

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 948 202**

51 Int. Cl.:

H02J 3/50 (2006.01)

H02J 3/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.05.2020** **E 20173047 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.03.2023** **EP 3736940**

54 Título: **Sistema y procedimiento para el control coordinado de la potencia reactiva de un generador y un dispositivo de compensación de potencia reactiva en un sistema de turbina eólica**

30 Prioridad:

06.05.2019 US 201916403789

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

01.09.2023

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**GADIRAJU, KASI VISWANADHA RAJU;
RAY, OLIVE;
KOLHATKAR, YASHOMANI YASHODHAN y
TIWARI, ARVIND KUMAR**

74 Agente/Representante:

DE ROOIJ, Mathieu Julien

ES 2 948 202 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 coordinado de la potencia reactiva de un generador y un dispositivo de compensación de potencia reactiva en un sistema de turbina eólica

Campo

[0001] La presente divulgación se refiere, en general, a sistemas de generación de potencia y, más en particular, a un sistema y procedimiento para el control coordinado de diversas fuentes de potencia reactiva en un sistema de turbina eólica.

Antecedentes

[0002] En general, durante la operación de una turbina eólica, el viento impacta sobre 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 turbinas eólicas convencionales, el generador se acopla eléctricamente a un convertidor de potencia bidireccional que incluye un convertidor de lado de rotor (*"rotor-side converter"* o 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 típicamente incluye 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).

[0003] El sistema anterior, en general, se denomina sistema de generador de inducción doblemente alimentado (*"doubly-fed induction generator"* o DFIG), incluyendo sus principios operativos que los devanados de rotor estén conectados a la red por medio de anillos rozantes (*"slip rings"*) 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 fuente principal 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 asista a la red durante fluctuaciones de voltaje extremas en la red.

[0004] Típicamente, la cantidad de potencia reactiva que se debe 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 operario de la 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).

[0005] Es conocido cómo aumentar la capacidad de potencia reactiva de un parque eólico por el uso de dispositivos de compensación de potencia reactiva, tales como dispositivos compensadores VAR estáticos (*"static VAR compensator"* o SVC) o generadores VAR estáticos (*"static VAR generator"* o SVG), en uno o más buses colectores comunes compartidos por las turbinas eólicas. Por ejemplo, la pub. de solicitud de patente de EE. UU. n.º 2017/0025858 describe una central de energía eólica conectada a una red eléctrica, incluyendo la central de energía una pluralidad de generadores de turbina eólica y un dispositivo compensador síncrono estático (*"Static Synchronous Compensator"* o STATCOM) en un bus común con los generadores de turbina eólica. En un primer modo de control, los generadores de turbina eólica y STATCOM se operan en relación maestro-esclavo para la generación de potencia reactiva. Tras una señal de activación, tal como un acontecimiento de bajo voltaje en la red, se implementa un segundo modo de control en el que los generadores de turbina eólica y STATCOM se conmutan a una relación maestro-esclavo para la generación de potencia reactiva.

[0006] Además, el documento CN 103368187 A describe un procedimiento en base al control coordinado mejorado de la potencia reactiva en una turbina eólica, usando un interruptor de CC y una resistencia de frenado dinámico en serie SDBR en lugar de una palanca de protección rápida de rotor. El procedimiento puede controlar el voltaje de bus de CC y suprimir la sobrecorriente de lado de rotor durante un fallo, desempeñando el papel de proteger el condensador de lado de CC y el convertidor de lado de rotor durante un fallo. El lado de estátor del generador puede proporcionar asistencia de potencia reactiva a la red durante un fallo. En el punto de red se instala un dispositivo de compensación de potencia reactiva STATCOM. El procedimiento de control de coordinación de potencia reactiva entre la turbina doblemente alimentada y el STATCOM se da considerando el principio de mínima utilización de dispositivos de potencia reactiva.

[0007] Sería deseable en la industria un sistema y procedimiento mejorados que integre una fuente de potencia reactiva auxiliar a nivel local con la turbina eólica y coordine la generación de potencia reactiva de las diferentes fuentes locales a nivel de turbina eólica.

Breve descripción

[0008] 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 práctica de la invención.

[0009] En un aspecto, la presente divulgación está dirigida a un procedimiento para operar un sistema de generación de potencia de acuerdo con la reivindicación 1.

[0010] La etapa de coordinación puede incluir, cuando (Qcmd) sea menor que la capacidad máxima de (Qmnb), suministrar toda la (Qcmd) con (Qmnb).

[0011] En un modo de realización particular del procedimiento, las capacidades de potencia reactiva máximas para (Qmnb), (Qs) y (Ql) se determinan en tiempo real en base a uno cualquiera o una combinación de: estado operativo del sistema de potencia; temperatura ambiente; o restricciones térmicas del generador; convertidor de potencia o dispositivo de compensación de potencia reactiva. Los valores para (Qmnb), (Qs) y (Ql) se pueden determinar y actualizar de forma continua o periódica en el sistema de control.

[0012] En un modo de realización particular, el procedimiento engloba controlar una turbina eólica con un sistema de generador de inducción doblemente alimentado (DFIG), en el que (Qcmd) es una demanda de potencia reactiva realizada en la turbina eólica. En este modo de realización, la turbina eólica puede ser una de una pluralidad de turbinas eólicas dentro de un parque eólico que suministra potencia real y reactiva a la red, y en la que (Qcmd) se determina por un controlador a nivel de parque dentro del parque eólico y se transmite a un controlador local en la turbina eólica. Para suministrar (Qcmd), a continuación, el controlador local de turbina eólica puede asignar (Qmnb) al dispositivo de compensación de potencia reactiva, y (Qs) y (Ql) al convertidor de potencia. En un modo de realización alternativo, el controlador local de turbina eólica transmite (Qcmd) a un controlador de convertidor asociado con el convertidor de potencia, en el que el controlador de convertidor asigna (Qmnb) al dispositivo de compensación de potencia reactiva y controla la operación del convertidor de potencia para generar (Qs), y (Ql) para suministrar (Qcmd).

[0013] La presente materia objeto también engloba un sistema de generación de potencia que utiliza el procedimiento analizado anteriormente. Por ejemplo, la invención engloba un sistema de turbina eólica configurado para suministrar potencia real y reactiva a una red, incluyendo el sistema de turbina eólica una turbina eólica con un rotor, un buje y una pluralidad de palas acopladas al buje. Un sistema de generador de inducción doblemente alimentado (DFIG) está acoplado al rotor, comprendiendo además el sistema de DFIG un convertidor de potencia con un convertidor de lado de línea (LSC) y un convertidor de lado de rotor (RSC), en el que el sistema de DFIG está configurado para generar una potencia reactiva de lado de estátor de generador (Qs) y una potencia reactiva de lado de línea de generador (Ql). El sistema de turbina eólica incluye además un dispositivo de compensación de potencia reactiva especializado configurado operativamente con el sistema de DFIG para generar una potencia reactiva (Qmnb). Un sistema de control local está configurado para asignar (Qs), (Ql) y (Qmnb) de acuerdo con el procedimiento analizado anteriormente para suministrar la demanda de potencia reactiva (Qcmd) realizada en el DFIG.

[0014] El dispositivo de compensación de potencia reactiva puede ser uno cualquiera o una combinación de un compensador VAR estático (SVC), un dispositivo generador VAR estático (SVG) o un dispositivo compensador síncrono estático (STATCOM).

[0015] 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.

[0016] 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

[0017] Una divulgación completa y suficiente de la presente invención, incluyendo el mejor modo de la misma, dirigida a un experto en la técnica, se expone en la memoria descriptiva, 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 DFIG de turbina eólica 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 esquemático que representa el flujo de potencia real y reactiva en un sistema de DFIG de turbina eólica de acuerdo con aspectos de la presente divulgación;

la FIG. 5 es un diagrama de un modo de realización de controlador de turbina eólica de acuerdo con aspectos de la presente divulgación;

la FIG. 6 es un diagrama de un modo de realización de controlador de turbina eólica alternativo de acuerdo con aspectos de la presente divulgación;

la FIG. 7 es un diagrama esquemático que representa diversas localizaciones de un dispositivo de compensación de potencia reactiva en un sistema de DFIG de turbina eólica; y

la FIG. 8 es un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento de acuerdo con la presente divulgación.

Descripción detallada

[0018] 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 apartarse del alcance de la invención como se define por las reivindicaciones adjuntas.

[0019] Por ejemplo, los rasgos característicos ilustrados o descritos como parte de un modo de realización se pueden usar con otro modo de realización para proporcionar todavía otro modo de realización. Por tanto, se pretende que la presente invención cubra dichas modificaciones y variaciones de modo que entren dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas y sus equivalentes.

[0020] En general, la presente materia objeto está dirigida a un sistema y procedimiento para operar un sistema de generación de potencia que suministra potencia real y reactiva a una red, como se analiza anteriormente, en la que el sistema de generación de potencia incluye un generador con un convertidor de potencia y un dispositivo de compensación de potencia reactiva integrado individual y especializado. El sistema de generación de potencia se puede configurar como una turbina eólica con un sistema de DFIG, en el que la turbina eólica puede ser una de una pluralidad de turbinas eólicas en un parque eólico. El procedimiento incluye recibir una demanda de potencia reactiva total (Q_{cmd}) realizada en el sistema de generación de potencia en un estado operativo en tiempo real del sistema de generación de potencia y un estado de red. Se determina una capacidad de potencia reactiva máxima para cada una de una potencia reactiva de lado de estátor de generador (Q_s), una potencia reactiva de lado de línea de generador (Q_l) y potencia reactiva del dispositivo de compensación de potencia reactiva (Q_{mvb}). El suministro de (Q_{cmd}) asignado entre (Q_s), (Q_l) y (Q_{mvb}) se coordina en el estado operativo en tiempo real del sistema de generación de potencia y el estado de red, en el que (Q_{mvb}) se prioriza como una primera fuente de potencia reactiva, y una o ambas de (Q_s) y (Q_l) como una segunda fuente de potencia reactiva.

[0021] 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.

[0022] 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, en general, incluye 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 20 rotatorio y al menos una pala de rotor 22 acoplada a y que se extiende hacia afuera del 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 permitir que la energía cinética se transfiera del viento a 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 la producción de energía eléctrica.

[0023] 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 10 con generadores de turbina eólica 120 asociados (FIG. 2), en el que cada turbina eólica 10 individual típicamente experimenta una fuerza de viento única. 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.

[0024] Como se entiende, en general, la potencia activa (P) y la potencia reactiva (Q) se proporcionan por cada sistema de generador de turbina eólica (por ejemplo, el sistema 100 representado en la FIG. 2). En algunos modos de realización, un controlador 177 a nivel de parque (FIG. 5) proporciona consignas de potencia reactiva (Qcmd) al sistema de generador de turbina eólica en base a las necesidades de la red de transmisión (que se pueden dictar por el operario de la red o determinar en base al voltaje de red). La demanda (Qcmd) puede ser idéntica para cada generador de turbina eólica. En una metodología de control alternativa, las consignas 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 la consigna de potencia reactiva para un generador de turbina eólica 120 individual.

[0025] En referencia ahora a la FIG. 2, se proporciona un diagrama esquemático de un sistema de generador de turbina eólica realizado como un sistema de potencia de DFIG de turbina eólica ("sistema 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 proporcionadas en el presente documento deben entender que aspectos de la presente divulgación también son aplicables a otros sistemas de generación de potencia y, como se menciona anteriormente, que la invención no está limitada a sistemas de turbina eólica.

[0026] 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).

[0027] 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 138 de enlace de CC. El LSC 168, a su vez, está acoplado a un bus de lado de línea 188.

[0028] El RSC 166 y el LSC 168 se pueden configurar para el modo operativo normal en una disposición trifásica de modulación por ancho de pulso (PWM) usando elementos de conmutación de transistor bipolar de puerta aislada (IGBT), como se analizará con más detalle con respecto a la FIG. 3.

[0029] 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 del convertidor de lado de línea 168. Cabe destacar que el controlador de convertidor 174 se puede configurar como una interfaz entre el convertidor de potencia 162 y un controlador (sistema de control) 176 de turbina eólica local e incluir cualquier número de dispositivos de control. En un modo de realización, el controlador 174 puede incluir un dispositivo de procesamiento (por ejemplo, microprocesador, microcontrolador, etc.) que ejecuta 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 consignas de control (por ejemplo, consignas de frecuencia de conmutación) a los elementos de conmutación del convertidor de potencia 162.

[0030] Como se menciona, para un sistema de potencia de turbina eólica 100 de DFIG individual, la potencia reactiva se suministra principalmente por el RSC, por medio del generador 120 y del LSC.

[0031] En configuraciones típicas, también se pueden incluir diversos interruptores de línea y disyuntores de circuito, incluyendo, 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 bus 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.

[0032] 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.

[0033] 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).

[0034] 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.

[0035] Además, el convertidor de potencia 162 puede recibir señales de control, por ejemplo, del sistema de control 176 local por medio del controlador de convertidor 174. Las señales de control se pueden basar, entre otras cosas, en las características operativas 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 realimentación de otros sensores por el controlador 174 o sistema de control 176 para controlar el convertidor de potencia 162, que incluye, por ejemplo, los voltajes de bus de estátor y rotor y las realimentaciones de corriente. Usando las diversas formas de información de retroalimentación, se pueden generar señales de control de conmutación (por ejemplo, consignas de temporización de puerta para los IGBT), señales de control de sincronización de estátor y señales de disyuntor de circuito.

[0036] 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 en las palas 22. Por lo tanto, las frecuencias de rotor mecánicas y eléctricas están desacopladas y la coincidencia entre la frecuencia de estátor y rotor eléctrica sustancialmente se facilita independientemente de la velocidad mecánica del rotor.

[0037] 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 corriente continua. La potencia de CC se transmite al enlace de CC 136. El condensador 138 facilita la mitigación de las variaciones de amplitud del voltaje del enlace de CC facilitando la mitigación de una ondulación de CC a veces asociada con una rectificación de CA trifásica.

[0038] 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 de convertidor 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.

[0039] 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. 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 paralelos sin desviarse del alcance de la presente divulgación.

[0040] 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 consignas de control, usando un circuito de excitación adecuado, a las puertas de los IGBT. Por ejemplo, el controlador de convertidor 174 puede proporcionar consignas de temporización de puerta adecuadas a las puertas de los IGBT de los circuitos en derivación. Las consignas 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.

[0041] La FIG. 4 representa el flujo de potencia real (P) y reactiva (Q) en un sistema de potencia de turbina eólica 100 configurado con un sistema de DFIG 102. Como se entiende en la técnica, la fuente principal de potencia reactiva en el sistema de DFIG es del RSC 166 por medio del generador 102 (potencia reactiva de lado de estátor de generador (Qs)) y del RSC 166 por medio del LSC 168 (potencia reactiva de lado de línea de generador (Ql)). Un filtro de distorsión de armónicos 175 está configurado en el bus de lado de línea. El uso del convertidor de potencia 162, en particular, el RSC 166, para controlar la corriente de rotor hace posible ajustar la potencia reactiva total (Qwtg) del sistema 100 que se alimenta a la red desde el RSC 166 independientemente de la velocidad de rotación del generador 102. Además, el generador DFIG 102 puede importar o exportar potencia reactiva, lo que permite que el sistema asista a la red durante fluctuaciones de voltaje extremas en la red.

[0042] Todavía en referencia a la FIG. 4, el sistema de potencia de turbina eólica 100 incluye un dispositivo de compensación de potencia reactiva 200 individual (también denominado en el presente documento caja VAR modular ("modular VAR Box" o MVB)) que genera una potencia reactiva auxiliar (Qm vb). En el modo de realización representado, el dispositivo de compensación de potencia reactiva 200 está conectado al bus de lado de línea (con un filtro de distorsión de armónicos 175) de modo que (Qm vb) se combine con (Ql) en el bus de lado de línea como (Q), en el que (Q) y (Qs) se combinan en el transformador de tres vías 202. Por tanto, la potencia reactiva total (Qwtg) del sistema de potencia de turbina eólica 100 es:

$$(Q_{wtg}) = (Q_s) + (Q),$$

en la que

$$(Q) = (Q_l) + (Q_{m vb})$$

[0043] La potencia reactiva total (Qwtg) y la potencia real total (Pwtg) se distribuyen desde el transformador 202 a la red.

[0044] La FIG. 7 es un diagrama que representa diversas localizaciones operativas para la integración del dispositivo de compensación de potencia reactiva 200 localmente con un sistema de turbina eólica 100 individual. La línea discontinua "A" indica que el dispositivo de compensación de potencia reactiva 200 está conectado al bus de lado de línea 188 entre el LSC 168 y el transformador de tres vías 202. En el diagrama, el transformador 180 puede ser un transformador de subestación en el punto de interconexión (POI) con la red. La línea discontinua "B" indica que el dispositivo de compensación de potencia reactiva 200 se puede conectar (por medio de un transformador 204) a un bus 155 corriente abajo del disyuntor de red 182 (pero en estrecha proximidad del sistema de turbina eólica 100) o entre el disyuntor de red 182 y el transformador de tres vías 202. Se debe apreciar que la presente materia no se limita a las localizaciones de integración representadas en la FIG. 7, y que se pueden determinar otras localizaciones adecuadas por los expertos en la técnica.

[0045] Como se menciona, el presente procedimiento engloba controlar una turbina eólica 10 con un sistema de generador de inducción doblemente alimentado (DFIG) 102, en el que la turbina eólica 10 puede ser una de una pluralidad de turbinas eólicas dentro de un parque eólico que suministra potencia real y reactiva a la red. En referencia a la FIG. 5, (Qcmd) es una demanda de potencia reactiva realizada en la turbina eólica por un controlador 177 a nivel de parque dentro del parque eólico y transmitida al controlador 176 local en la turbina eólica. A continuación, el controlador local puede asignar (Qm vb) al dispositivo de compensación de potencia reactiva 200 (que puede incluir un controlador separado) y asignar (Qs) y (Ql) al controlador de convertidor 174 para controlar el convertidor de potencia 162 de acuerdo con las respectivas demandas de potencia reactiva.

[0046] La FIG. 6 es un modo de realización alternativo en el que el controlador 176 de turbina eólica local recibe la demanda (Qcmd) del controlador 177 a nivel de campo y transmite la demanda al controlador de convertidor de potencia 174. El controlador de convertidor 174 asigna (Qmvp) al dispositivo de compensación de potencia reactiva 200 y controla el convertidor de potencia 162 para generar (Qs) y (Ql).

[0047] Se debe apreciar que el controlador de convertidor 174, el controlador 176 de turbina eólica local y el controlador 177 a nivel de parque pueden corresponder cada uno a cualquier dispositivo informático adecuado y/o cualquier combinación de dispositivos informáticos. 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 la aplicación y otros circuitos programables. Adicionalmente, el/los dispositivo(s) de memoria pueden comprender, en general, elemento(s) de memoria, incluyendo, pero sin limitarse a, medio legible por ordenador (por ejemplo, memoria de acceso aleatorio ("random access memory" o RAM)), medio no volátil legible por ordenador (por ejemplo, una memoria flash), un disquete, un disco compacto de memoria de solo lectura ("compact disc-read only memory" o 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.

[0048] En referencia ahora a la FIG. 8, 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. En general, el procedimiento 300 se describe en el presente documento como implementado usando un sistema de turbina eólica 100, tal como el sistema de potencia de turbina eólica 100 de DFIG descrito anteriormente. 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. 8 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.

[0049] En (302), el procedimiento 300 incluye recibir una consigna de potencia reactiva (Qcmd) en el sistema de potencia de turbina eólica, en el que (Qcmd) se puede generar por un controlador a nivel de parque en un parque eólico.

[0050] En (304), la capacidad de potencia reactiva se determina para cada uno del dispositivo de compensación de potencia reactiva (Qmvp), (Qs) de lado de estátor de generador y (Ql) de lado de línea de generador (Ql) en el sistema de potencia de turbina eólica.

[0051] En (306), se determina si la capacidad del dispositivo de compensación de potencia reactiva (Qmvp) puede satisfacer la demanda (Qcmd). Si es así, en (308), el controlador 176 local (o el controlador de convertidor 174, como se analiza anteriormente) asigna hasta el máximo de (Qmvp) para suministrar (Qcmd), y el procedimiento finaliza en (310) hasta que se genera una nueva demanda (Qcmd).

[0052] Si (Qmvp) no puede satisfacer completamente la demanda (Qcmd), entonces en (312) la capacidad máxima de (Qmvp) se asigna a (Qcmd) y la cantidad deficitaria de potencia reactiva que se va a suministrar por el generador/convertidor de potencia [(Qs) y/o (Ql)] se determina ($Q_{def} = Q_{cmd} - Q_{mvp}$).

[0053] En (314), se realiza una determinación en cuanto a si la capacidad máxima de (Qs) puede satisfacer (Q_{def}). Si es así, en (316), el controlador 176 local (o el controlador de convertidor 174, como se analiza anteriormente) asigna hasta la capacidad máxima de (Qs) para satisfacer (Q_{def}), y el procedimiento finaliza en (318) hasta que se genera una nueva demanda (Qcmd).

[0054] Si (Q_{def}) es mayor que la capacidad máx. de (Qs), entonces, en la etapa (320) el máximo de (Ql) también se asigna a (Q_{def}).

[0055] En (322), si (Qcmd) se satisface por (Qmvp) + (Qs) + (Ql), entonces el procedimiento finaliza en (324) hasta que se genera una nueva (Qcmd).

[0056] Si (Qcmd) no se puede satisfacer por (Qmvp) + (Qs) + (Ql), entonces se calcula un déficit (Q_{def}) final en (326) y el sistema conmuta a un modo de déficit VAR en el que la producción de potencia real del sistema 100 disminuye de modo que la producción de potencia reactiva se pueda incrementar.

[0057] Las capacidades de potencia reactiva máximas para (Q_{mb}), (Q_s) y (Q_l) se determinan en tiempo real en base a uno cualquiera o una combinación de: estado operativo del sistema de potencia; temperatura ambiente; o restricciones térmicas del generador; convertidor de potencia o dispositivo de compensación de potencia reactiva. Los valores para (Q_{mb}), (Q_s) y (Q_l) se pueden determinar y actualizar de forma continua o periódica en el sistema de control.

[0058] Esta descripción escrita usa ejemplos para divulgar la invención, incluyendo el mejor modo, y también para posibilitar que cualquier experto en la técnica ponga en práctica la invención, incluyendo la fabricación y el uso de cualquier dispositivo o sistema y la realización de cualquier procedimiento incorporado. El alcance patentable de la invención está definido por las reivindicaciones y puede incluir otros ejemplos que se les ocurrirán a los expertos en la técnica. Se pretende que dichos otros ejemplos estén dentro del alcance de las reivindicaciones si incluyen elementos estructurales que no difieren del lenguaje literal de las reivindicaciones, o si incluyen elementos estructurales equivalentes.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para operar un sistema de generación de potencia (10) que suministra potencia real y reactiva a una red, incluyendo el sistema de generación de potencia (10) un generador (120) con un convertidor de potencia (162) y un dispositivo de compensación de potencia reactiva (200) especializado, comprendiendo el procedimiento:

recibir una demanda de potencia reactiva total, Q_{cmd} , realizada en el sistema de generación de potencia (10) en un estado operativo del sistema de generación de potencia (10) y un estado de red;

determinar una capacidad de potencia reactiva máxima para cada una de una potencia reactiva de lado de estátor de generador, Q_s , una potencia reactiva de lado de línea de generador, Q_l , y potencia reactiva del dispositivo de compensación de potencia reactiva, Q_{mnb} ;

coordinar el suministro de Q_{cmd} entre Q_s , Q_l y Q_{mnb} en el estado operativo del sistema de generación de potencia (10) y el estado de red priorizando Q_{mnb} como una primera fuente de potencia reactiva, y una o ambas de Q_s y Q_l como una segunda fuente de potencia reactiva, en el que coordinar el suministro comprende, cuando Q_{cmd} sea mayor que la capacidad máxima de Q_{mnb} , entonces se suministra la capacidad máxima de Q_{mnb} y se asigna una deficiencia entre Q_{cmd} y Q_{mnb} a una o ambas de Q_s y Q_l , en el que Q_s tiene prioridad sobre Q_l de modo que la deficiencia entre Q_{cmd} y Q_{mnb} se asigne, en primer lugar, hasta la capacidad máxima de Q_s y, a continuación, a Q_l .

2. El procedimiento como en la reivindicación 1, en el que en la etapa de coordinación, cuando Q_{cmd} sea menor que la capacidad máxima de Q_{mnb} , entonces toda la Q_{cmd} se suministra por Q_{mnb} .

3. El procedimiento como en cualquier reivindicación precedente, en el que las capacidades de potencia reactiva máximas para Q_{mnb} , Q_s y Q_l se determinan de forma continua o periódica en base a uno cualquiera o una combinación de: estado operativo del sistema de potencia; temperatura ambiente; o restricciones térmicas del generador; convertidor de potencia o dispositivo de compensación de potencia reactiva.

4. El procedimiento como en cualquier reivindicación precedente, en el que el sistema de generación de potencia (10) comprende una turbina eólica (10) con un sistema de generador de inducción doblemente alimentado, DFIG, y en el que Q_{cmd} es una demanda de potencia reactiva realizada en la turbina eólica.

5. El procedimiento como en la reivindicación 4, en el que la turbina eólica (10) es una de una pluralidad de turbinas eólicas dentro de un parque eólico que suministra potencia real y reactiva a la red, y en el que Q_{cmd} se determina por un controlador a nivel de campo dentro del parque eólico y se transmite a un controlador local en la turbina eólica (10).

6. El procedimiento como en cualquiera de las reivindicaciones 4-5, en el que el controlador local asigna Q_{mnb} al dispositivo de compensación de potencia reactiva (200) y asigna Q_s y Q_l al convertidor de potencia.

7. El procedimiento como en cualquiera de las reivindicaciones 5-6, en el que el controlador local transmite Q_{cmd} a un controlador de convertidor asociado con el convertidor de potencia, en el que el controlador de convertidor asigna Q_{mnb} al dispositivo de compensación de potencia reactiva (200) y controla la operación del convertidor de potencia para generar Q_s y Q_l .

8. Un sistema de turbina eólica (100) configurado para suministrar potencia real y reactiva a una red, que comprende:

una turbina eólica (10) con un rotor, buje y una pluralidad de palas acopladas al buje;

un sistema de generador de inducción doblemente alimentado, sistema de DFIG, acoplado al rotor, comprendiendo además el sistema de DFIG (120) un convertidor de potencia (162) con un convertidor de lado de línea, LSC, y un convertidor de lado de rotor, RSC, en el que el sistema de DFIG está configurado para generar una potencia reactiva de lado de estátor de generador, Q_s , y una potencia reactiva de lado de línea de generador, Q_l ;

un dispositivo de compensación de potencia reactiva (200) especializado configurado operativamente con el sistema de DFIG (120) para generar una potencia reactiva, Q_{mnb} ;

un sistema de control (176) configurado para:

recibir una consigna de potencia reactiva, Q_{cmd} , realizada en el sistema de turbina eólica (100);

determinar una capacidad de potencia reactiva máxima para cada una de Qs, Ql y Qm vb en un estado operativo del sistema de turbina eólica (100) y un estado de red; y

- 5 coordinar el suministro de potencia reactiva entre Qs, Ql y Qm vb en el estado operativo del sistema de turbina eólica y el estado de red para satisfacer Qcmd priorizando Qm vb como una primera fuente de potencia reactiva, y una o ambas de Qs y Ql como una segunda fuente de potencia reactiva, en el que el sistema de control (176) está configurado para coordinar el suministro de modo que, cuando Qcmd sea mayor que la capacidad máxima de Qm vb, entonces se suministra la capacidad máxima de Qm vb y se asigna una deficiencia entre Qcmd y Qm vb a una o ambas de Qs y Ql, en el que Qs tiene
10 prioridad sobre Ql de modo que la deficiencia entre Qcmd y Qm vb se asigne, en primer lugar, hasta la capacidad máxima de Qs, y, a continuación, a Ql.
9. El sistema de turbina eólica (100) como en la reivindicación 8, en el que la turbina eólica (10) es una de una pluralidad de turbinas eólicas dentro de un parque eólico que suministra potencia real y reactiva a la red, comprendiendo el sistema de control (176) un controlador a nivel de campo en el parque eólico que está configurado para determinar y transmitir Qcmd, y un controlador local en la turbina eólica (10) está configurado para recibir la Qcmd transmitida por el controlador a nivel de campo.
15
10. El sistema de turbina eólica (100) como en cualquiera de las reivindicaciones 8-9, en el que para satisfacer Qcmd, el controlador local está configurado para asignar Qm vb al dispositivo de compensación de potencia reactiva (200) y para asignar Qs y Ql al convertidor de potencia.
20
11. El sistema de turbina eólica (100) como en cualquiera de las reivindicaciones 8-10, en el que el dispositivo de compensación de potencia reactiva (200) comprende uno cualquiera o una combinación de un compensador VAR estático, SVC, un dispositivo generador VAR estático, SVG, o un dispositivo compensador síncrono estático, STATCOM.
25
12. El sistema de turbina eólica (100) como en cualquiera de las reivindicaciones 8-11, en el que el sistema de control (176) está configurado para suministrar toda la Qcmd con Qm vb cuando Qcmd sea menor que la capacidad máxima de Qm vb y asignar una deficiencia entre Qcmd y Qm vb a una o ambas de Qs y Ql.
30
13. El sistema de turbina eólica (100) como en cualquiera de las reivindicaciones 8-12, en el que el sistema de control (176) está configurado para determinar las capacidades de potencia reactiva máximas para Qm vb, Qs y Ql en base a uno cualquiera o una combinación de: estado operativo del sistema de potencia; temperatura ambiente; o restricciones térmicas del generador; convertidor de potencia, o dispositivo de compensación de potencia reactiva (200).
35
14. El sistema de turbina eólica (100) como en cualquiera de las reivindicaciones 8-13, en el que el sistema de control (176) está configurado para determinar de forma continua o periódica las capacidades de potencia reactiva máximas para Qm vb, Qs y Ql.
40

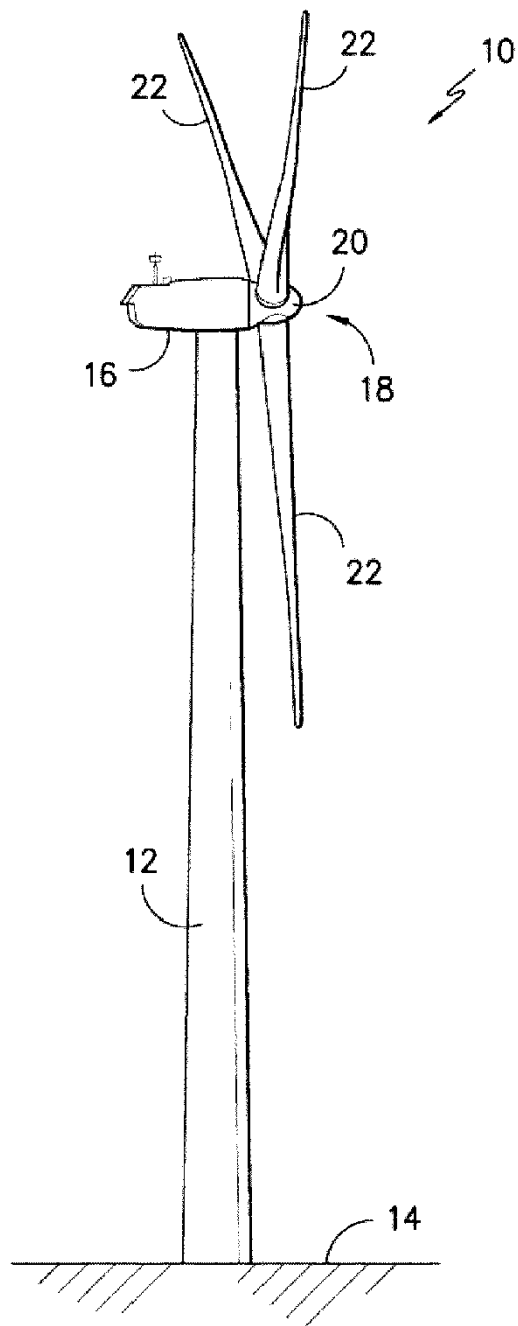
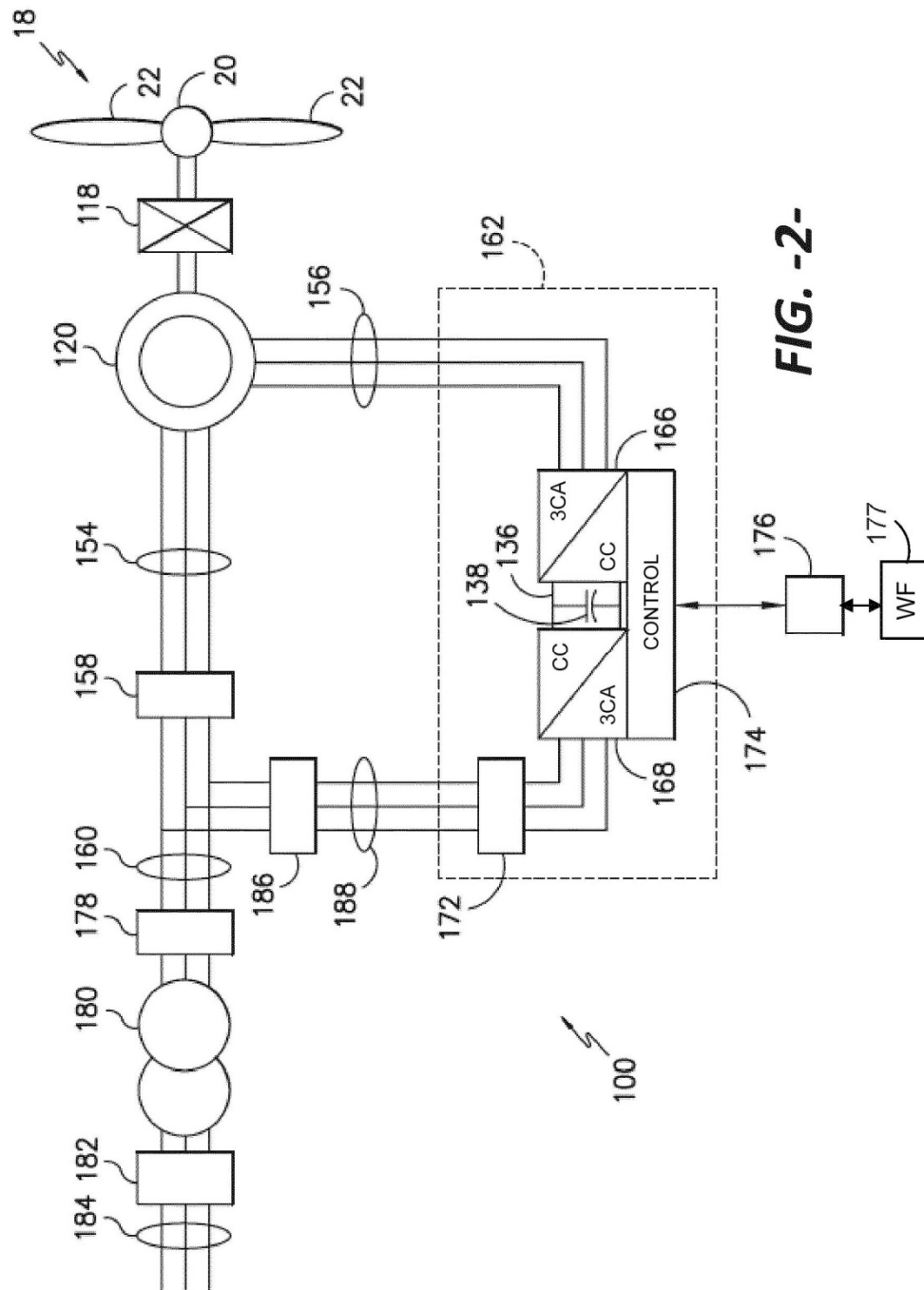


FIG. -1-



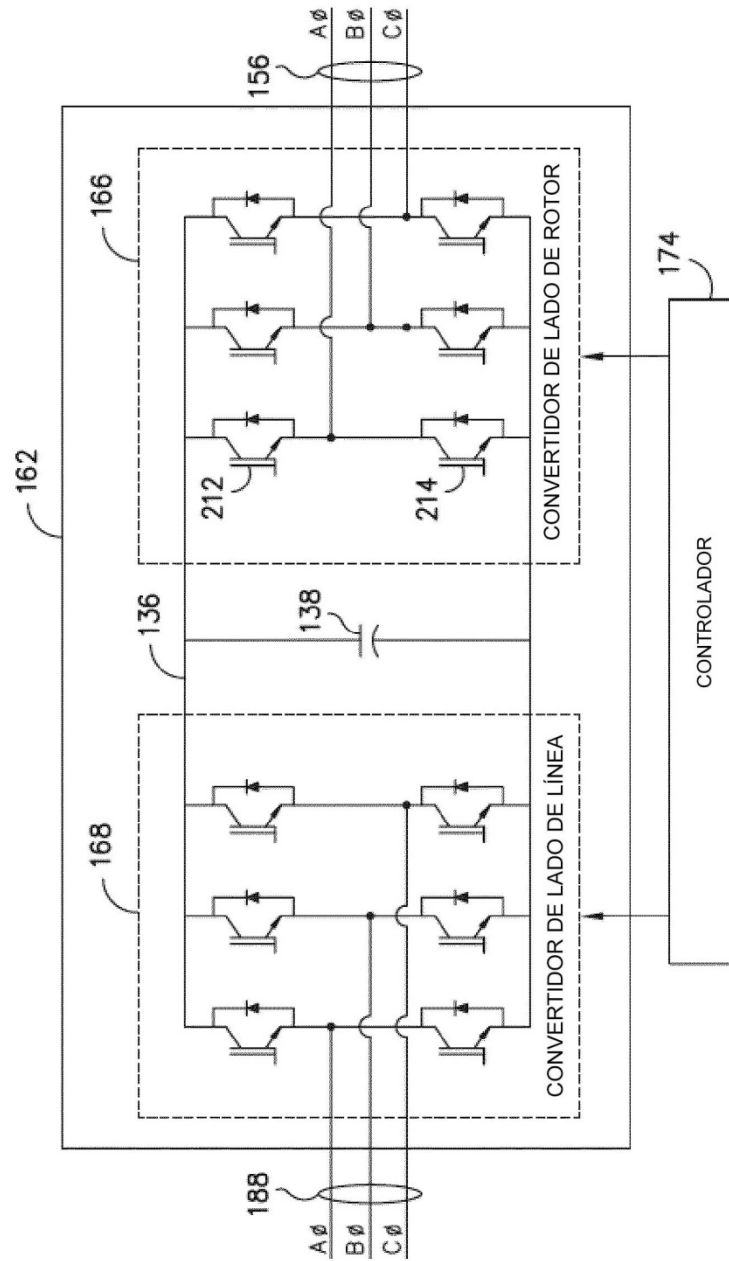


FIG. -3-

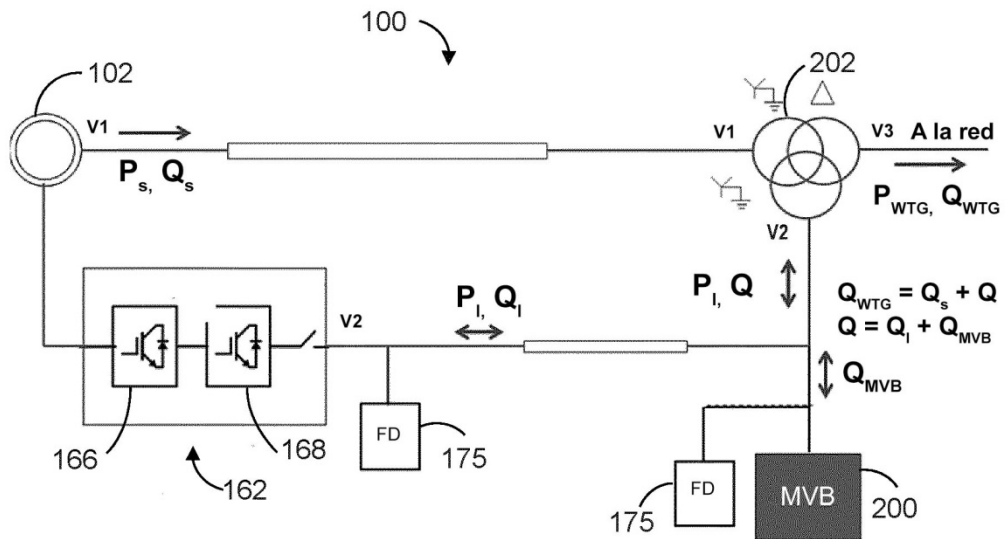


FIG. -4-

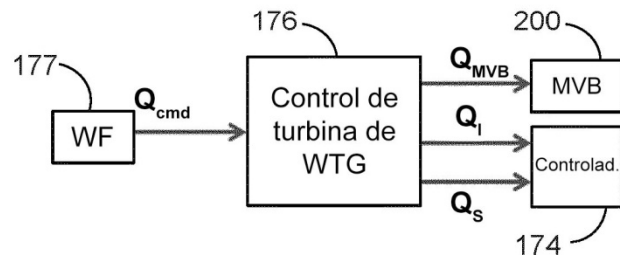


FIG. -5-

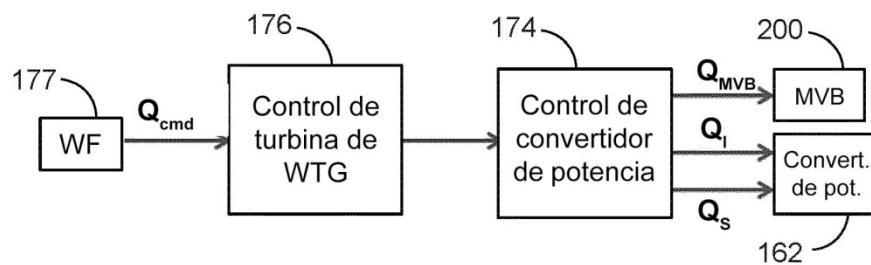


FIG. -6-

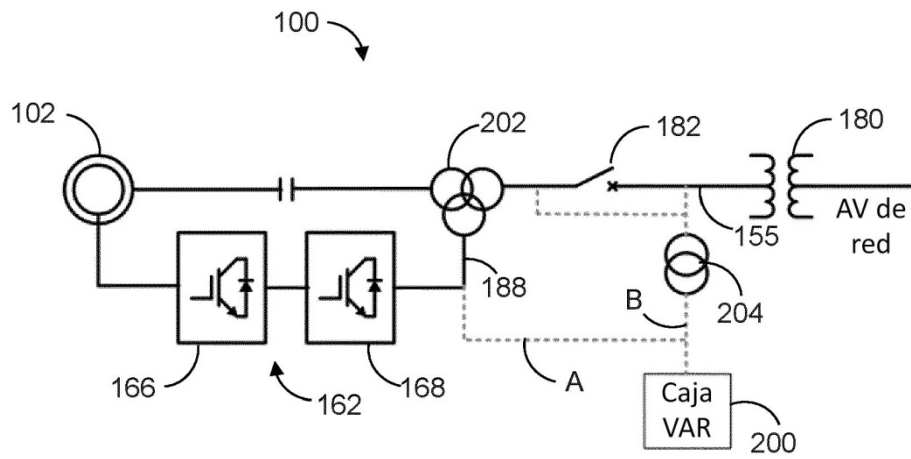


FIG. -7-

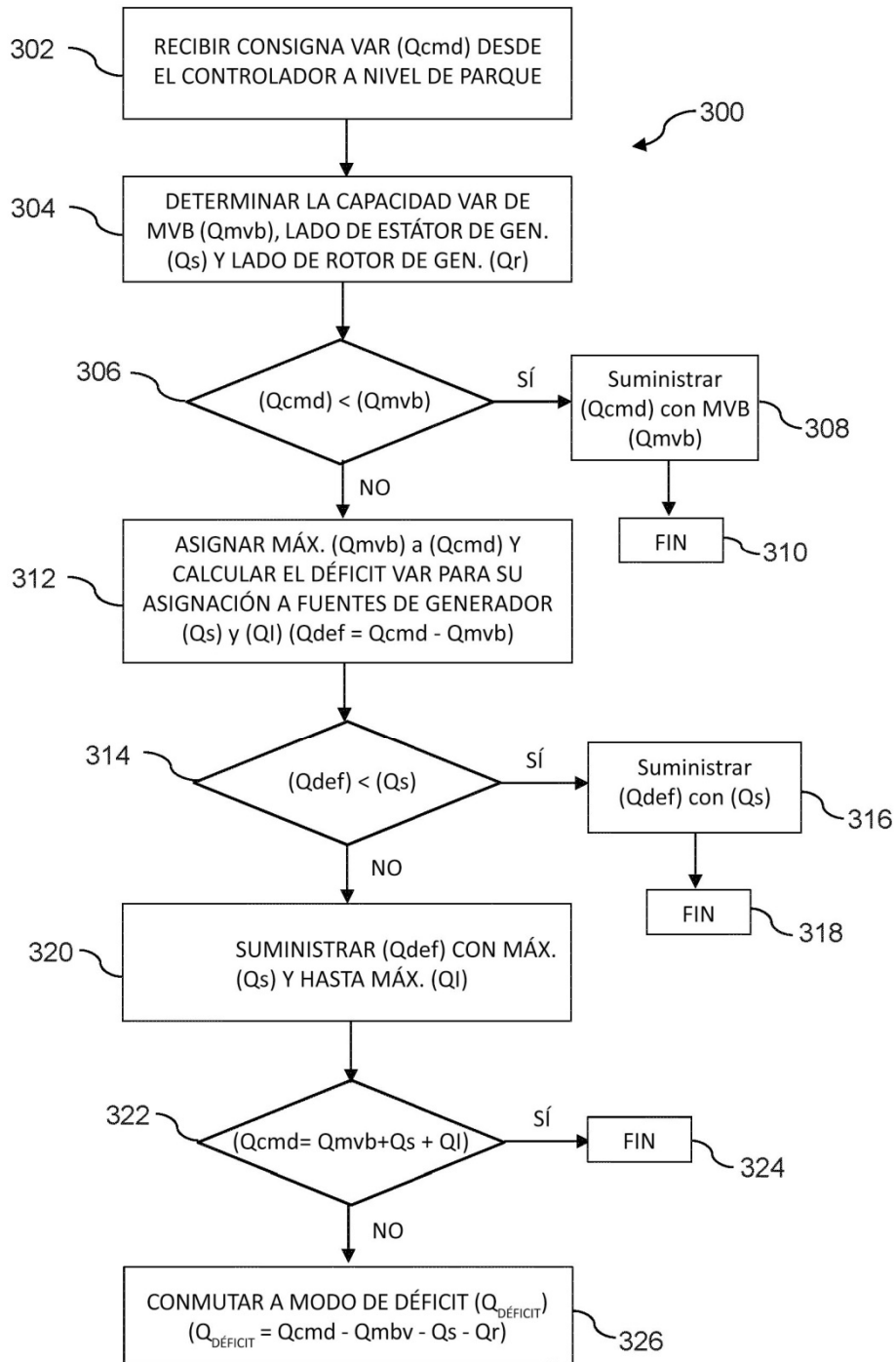


FIG. -8-