

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 933 288**

51 Int. Cl.:

H02P 9/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.04.2020** **E 20169891 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.09.2022** **EP 3731405**

54 Título: **Sistema y procedimiento para el control de potencia reactiva de una turbina eólica variando la frecuencia de conmutación del convertidor de lado de rotor**

30 Prioridad:

22.04.2019 US 201916390547

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

03.02.2023

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**GADIRAJU, KASI VISWANADHA RAJU;
RAY, OLIVE;
JHA, KAPIL y
KOLHATKAR, YASHOMANI YASHODHAN**

74 Agente/Representante:

DE ROOIJ, Mathieu Julien

ES 2 933 288 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 el control de potencia reactiva de una turbina eólica variando la frecuencia de conmutación del convertidor de lado de rotor

5

Campo

[0001] La presente divulgación se refiere, en general, a turbinas eólicas y, más en particular, a un sistema y procedimiento para potenciar la capacidad de potencia reactiva de la turbina eólica controlando la frecuencia de conmutación del convertidor de lado de rotor ("*rotor-side converter*" o RSC) en un sistema de generador de inducción doblemente alimentado (DFIG).

10

Antecedentes

[0002] En general, durante la operación de una turbina eólica, el viento impacta en las palas de rotor y las palas transforman la energía eólica en un par de torsión de rotación mecánico que acciona un eje lento. El eje lento acciona una caja de engranajes que posteriormente aumenta la baja velocidad de rotación del eje lento para accionar un eje rápido a una velocidad de rotación incrementada, en el que el eje rápido acciona de forma rotatoria un rotor de generador. En muchas configuraciones de turbina eólica convencionales, el generador está acoplado eléctricamente a un convertidor de potencia bidireccional que incluye un convertidor de lado de rotor (RSC) unido a un convertidor de lado de línea ("*line-side converter*" o LSC) por medio de un enlace de CC regulado. Cada uno del RSC y del LSC incluye típicamente una batería de dispositivos de conmutación modulados por ancho de pulso, por ejemplo, transistores bipolares de puerta aislada (módulos IGBT). El LSC convierte la potencia de CC en el enlace de CC en potencia de salida de CA que se combina con la potencia del estátor de generador para proporcionar potencia multifásica que tiene una frecuencia mantenida sustancialmente a la frecuencia del bus de red eléctrica (por ejemplo, 50 HZ o 60 HZ).

15

20

25

[0003] El sistema anterior se denomina, en general, sistema de generador de inducción doblemente alimentado ("*doubly-fed induction generator*" o DFIG), cuyos principios de operación incluyen que los devanados de rotor estén conectados a la red por medio de anillos deslizantes y el convertidor de potencia controle la corriente y voltaje de rotor. El control del voltaje y corriente de rotor posibilita que el generador permanezca sincronizado con la frecuencia de red mientras varía la velocidad de turbina eólica (por ejemplo, la frecuencia de rotor puede diferir de la frecuencia de red). Además, la principal fuente de potencia reactiva del sistema de DFIG es del RSC por medio del generador (potencia reactiva de lado de estátor de generador) y del LSC (potencia reactiva de lado de línea de generador). El uso del convertidor de potencia, en particular, del RSC, para controlar la corriente/voltaje de rotor hace posible ajustar la potencia reactiva (y la potencia real) alimentada a la red desde el RSC independientemente de la velocidad de rotación del generador. Además, el generador puede importar o exportar potencia reactiva, lo que permite que el sistema sustente a la red durante fluctuaciones de voltaje extremas en la red.

30

35

[0004] Típicamente, la cantidad de potencia reactiva que se va a suministrar por un parque eólico a la red durante las condiciones de estado estacionario y transitorias se establece por un requisito de código dictado por el operador de red, en el que un controlador de parque eólico determina la demanda de potencia reactiva realizada en cada turbina eólica dentro del parque eólico. Un controlador local en cada turbina eólica recibe y asigna la demanda de potencia reactiva entre las fuentes de generador (por ejemplo, entre la potencia reactiva de lado de generador y la potencia reactiva de lado de línea).

40

45

[0005] A medida que la velocidad del generador se acerca a la velocidad sincrónica, la frecuencia fundamental de rotor se acerca a la CC, donde el ciclado térmico de los IGBT es mayor, lo que da como resultado una temperatura máxima del IGBT de lado de rotor a o cerca de la velocidad sincrónica. Esto da como resultado una reducción de la capacidad de corriente de salida total del RSC y, por tanto, una reducción de la capacidad de potencia reactiva del RSC. Típicamente, la frecuencia de conmutación en el lado de rotor de un convertidor de potencia para DFIG se mantiene a una frecuencia elevada (por ejemplo, de aproximadamente 2000 o 3000 Hz) para todas las velocidades de rotor. Aunque esta frecuencia de conmutación elevada es deseable para la mayoría de las velocidades de operación, a o cerca de las velocidades de rotor de generador sincrónicas, genera tensiones de ciclado térmico y temperaturas máximas en los IGBT y limita la capacidad de potencia reactiva del sistema de DFIG.

50

55

[0006] Además, la operación de un generador DFIG a o cerca de la velocidad sincrónica es incluso más complicada porque los armónicos de corriente se alimentan a través del generador desde el lado de rotor al lado de estátor y, a continuación, directamente a la red de suministro de transmisión. Estos armónicos se deben controlar a niveles dictados por los requisitos de armónicos de la red de suministro.

60

[0007] La pat. de EE. UU. n.º 8.853.876 describe un sistema y procedimiento para operar un sistema de generación de potencia de DFIG en una turbina eólica. Se genera un comando de control para controlar una frecuencia de conmutación de los elementos de conmutación en el convertidor de potencia a una frecuencia de conmutación ajustada que es sustancialmente igual a una frecuencia fundamental de la carga cuando el generador está a o cerca de la velocidad sincrónica. Al reducir la frecuencia de conmutación con reducciones en la velocidad del generador, se

65

pueden reducir las pérdidas de potencia en los elementos de conmutación. Con una reducción de este tipo en la pérdida de potencia, también se puede reducir el aumento de temperatura en los elementos de conmutación, lo que puede proporcionar un margen adicional en la capacidad de corriente de salida del convertidor de potencia y también puede incrementar la vida de los componentes de los elementos de conmutación. Además, al hacer coincidir estrechamente la frecuencia de conmutación con la frecuencia fundamental de la red, también se puede obtener una reducción de la cantidad de armónicos alimentados a través del lado de línea del convertidor, disminuyendo, de este modo, la distorsión armónica en la red.

[0008] La pat. de EE. UU. n.º 9.625.921 describe un procedimiento para la regulación de la temperatura de IGBT en un convertidor de potencia para reducir las tensiones térmicas y extender la vida de los dispositivos. Cuando los IGBT no están dentro de un intervalo de temperatura predeterminado, las frecuencias de conmutación de los dispositivos se modifican para llevar a los IGBT dentro del intervalo de temperatura.

[0009] El documento US2014319838A1 divulga un sistema de generación de potencia eléctrica de turbina eólica de generador de inducción doblemente alimentado que comprende un controlador, un convertidor de lado de línea y un convertidor de lado de rotor. Z

[0010] En la industria serían deseables un sistema y procedimiento que operen un convertidor de potencia en un sistema de generación de potencia, tal como un sistema de DFIG de turbina eólica, de manera que potencien la capacidad de generación de potencia reactiva del sistema en tiempo real mientras se mantienen las distorsiones armónicas dentro de límites.

Breve descripción

[0011] Se expondrán, en parte, aspectos y ventajas de la invención en la siguiente descripción, o pueden ser obvios a partir de la descripción, o se pueden aprender a través de la puesta en práctica de la invención. La invención se define en las reivindicaciones independientes.

[0012] En un aspecto, la presente divulgación se dirige a un procedimiento para operar un sistema de generación de potencia que suministra potencia real y reactiva a una carga. Un convertidor de potencia en el sistema incluye elementos de conmutación y recibe potencia de corriente alterna generada por un generador, generando el convertidor de potencia la potencia reactiva dentro de un intervalo de operación de velocidad de rotor de generador. A medida que la velocidad de rotor de generador cambia y se acerca a la velocidad sincrónica, se genera un comando de control para disminuir una frecuencia de conmutación de los elementos de conmutación en el convertidor de potencia desde una primera frecuencia de conmutación a una segunda frecuencia de conmutación, en la que la salida de potencia reactiva del convertidor de potencia se incrementa a la segunda frecuencia de conmutación. La segunda frecuencia de conmutación se determina en el tiempo de operación real del generador y se basa en la provisión de un valor de potencia reactiva definido generado por el convertidor de potencia a una velocidad de rotor de generador cambiada, tal como una velocidad a o cerca de a la velocidad sincrónica, mientras se mantienen los elementos de conmutación dentro de límites térmicos definidos.

[0013] La segunda frecuencia de conmutación también se puede basar en el mantenimiento de la distorsión armónica total (THD) del sistema dentro de límites definidos, que pueden ser límites dictados por el operador de red, minimizando las distorsiones armónicas inducidas por el convertidor de potencia y transferidas a la carga.

[0014] En un determinado modo de realización del procedimiento, el convertidor de potencia comprende un convertidor de lado de línea (LSC) y un convertidor de lado de rotor (RSC), donde el RSC genera la potencia reactiva.

[0015] En un modo de realización particular, el generador (con LSC y RSC) puede ser un generador de inducción doblemente alimentado (DFIG) en un sistema de generación de potencia de turbina eólica.

[0016] En un modo de realización, los elementos de conmutación pueden ser elementos de transistor bipolar de puerta aislada ("insulated gate bipolar transistor" o IGBT).

[0017] En un modo de realización particular, un controlador determina la segunda frecuencia de conmutación a partir de una tabla de consulta que remite valores de potencia reactiva generados a la segunda frecuencia de conmutación para diferentes velocidades de rotor de generador. La tabla de consulta puede proporcionar las diferentes velocidades de rotor de generador como una pluralidad de subintervalos, en la que para cada subintervalo se proporciona una segunda frecuencia de conmutación para un valor de potencia reactiva particular. La tabla de consulta puede proporcionar una pluralidad de valores de potencia reactiva diferentes y segundas frecuencias de conmutación correspondientes para cada subintervalo de velocidades de rotor de generador.

[0018] En un modo de realización, el valor de potencia reactiva requerido del sistema de generación de potencia a una velocidad de rotor de generador particular se predefine (por ejemplo, en base a características conocidas del sistema de generación de potencia y requisitos de carga conocidos) e introduce en la tabla de consulta para determinar la segunda frecuencia de conmutación.

5 [0019] En un modo de realización alternativo, el valor de potencia reactiva requerido del sistema de generación de potencia a una velocidad de rotor de generador particular se calcula o de otro modo se determina en tiempo real (por ejemplo, midiendo la potencia reactiva de carga o la potencia reactiva suministrada por el sistema de generación de potencia a una velocidad de rotor de operación normal del generador, tal como una velocidad supersincrónica normal, antes de la reducción de la velocidad de generador de rotor a o cerca de la velocidad sincrónica) e introduce en la tabla de consulta para determinar la segunda frecuencia de conmutación.

10 [0020] Además, la segunda frecuencia de conmutación se puede determinar de modo que las distorsiones armónicas inducidas por el convertidor de potencia y transferidas a la carga estén dentro de un valor límite predefinido.

15 [0021] La presente divulgación también engloba un sistema de turbina eólica configurado para suministrar potencia real y reactiva a una carga, incluyendo el sistema un rotor de turbina eólica que comprende un buje y una pluralidad de palas acopladas al buje. Un generador de inducción doblemente alimentado (DFIG) está acoplado al rotor de turbina eólica y es operable en un intervalo de velocidades de rotor de generador. Un convertidor de potencia está configurado operativamente con el DFIG e incluye un convertidor de lado de línea (LSC) y un convertidor de lado de rotor (RSC), el RSC configurado para generar la potencia reactiva. Un controlador está en comunicación con el convertidor de potencia y, a medida que la velocidad de rotor de generador cambia y se acerca a la velocidad sincrónica, el controlador genera un comando de control para disminuir una frecuencia de conmutación de los elementos de conmutación (por ejemplo, elementos de transistor bipolar de puerta aislada (IGBT)) en el RSC desde una primera frecuencia de conmutación a una segunda frecuencia de conmutación para incrementar la salida de potencia reactiva del RSC. La segunda frecuencia de conmutación se determina en el tiempo de operación real del generador por el controlador para proporcionar un valor de potencia reactiva definido generado por el RSC a una velocidad de rotor de generador cambiada, tal como una velocidad a o cerca de la velocidad sincrónica, mientras se mantienen los elementos de conmutación dentro de límites térmicos definidos.

20 [0022] En un modo de realización particular del sistema, el controlador determina la segunda frecuencia de conmutación a partir de una tabla de consulta que remite valores de potencia reactiva generados a la segunda frecuencia de conmutación para diferentes velocidades de rotor de generador. La tabla de consulta puede proporcionar las diferentes velocidades de rotor de generador como una pluralidad de subintervalos, en la que para cada subintervalo se proporciona una segunda frecuencia de conmutación para un valor de potencia reactiva particular. La tabla de consulta puede proporcionar una pluralidad de valores de potencia reactiva diferentes y segundas frecuencias de conmutación correspondientes para cada subintervalo de velocidades de rotor de generador.

25 [0023] En un modo de realización del sistema, el valor de potencia reactiva requerido del RSC a una velocidad de rotor de generador particular se predefine (por ejemplo, en base a características conocidas del sistema de generación de potencia y requisitos de carga conocidos) e introduce en la tabla de consulta para determinar la segunda frecuencia de conmutación.

30 [0024] En un modo de realización alternativo del sistema, el valor de potencia reactiva requerido del RSC a una velocidad de rotor de generador particular se mide en tiempo real (por ejemplo, midiendo la potencia reactiva de carga o la potencia reactiva suministrada por el sistema de generación de potencia a una velocidad de rotor de operación normal del generador, tal como una velocidad supersincrónica normal, antes de la reducción de la velocidad de generador de rotor a o cerca de la velocidad sincrónica) e introduce en la tabla de consulta para determinar la segunda frecuencia de conmutación.

35 [0025] La presente divulgación engloba además un sistema de generación de potencia configurado para suministrar potencia real y reactiva a una carga, incluyendo el sistema un generador operable a la velocidad de rotor de generador. Un convertidor de potencia se acopla al generador e incluye una pluralidad de elementos de conmutación configurados para generar la potencia reactiva. Un controlador en comunicación con el convertidor de potencia y, a medida que la velocidad de rotor de generador se acerca a la velocidad sincrónica, genera un comando de control para disminuir una frecuencia de conmutación de los elementos de conmutación desde una primera frecuencia de conmutación a una segunda frecuencia de conmutación para incrementar la salida de potencia reactiva del convertidor de potencia. La segunda frecuencia de conmutación se determina en tiempo real por el controlador y se basa en la provisión del valor de potencia reactiva definido generado por el convertidor de potencia a una velocidad de rotor de generador cambiada, tal como una velocidad a o cerca de la velocidad sincrónica, mientras se mantienen los elementos de conmutación dentro de límites térmicos definidos.

40 [0026] Se debe entender que los procedimientos y sistemas pueden incluir además cualquier combinación de los rasgos característicos y/o etapas adicionales como se describe en el presente documento.

45 [0027] Estos y otros rasgos característicos, aspectos y ventajas de la presente invención se entenderán mejor con referencia a la siguiente descripción y reivindicaciones adjuntas. Los dibujos adjuntos, que se incorporan en y constituyen una parte de la presente memoria descriptiva, ilustran modos de realización de la invención y, conjuntamente con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención.

Breve descripción de los dibujos

[0028] En la memoria descriptiva se expone una divulgación completa y habilitante de la presente invención, incluyendo el mejor modo de la misma, dirigida a un experto en la técnica, que hace referencia a las figuras adjuntas, en las que:

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

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

la FIG. 3 es un diagrama esquemático de un modo de realización de un convertidor de potencia de una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 4 es un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento para operar los dispositivos de conmutación de un convertidor de potencia de un sistema de potencia eléctrica conectado a una red eléctrica o carga de acuerdo con la presente divulgación; y

la FIG. 5 es un ejemplo de una tabla de consulta de acuerdo con aspectos de la presente divulgación.

Descripción detallada

[0029] Ahora se hará referencia en detalle a modos de realización de la invención, ilustrándose uno o más de sus ejemplos en los dibujos. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la invención, no de limitación de la invención. De hecho, será evidente para los expertos en la técnica que se pueden realizar diversas modificaciones y variaciones en la presente invención sin alejarse del alcance o espíritu de la invención. Por ejemplo, se pueden usar los rasgos característicos ilustrados o descritos como parte de un modo de realización con otro modo de realización para proporcionar todavía otro modo de realización. Por tanto, se pretende que la presente invención cubra dichas modificaciones y variaciones que entran dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas y de sus equivalentes.

[0030] En general, la presente materia objeto se dirige a un sistema y procedimiento para operar un sistema de generación de potencia, tal como una turbina eólica configurada con un sistema de generador de inducción doblemente alimentado (DFIG). Como se menciona, en un modo de realización particular del sistema y procedimiento, la presente materia objeto se dirige a un sistema y procedimiento para operar un convertidor de potencia de un DFIG accionado por el viento de una manera que incrementa la salida de potencia reactiva del convertidor de potencia cuando el generador está en operación a o cerca de su velocidad sincrónica mientras mantiene los elementos de conmutación dentro de los límites térmicos definidos y controla las distorsiones armónicas introducidas por el convertidor. Por ejemplo, bajo velocidades de generación de potencia normales, un DFIG típicamente se opera a velocidades supersincrónicas. Sin embargo, durante modos de operación específicos (por ejemplo, durante un modo de operación con reducción de ruido del sistema de turbina eólica), el generador se puede operar a velocidades a o cerca de su velocidad sincrónica donde la capacidad de potencia reactiva del convertidor de potencia está limitada por las restricciones de ciclado térmico de los elementos de conmutación (por ejemplo, los IGBT). En dichos casos, el presente procedimiento y sistema proponen incrementar la salida de potencia reactiva desde el convertidor de potencia al reducir la frecuencia de conmutación de los elementos de conmutación a una frecuencia que se determina en tiempo real por el controlador y se basa en la provisión de valores de potencia reactiva predefinidos desde el convertidor de potencia a diferentes velocidades de rotor de generador. La frecuencia de conmutación reducida también se basa en el mantenimiento de los elementos de conmutación dentro del límite térmico definido (por ejemplo, por debajo de un valor de temperatura delta definido durante el ciclado térmico de los dispositivos).

[0031] Aunque no se limita a dichas configuraciones, por razones explicativas, los aspectos del presente procedimiento y sistema de la invención se describen en el presente documento con referencia a un sistema de generación de potencia de turbina eólica, y más en particular, a un sistema de DFIG de turbina eólica que suministra potencia real y reactiva a una red.

[0032] En referencia ahora a los dibujos, la FIG. 1 ilustra una vista en perspectiva de un modo de realización de una turbina eólica 10. Como se muestra, la turbina eólica 10 incluye, en general, una torre 12 que se extiende desde una superficie de soporte 14, una góndola 16 montada en la torre 12 y un rotor 18 acoplado a la góndola 16. El rotor 18 incluye un buje rotatorio 20 y al menos una pala de rotor 22 acoplada a y que se extiende hacia afuera desde el buje 20. Por ejemplo, en el modo de realización ilustrado, el rotor 18 incluye tres palas de rotor 22. Sin embargo, en un modo de realización alternativo, el rotor 18 puede incluir más o menos de tres palas de rotor 22. Cada pala de rotor 22 se puede espaciar alrededor del buje 20 para facilitar la rotación del rotor 18 para posibilitar que la energía cinética se transfiera, a partir del viento, en energía mecánica utilizable y, posteriormente, energía eléctrica. Por ejemplo, como se describirá a continuación, el rotor 18 se puede acoplar de forma rotatoria a un generador eléctrico 120 (FIG. 2) para permitir que se produzca energía eléctrica.

5 **[0033]** La generación de potencia eólica típicamente se proporciona por un parque eólico que tiene un gran número (a menudo 100 o más) de turbinas eólicas, en el que cada turbina eólica 10 individual típicamente experimenta una única fuerza de viento. En consecuencia, la potencia de salida para cada generador de turbina eólica 120 individual puede variar de una turbina eólica 10 a otra turbina eólica 10 dentro del parque eólico.

10 **[0034]** Como se entiende, en general, la potencia activa (P) y la potencia reactiva (Q) se proporcionan por cada generador de turbina eólica 120. En algunos modos de realización, un controlador a nivel de parque proporciona comandos de potencia reactiva a los generadores de turbina eólica 120, en base a las necesidades de la red de transmisión (que se pueden dictar por el operador de red o determinar en base al voltaje de red). La demanda (Q) puede ser idéntica para cada generador de turbina eólica. En una metodología de control alternativa, los comandos de potencia reactiva se pueden adaptar individualmente a los generadores de turbina eólica 120 en el parque eólico en base a las diferentes características de generación de potencia de los respectivos generadores de turbina eólica 120, como se describe, por ejemplo, en la pub. de pat. de EE. UU. n.º 2015/0295529. Se debe apreciar que la presente invención no está limitada a la manera o metodología en la que se genera el comando de potencia reactiva para un generador de turbina eólica 120 individual.

20 **[0035]** En referencia ahora a la FIG. 2, se ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un sistema de potencia de DFIG de turbina eólica 100 de acuerdo con aspectos de la presente materia objeto. Aunque la presente materia objeto se describirá, en general, en el presente documento con referencia al sistema 100 mostrado en la FIG. 2, los expertos en la técnica que usen las divulgaciones provistas en el presente documento deben entender que los aspectos de la presente divulgación también pueden ser aplicables en otros sistemas de generación de potencia, y que la invención no está limitada a los sistemas de turbina eólica.

25 **[0036]** En el modo de realización de la FIG. 2, el rotor 18 de la turbina eólica 10 (FIG. 1) se puede acoplar opcionalmente a una caja de engranajes 118, que, a su vez, se acopla al generador 120, que puede ser un generador de inducción doblemente alimentado (DFIG).

30 **[0037]** Como se muestra, el DFIG 120 está conectado a un bus de estátor 154. Un convertidor de potencia está conectado al DFIG 120 por medio de un bus de rotor 156 y al bus de estátor 154 por medio de un bus de lado de línea 188. El bus de estátor 154 proporciona una potencia multifásica de salida (por ejemplo, potencia trifásica) desde un estátor del DFIG 120 y el bus de rotor 156 proporciona una potencia multifásica de salida (por ejemplo, potencia trifásica) de un rotor del DFIG 120. El convertidor de potencia 162 incluye un convertidor de lado de rotor (RSC) 166 y un convertidor de lado de línea (LSC) 168. El DFIG 120 está acoplado por medio del bus de rotor 156 al convertidor de lado de rotor 166. Adicionalmente, el RSC 166 está acoplado al LSC 168 por medio de un enlace de CC 136 a través del que hay un condensador de enlace de CC 138. El LSC 168, a su vez, está acoplado a un bus de lado de línea 188.

40 **[0038]** El RSC 166 y el LSC 168 se pueden configurar para el modo de operación normal en una disposición trifásica de modulación por ancho de pulso ("*pulse width modulation*" o PWM) usando elementos de conmutación de transistor bipolar de puerta aislada (IGBT), como se analizará con más detalle con respecto a la FIG. 3.

45 **[0039]** Además, el convertidor de potencia 162 está acoplado a un controlador de convertidor 174 para controlar la operación del convertidor de lado de rotor 166 y el convertidor de lado de línea 168. Cabe destacar que el controlador 174, en varios modos de realización, se puede configurar como una interconexión entre el convertidor de potencia 162 y un controlador local 176 e incluir cualquier número de dispositivos de control. En un modo de realización, el controlador de convertidor 174 puede incluir un dispositivo de procesamiento (por ejemplo, microprocesador, microcontrolador, etc.) que ejecute instrucciones legibles por ordenador almacenadas en un medio legible por ordenador. Las instrucciones, cuando se ejecutan por el dispositivo de procesamiento, pueden provocar que el dispositivo de procesamiento realice operaciones, incluyendo proporcionar comandos de control (por ejemplo, comandos de frecuencia de conmutación) a los elementos de conmutación del convertidor de potencia 162.

50 **[0040]** Se debe apreciar que el controlador de convertidor 174 y los controladores de turbina eólica locales 176 pueden corresponder cada uno a cualquier dispositivo informático y/o cualquier combinación de dispositivos informáticos adecuados. Por ejemplo, un controlador puede incluir uno o más procesadores y dispositivos de memoria asociados configurados para realizar una variedad de funciones implementadas por ordenador. 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 ("*programmable logic controller*" o PLC), un circuito integrado específico de aplicación y otros circuitos programables. Adicionalmente, el/los dispositivo(s) de memoria puede(n) comprender, en general, elemento(s) de memoria que incluyen, pero sin limitarse a, un medio legible por ordenador (por ejemplo, una memoria de acceso aleatorio ("*random access memory*" o 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 ("*magneto-optical disk*" o MOD), un disco versátil digital ("*digital versatile disc*" o DVD) y/u otros elementos de memoria adecuados. Dicho(s) dispositivo(s) de memoria se puede(n) configurar, en general, para almacenar instrucciones legibles por ordenador adecuadas que, cuando se implementan por el/los procesador(es), configuran el controlador para realizar diversas funciones, tales como las etapas divulgadas en el presente documento.

[0041] Como se menciona, para un sistema de potencia de turbina eólica de DFIG 100 individual, la potencia reactiva (Q) se suministra principalmente por el RSC, por medio del generador 120 y del LSC.

5 **[0042]** En configuraciones típicas, también se pueden incluir diversos interruptores de línea y disyuntores de circuito, por ejemplo, un disyuntor de red 182 para aislar los diversos componentes según sea necesario para la operación normal del DFIG 120 durante la conexión a y desconexión de una carga, tal como la red eléctrica 184. Por ejemplo, un disyuntor de circuito de sistema 178 puede acoplar el lado de sistema 160 a un transformador 180, que se puede acoplar a la red eléctrica 184 por medio del disyuntor de red 182. En modos de realización alternativos, los fusibles pueden reemplazar a algunos o todos los disyuntores de circuito.

10 **[0043]** En operación, la potencia de corriente alterna generada en el DFIG 120 al rotar el rotor 18 se proporciona a la red eléctrica 184 por medio de pistas dobles definidas por el bus de estátor 154 y el bus de rotor 156. En el lado de bus de rotor 156, se proporciona potencia de corriente alterna (CA) multifásica (por ejemplo, trifásica) sinusoidal al convertidor de potencia 162. El convertidor de potencia de lado de rotor 166 convierte la potencia de CA proporcionada desde el bus de rotor 156 en potencia de corriente continua (CC) y proporciona la potencia de CC al enlace de CC 136. Como se entiende, en general, los elementos de conmutación (por ejemplo, IGBT) usados en los circuitos en derivación del convertidor de potencia de lado de rotor 166 se pueden modular para convertir la potencia de CA proporcionada desde el bus de rotor 156 en potencia de CC adecuada para el enlace de CC 136.

15 **[0044]** Además, el convertidor de lado de línea 168 convierte la potencia de CC en el enlace de CC 136 en potencia de salida de CA adecuada para la red eléctrica 184. En particular, los elementos de conmutación (por ejemplo, IGBT) usados en circuitos en derivación del convertidor de potencia de lado de línea 168 se pueden modular para convertir la potencia de CC en el enlace de CC 136 en potencia de CA en el bus de lado de línea 188. La potencia de CA desde el convertidor de potencia 162 se puede combinar con la potencia desde el estátor de DFIG 120 para proporcionar potencia multifásica (por ejemplo, potencia trifásica) que tenga una frecuencia mantenida sustancialmente a la frecuencia de la red eléctrica 184 (por ejemplo, 50 Hz o 60 Hz).

20 **[0045]** Adicionalmente, diversos disyuntores de circuito y conmutadores, tales como el disyuntor de red 182, disyuntor de sistema 178, conmutador de sincronización de estátor 158, disyuntor de convertidor 186 e interruptor de línea 172 se pueden incluir en el sistema de potencia de turbina eólica 100 para conectar o desconectar los buses correspondientes, por ejemplo, cuando el flujo de corriente es excesivo y puede dañar a los componentes del sistema de potencia de turbina eólica 100 o por otras consideraciones operativas. También se pueden incluir componentes de protección adicionales en el sistema de potencia de turbina eólica 100.

25 **[0046]** Además, el convertidor de potencia 162 puede recibir señales de control del controlador local 176 por medio del controlador de convertidor 174. Las señales de control se pueden basar, entre otras cosas, en las características de operación o condiciones detectadas del sistema de potencia de turbina eólica 100, y proporcionar el control de la operación del convertidor de potencia 162. Por ejemplo, se puede usar la retroalimentación en forma de una velocidad detectada del DFIG 120 para controlar la conversión de la potencia de salida del bus de rotor 156 para mantener una fuente de alimentación multifásica (por ejemplo, trifásica) apropiada y equilibrada. En particular, como se describirá a continuación, la velocidad detectada se puede usar como una base para ajustar la frecuencia de conmutación de los elementos de conmutación (por ejemplo, cuando el DFIG 120 está en operación a o cerca de su velocidad sincrónica). También se puede usar otra retroalimentación de otros sensores por el controlador 174 para controlar el convertidor de potencia 162, incluyendo, por ejemplo, retroalimentaciones de corriente y voltajes de bus de rotor y estátor. Usando las diversas formas de información de retroalimentación, se pueden generar señales de control de conmutación (por ejemplo, comandos de temporización de puerta para los IGBT), señales de control de sincronización de estátor y señales de disyuntor de circuito.

30 **[0047]** El convertidor de potencia 162 también compensa o ajusta la frecuencia de la potencia trifásica del rotor en cuanto a cambios, por ejemplo, en la velocidad del viento en el buje 20 y las palas 22. Por lo tanto, las frecuencias de rotor mecánicas y eléctricas se desacoplan y la coincidencia de frecuencia eléctrica de estátor y rotor sustancialmente se facilita independientemente de la velocidad de rotor mecánica.

35 **[0048]** En algunas condiciones, las características bidireccionales del convertidor de potencia 162, y específicamente, las características bidireccionales del LSC 168 y RSC 166, facilitan la retroalimentación de al menos parte de la potencia eléctrica generada al rotor de generador. Más específicamente, la potencia eléctrica se transmite desde el bus de estátor 154 al bus de lado de línea 188 y posteriormente a través del interruptor de línea 172 y al convertidor de potencia 162, específicamente el LSC 168, que actúa como un rectificador y rectifica la potencia de CA trifásica sinusoidal a potencia de CC. La potencia de CC se transmite al enlace de CC 136. El condensador 138 facilita la mitigación de las variaciones de amplitud de voltaje de enlace de CC facilitando la mitigación de un rizado de CC a veces asociado con la rectificación de CA trifásica.

40 **[0049]** La potencia de CC se transmite posteriormente al RSC 166, que convierte la potencia eléctrica de CC en una potencia eléctrica de CA sinusoidal trifásica con voltajes, corrientes y frecuencias predeterminados. Esta conversión se monitoriza y controla por medio del controlador 174. La potencia de CA convertida se transmite desde el RSC 166

por medio del bus de rotor 156 al rotor de generador. De esta manera, el control de potencia reactiva de generador se facilita al controlar la corriente y voltaje de rotor.

5 **[0050]** En referencia ahora a la FIG. 3, se ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización del convertidor de potencia mostrado en la FIG. 2 de acuerdo con aspectos de la presente materia objeto. Como se muestra, el convertidor de lado de rotor (RSC) 166 incluye una pluralidad de circuitos en derivación (por ejemplo, circuitos en derivación H), estando acoplada cada fase de la entrada de bus de rotor 156 al convertidor de lado de rotor 166 a un único circuito en derivación. Además, el convertidor de lado de línea (LSC) 168 también puede incluir una pluralidad de circuitos en derivación. De forma similar al convertidor de lado de rotor 166, el convertidor de lado de línea 168 también incluye un único circuito en derivación para cada fase de salida del convertidor de línea 168. En otros modos de realización, el convertidor de lado de línea 168, el convertidor de lado de rotor 166 o tanto el convertidor de lado de línea 168 como el convertidor de lado de rotor 166 pueden incluir circuitos en derivación en paralelo sin desviarse del alcance de la presente divulgación.

15 **[0051]** Cada circuito en derivación puede incluir, en general, una pluralidad de elementos de conmutación (por ejemplo, IGBT) acoplados en serie entre sí. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 3, cada circuito en derivación incluye un IGBT superior (por ejemplo, IGBT 212) y un IGBT inferior (por ejemplo, IGBT 214). Además, se puede acoplar un diodo en paralelo con cada uno de los IGBT. En modos de realización alternativos, se pueden usar diodos e IGBT en paralelo para incrementar la corriente nominal del convertidor. Como se entiende, en general, el convertidor de lado de línea 168 y el convertidor de lado de rotor 166 se pueden controlar, por ejemplo, proporcionando comandos de control, usando un circuito de activación adecuado, a las puertas de los IGBT. Por ejemplo, el controlador 174 puede proporcionar comandos de temporización de puerta adecuadas a las puertas de los IGBT de los circuitos en derivación. Los comandos de control pueden controlar la frecuencia de conmutación de los IGBT para proporcionar una salida deseada. Se debe apreciar por los expertos en la técnica que, como alternativa a los IGBT, el convertidor de potencia 162 puede incluir cualquier otro elemento de conmutación adecuado.

20 **[0052]** En referencia a la FIG. 3, cada IGBT 212 incluye un diodo de potencia, en el que el IGBT y diodo de potencia se unen a líneas de CC positivas o negativas y las líneas de salida emiten voltajes trifásicos. Los cambios en la corriente de salida de los IGBT 212, usados para producir una forma de onda de corriente de salida trifásica en las líneas de salida, pueden dar como resultado pérdidas de potencia, dando como resultado una mayor temperatura de unión en los IGBT 212. Dichas temperaturas de unión pueden dar como resultado esfuerzo y/o deformación mecánica de los cables de unión, acortando, de este modo, la vida útil de los convertidores 166, 168.

30 **[0053]** Se reconoce que la diferencia de temperatura (ΔT) de ciclo térmico de unión generada en el ciclado de los IGBT de ENCENDIDO a APAGADO afecta significativamente al número de ciclos que el dispositivo puede aguantar y, por tanto, la vida del IGBT. Por ejemplo, una reducción de un cambio de temperatura (ΔT) en aproximadamente 10 °C puede mejorar la vida del semiconductor en un factor de dos. Cambiar la ΔT de 10 °C a 30 °C puede mejorar la vida de menos de 100.000 ciclos hasta más de 400.000 ciclos. Al reducir la frecuencia de conmutación del RSC 166, se reduce la ΔT . Por tanto, la segunda frecuencia de conmutación también se puede establecer en base al mantenimiento de la ΔT de unión por debajo de un valor definido.

35 **[0054]** En referencia ahora a la FIG. 4, se ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento 300 para operar un sistema de generación de potencia de acuerdo con aspectos de la presente materia objeto. En general, el procedimiento 300 se describe en el presente documento como implementado usando un sistema de potencia de turbina eólica, tal como el sistema de potencia de turbina eólica de DFIG 100 descrito anteriormente con referencia a la FIG. 2. Sin embargo, se debe apreciar que el procedimiento 300 divulgado se puede implementar usando cualquier otro sistema de generación de potencia adecuado que esté configurado para suministrar potencia, incluyendo potencia reactiva, para su aplicación a una carga, tal como una red eléctrica. Además, aunque la FIG. 4 representa las etapas realizadas en un orden particular con propósitos de ilustración y análisis, los procedimientos descritos en el presente documento no están limitados a ningún orden o disposición particular. Un experto en la técnica, usando las divulgaciones provistas en el presente documento, apreciará que se pueden omitir, reorganizar, combinar y/o adaptar diversas etapas de los procedimientos de diversos modos.

40 **[0055]** En (302), el procedimiento 300 incluye generar potencia de corriente alterna (CA) con un generador de un sistema de generación de potencia, tal como un sistema de potencia de turbina eólica que incorpora un DFIG como se analiza anteriormente. La potencia de CA puede ser una potencia de corriente alterna multifásica, tal como una potencia de corriente alterna trifásica.

45 **[0056]** En (304), la potencia de CA se recibe por un convertidor de potencia por medio de un bus y se convierte por el convertidor de potencia en una potencia de salida adecuada para su aplicación a una carga (por ejemplo, a una red eléctrica). La potencia de salida incluye potencia real (P) y potencia reactiva (Q). El convertidor de potencia incluye una pluralidad de elementos de conmutación, tales como IGBT, en los que la modulación por ancho de pulso de los elementos de conmutación se puede controlar a una primera frecuencia de conmutación para proporcionar potencia de salida para su aplicación a la carga a una primera velocidad de operación del rotor de generador. La primera frecuencia de conmutación en el convertidor de lado de rotor (RSC) de un convertidor de potencia para DFIG puede ser la frecuencia usada típicamente para todas las velocidades de rotor de generador dentro del intervalo de velocidad

de operación normal del generador (por ejemplo, de aproximadamente 2000 o 3000 Hz). Sin embargo, como se analiza anteriormente, aunque esta primera conmutación (elevada) es deseable para la mayoría de las velocidades de operación, da como resultado tensiones de ciclado térmico y temperaturas máximas en los elementos de conmutación y limita la salida de potencia reactiva del convertidor de potencia (en particular, el RSC) a o cerca de velocidades sincrónicas del rotor de generador.

[0057] En (306), se determina una segunda frecuencia de conmutación reducida para los elementos de conmutación a una velocidad de rotor de generador cambiada, en particular, velocidades a o cerca de la velocidad sincrónica. El convertidor de potencia recibe un comando de control para reducir la frecuencia de conmutación de los elementos de conmutación a la segunda frecuencia de conmutación desde un controlador. La segunda frecuencia de conmutación se determina en el tiempo de operación real del generador en base a la velocidad de rotor de generador cambiada y se selecciona para proporcionar un valor de potencia reactiva definido desde el convertidor de potencia a las velocidades de rotor de generador cambiadas a o cerca de la velocidad sincrónica. La segunda frecuencia de conmutación también se puede definir en base al mantenimiento de los IGBT por debajo de un valor de ΔT de unión. La segunda frecuencia de conmutación compensa la deficiencia de potencia reactiva que de otro modo resultaría si la primera frecuencia de conmutación se mantuviera a las velocidades de rotor de generador cambiadas.

[0058] Se debe apreciar que la segunda frecuencia de conmutación en base a las variables de velocidad de rotor, potencia reactiva y límite de ΔT se puede determinar empíricamente por medio de modelado informático, pruebas de sistemas reales y por cualquier otro medio adecuado.

[0059] En un determinado modo de realización, el cambio (deficiencia) de potencia reactiva en el convertidor de potencia se puede medir en tiempo real a medida que cambia la velocidad de rotor de generador, en el que la frecuencia de conmutación de los IGBT se reduce en un circuito de control de retroalimentación hasta que la deficiencia de potencia reactiva se compensa por la segunda frecuencia de conmutación.

[0060] En un modo de realización alternativo, la segunda frecuencia de conmutación se puede predefinir. Por ejemplo, un controlador puede determinar la segunda frecuencia de conmutación a partir de una tabla de consulta 216 predefinida y almacenada (FIG. 5) que remite valores de potencia reactiva generados a la segunda frecuencia de conmutación para diferentes velocidades de rotor de generador a o cerca de la velocidad sincrónica (en el modo de realización de la tabla de consulta 216 representada en la fig. 5, la velocidad sincrónica del rotor de generador es de 1200 rpm). La información en la tabla de consulta se puede presentar de diversos modos dentro del alcance y el espíritu de los valores "predefinidos". Por ejemplo, en referencia a la FIG. 5, la tabla de consulta 216 proporciona las diferentes velocidades de rotor de generador como una pluralidad de subintervalos (por ejemplo, 1140-1170 rpm; 1170-1190 rpm, etc.), en la que para cada subintervalo se proporciona una segunda frecuencia de conmutación para un valor de potencia reactiva particular, la segunda frecuencia de conmutación también determinada para satisfacer el límite de ΔT definido para los elementos de conmutación. Por ejemplo, para proporcionar 2250 kVAr desde el convertidor de potencia a una velocidad de rotor de generador dentro del subintervalo de 1190-1210 rpm, la segunda frecuencia de conmutación es un 75 % de la primera frecuencia de conmutación (valor base) a velocidades de operación normales del rotor de generador (por ejemplo, velocidades fuera de la banda "a o cerca de" la velocidad sincrónica). Como se muestra en la fig. 5, la tabla de consulta 216 puede proporcionar una pluralidad de valores de potencia reactiva diferentes y segundas frecuencias de conmutación correspondientes para cada subintervalo de velocidades de rotor de generador. Por ejemplo, para proporcionar 2300 kVAr desde el convertidor de potencia a la misma velocidad de rotor de generador dentro del subintervalo de 1190-1210 rpm, la segunda frecuencia de conmutación es un 70 % de la primera frecuencia de conmutación.

[0061] El valor de generación de potencia reactiva deseado requerido para la producción por el convertidor de potencia a la velocidad de rotor de generador cambiada (por ejemplo, 2200 kVAr o 2300 kVAr) se puede predefinir en base a características conocidas del sistema de generación de potencia a la primera frecuencia de conmutación y/o los requisitos de potencia reactiva de carga (red) conocidos e introducir en la tabla de consulta para determinar la segunda frecuencia de conmutación. De forma alternativa, la salida de potencia reactiva del convertidor de potencia se puede medir a la primera frecuencia de conmutación y usar para introducirse en la tabla de consulta 216 para determinar la segunda frecuencia de conmutación que se necesitará a la velocidad de rotor de generador cambiada.

[0062] En determinados modos de realización, también se puede desear limitar o definir las segundas frecuencias de conmutación de modo que las distorsiones armónicas inducidas por el convertidor de potencia y transferidas a la red por medio del LSC o el generador estén dentro de un valor de distorsión armónica total (THD) predefinido establecido para el sistema de generación de potencia.

[0063] En (308), se genera un comando (por ejemplo, desde el controlador 174) para reducir la frecuencia de conmutación a la segunda frecuencia de conmutación para incrementar la salida de potencia reactiva del convertidor de potencia. Este comando se puede generar antes de que cambie la velocidad de rotor de generador, durante el cambio de velocidad o después del cambio de velocidad de rotor de generador.

[0064] En (310), la salida de potencia reactiva incrementada desde el convertidor de potencia a la velocidad cambiada del rotor de generador se suministra a la carga, que puede ser una red eléctrica. Sin embargo, en otros

modos de realización, la carga puede ser un motor, una carga resistiva o cualquier otra carga. Se debe apreciar que, mientras que una red eléctrica tradicionalmente es un proveedor de potencia, la red eléctrica puede actuar como una carga para el sistema de potencia de turbina eólica 100 divulgado.

- 5 **[0065]** Se debe apreciar que, como se indica anteriormente, la "velocidad sincrónica" de un generador, en general, se refiere a la velocidad a la que la corriente de rotor es igual a la corriente CC. Además, se debe apreciar que la velocidad de operación de un generador puede estar "a o cerca" de su velocidad sincrónica cuando la velocidad de operación está dentro de +/- 10 % de la velocidad sincrónica, tal como al operar el generador a una velocidad de dentro de +/- 5 % de la velocidad sincrónica o a una velocidad de dentro de +/- 2,5 % de la velocidad sincrónica y
- 10 cualquier otro subintervalo entre las mismas.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento (300) para operar un sistema de generación de potencia (100) que suministra potencia real y reactiva a una carga, que comprende:
- 5 con un convertidor de potencia (162) que tiene elementos de conmutación, recibir (304) potencia de corriente alterna de un generador (120) y generar la potencia reactiva dentro de un intervalo de operación de velocidad de rotor de generador;
- 10 a medida que la velocidad de rotor de generador cambia y se acerca a la velocidad sincrónica, generar (308) un comando de control para disminuir una frecuencia de conmutación de los elementos de conmutación desde una primera frecuencia de conmutación a una segunda frecuencia de conmutación, en el que la salida de potencia reactiva del convertidor de potencia (162) se incrementa a la segunda frecuencia de conmutación; y
- 15 en el que la segunda frecuencia de conmutación se determina en el tiempo de operación real del generador (120) en base a la provisión de un valor de potencia reactiva definido desde el convertidor de potencia (162) a la velocidad de rotor de generador cambiada a o cerca de la velocidad sincrónica y manteniendo los elementos de conmutación dentro de los límites térmicos definidos.
- 20 2. El procedimiento como en la reivindicación 1, en el que el convertidor de potencia (162) comprende un convertidor de lado de línea, LSC (168), y un convertidor de lado de rotor, RSC (166), generando el RSC (166) la potencia reactiva.
- 25 3. El procedimiento como en la reivindicación 2, en el que el generador (120) es un generador de inducción doblemente alimentado, DFIG, en un sistema de generación de potencia de turbina eólica (100).
4. El procedimiento como en la reivindicación 2, en el que los elementos de conmutación comprenden elementos de transistor bipolar de puerta aislada, IGBT, (212, 214).
- 30 5. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que un controlador (174) determina la segunda frecuencia de conmutación a partir de una tabla de consulta que remite valores de potencia reactiva generados a la segunda frecuencia de conmutación a diferentes velocidades de rotor de generador.
- 35 6. El procedimiento como en la reivindicación 5, en el que la tabla de consulta proporciona las diferentes velocidades de rotor de generador como una pluralidad de subintervalos, y para cada subintervalo se proporciona una segunda frecuencia de conmutación para el valor de potencia reactiva.
- 40 7. El procedimiento como en la reivindicación 6, en el que la tabla de consulta proporciona una pluralidad de valores de potencia reactiva y una segunda frecuencia de conmutación correspondiente para cada subintervalo a cada uno de los valores de potencia reactiva.
- 45 8. El procedimiento como en la reivindicación 5, en el que el valor de potencia reactiva requerido del sistema de generación de potencia (100) a una velocidad de rotor de generador particular se predefine e introduce en la tabla de consulta para determinar la segunda frecuencia de conmutación.
- 50 9. El procedimiento como en la reivindicación 5, en el que el valor de potencia reactiva requerido del sistema de generación de potencia (100) a una velocidad de rotor de generador particular se mide en tiempo real e introduce en la tabla de consulta para determinar la segunda frecuencia de conmutación.
10. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la segunda frecuencia de conmutación se determina de modo que las distorsiones armónicas inducidas por el convertidor de potencia (162) en la carga estén dentro de un valor límite predefinido.
- 55 11. Un sistema de turbina eólica (100) configurado para suministrar potencia real y reactiva a una carga, que comprende:
- 60 un rotor de turbina eólica (18) que comprende un buje (20) y una pluralidad de palas (22) acopladas al buje (20);
- un generador de inducción doblemente alimentado, DFIG (120), acoplado al rotor de turbina eólica (18) y operable a una velocidad de rotor de generador;
- 65 un convertidor de potencia (162) configurado con el DFIG (120) y que comprende un convertidor de lado de línea, LSC (168), y un convertidor de lado de rotor, RSC (166), comprendiendo el RSC (166) una pluralidad de elementos de conmutación configurados para generar la potencia reactiva;

- 5 un controlador (174) en comunicación con el convertidor de potencia (162) y, a medida que la velocidad de rotor de generador cambia y se acerca a la velocidad sincrónica, configurado para generar un comando de control para disminuir una frecuencia de conmutación de los elementos de conmutación en el RSC (166) desde una primera frecuencia de conmutación a una segunda frecuencia de conmutación para incrementar una salida de la potencia reactiva del RSC (166); y
- 10 en el que la segunda frecuencia de conmutación se determina en el tiempo de operación real del generador por el controlador (174) para proporcionar un valor de potencia reactiva definido generado por el RSC (166) a una velocidad de rotor de generador cambiada a o cerca de la velocidad sincrónica mientras se mantienen los elementos de conmutación dentro de límites térmicos definidos.
- 15 12. El sistema de turbina eólica (100) como en la reivindicación 11, en el que los elementos de conmutación comprenden elementos de transistor bipolar de puerta aislada, IGBT, (212, 214).
- 20 13. El sistema de turbina eólica (100) de las reivindicaciones 11-12, en el que el controlador (174) determina la segunda frecuencia de conmutación a partir de una tabla de consulta que remite valores de potencia reactiva generados a la segunda frecuencia de conmutación a diferentes velocidades de rotor de generador.
- 25 14. El sistema de turbina eólica (100) como en la reivindicación 13, en el que la tabla de consulta comprende las diferentes velocidades de rotor de generador presentadas como una pluralidad de subintervalos, y para cada subintervalo se proporciona una segunda frecuencia de conmutación para un valor de potencia reactiva particular.
15. El sistema de turbina eólica (100) como en la reivindicación 14, en el que la tabla de consulta comprende una pluralidad de los valores de potencia reactiva y segundas frecuencias de conmutación correspondientes en los subintervalos de velocidades de rotor de generador.

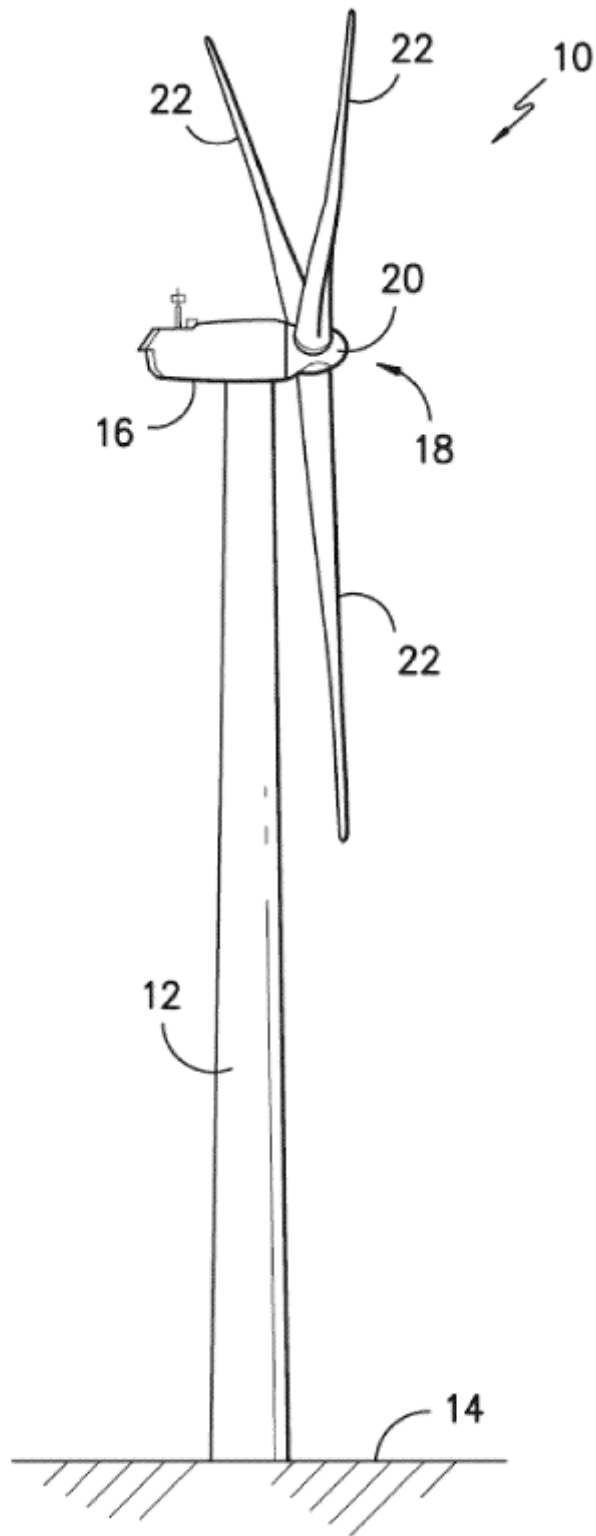


FIG. -1-

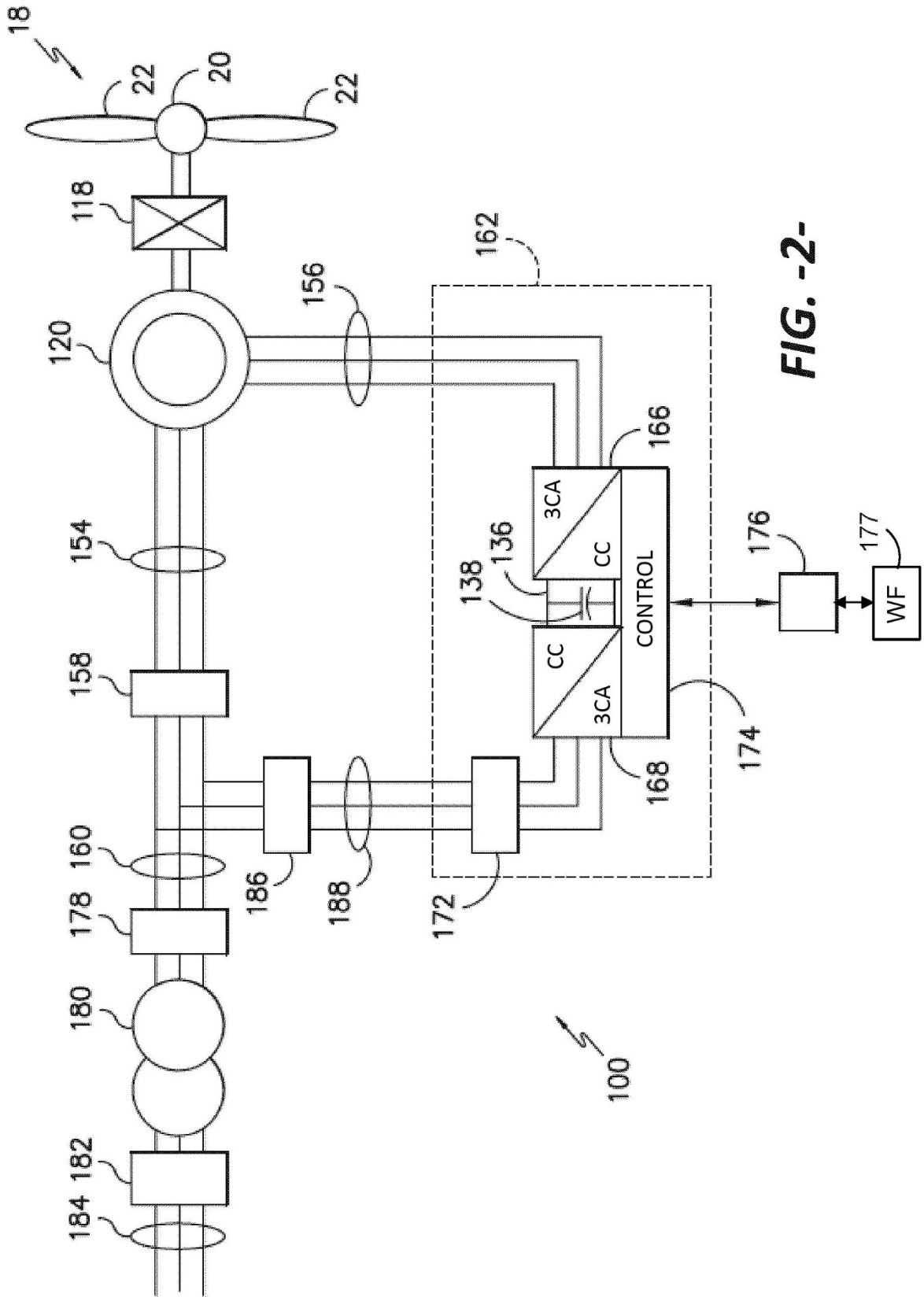


FIG. -2-

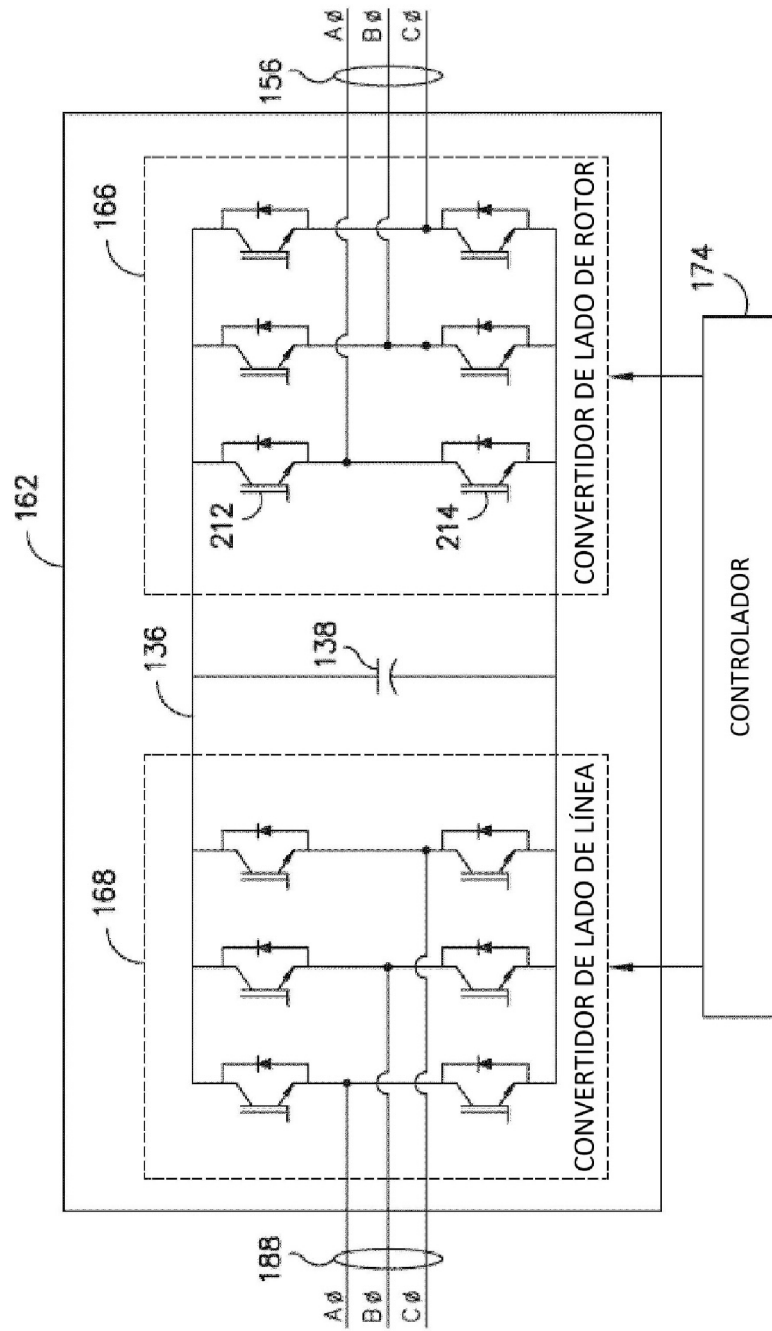


FIG. -3-

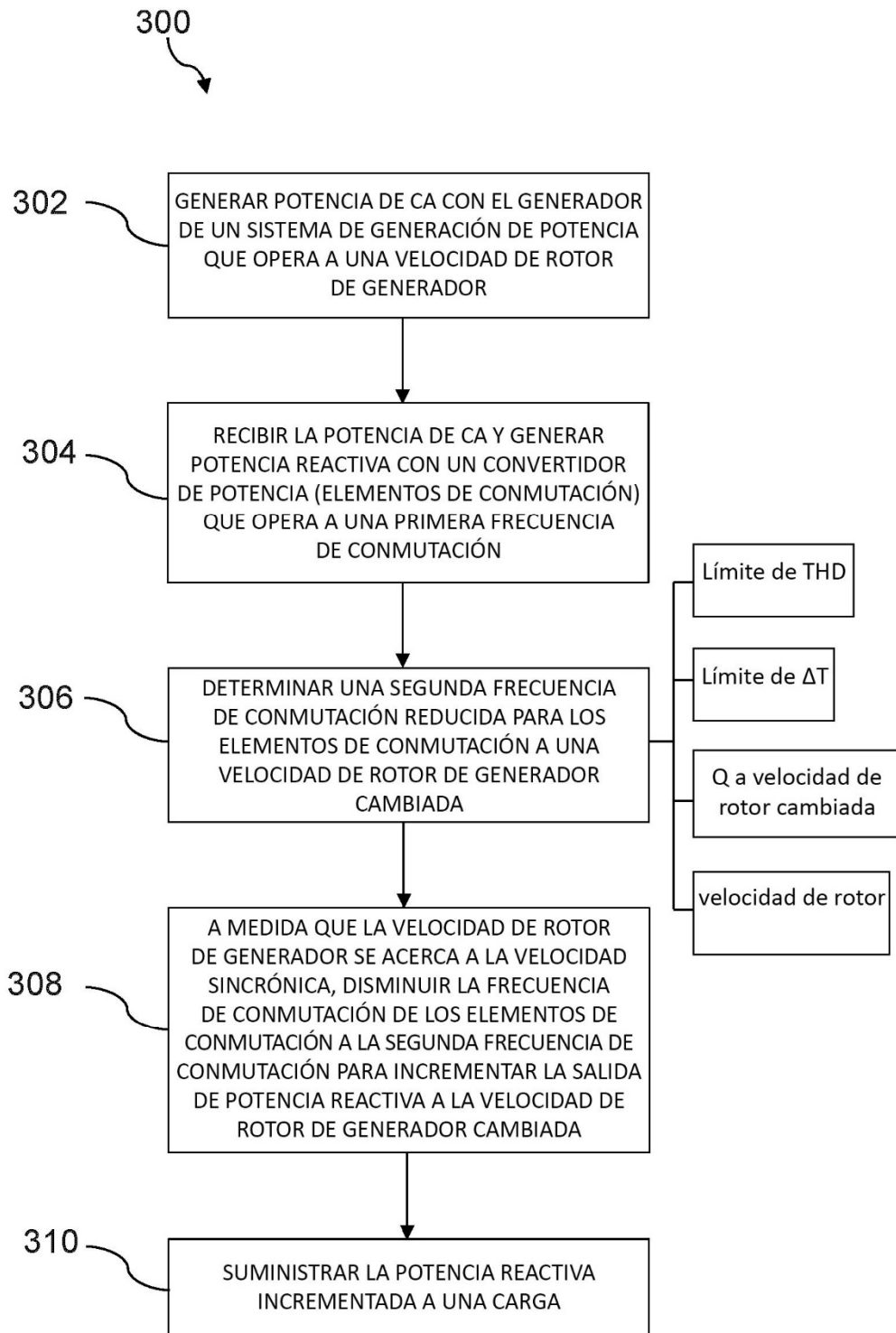


FIG. -4-

216


Velocidad (rpm)	Frecuencia de conmutación del RSC (% del valor base a velocidad normal)		
1140-1170	90 %	85 %	80 %
1170-1190	85 %	80 %	75 %
1190-1210	80 %	75 %	70 %
1210-1230	85 %	85 %	75 %
1230-1260	90 %	80 %	80 %
Potencia reactiva (VAr)	2200 kVAr	2250 kVAr	2300 kVAr

FIG. -5-