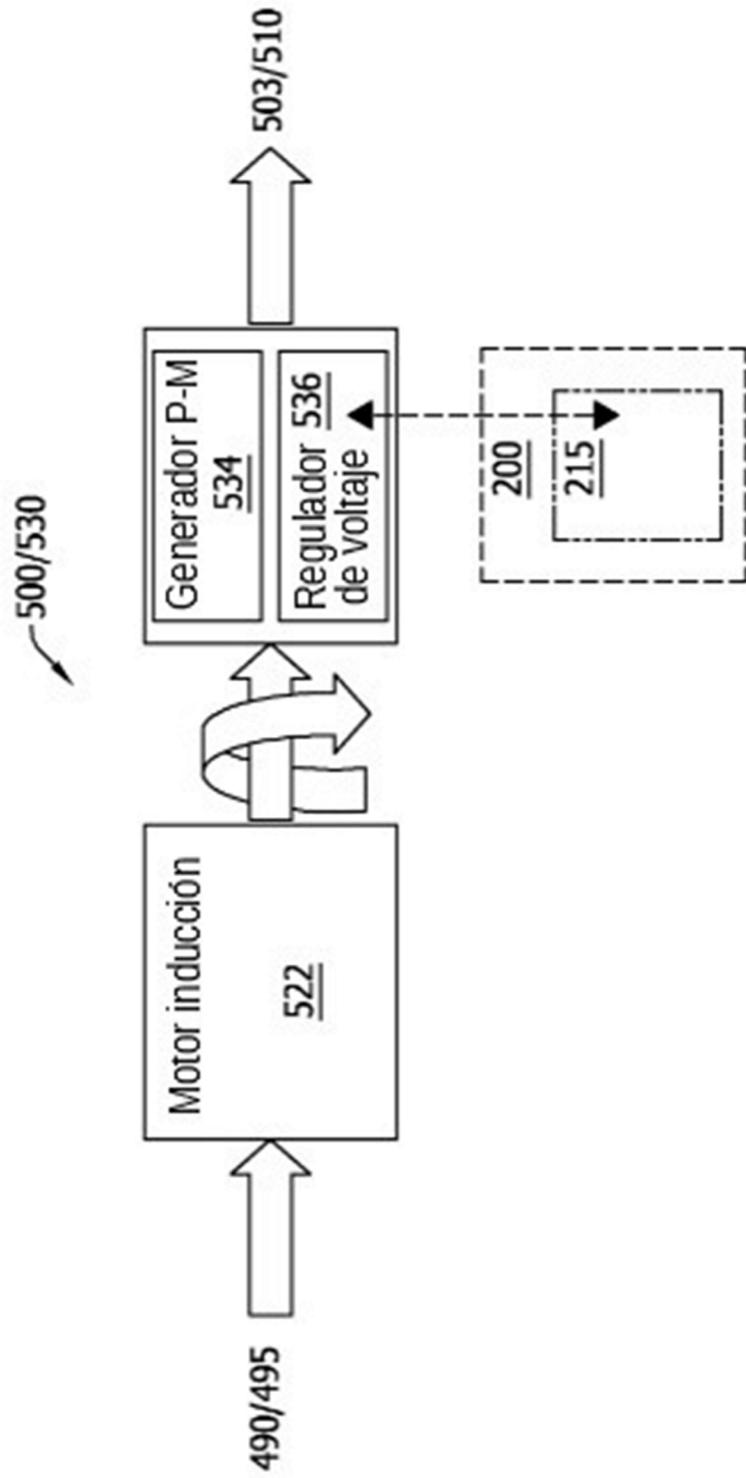


FIG. 7

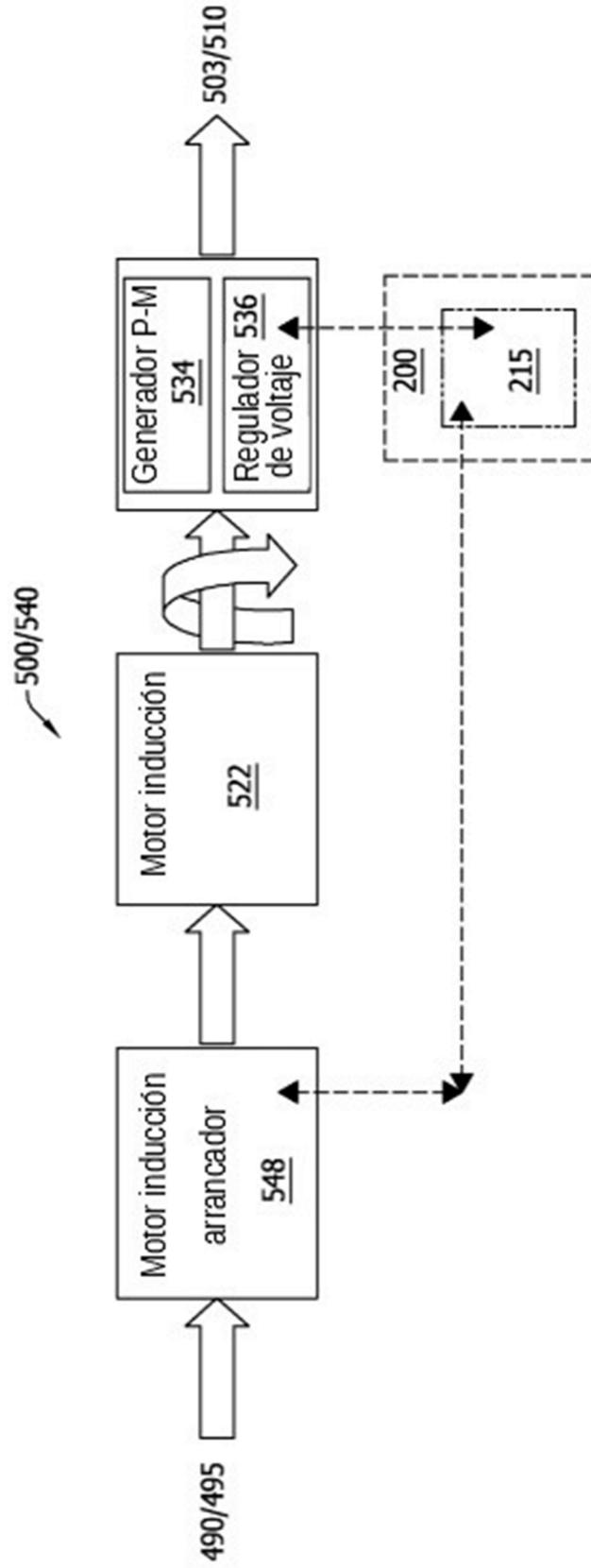


FIG. 8

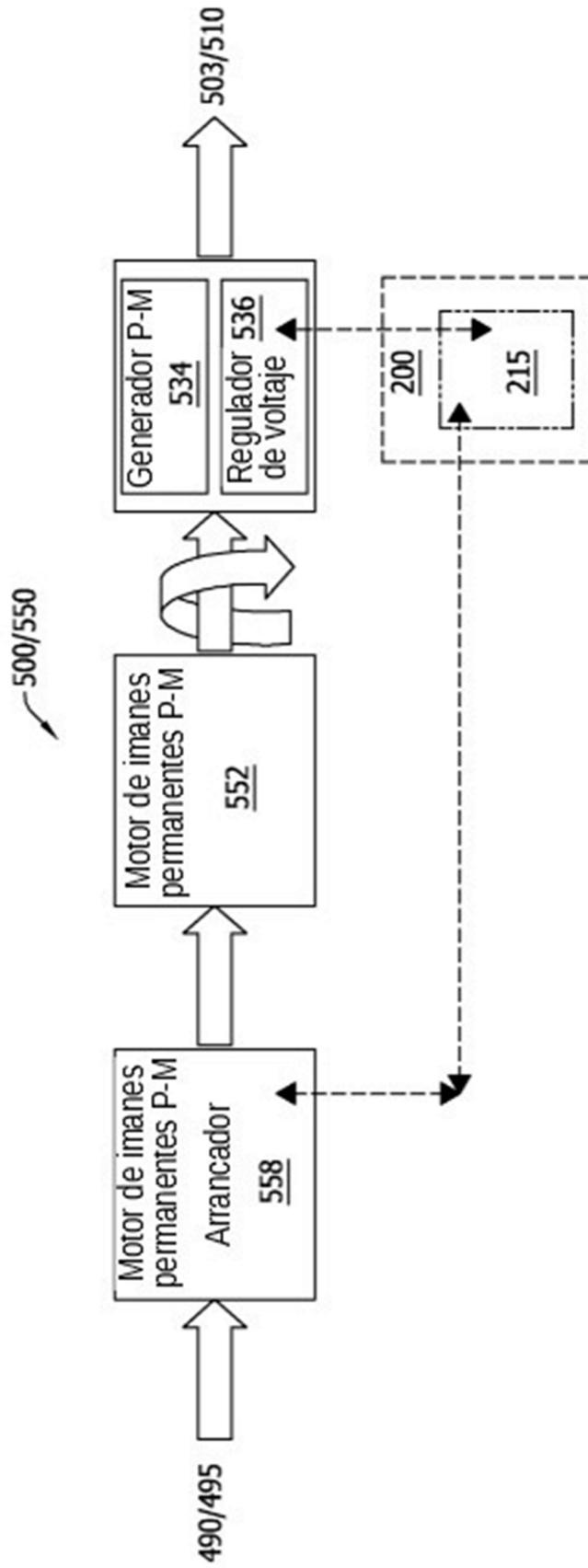


FIG. 9

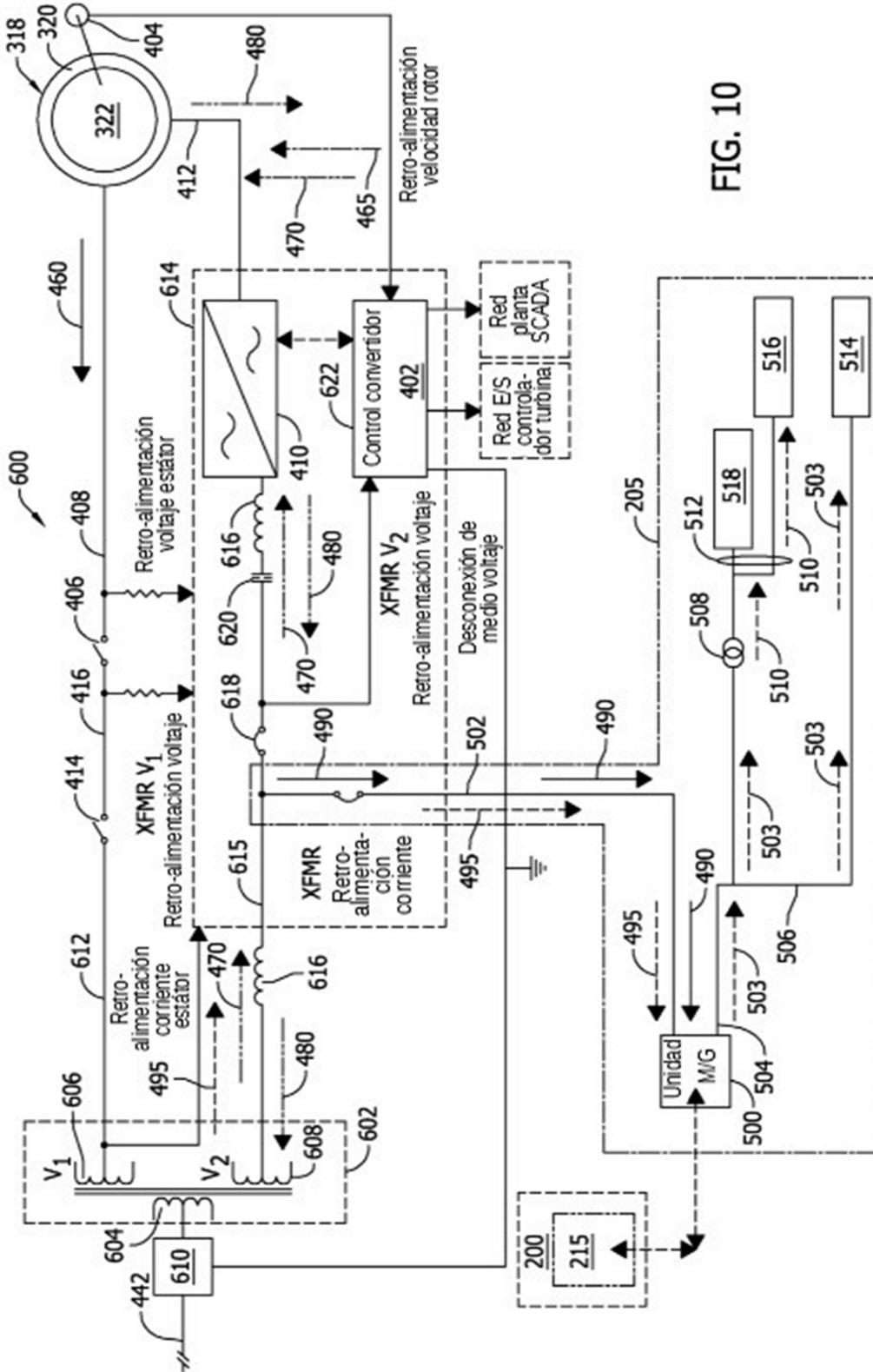


FIG. 10

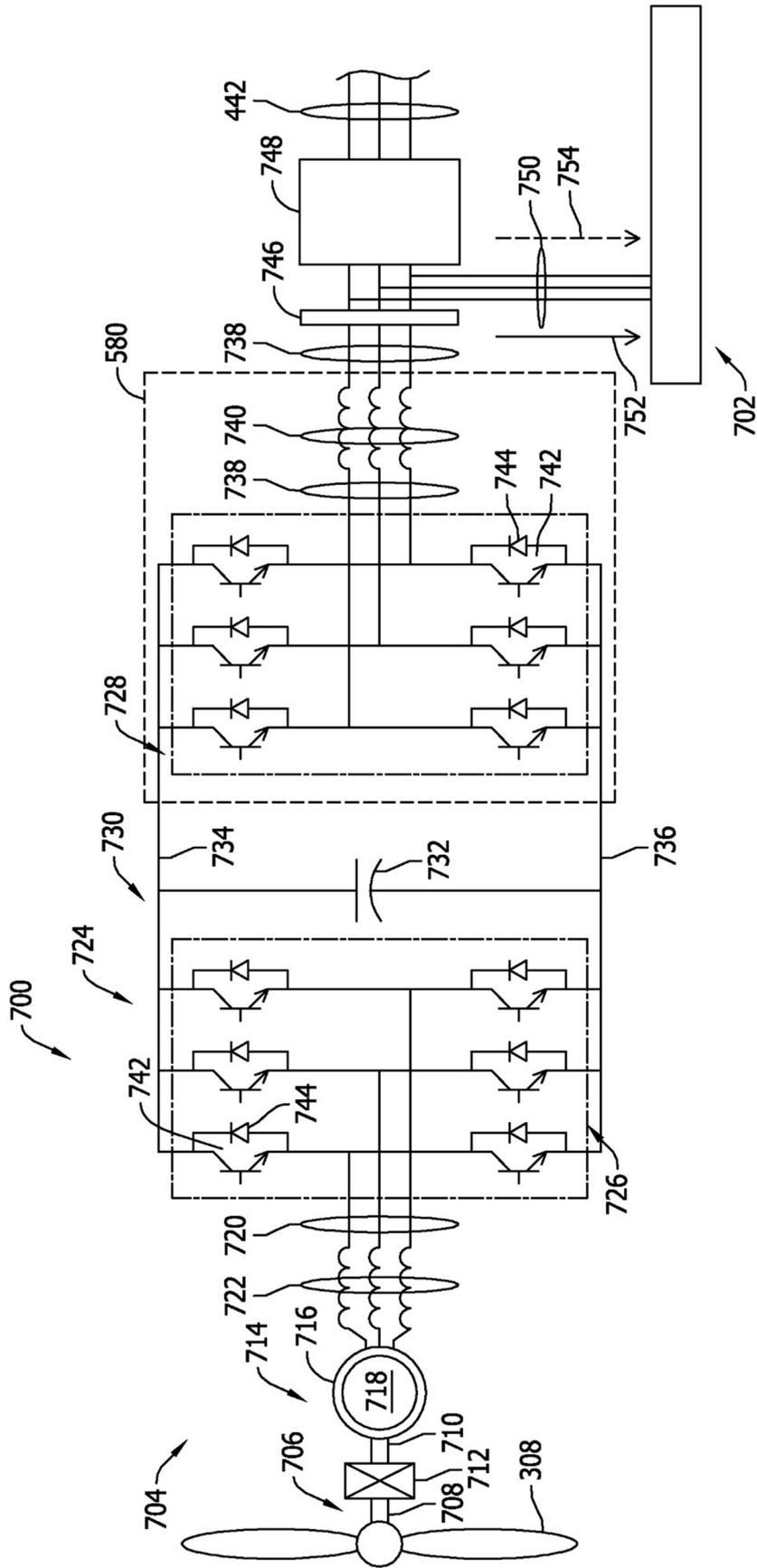


FIG. 11