

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 985 445**

51 Int. Cl.:

F03D 17/00 (2006.01)

F03D 80/70 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.03.2022** E 22165516 (0)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.04.2024** EP 4071357

54 Título: **Sistema y procedimiento para detectar el aislamiento del rodamiento y el estado de las escobillas de conexión a masa en un generador**

30 Prioridad:

05.04.2021 US 202117221977

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

05.11.2024

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**MUKHERJEE, RUPAM;
JHA, KAPIL;
TIWARI, ARVIND KUMAR;
HUH, KUM KANG y
WAGONER, ROBERT GREGORY**

74 Agente/Representante:

DE ROOIJ, Mathieu Julien

ES 2 985 445 T3

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

DESCRIPCIÓN

Sistema y procedimiento para detectar el aislamiento del rodamiento y el estado de las escobillas de conexión a masa en un generador

5

Campo

[0001] La presente divulgación se refiere, en general, a turbinas eólicas y, más en particular, a un sistema y procedimiento para detectar el aislamiento del rodamiento y el estado de las escobillas de conexión a masa en un generador de inducción doblemente alimentado.

10

Antecedentes

[0002] La energía eólica se considera una de las fuentes de energía más limpias y más respetuosas con el medioambiente disponibles actualmente, y las turbinas eólicas han obtenido una creciente atención a este respecto. Una turbina eólica moderna típicamente incluye una torre, un generador, una multiplicadora, una góndola y una o más palas de rotor. Las palas de rotor capturan energía cinética del viento usando principios de perfil alar conocidos. Por ejemplo, las palas de rotor típicamente tienen el perfil en sección transversal de un perfil alar de modo que, durante la operación, el aire fluya sobre la pala, lo que produce una diferencia de presión entre los lados. En consecuencia, una fuerza de sustentación, que se dirige desde un lado de presión hacia un lado de succión, actúa sobre la pala. La fuerza de sustentación genera un par de torsión en el eje de rotor principal, que se engrana a un generador para producir electricidad.

15

20

[0003] En muchas turbinas eólicas, el 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. Dichos sistemas de potencia de turbina eólica se denominan, en general, generadores de inducción doblemente alimentados (DFIG). La operación de DFIG típicamente se caracteriza por que el circuito de rotor se suministra con corriente de un convertidor de potencia regulado por corriente. Como tal, la turbina eólica produce un par de torsión mecánico variable debido a velocidades del viento variables, y el convertidor de potencia garantiza que este par de torsión se convierta en una salida eléctrica a la misma frecuencia de la red.

25

30

[0004] Durante la operación, el viento impacta en las palas de rotor y las palas transforman la energía del viento en un par de torsión de rotación mecánico que acciona un eje lento. El eje lento está configurado para accionar la multiplicadora que posteriormente aumenta la baja velocidad de rotación del eje lento para accionar un eje rápido a una velocidad de rotación incrementada. El eje rápido está acoplado, en general, al generador para accionar de forma rotatoria un rotor de generador. Como tal, se puede inducir un campo magnético rotatorio por el rotor y se puede inducir un voltaje dentro de un estátor de generador. La energía de rotación se convierte en energía eléctrica a través de campos electromagnéticos que acoplan el rotor y el estátor, que se suministra a una red de potencia por medio de un disyuntor de red. Por tanto, el transformador principal aumenta la amplitud de voltaje de la potencia eléctrica de modo que la potencia eléctrica transformada se pueda transmitir además a la red de potencia.

35

40

[0005] El acoplamiento capacitivo entre el rotor y el estátor, aunque no es el principal contribuyente a la potencia generada, puede inducir un voltaje de eje de rotor indeseable. Además, el alto voltaje en modo común inyectado a través del inversor del lado de rotor puede dañar potencialmente el rodamiento a través de mecanizado por descarga eléctrica (EDM). En condiciones de operación normal, la corriente accionada por el voltaje de eje de rotor se disipa de forma segura a través de una escobilla de conexión a masa que está en contacto con el rotor y una masa. Además, se proporciona un aislamiento entre la carcasa de rodamientos y el bastidor de DFIG.

45

[0006] Sin embargo, el desgaste tienen un impacto sobre la conductividad de la escobilla, así como sobre la capacidad aislante del aislamiento de carcasas de rodamientos. Como resultado, si la escobilla de conexión a masa no está en contacto con el rotor, se puede acumular voltaje en el eje de rotor. A medida que el voltaje se acumula, se descargará a masa usando la trayectoria de impedancia ("*impedance path*") más baja. En los DFIG, esta trayectoria corresponde al aceite en la carcasa de rodamientos. Como tal, el voltaje se puede descargar en un pulso, provocando, de este modo, un arco. Este ciclo se puede repetir siempre que se sustente la escobilla de conexión a masa, lo que provoca picaduras y estrías en la pista de rodamiento, lo que finalmente da lugar a fallo del rodamiento. En consecuencia, se necesitan detectar degradaciones en el aislamiento del rodamiento y/o la escobilla de conexión a masa en una fase incipiente para prevenir daños en rodamientos inducidos por EDM en una fase posterior.

50

55

[0007] Un ejemplo de un procedimiento de la técnica anterior se conoce a partir del documento US 2018/080434 A1.

60

[0008] Por tanto, la presente divulgación está dirigida a un sistema y procedimiento para detectar la degradación en el aislamiento del rodamiento y/o la escobilla de conexión a masa en una fase temprana analizando datos capturados en el controlador de turbina para abordar las cuestiones mencionadas anteriormente.

65

Breve descripción

[0009] Los aspectos y ventajas de la presente divulgación se expondrán en parte en la siguiente descripción, o pueden ser evidentes a partir de la descripción, o se pueden aprender a través de la práctica de la presente divulgación.

5 [0010] En un aspecto, la presente invención está dirigida a un procedimiento para prevenir daños en un rodamiento de un generador de un sistema de potencia eléctrica. El sistema de potencia eléctrica incluye un conjunto de conversión de potencia con un primer convertidor acoplado a un segundo convertidor. El conjunto de conversión de potencia está acoplado eléctricamente al generador. El procedimiento incluye monitorizar, por medio de un controlador, una o más señales eléctricas del conjunto de conversión de potencia del sistema de potencia eléctrica. El procedimiento también incluye estimar, por medio del controlador, una trayectoria de impedancia de corriente en modo común desde un terminal a masa usando las una o más señales eléctricas del conjunto de conversión de potencia. Además, el procedimiento incluye determinar, por medio del controlador, al menos una de una o más magnitudes o uno o más ángulos de fase de la trayectoria de impedancia a diferentes frecuencias. Las diferentes frecuencias incluyen, por ejemplo, al menos, una frecuencia de conmutación y armónicos del conjunto de conversión de potencia. Además, el procedimiento incluye determinar, por medio del controlador, si la trayectoria de impedancia es indicativa de degradación en al menos uno del aislamiento del rodamiento o una escobilla de conexión a masa del generador en base a un cambio en al menos una de las una o más magnitudes o los uno o más ángulos de fase. Además, el procedimiento incluye implementar, por medio del controlador, una acción de control cuando la trayectoria de impedancia es indicativa de degradación en al menos uno del aislamiento del rodamiento o la escobilla de conexión a masa del generador.

20 [0011] En un modo de realización, el/los parámetro(s) operativo(s) puede(n) incluir corriente y/o voltaje obtenidos del primer convertidor. En determinados modos de realización, el sistema de potencia eléctrica puede ser un sistema de potencia de turbina eólica. En dichos modos de realización, el primer convertidor es un convertidor del lado de rotor y el segundo convertidor es un convertidor del lado de línea del sistema de potencia de turbina eólica. Además, en un modo de realización, la corriente puede ser una corriente de fase de rotor del convertidor del lado de rotor y el voltaje puede ser un voltaje de rotor. En modos de realización adicionales, el terminal es un terminal de rotor del sistema de potencia de turbina eólica.

25 [0012] En otros modos de realización, estimar la trayectoria de impedancia de la corriente en modo común desde el terminal a masa usando las una o más señales eléctricas del conjunto de conversión de potencia puede incluir calcular un voltaje en modo común y la corriente en modo común usando el voltaje de rotor y la corriente de fase de rotor del convertidor del lado de rotor, respectivamente, calcular un espectro de Fourier del voltaje en modo común y la corriente en modo común, y calcular la trayectoria de impedancia desde el terminal a masa como una función del espectro de Fourier del voltaje en modo común y la corriente en modo común.

30 [0013] En otro modo de realización, determinar las una o más magnitudes y/o los uno o más ángulos de fase de la trayectoria de impedancia a diferentes frecuencias puede incluir calcular las una o más magnitudes de la trayectoria de impedancia en múltiples bandas laterales de la frecuencia de conmutación dividiendo el espectro de Fourier del voltaje en modo común por el espectro de Fourier de la corriente en modo común y calcular los uno o más ángulos de fase de la trayectoria de impedancia en múltiples bandas laterales de la frecuencia de conmutación restando el espectro de Fourier de la corriente en modo común del espectro de Fourier del voltaje en modo común.

35 [0014] Todavía en otros modos de realización, determinar si la trayectoria de impedancia es indicativa de degradación en el aislamiento del rodamiento y/o la escobilla de conexión a masa del generador en base al cambio en al menos una de las una o más magnitudes o los uno o más ángulos de fase puede incluir comparar las una o más magnitudes de la trayectoria de impedancia en múltiples bandas laterales de la frecuencia de conmutación con un umbral de magnitud y generar una indicación de degradación que se produce en la escobilla de conexión a masa cuando el cambio en las una o más magnitudes excede el umbral de magnitud.

40 [0015] En modos de realización particulares, determinar si la trayectoria de impedancia es indicativa de degradación en al menos uno del aislamiento del rodamiento o la escobilla de conexión a masa del generador en base al cambio en al menos una de las una o más magnitudes o los uno o más ángulos de fase puede incluir comparar los uno o más ángulos de fase de la trayectoria de impedancia en múltiples bandas laterales de la frecuencia de conmutación con un umbral de ángulo de fase y generar una indicación de degradación que se produce en el aislamiento del rodamiento cuando el cambio que se produce en los uno o más ángulos de fase excede el umbral de ángulo de fase.

45 [0016] En modos de realización adicionales, el procedimiento puede incluir estimar un perfil de impedancia en una o más frecuencias predeterminadas a partir de un espectro de Fourier de una pluralidad de voltajes y corrientes en modo común, estimar una o más métricas de anomalía usando el perfil de impedancia que son indicativas de degradación en al menos uno del aislamiento del rodamiento o la escobilla de conexión a masa, y determinar la tendencia de la(s) métrica(s) de anomalía a lo largo del tiempo. Por tanto, el procedimiento puede incluir usar uno o más enfoques basados en datos después de determinar la(s) magnitud(es) y/o ángulo(s) de fase de la trayectoria de impedancia a diferentes frecuencias. Estas diferentes frecuencias se pueden comparar con un grupo de referencia para estimar una métrica de distancia estadística. Esta métrica de distancia estadística se puede usar, a continuación, para marcar una o más métricas de anomalía indicativas de degradación en el aislamiento del rodamiento y/o la escobilla de conexión a masa cuya tendencia se puede determinar a lo largo del tiempo.

[0017] Aún en otro modo de realización, la acción de control puede incluir cambiar una consigna operativa del sistema de potencia eléctrica, apagar el sistema de potencia eléctrica, generar una alarma, programar una reparación y/o reemplazar al menos uno del aislamiento del rodamiento o la escobilla de conexión a masa.

[0018] En varios modos de realización, el generador puede ser un generador de inducción doblemente alimentado (DFIG).

[0019] En otro aspecto, la presente divulgación está dirigida a un sistema de potencia eléctrica conectado a una red de potencia, el sistema de potencia eléctrica incluye un generador de inducción doblemente alimentado (DFIG) que comprende un rotor y un estátor, un conjunto de conversión de potencia acoplado eléctricamente al DFIG, y un controlador configurado para controlar el sistema de potencia eléctrica. El conjunto de conversión de potencia incluye un primer convertidor acoplado a un segundo convertidor. El controlador está configurado para realizar una pluralidad de operaciones, incluyendo, pero sin limitarse a, monitorizar una o más señales eléctricas del conjunto de conversión de potencia del sistema de potencia eléctrica, estimar una trayectoria de impedancia de corriente en modo común desde un terminal a masa usando las una o más señales eléctricas del conjunto de conversión de potencia, determinar al menos una de una o más magnitudes o uno o más ángulos de fase de la trayectoria de impedancia a diferentes frecuencias, incluyendo las diferentes frecuencias, al menos, una frecuencia de conmutación y armónicos del conjunto de conversión de potencia, determinar si la trayectoria de impedancia es indicativa de degradación en al menos uno del aislamiento del rodamiento o una escobilla de conexión a masa del DFIG en base a un cambio en al menos una de las una o más magnitudes o los uno o más ángulos de fase, e implementar una acción de control cuando la trayectoria de impedancia es indicativa de degradación en al menos uno del aislamiento del rodamiento o la escobilla de conexión a masa del DFIG.

[0020] Estos y otros rasgos característicos, aspectos y ventajas de la presente divulgación se entenderán mejor con referencia a la siguiente descripción y reivindicaciones adjuntas. Los dibujos adjuntos, que se incorporan en y constituyen una parte de esta memoria descriptiva, ilustran modos de realización de la presente divulgación y, conjuntamente con la descripción, sirven para explicar los principios de la presente divulgación.

Breve descripción de los dibujos

[0021] En la memoria descriptiva se expone una divulgación completa y habilitante de la presente divulgación, incluyendo el mejor modo de la misma, dirigida a un experto en la técnica, que hace referencia a las figuras adjuntas, en las que:

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

la FIG. 2 ilustra una vista esquemática de un modo de realización de un sistema de potencia eléctrica adecuado para su uso con la turbina eólica mostrada en la FIG. 1;

la FIG. 3 ilustra un diagrama de bloques de un modo de realización de un controlador adecuado para su uso con la turbina eólica mostrada en la FIG. 1;

la FIG. 4 ilustra un diagrama esquemático simplificado de un modo de realización de un variador de frecuencia (VFD) que mantiene una salida de frecuencia eléctrica constante en el lado de red del generador de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 5 ilustra una vista esquemática en sección transversal de un modo de realización de un generador de acuerdo con la presente divulgación, que ilustra, en particular, una escobilla de conexión a masa en contacto con el rotor del generador;

la FIG. 6 ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento para prevenir daños en un rodamiento de un generador de un sistema de potencia eléctrica de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 7 ilustra un diagrama de flujo de otro modo de realización de un procedimiento para prevenir daños en un rodamiento de un generador de un sistema de potencia eléctrica de acuerdo con la presente divulgación; y

la FIG. 8 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización del impacto de un fallo sobre una trayectoria en modo común en un generador de acuerdo con la presente divulgación.

Descripción detallada

[0022] Ahora se hará referencia en detalle a modos de realización de la presente divulgación, ilustrándose uno o más de sus ejemplos en los dibujos. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la presente divulgación, no de limitación de la presente divulgación. De hecho, será evidente para los expertos en la técnica que se pueden

realizar diversas modificaciones y variaciones en la presente divulgación sin apartarse del alcance de la presente divulgación. El alcance de protección se define por las reivindicaciones adjuntas.

5 **[0023]** En general, la presente invención está dirigida a un sistema y procedimiento para prevenir daños en un rodamiento (por ejemplo, daños en el aislamiento del rodamiento o escobilla de conexión a masa) de un generador (tal como DFIG) de un sistema de potencia eléctrica (tal como un sistema de potencia de turbina eólica) conectado a una red de potencia. En particular, en un modo de realización, las corrientes y voltajes trifásicos inyectados por el inversor del lado de rotor se pueden analizar para estimar la impedancia de la trayectoria de la corriente en modo común desde el terminal de rotor a masa. Se estima la impedancia de entrada en modo común desde los terminales de rotor y se usan los cambios en la magnitud y ángulo de fase de impedancia para detectar la transformación de la impedancia de principalmente inductiva en condición nominal a principalmente capacitiva en una condición degradada.

15 **[0024]** En particular, la magnitud y el perfil de fase de la impedancia en modo común a diferentes frecuencias (incluyendo la frecuencia de conmutación y sus armónicos) indican si la trayectoria se comporta de forma anómala. Por ejemplo, un cambio en la magnitud puede indicar una degradación parcial de la escobilla de conexión a masa, mientras que un cambio en el ángulo de fase puede indicar un cambio en el factor de disipación del aislamiento del rodamiento. En un modo de realización, se puede tomar una transformada rápida de Fourier (FFT) compleja para el vector de rotación de corrientes de rotor trifásicas. Se pueden supervisar uno o más componentes de frecuencia de rodamiento y los cambios en la conformación (medidos por entropía) y el tamaño/localización del pico de estos componentes de frecuencia indican daños en rodamientos progresivos a través de EDM. Además, en determinados modos de realización, se pueden usar enfoques basados en datos después de estimar el perfil de impedancia, para marcar anomalías y determinar la tendencia del crecimiento de anomalías a lo largo del tiempo.

25 **[0025]** Como tal, la presente divulgación proporciona muchas ventajas que no están presentes en la técnica anterior. Por ejemplo, los sistemas y procedimientos de la presente divulgación pueden lograr diagnósticos de escobillas sin la necesidad de ningún sensor separado para medir el voltaje de eje y/o la corriente de trayectoria de fuga. Más bien, como se menciona, los sistemas y procedimientos de la presente divulgación usan señales eléctricas de inversor para diagnósticos de escobillas de conexión a masa. En particular, en un modo de realización, los sistemas y procedimientos de la presente divulgación estiman el estado de las escobillas de conexión a masa a través de análisis de espectros de frecuencia de la impedancia de consulta en modo común. Además, los sistemas y procedimientos de la presente divulgación pueden obtener diagnósticos de aislamiento de carcassas de rodamientos sin la necesidad de ningún sensor adicional. Por ejemplo, en un modo de realización, los sistemas y procedimientos de la presente divulgación pueden detectar la degradación en el aislamiento de carcassas del rodamiento a través de un análisis de la impedancia en modo común.

35 **[0026]** En referencia ahora a los dibujos, la FIG. 1 ilustra una vista en perspectiva de una parte de una turbina eólica 100 de acuerdo con la presente divulgación que está configurada para implementar el procedimiento como se describe en el presente documento. La turbina eólica 100 incluye una góndola 102 que aloja típicamente un generador (no mostrado). La góndola 102 está montada en una torre 104 que tiene cualquier altura adecuada que facilite la operación de la turbina eólica 100 como se describe en el presente documento. La turbina eólica 100 también incluye un rotor 106 que incluye tres palas 108 unidas a un buje 110 rotatorio. De forma alternativa, la turbina eólica 100 puede incluir cualquier número de palas 108 que facilite la operación de la turbina eólica 100 como se describe en el presente documento.

45 **[0027]** En referencia ahora a la FIG. 2, se ilustra una vista esquemática de un modo de realización de un sistema de potencia eléctrica 200 que se puede usar con la turbina eólica 100. Además, la turbina eólica 10 y el sistema de potencia eléctrica 200 se pueden denominar en el presente documento conjuntamente sistema de potencia de turbina eólica 150. Por tanto, durante la operación del sistema de potencia de turbina eólica 150, el viento impacta en las palas 108 y las palas 108 transforman la energía eólica en un par de torsión de rotación mecánico que acciona de forma rotatoria un eje lento 112 (también denominado en el presente documento eje de rotor) por medio del buje 110. El eje lento 112 está configurado para accionar una multiplicadora 114 que posteriormente aumenta la baja velocidad de rotación del eje lento 112 para accionar un eje rápido 116 (también denominado en el presente documento eje de generador) a una velocidad de rotación incrementada. El eje rápido 116, en general, está acoplado de forma rotatoria a un generador 118 para accionar de forma rotatoria un rotor de generador 122 que tiene un devanado de campo 125 (FIG. 5).

50 **[0028]** En un modo de realización, el generador 118 puede ser un generador (asíncrono) de inducción doblemente alimentado (DFIG) de rotor bobinado trifásico, que incluya un estátor de generador 120 acoplado magnéticamente a un rotor de generador 122. Como tal, se puede inducir un campo magnético rotatorio por el rotor de generador 122 y se puede inducir un voltaje dentro de un estátor de generador 120 que se acople magnéticamente al rotor de generador 122. En un modo de realización, el generador 118 está configurado para convertir la energía mecánica de rotación en una señal de energía eléctrica de corriente alterna (CA) trifásica sinusoidal en el estátor de generador 120. La potencia eléctrica asociada se puede transmitir a un transformador principal 234 por medio de un bus de estátor 208, un conmutador de sincronización de estátor 206, un bus de sistema 216, un disyuntor de circuito de transformador principal 214 y un bus del lado de generador 236. El transformador principal 234 aumenta la amplitud de voltaje de la

potencia eléctrica de modo que la potencia eléctrica transformada se pueda transmitir además a una red por medio de un disyuntor de circuito de red 238, un bus del lado de disyuntor 240 y un bus de red 242.

[0029] Además, el sistema de potencia eléctrica 200 puede incluir un controlador 202 configurado para controlar cualquiera de los componentes de la turbina eólica 100 y/o implementar las etapas de procedimiento como se describe en el presente documento. Por ejemplo, como se muestra, en particular, en la FIG. 3, el controlador 202 puede incluir uno o más procesadores 204 y dispositivo(s) de memoria asociado(s) 207 configurados para realizar una variedad de funciones implementadas por ordenador (por ejemplo, realizar los procedimientos, etapas, cálculos y similares y almacenar datos pertinentes como se divulga en el presente documento). Adicionalmente, el controlador 202 también puede incluir un módulo de comunicaciones 209 para facilitar las comunicaciones entre el controlador 202 y los diversos componentes de la turbina eólica 100, por ejemplo, cualquiera de los componentes de la FIG. 2. Además, el módulo de comunicaciones 209 puede incluir una interfaz de sensor 211 (por ejemplo, uno o más convertidores de analógico a digital) para permitir que las señales transmitidas desde uno o más sensores se conviertan en señales que se puedan entender y procesar por los procesadores 204. Se debe apreciar que los sensores (por ejemplo, los sensores 252, 254, 256, 258) se pueden acoplar en comunicación al módulo de comunicaciones 209 usando cualquier medio adecuado. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 3, los sensores 252, 254, 256, 258 se pueden acoplar a la interfaz de sensor 211 por medio de una conexión por cable. Sin embargo, en otros modos de realización, los sensores 252, 254, 256, 258 se pueden acoplar a la interfaz de sensor 211 por medio de una conexión inalámbrica, tal como usando cualquier protocolo de comunicaciones inalámbricas adecuado conocido en la técnica. Como tal, el procesador 204 se puede configurar para recibir una o más señales de los sensores.

[0030] Como se usa en el presente documento, el término "procesador" no solo se refiere a circuitos integrados a los que se hace referencia en la técnica como que se incluyen en un ordenador, sino que también se refiere a un controlador, un microcontrolador, un microordenador, un controlador de lógica programable (PLC), un circuito integrado específico de aplicación y otros circuitos programables. El procesador 204 también está configurado para calcular algoritmos de control avanzados y comunicarse con una variedad de protocolos basados en Ethernet o en serie (Modbus, OPC, CAN, etc.). Adicionalmente, el/los dispositivo(s) de memoria 207 puede(n) comprender, en general, elemento(s) de memoria que incluye(n), pero sin limitarse a, un medio legible por ordenador (por ejemplo, memoria de acceso aleatorio (RAM)), un medio no volátil legible por ordenador (por ejemplo, una memoria *flash*), un disquete, una memoria de solo lectura en disco compacto (CD-ROM), un disco magnetoóptico (MOD), un disco versátil digital (DVD) y/u otros elementos de memoria adecuados. Dicho(s) dispositivo(s) de memoria 207 se puede(n) configurar, en general, para almacenar instrucciones legibles por ordenador adecuadas que, cuando se implementan por el/los procesador(es) 204, configuran el controlador 202 para realizar las diversas funciones como se describe en el presente documento.

[0031] En referencia de nuevo a la FIG. 2, el estátor de generador 120 se puede acoplar eléctricamente a un conmutador de sincronización de estátor 206 por medio de un bus de estátor 208. En un modo de realización, el rotor de generador 122 se puede acoplar eléctricamente a un conjunto de conversión de potencia bidireccional 210 o convertidor de potencia por medio de un bus de rotor 212. De forma alternativa, el rotor de generador 122 se puede acoplar eléctricamente al bus de rotor 212 por medio de cualquier otro dispositivo que facilite la operación del sistema de potencia eléctrica 200 como se describe en el presente documento. En otro modo de realización, el conmutador de sincronización de estátor 206 se puede acoplar eléctricamente a un disyuntor de circuito de transformador principal 214 por medio de un bus de sistema 216.

[0032] El conjunto de conversión de potencia 210 puede incluir un primer convertidor y un segundo convertidor. Por ejemplo, como se muestra, el primer convertidor puede ser un convertidor del lado de rotor 220 y el segundo convertidor 22 puede ser un convertidor del lado de línea 222. Además, como se muestra, el conjunto de conversión de potencia 210 puede incluir un filtro de rotor 218 que esté acoplado eléctricamente al rotor de generador 122 por medio del bus de rotor 212. Además, el filtro de rotor 218 puede incluir un reactor del lado de rotor. Un bus de filtro de rotor 219 acopla eléctricamente el filtro de rotor 218 al convertidor de potencia del lado de rotor 220. Además, el convertidor de potencia del lado de rotor 220 se puede acoplar eléctricamente al convertidor de potencia del lado de línea 222 por medio de un único enlace de corriente continua (CC) 244. De forma alternativa, el convertidor de potencia del lado de rotor 220 y el convertidor de potencia del lado de línea 222 se pueden acoplar eléctricamente por medio de enlaces de CC individuales y separados. Además, como se muestra, el enlace de CC 244 puede incluir un carril positivo 246, un carril negativo 248 y al menos un condensador 250 acoplado entre los mismos.

[0033] Además, un bus de convertidor de potencia del lado de línea 223 puede acoplar eléctricamente el convertidor de potencia del lado de línea 222 a un filtro de línea 224. Además, un bus de línea 225 puede acoplar eléctricamente el filtro de línea 224 a un contactor de línea 226. Además, el filtro de línea 224 puede incluir un reactor del lado de línea. Además, el contactor de línea 226 se puede acoplar eléctricamente a un disyuntor de circuito de conversión 228 por medio de un bus de disyuntor de circuito de conversión 230. Además, el disyuntor de circuito de conversión 228 se puede acoplar eléctricamente al disyuntor de circuito de transformador principal 214 por medio de un bus de sistema 216 y un bus de conexión 232. El disyuntor de circuito de transformador principal 214 se puede acoplar eléctricamente a un transformador principal 234 de potencia eléctrica por medio de un bus del lado de generador 236. El transformador principal 234 se puede acoplar eléctricamente a un disyuntor de circuito de red 238 por medio de un bus del lado de

disyuntor 240. El disyuntor de circuito de red 238 se puede conectar a la red de transmisión y distribución de potencia eléctrica por medio de un bus de red 242.

[0034] En referencia, en particular, a la FIGS. 2 y 4, la potencia de corriente alterna (CA) generada en el estátor de generador 120 por la rotación del rotor 106 se proporciona por medio de una trayectoria doble al bus de red 242. Las trayectorias dobles están definidas por el bus de estátor 208 y el bus de rotor 212. En el lado de bus de rotor 212, se proporciona potencia de CA sinusoidal multifásica (por ejemplo, trifásica) al conjunto de conversión de potencia 210. El convertidor de potencia del lado de rotor 220 convierte la potencia de CA proporcionada desde el bus de rotor 212 en potencia de CC y proporciona la potencia de CC al enlace de CC 244. Los elementos de conmutación 245 (por ejemplo, los IGBT) usados en circuitos en derivación del convertidor de potencia del lado de rotor 220 se pueden modular para convertir la potencia de CA proporcionada desde el bus de rotor 212 en potencia de CC adecuada para el enlace de CC 244.

[0035] El convertidor del lado de línea 222 convierte la potencia de CC en el enlace de CC 244 en potencia de salida de CA adecuada para el bus de red eléctrica 242. En particular, los elementos de conmutación 247 (por ejemplo, los IGBT) usados en circuitos en derivación del convertidor de potencia del lado de línea 222 se pueden modular para convertir la potencia de CC en el enlace de CC 244 en potencia de CA en el bus del lado de línea 225. La potencia de CA del conjunto de conversión de potencia 210 se puede combinar con la potencia del estátor 120 para proporcionar potencia multifásica (por ejemplo, potencia trifásica) que tenga una frecuencia mantenida sustancialmente a la frecuencia del bus de red eléctrica 242 (por ejemplo, 50 Hz/60 Hz).

[0036] Se debe entender que el convertidor de potencia del lado de rotor 220 y el convertidor de potencia del lado de línea 222 pueden tener cualquier configuración que use cualquier dispositivo de conmutación que facilite la operación del sistema de potencia eléctrica 200 como se describe en el presente documento. Por ejemplo, la FIG. 4 ilustra un diagrama esquemático simplificado de un modo de realización de un variador de frecuencia (VFD) que mantiene una salida de frecuencia eléctrica constante en el lado de red del generador 118. Como se muestra, la configuración de un VFD incluye un rectificador de fuente de voltaje de seis conmutadores en el convertidor del lado de rotor 220, el condensador de enlace de CC 244 para minimizar la variación de voltaje de CC y un inversor de fuente de voltaje de seis conmutadores que utilice modulación por ancho de pulso en el lado de red. Los elementos de conmutación del lado de rotor 245 a menudo son diodos o rectificadores controlados de silicio (SCR), mientras que los elementos de conmutación del lado de red 247 a menudo son transistores bipolares de puerta aislada (IGBT). Como tales, la magnitud y frecuencia eléctrica de la corriente suministrada al rotor de generador 122 a través del VFD se pueden variar para tener en cuenta los cambios en la velocidad de eje de rotor y para mantener una salida constante en el devanado de estátor de generador.

[0037] Además, el conjunto de conversión de potencia 210 se puede acoplar en comunicación electrónica de datos con el controlador 202 y/o un controlador de convertidor 262 separado o solidario para controlar la operación del convertidor de potencia del lado de rotor 220 y el convertidor de potencia del lado de línea 222. Por ejemplo, durante la operación, el controlador 202 se puede configurar para recibir una o más señales de medición de voltaje y/o corriente eléctrica desde el primer conjunto de sensores de voltaje y corriente eléctrica 252. Por tanto, el controlador 202 se puede configurar para monitorizar y controlar al menos algunas de las variables operativas asociadas con la turbina eólica 100 por medio de los sensores 252. En el modo de realización ilustrado, cada uno de los sensores 252 se puede acoplar eléctricamente a cada una de las tres fases del bus de red de potencia 242. De forma alternativa, los sensores 252 se pueden acoplar eléctricamente a cualquier parte del sistema de potencia eléctrica 200 que facilite la operación del sistema de potencia eléctrica 200 como se describe en el presente documento. Además de los sensores descritos anteriormente, los sensores también pueden incluir un segundo conjunto de sensores de voltaje y corriente eléctrica 254, un tercer conjunto de sensores de voltaje y corriente eléctrica 256, un cuarto conjunto de sensores de voltaje y corriente eléctrica 258 (todos mostrados en la FIG. 2), y/o cualquier otro sensor adecuado.

[0038] También se debe entender que se puede emplear cualquier número o tipo de sensores de voltaje y/o corriente eléctrica 252, 254, 256, 258 dentro de la turbina eólica 100 y en cualquier localización. Por ejemplo, los sensores pueden ser transformadores de corriente, sensores de derivación, bobinas de Rogowski, sensores de corriente de efecto Hall, unidades de mediciones microinerciales (MIMU), o similares, y/o cualquier otro sensor de voltaje o de corriente eléctrica adecuado conocido ahora o desarrollado más tarde en la técnica.

[0039] Por tanto, el controlador de convertidor 262 está configurado para recibir una o más señales de retroalimentación de voltaje y/o corriente eléctrica desde los sensores 252, 254, 256, 258. Más específicamente, en determinados modos de realización, las señales de retroalimentación de corriente o voltaje pueden incluir al menos una de señales de retroalimentación de línea, señales de retroalimentación de convertidor del lado de línea, señales de retroalimentación de convertidor del lado de rotor o señales de retroalimentación de estátor. Por ejemplo, como se muestra en el modo de realización ilustrado, el controlador de convertidor 262 recibe señales de medición de voltaje y corriente eléctrica desde el segundo conjunto de sensores de voltaje y corriente eléctrica 254 acoplado en comunicación electrónica de datos con el bus de estátor 208. El controlador de convertidor 262 también puede recibir el tercer y cuarto conjunto de señales de medición de voltaje y corriente eléctrica desde el tercer y cuarto conjunto de sensores de voltaje y corriente eléctrica 256, 258. Además, el controlador de convertidor 262 se puede configurar con cualquiera de los rasgos característicos descritos en el presente documento con respecto al controlador 202. Como

tal, el controlador de convertidor 262 está configurado para implementar las diversas etapas de procedimiento como se describe en el presente documento y se puede configurar de forma similar al controlador 202.

[0040] En referencia ahora a la FIGS. 5 y 6, se proporcionan diversas ilustraciones para describir además los sistemas y procedimientos de la presente divulgación. Por ejemplo, la FIG. 5 ilustra una vista en sección transversal en perspectiva de un modo de realización del generador 118 de la presente divulgación, que ilustra, en particular, una pluralidad de escobillas 126 configuradas con el rotor 122 de las mismas; y la figura. 6 ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento 300 para prevenir daños en un rodamiento, tal como los rodamientos 124, del generador 118 de un sistema de potencia eléctrica 200.

[0041] Como se muestra, en particular, en la FIG. 5, el generador 118 puede incluir, en general, una carcasa del rodamiento 130 para alojar el estátor de generador 120 y el rotor de generador 122. Además, como se muestra, el rotor de generador 122 incluye el devanado de campo 125 o bobina. Además, como se muestra, la carcasa del rodamiento 130 también incluye, en general, un aislamiento del rodamiento 132 dispuesto circunferencialmente alrededor del devanado de campo 125. Además, el generador 118 puede incluir además uno o más rodamientos 124 montados de forma rotatoria en el eje rápido 116. Además, el generador 118 puede incluir uno o más anillos colectores de generador 128 con una o más escobillas 126 aseguradas a los mismos.

[0042] En consecuencia, durante la operación de la turbina eólica, típicamente se induce un voltaje en el eje rápido 116 debido al acoplamiento capacitivo entre el rotor de generador 122 y el estátor 120. El acoplamiento capacitivo está directamente relacionado con la operación del VFD porque un cambio de voltaje a lo largo del tiempo (dv/dt) da como resultado un acoplamiento capacitivo. Además, la asimetría del campo magnético del generador también puede provocar el voltaje de eje en el eje rápido 116. En condiciones de operación normal, la corriente accionada por este voltaje de eje inducido se disipa de forma segura a través de las escobillas 126. En general, dichas escobillas 126 actúan como contactos deslizantes entre el anillo colector rotatorio y las barras colectoras estacionarias.

[0043] Además, dichas escobillas 126 típicamente se construyen a partir de un compuesto de grafito/metal que se prensa en conformaciones de barras rectangulares y típicamente se montan en el extremo no accionado del generador 118. Se debe entender que el generador 118 puede incluir cualquier número adecuado de escobillas 126, incluyendo, en particular, al menos una escobilla. Además, como se muestra en la FIG. 5, las escobillas 126 se pueden montar perpendiculares al eje rápido 116. De forma alternativa, las escobillas 126 pueden tener cualquier otra configuración de montaje adecuada con respecto al rotor de generador 122. Como tales, algunas de las escobillas 126 se pueden usar para extraer voltaje de CA de al menos uno de los anillos colectores de generador 128, mientras que la(s) escobilla(s) restante(s) actúa(n) como una trayectoria controlada a masa (es decir, una escobilla de conexión a masa). Además, como se muestra, las escobillas 126 se pueden situar radialmente hacia afuera del/de los anillo(s) colector(es) de generador 128, con escobillas consecutivas en cada conjunto montadas con una separación de 60 a 120 grados. Además, cada escobilla 126 se puede fijar rígidamente en su posición axial para minimizar la deflexión bajo carga operativa normal. Los portaescobillas también pueden usar un resorte helicoidal de presión constante para mantener el contacto entre la(s) escobilla(s) 126 y los anillo(s) colector(es) de generador 128. También se puede montar un microconmutador en la base del portaescobillas para desencadenar una señal de advertencia si la escobilla se ha desgastado demasiado.

[0044] Como tal, la escobilla de conexión a masa 126 se puede dimensionar y orientar para encajarse con el rotor de generador 122 para facilitar la provisión de una conexión eléctrica desde el rotor de generador 122 a masa (no mostrado). Por tanto, la escobilla de conexión a masa 126 está configurada para proteger a los rodamientos 124, así como a todos los demás componentes del generador 118 de voltajes y corrientes eléctricas dañinas. Más específicamente, la escobilla de conexión a masa 126 está configurada para proporcionar una trayectoria de impedancia baja alrededor de los rodamientos 124.

[0045] Cuando el sistema de conexión a masa de generador está comprometido (es decir, la escobilla de conexión a masa 126 pierde contacto con el correspondiente anillo colector de generador 128), se acumula un voltaje en exceso en el eje rápido 116. Este voltaje del eje acciona una corriente para encontrar la trayectoria de impedancia más baja a masa. En el caso de un DFIG de turbina eólica, esta trayectoria es a través de la carcasa de rodamientos 130. Más específicamente, el eje rápido 116 acumulará, en primer lugar, voltaje. Si el sistema de conexión a masa está comprometido (es decir, se sustenta la escobilla de conexión a masa 126), todos los componentes conectados o acoplados al rotor de generador 122 también comenzarán a acumular voltaje. El paso de bolas de pista exterior es donde se produce la mayor parte de la descarga debido a la presencia de aceite lubricante. El aceite tiene una baja capacidad dieléctrica y se descompone más rápido que el aire circundante u otros materiales dieléctricos. Una vez que este voltaje excede la capacidad dieléctrica del aceite lubricante en el rodamiento, se descargará en un pulso, provocando un arco. Este ciclo se repetirá siempre que se sustente la escobilla de conexión a masa 126, lo que provoca picaduras y estrías en la pista de rodamiento, lo que finalmente da lugar a fallo del rodamiento. Además, las cuestiones mencionadas anteriormente también provocan daños en el aislamiento del rodamiento 132.

[0046] Como tal, la presente divulgación está dirigida a prevenir dichos daños en rodamientos. Más específicamente, como se muestra en la FIG. 6, se muestra un diagrama de flujo de un modo de realización del procedimiento 300 para prevenir daños en un rodamiento, tal como los rodamientos 124, del generador 118 de un sistema de potencia eléctrica

200. En general, el procedimiento 300 se describe en el presente documento con referencia a la turbina eólica 10, el sistema de potencia eléctrica 200, el controlador 202 y el generador 118 ilustrados en las FIGS. 1-5. Sin embargo, se debe apreciar que el procedimiento 300 divulgado se puede implementar con sistemas de potencia eléctrica que tengan cualquier otra configuración adecuada. Además, aunque la FIG. 6 representa las etapas realizadas en un orden particular para propósitos de ilustración y análisis, los procedimientos analizados en el presente documento no se limitan a ningún orden o disposición particular. Un experto en la técnica, usando las divulgaciones proporcionadas en el presente documento, apreciará que diversas etapas de los procedimientos divulgados en el presente documento se pueden omitir, reorganizar, combinar y/o adaptar de diversas maneras sin desviarse del alcance de la presente divulgación.

[0047] Como se muestra en (302), el procedimiento 300 incluye monitorizar, por medio de un controlador (tal como el controlador 202), una o más señales eléctricas del conjunto de conversión de potencia 210. Por ejemplo, en un modo de realización, el/los parámetro(s) operativo(s) puede(n) incluir corriente y/o voltaje obtenidos del convertidor de potencia del lado de rotor 220. Más específicamente, en un modo de realización, la corriente puede ser una corriente de fase de rotor del convertidor de potencia del lado de rotor 220 y el voltaje puede ser un voltaje de rotor.

[0048] Como se muestra en (304), el procedimiento 300 incluye estimar, por medio del controlador 202, una trayectoria de impedancia de corriente en modo común desde un terminal a masa usando las una o más señales eléctricas del conjunto de conversión de potencia 210. En un modo de realización, por ejemplo, el terminal puede ser un terminal de rotor. Más específicamente, la FIG. 7 ilustra un procedimiento 400 en detalle que, como se muestra en (402), incluye capturar el voltaje de fase de rotor ($V_{R_a[b,c]}$) y las corrientes de rotor ($I_{R_a[b,c]}$) para estimar la trayectoria de impedancia.

[0049] Por ejemplo, en referencia de nuevo a la FIG. 6, como se muestra en (404), el controlador 202, a continuación, puede calcular un voltaje en modo común (V_{R_CM}) y una corriente en modo común (I_{R_CM}) usando el voltaje de rotor y la corriente de fase de rotor del convertidor de potencia del lado de rotor 220, respectivamente. Por ejemplo, como se muestra, el voltaje en modo común (V_{R_CM}) y la corriente en modo común (I_{R_CM}) inyectada por el convertidor de potencia del lado de rotor 220 se pueden calcular usando las ecuaciones (1) y (2), respectivamente, a continuación:

$$V_{R_CM} = V_A + V_B + V_C \text{ Ecuación (1)}$$

$$I_{R_CM} = I_A + I_B + I_C \text{ Ecuación (2)}$$

donde V_A , V_B y V_C son los voltajes en PWM trifásicos del convertidor de potencia del lado de rotor 220, y donde I_A , I_B e I_C son las corrientes en PWM trifásicas del convertidor de potencia del lado de rotor 220.

[0050] En determinados modos de realización, la medición *in situ* de voltajes terminales se puede evitar o complementar por preprogramación. Además, el voltaje en modo común de frecuencias específicas de interés se puede caracterizar como una función de los estados de modulación de los convertidores (lado de red y lado de rotor) y el voltaje interno del convertidor. La corriente en modo común también se puede medir directamente a través del sensor de corriente en la trayectoria de conexión a masa o en la línea de retorno.

[0051] Además, como se muestra en (406) de la FIG. 7, el controlador 202, a continuación, puede calcular un espectro de Fourier del voltaje en modo común V_{R_CM} y la corriente en modo común I_{R_CM} como $F(V_{R_CM})$ y $F(I_{R_CM})$, respectivamente. En dichos modos de realización, el controlador 202 también puede ejecutar una detección de picos en el espectro de Fourier y seleccionar frecuencias que tengan picos de voltaje por encima de una magnitud elegida, previniendo, de este modo, que el ruido de fondo se capte como picos. Además, en un modo de realización, el controlador 202 está configurado para analizar el espectro de Fourier en la proximidad de la frecuencia de conmutación. Por tanto, el controlador 202, a continuación, puede calcular la trayectoria de impedancia Z_{R_CM} desde el terminal a masa como una función del espectro de Fourier del voltaje en modo común y la corriente en modo común.

[0052] En modos de realización adicionales, el procedimiento 300 también puede incluir usar uno o más enfoques basados en datos después de estimar la trayectoria de impedancia para marcar una pluralidad de trayectorias de impedancia de anomalía indicativas de degradación en el aislamiento del rodamiento 132 y/o la escobilla de conexión a masa 126 y determinar la tendencia de la pluralidad de trayectorias de impedancia de anomalía a lo largo del tiempo.

[0053] En referencia de nuevo a la FIG. 6, como se muestra en (306), el procedimiento 300 incluye además determinar, por medio del controlador 202, al menos una de una o más magnitudes o uno o más ángulos de fase de la trayectoria de impedancia Z_{R_CM} a diferentes frecuencias. Las diferentes frecuencias incluyen, por ejemplo, al menos, una frecuencia de conmutación y armónicos del conjunto de conversión de potencia 210. En modos de realización particulares, como se muestra en (408) de la FIG. 7, el controlador 202 puede determinar la(s) magnitud(es) y/o el/los ángulo(s) de fase de la trayectoria de impedancia Z_{R_CM} a diferentes frecuencias calculando la(s) magnitud(es) de la trayectoria de impedancia en múltiples bandas laterales de la frecuencia de conmutación. Por

ejemplo, en un modo de realización, el controlador 202 está configurado para calcular la(s) magnitud(es) de la trayectoria de impedancia Z_{R_CM} en múltiples bandas laterales de la frecuencia de conmutación dividiendo el espectro de Fourier del voltaje en modo común V_{R_CM} por el espectro de Fourier de la corriente en modo común I_{R_CM} . Además, en un modo de realización, el controlador 202 está configurado para calcular el/los ángulo(s) de fase de la trayectoria de impedancia Z_{R_CM} restando el espectro de Fourier de la corriente en modo común I_{R_CM} del espectro de Fourier del voltaje en modo común V_{R_CM} .

[0054] Por tanto, en referencia de nuevo a la FIG. 6, como se muestra en (308), el procedimiento 300 incluye determinar, por medio del controlador 202, si la trayectoria de impedancia es indicativa de degradación en el aislamiento del rodamiento 132 y/o la escobilla de conexión a masa 126 del generador 118 en base a un cambio en las magnitudes y/o los ángulos de fase. Más en particular, como se muestra en (410) de la FIG. 7, el controlador 202 está configurado para determinar si la trayectoria de impedancia es indicativa de degradación en la escobilla de conexión a masa 126 comparando la(s) magnitud(es) (por ejemplo, $F(Z_{R_CM(mag)})$) de la trayectoria de impedancia con un umbral de magnitud (por ejemplo, $umbral_mag$). De forma similar, como se muestra en (410), el controlador 202 también está configurado para determinar si la trayectoria de impedancia es indicativa de degradación en el aislamiento del rodamiento 132 comparando el/los ángulo(s) de fase (por ejemplo, $F(Z_{R_CM(fase)})$) de la trayectoria de impedancia con un umbral de ángulo de fase (por ejemplo, $umbral_fase$).

[0055] Por tanto, como se muestra en (412), si la(s) magnitud(es) y/o el/los ángulo(s) de fase de la trayectoria de impedancia exceden los respectivos umbrales, el controlador 202 se configura para generar una indicación de degradación. Por ejemplo, si la(s) magnitud(es) excede(n) el umbral de magnitud, a continuación, la indicación indica que la escobilla de conexión a masa 126 está defectuosa. De forma similar, como se muestra en (412), si el/los ángulo(s) de fase excede(n) el umbral de ángulo de fase, a continuación, la indicación indica que el aislamiento del rodamiento 132 está defectuoso. De forma alternativa, como se muestra en (414), si la(s) magnitud(es) y/o el/los ángulo(s) de fase no excede(n) sus respectivos umbrales, a continuación, la indicación indica que la escobilla de conexión a masa 126 y el aislamiento del rodamiento 132 están en buen estado.

[0056] En consecuencia, en referencia de nuevo a la FIG. 6, como se muestra en (310), el procedimiento 300 incluye implementar, por medio del controlador 202, una acción de control cuando la trayectoria de impedancia es indicativa de degradación en al menos uno del aislamiento del rodamiento o la escobilla de conexión a masa del generador 118. Por ejemplo, en modos de realización particulares, la acción de control puede incluir cambiar una consigna operativa de la turbina eólica 10, apagar la turbina eólica 10, generar una alarma, programar una reparación, reemplazar al menos uno del aislamiento del rodamiento 132 o la escobilla de conexión a masa 126, y/o cualquier otra acción adecuada.

[0057] En referencia ahora a la FIG. 8, se ilustra un diagrama esquemático del impacto de un fallo sobre la trayectoria en modo común de un DFIG de ejemplo. Como se muestra, cuando la escobilla de conexión a masa 126 está conectada (diagrama superior), la trayectoria de corriente dominante sigue la flecha 500. Por el contrario, cuando la escobilla de conexión a masa 126 está dañada o mal conectada (diagrama inferior), la trayectoria de corriente dominante sigue la flecha 502 debido a la resistencia incrementada de la resistencia como se muestra en 504. Más específicamente, desde la figura superior hasta la figura inferior de la FIG. 8, la resistencia en serie en la trayectoria de la escobilla de conexión a masa se degrada desde ser insignificante a muy grande. Además, la capacitancia en serie se reduce, mejorando, de este modo, la parte capacitiva de la reactancia. En consecuencia, una impedancia de consulta ("*look-in impedance*") predominantemente inductiva se vuelve predominantemente capacitiva. Como tal, al monitorizar el cambio en el ángulo de impedancia, se puede estimar el estado de degradación y determinar la tendencia para pronosticar al monitorizar si el ángulo de impedancia se ha movido desde el cuadrante inductivo hacia el cuadrante capacitivo.

[0058] Por tanto, los sistemas y procedimientos descritos en el presente documento utilizan eficazmente las corrientes y voltajes registrados por el convertidor de potencia del lado de rotor 220 para estimar la impedancia de consulta de la trayectoria de la corriente en modo común desde el terminal de rotor a masa. En consecuencia, como se describe en el presente documento, la magnitud y el perfil de fase de la impedancia en modo común a diferentes frecuencias indica si la trayectoria se comporta de forma anómala.

[0059] Esta descripción por escrito usa ejemplos para divulgar la presente divulgación, incluyendo el mejor modo, y también para posibilitar que cualquier experto en la técnica ponga en práctica la presente divulgación, incluyendo fabricar y usar cualquier dispositivo o sistema y realizar cualquier procedimiento incorporado. El alcance patentable de la presente divulgación está definido por las reivindicaciones y puede incluir otros ejemplos que se les ocurran a los expertos en la técnica.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento (300) para prevenir daños en un rodamiento (124) de un generador (118) de un sistema de potencia eléctrica (200), teniendo el sistema de potencia eléctrica un conjunto de conversión de potencia con un primer convertidor acoplado a un segundo convertidor, el conjunto de conversión de potencia (210) acoplado eléctricamente al generador, comprendiendo el procedimiento:
 - monitorizar (302), por medio de un controlador (202), una o más señales eléctricas del conjunto de conversión de potencia (210) del sistema de potencia eléctrica;
 - estimar (304), por medio del controlador (202), una trayectoria de impedancia de corriente en modo común desde un terminal a masa usando las una o más señales eléctricas del conjunto de conversión de potencia (210);
 - determinar (306), por medio del controlador, al menos una de una o más magnitudes o uno o más ángulos de fase de la trayectoria de impedancia a diferentes frecuencias, incluyendo las diferentes frecuencias, al menos, una frecuencia de conmutación y armónicos del conjunto de conversión de potencia;
 - determinar (308), por medio del controlador, si la trayectoria de impedancia es indicativa de degradación en al menos uno del aislamiento del rodamiento o una escobilla de conexión a masa del generador en base a un cambio en al menos una de las una o más magnitudes o los uno o más ángulos de fase; y
 - implementar (310), por medio del controlador, una acción de control cuando la trayectoria de impedancia es indicativa de degradación en al menos uno del aislamiento del rodamiento o la escobilla de conexión a masa del generador.
2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que las una o más señales eléctricas comprenden al menos una de corriente o voltaje obtenido del primer convertidor.
3. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 1-2, en el que el sistema de potencia eléctrica es parte de un sistema de potencia de turbina eólica, el primer convertidor es un convertidor del lado de rotor del sistema de potencia de turbina eólica, y el segundo convertidor es un convertidor del lado de línea del sistema de potencia de turbina eólica, y en el que la corriente comprende una corriente de fase de rotor del convertidor del lado de rotor y el voltaje comprende un voltaje de rotor.
4. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en el que el terminal es un terminal de rotor del sistema de potencia de turbina eólica.
5. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en el que estimar la trayectoria de impedancia de la corriente en modo común desde el terminal a masa usando las una o más señales eléctricas del conjunto de conversión de potencia comprende además:
 - calcular un voltaje en modo común y la corriente en modo común usando el voltaje de rotor y la corriente de fase de rotor del convertidor del lado de rotor, respectivamente;
 - calcular un espectro de Fourier del voltaje en modo común y la corriente en modo común; y
 - calcular la trayectoria de impedancia desde el terminal a masa como una función del espectro de Fourier del voltaje en modo común y la corriente en modo común.
6. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en el que determinar al menos una de las una o más magnitudes o los uno o más ángulos de fase de la trayectoria de impedancia a diferentes frecuencias comprende además:
 - calcular las una o más magnitudes de la trayectoria de impedancia en múltiples bandas laterales de la frecuencia de conmutación dividiendo el espectro de Fourier del voltaje en modo común por el espectro de Fourier de la corriente en modo común; y
 - calcular los uno o más ángulos de fase de la trayectoria de impedancia en múltiples bandas laterales de la frecuencia de conmutación restando el espectro de Fourier de la corriente en modo común del espectro de Fourier del voltaje en modo común.
7. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en el que determinar si la trayectoria de impedancia es indicativa de degradación en al menos uno del aislamiento del rodamiento o la escobilla de conexión a masa del generador en base al cambio en al menos una de las una o más magnitudes o los uno o más ángulos de fase comprende además:

- comparar las una o más magnitudes de la trayectoria de impedancia en múltiples bandas laterales de la frecuencia de conmutación con un umbral de magnitud; y
- 5 generar una indicación de degradación que se produce en la escobilla de conexión a masa cuando el cambio en las una o más magnitudes excede el umbral de magnitud.
8. El procedimiento de una cualquiera de la reivindicación 1-6, en el que determinar si la trayectoria de impedancia es indicativa de degradación en al menos uno del aislamiento del rodamiento o la escobilla de conexión a masa del generador en base al cambio en al menos una de las una o más magnitudes o los uno o más ángulos de fase comprende además:
- 10 comparar los uno o más ángulos de fase de la trayectoria de impedancia en múltiples bandas laterales de la frecuencia de conmutación con un umbral de ángulo de fase; y
- 15 generar una indicación de degradación que se produce en el aislamiento del rodamiento cuando el cambio que se produce en los uno o más ángulos de fase excede el umbral de ángulo de fase.
9. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 1-8, que comprende además:
- 20 estimar un perfil de impedancia en una pluralidad de frecuencias predeterminadas a partir de un espectro de Fourier de una pluralidad de voltajes y corrientes en modo común;
- 25 estimar una o más métricas de anomalía usando el perfil de impedancia que son indicativas de degradación en al menos uno del aislamiento del rodamiento o la escobilla de conexión a masa; y
- determinar la tendencia de las una o más métricas de anomalía a lo largo del tiempo.
10. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 1-9, en el que la acción de control comprende además al menos uno de cambiar una consigna operativa del sistema de potencia eléctrica, apagar el sistema de potencia eléctrica, generar una alarma, programar una reparación o reemplazar al menos uno del aislamiento del rodamiento o la escobilla de conexión a masa.
- 30
11. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 1-10, en el que el generador comprende un generador de inducción doblemente alimentado (DFIG).
- 35
12. Un sistema de potencia eléctrica (200) conectado a una red de potencia, comprendiendo el sistema de potencia eléctrica:
- 40 un generador de inducción doblemente alimentado (DFIG) (118) que comprende un rotor (122) y un estátor (120);
- un conjunto de conversión de potencia (210) acoplado eléctricamente al DFIG, comprendiendo el conjunto de conversión de potencia un primer convertidor acoplado a un segundo convertidor;
- 45 un controlador (202) configurado para controlar el sistema de potencia eléctrica, el controlador configurado para realizar una pluralidad de operaciones, comprendiendo la pluralidad de operaciones:
- 50 monitorizar (302) una o más señales eléctricas del conjunto de conversión de potencia del sistema de potencia eléctrica;
- estimar (304) una trayectoria de impedancia de corriente en modo común desde un terminal a masa usando las una o más señales eléctricas del conjunto de conversión de potencia;
- 55 determinar (306) al menos una de una o más magnitudes o uno o más ángulos de fase de la trayectoria de impedancia a diferentes frecuencias, incluyendo las diferentes frecuencias, al menos, una frecuencia de conmutación y armónicos del conjunto de conversión de potencia;
- determinar (308) si la trayectoria de impedancia es indicativa de degradación en al menos uno del aislamiento del rodamiento o una escobilla de conexión a masa del DFIG en base a un cambio en al menos una de las una o más magnitudes o los uno o más ángulos de fase; e
- 60 implementar (310) una acción de control cuando la trayectoria de impedancia es indicativa de degradación en al menos uno del aislamiento del rodamiento o la escobilla de conexión a masa del DFIG.
- 65

13. El sistema de potencia eléctrica de la reivindicación 12, en el que las una o más señales eléctricas comprenden al menos uno de corriente o voltaje obtenido del primer convertidor.
- 5 14. El sistema de potencia eléctrica de una cualquiera de las reivindicaciones 12-13, en el que el sistema de potencia eléctrica es parte de un sistema de potencia de turbina eólica, el primer convertidor es un convertidor del lado de rotor del sistema de potencia de turbina eólica, el segundo convertidor es un convertidor del lado de línea del sistema de potencia de turbina eólica, y el terminal es un terminal de rotor del sistema de potencia de turbina eólica, y en el que la corriente comprende una corriente de fase de rotor del convertidor del lado de rotor y el voltaje comprende un voltaje de rotor.
- 10 15. El sistema de potencia eléctrica de una cualquiera de las reivindicaciones 12-14, en el que estimar la trayectoria de impedancia de la corriente en modo común desde el terminal a masa usando las una o más señales eléctricas del conjunto de conversión de potencia comprende además:
- 15 calcular un voltaje en modo común y la corriente en modo común usando el voltaje de rotor y la corriente de fase de rotor del convertidor del lado de rotor, respectivamente;
- calcular un espectro de Fourier del voltaje en modo común y la corriente en modo común; y
- 20 calcular la trayectoria de impedancia desde el terminal a masa como una función del espectro de Fourier del voltaje en modo común y la corriente en modo común.

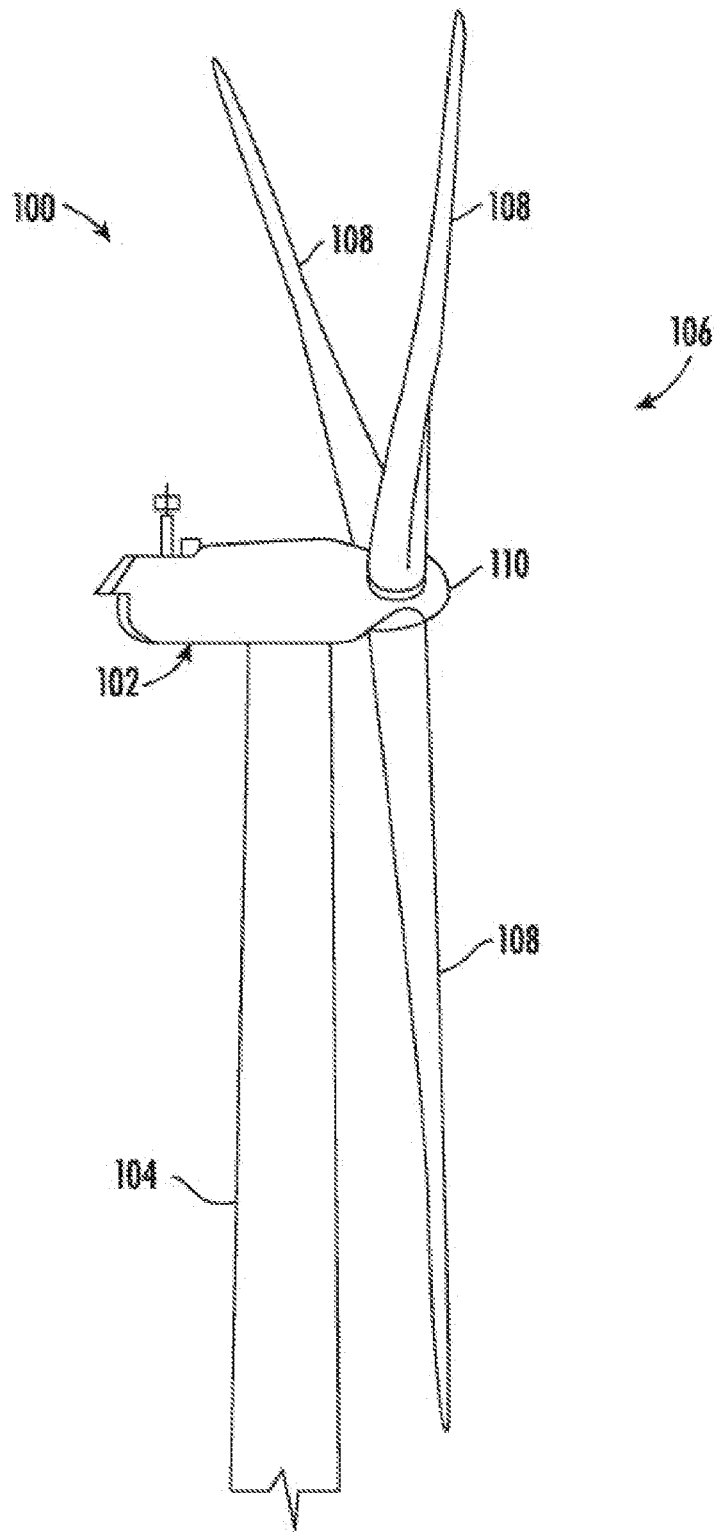


FIG. 1

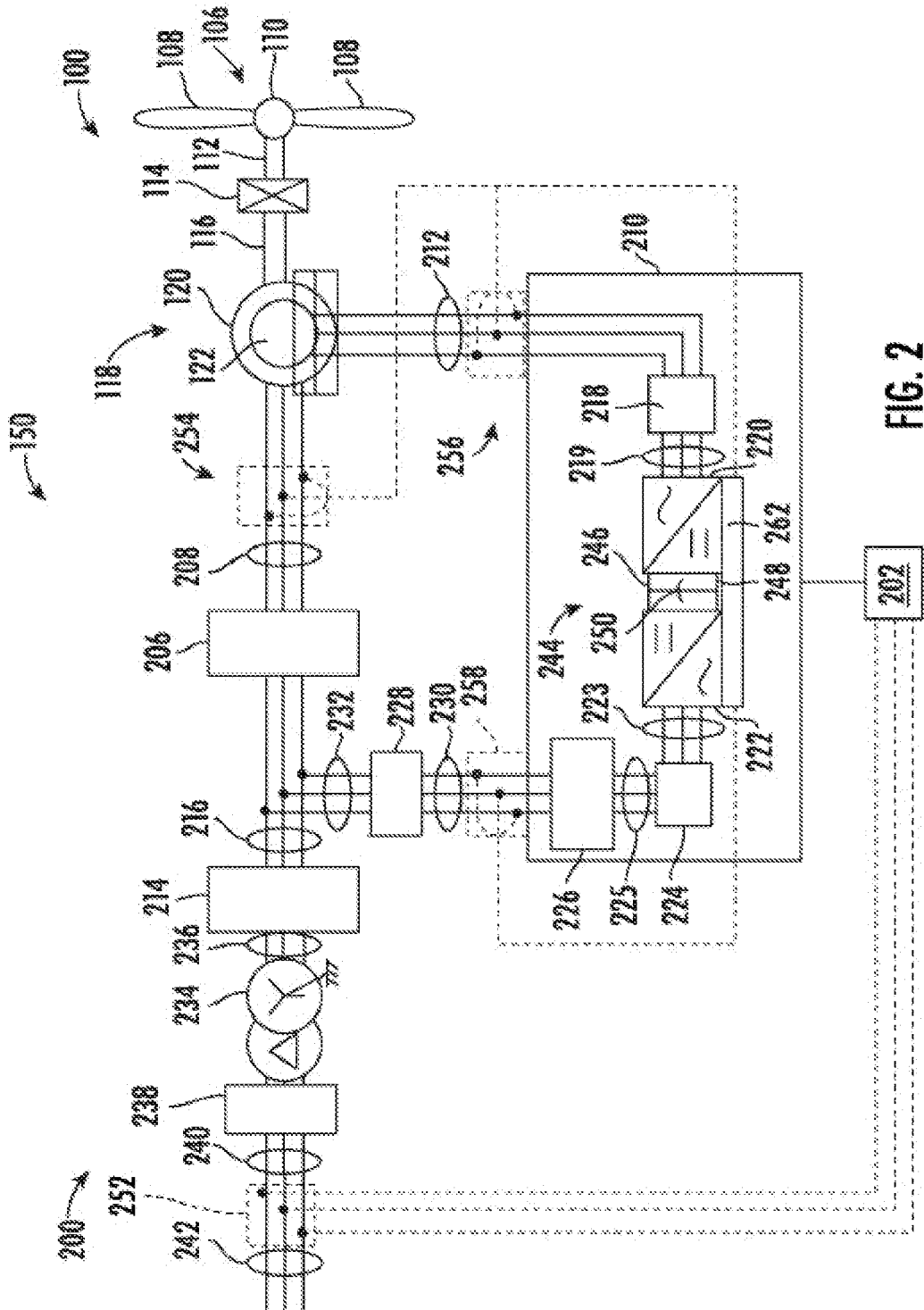


FIG. 2

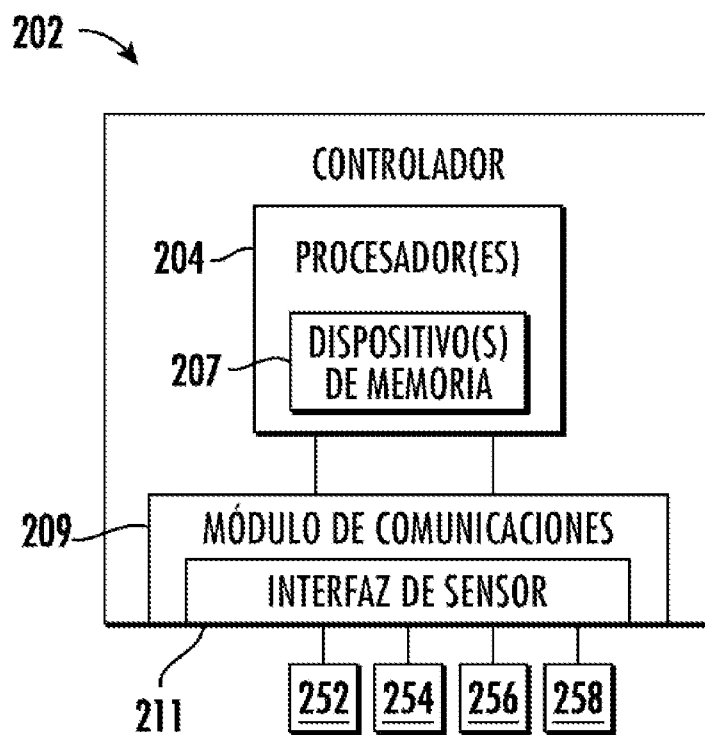


FIG. 3

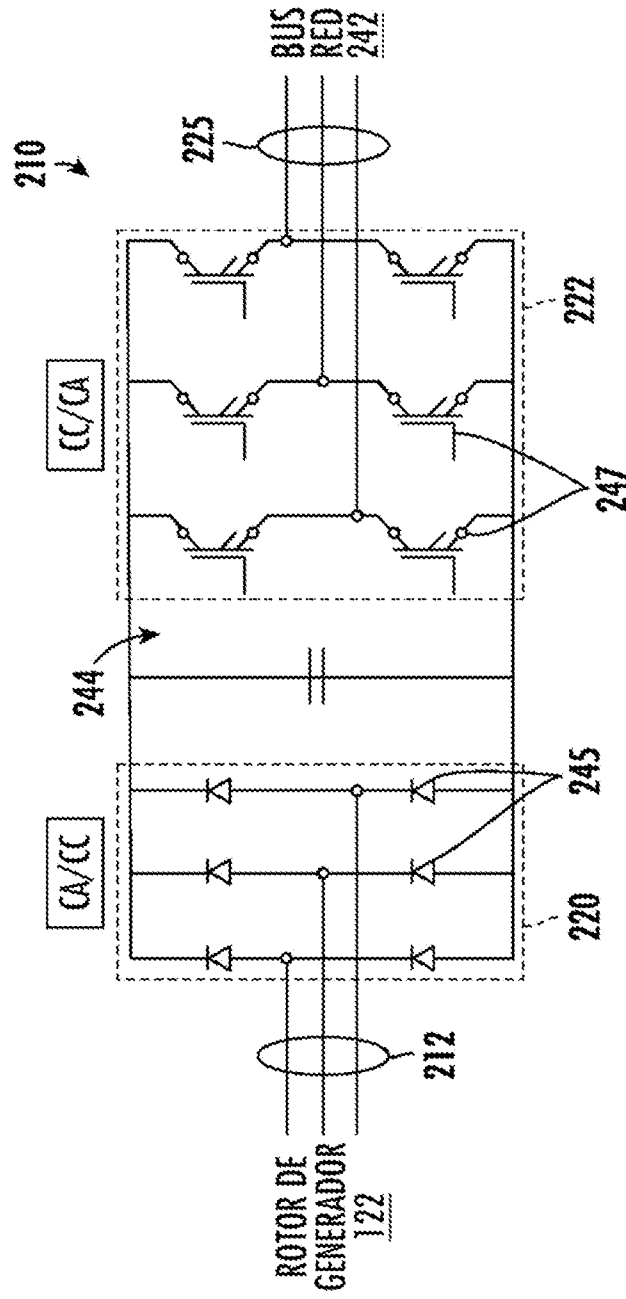


FIG. 4

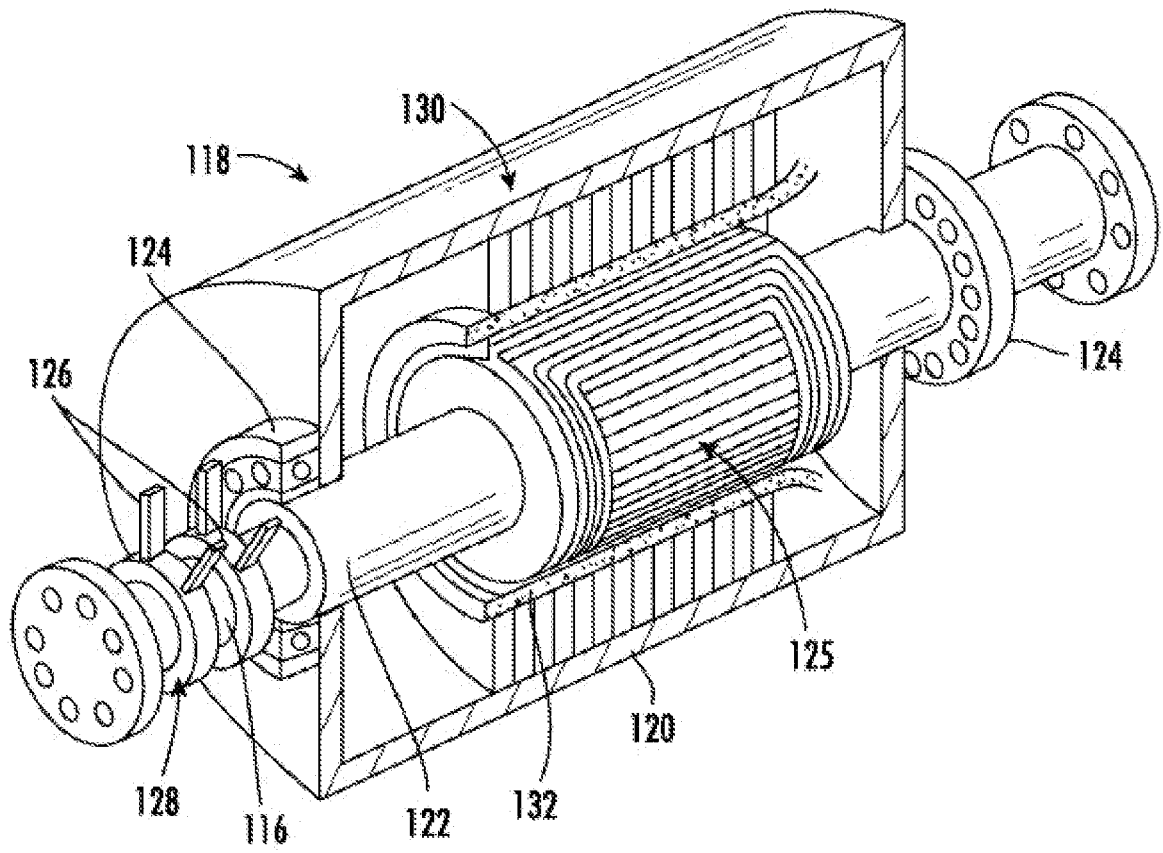


FIG. 5

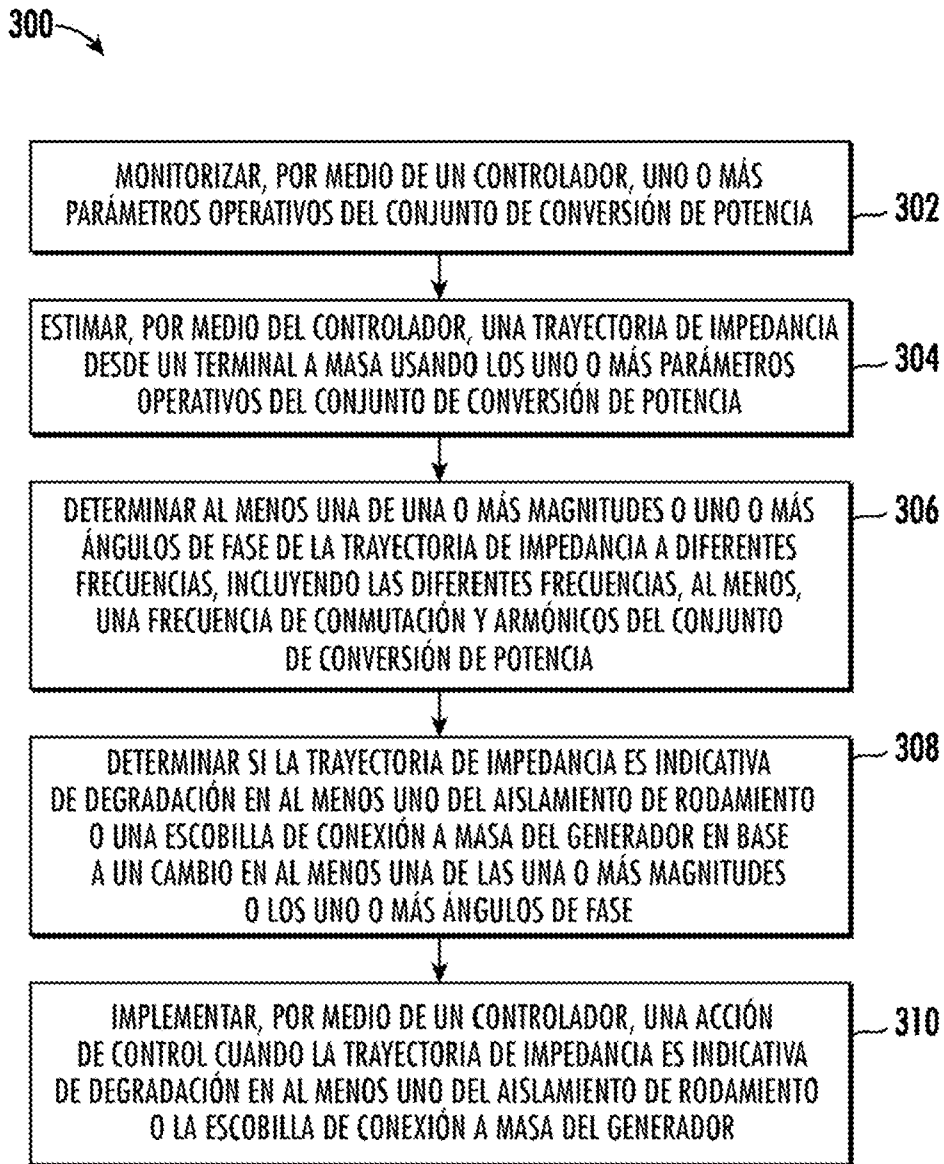


FIG. 6

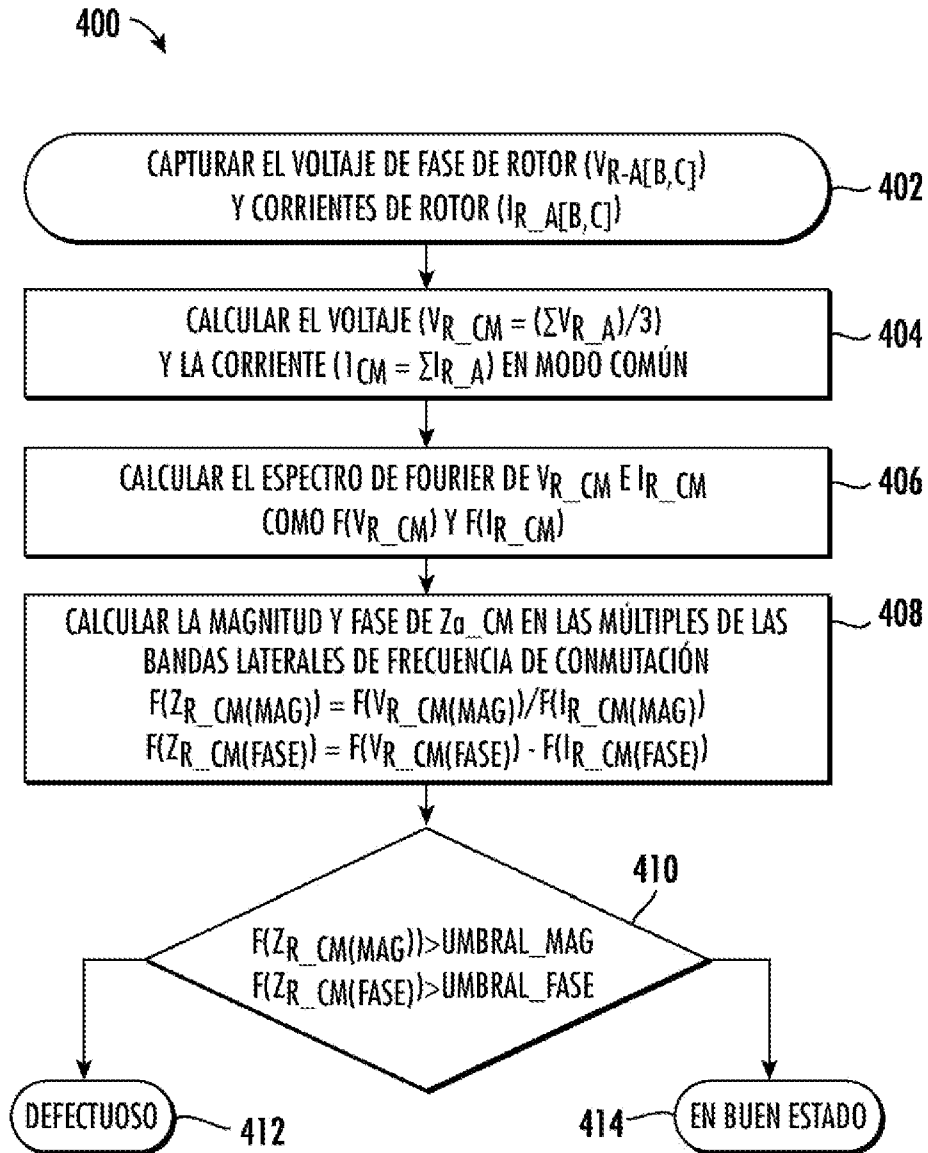


FIG. 7

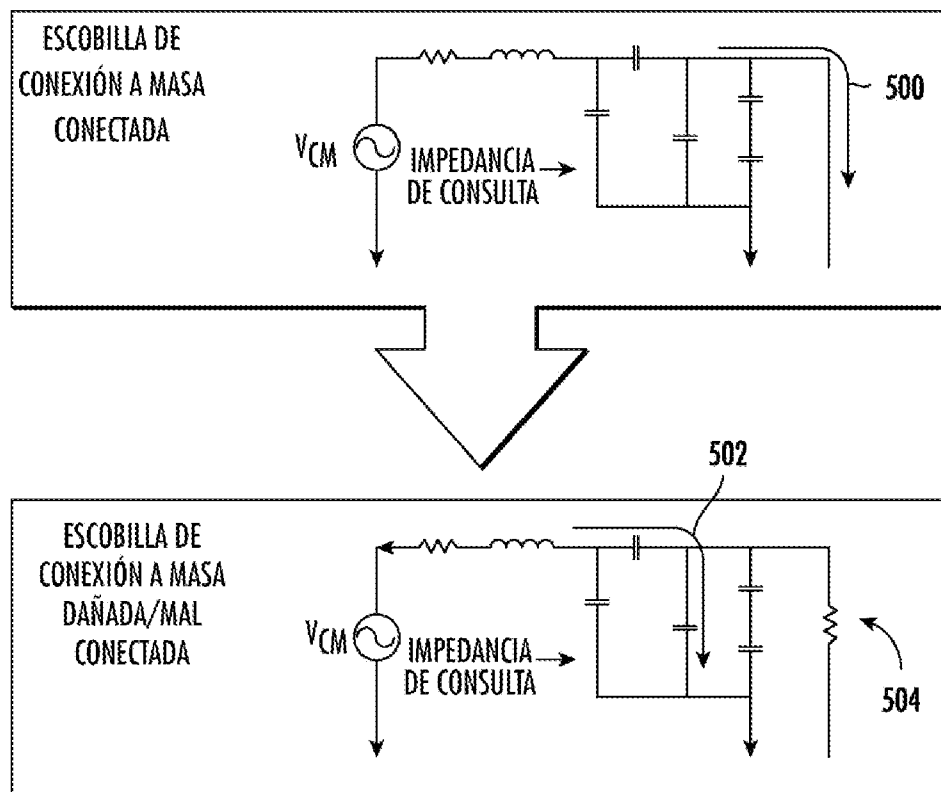


FIG. 8