

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 739 273**

51 Int. Cl.:

H02J 3/18 (2006.01)

H02J 3/36 (2006.01)

H02J 3/38 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 9/25 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.12.2011** **PCT/DK2011/050512**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.07.2012** **WO12089213**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.12.2011** **E 11811523 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.07.2019** **EP 2659564**

54 Título: **Gestión de potencia reactiva para una red interna de una planta de energía eólica**

30 Prioridad:

29.12.2010 US 980700

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

30.01.2020

73 Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)

Hedeager 42

8200 Aarhus N, DK

72 Inventor/es:

HAJ-MAHARSI, MOHAMED;

SINGH, SUNITA y

KENT HANS SØBRINK

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 739 273 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

Gestión de potencia reactiva para una red interna de una planta de energía eólica

5 Campo de la invención

Las realizaciones de la invención están generalmente relacionadas con turbinas eólicas, y más específicamente con la gestión de la potencia reactiva en una red interna de una planta de energía eólica.

10 Antecedentes

En los últimos años, ha habido un mayor enfoque en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero generados por la quema de combustibles fósiles. Una solución para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero es desarrollar fuentes de energía renovables. En particular, la energía derivada del viento ha demostrado ser una fuente de energía segura y respetuosa con el medio ambiente, lo que puede reducir la dependencia de los combustibles fósiles.

La energía en el viento puede ser capturada por una turbina eólica, que es una máquina rotativa que convierte la energía cinética del viento en energía mecánica y, posteriormente, la energía mecánica en energía eléctrica. Las turbinas eólicas de eje horizontal comunes incluyen una torre, una góndola situada en la cima de la torre, y un rotor que está soportado en la góndola mediante un árbol. El árbol acopla el rotor directa o indirectamente con un conjunto de rotor de un generador ubicado dentro de la góndola. Una pluralidad de generadores de turbinas eólicas puede estar dispuestos juntos en un parque eólico o en una planta de energía eólica para generar suficiente energía para soportar una red.

Además de generar potencia activa, las turbinas eólicas también pueden configurarse para generar y consumir potencia reactiva. La producción y el consumo de potencia reactiva pueden ser necesarios para mantener las tensiones en diferentes puntos de interés en la planta de energía eólica. El mantenimiento de tensiones en estos puntos de interés puede ser necesario para cumplir con los requisitos de la red, evitar daños a los componentes de las turbinas eólicas o plantas eólicas, y similares.

El documento US2007/0273155A1 describe una turbina eólica que tiene un convertidor de frecuencia para generar una corriente reactiva que debe suministrarse a una red. Asimismo, en la redacción de las reivindicaciones, este documento describe un método para mantener una tensión en una red interna de una planta de energía eólica a una tensión deseada, que comprende:

detectar un cambio en la tensión en la red interna;
en respuesta a la detección del cambio en la tensión, calcular una cantidad de potencia reactiva que debe generarse para mantener la tensión de la red interna a una tensión deseada;
determinar la capacidad de uno o más convertidores de turbina eólica para generar potencia reactiva; y
asignar la generación de potencia reactiva para mantener la tensión de la red interna en la tensión deseada en función de la capacidad determinada.

El documento US 2003/0185665A1 describe una pluralidad de turbinas eólicas conectadas directamente a una estación convertidora de CA/CC, que está configurada para alimentar las turbinas eólicas con potencia reactiva para hacer que la red del parque eólico sea más robusta frente a los fallos de la red.

Sumario de la invención

Las realizaciones de la invención están generalmente relacionadas con turbinas eólicas, y más específicamente, para evitar daños a la turbina eólica causados por inestabilidad.

Una realización de la invención proporciona un método para mantener una tensión en una red interna de una planta de energía eólica a una tensión deseada. El método generalmente comprende detectar un cambio en la tensión en la red interna, y en respuesta a detectar el cambio en la tensión, calcular una cantidad de potencia reactiva que debe generarse para mantener la tensión de la red interna a la tensión deseada. El método comprende además determinar la capacidad de un convertidor de corriente continua de alta tensión (HVDC) y uno o más convertidores de turbina eólica para generar potencia reactiva, y asignar la generación de potencia reactiva para mantener la tensión de la red interna en la tensión deseada a al menos uno o más del convertidor HVDC y uno o más convertidores de turbina eólica en función de la capacidad determinada. Preferentemente, la etapa de detección del cambio en la tensión en la red interna comprende recibir una señal desde un monitor de red configurado para monitorizar la tensión de la red interna.

Otra realización de la invención proporciona un medio de almacenamiento legible por ordenador que comprende un producto de programa que, cuando se ejecuta por un procesador está configurado para realizar una operación para mantener una tensión en una red interna de una planta de energía eólica a una tensión deseada. La operación generalmente comprende detectar un cambio en la tensión en la red interna, y en respuesta a detectar el cambio en

la tensión, calcular una cantidad de potencia reactiva que debe generarse para mantener la tensión de la red interna a la tensión deseada. La operación comprende además determinar la capacidad de un convertidor de corriente continua de alta tensión (HVDC) y uno o más convertidores de turbina eólica para generar potencia reactiva, y asignar la generación de potencia reactiva para mantener la tensión de la red interna en la tensión deseada a al menos uno o más del convertidor HVDC y uno o más convertidores de turbina eólica en función de la capacidad determinada. Preferentemente, la detección del cambio en la tensión en la red interna comprende recibir una señal desde un monitor de red configurado para monitorizar la tensión de la red interna.

Otra realización más de la invención proporciona una planta de energía eólica, que comprende una pluralidad de turbinas eólicas, comprendiendo cada turbina eólica al menos un dispositivo convertidor de turbina eólica, un convertidor de corriente continua de alta tensión (HVDC) acoplado a los dispositivos convertidores de turbina eólica de la pluralidad de turbinas eólicas a través de una red interna y un controlador de planta de energía. El controlador de planta de energía está generalmente configurado para detectar un cambio en una tensión en la red interna, y en respuesta a detectar el cambio en la tensión, calcular una cantidad de potencia reactiva que debe generarse para mantener la tensión de la red interna a una tensión deseada. El controlador de la planta de energía está también configurado para determinar una capacidad del convertidor HVDC y los dispositivos convertidores de turbina eólica para generar potencia reactiva, y asignar la generación de potencia reactiva para mantener la tensión de la red interna en la tensión deseada a al menos uno o más del convertidor HVDC y los dispositivos convertidores de turbina eólica en función de la capacidad determinada. Preferiblemente, la planta de energía eólica comprende un monitor de red configurado para proporcionar la tensión de la red interna en tiempo real al controlador de la planta de energía. El convertidor HVDC puede configurarse para convertir la energía de corriente alterna (CA) en energía de corriente continua (CC). El dispositivo convertidor de la turbina eólica puede configurarse para convertir la energía de CC en energía de CA.

Breve descripción de los dibujos

De modo que la forma en que las características mencionadas anteriormente, las ventajas y los objetos de la presente invención se alcanzan y se pueden entender en detalle, una descripción más particular de la invención, brevemente resumida anteriormente, se puede tener por referencia a las realizaciones de la misma que se ilustran en los dibujos adjuntos.

Hay que señalar, sin embargo, que los dibujos adjuntos ilustran solamente realizaciones típicas de esta invención y, por lo tanto, no se considerarán restrictivos de su alcance, ya que la invención puede admitir otras realizaciones igualmente efectivas.

La figura 1 ilustra una turbina eólica ejemplar de acuerdo con una realización de la invención.

La figura 2 ilustra una góndola de ejemplo según una realización de la invención.

La figura 3 ilustra una planta de energía eólica de ejemplo de acuerdo con una realización de la invención.

La figura 4 ilustra una curva de capacidad de ejemplo de un dispositivo convertidor de acuerdo con una realización de la invención.

La figura 5 ilustra una red de control de ejemplo para una planta de energía eólica de acuerdo con una realización de la invención.

La figura 6 es un diagrama de flujo de operaciones de ejemplo realizadas por un controlador de planta de energía de acuerdo con una realización de la invención.

Descripción detallada

Las realizaciones de la invención proporcionan una planta de energía eólica que comprende una pluralidad de convertidores de turbina eólica acoplados a un convertidor de corriente continua de alta tensión (HVDC) a través de una red interna y un controlador de planta de energía. El controlador de la planta de energía está configurado para monitorizar un nivel de tensión de la red interna y asignar la responsabilidad de generar potencia reactiva al convertidor HVDC y a los convertidores de turbina eólica para mantener el nivel de tensión de la red interna en un nivel deseado.

A continuación, se hace referencia a realizaciones de la invención. Sin embargo, se debe entender que la invención no está limitada a las realizaciones específicas descritas. En su lugar, cualquier combinación de las siguientes características y elementos, ya sea relacionado con diferentes realizaciones o no, se contempla para implementar y practicar la invención. Por otro lado, en diversas realizaciones la invención proporciona numerosas ventajas con respecto a la técnica anterior. Sin embargo, si bien las realizaciones de la invención pueden lograr ventajas frente a otras posibles soluciones y/o frente a la técnica anterior, se alcance o no una ventaja particular mediante una realización dada, esta no constituye una limitación de la invención. De este modo, los siguientes aspectos, características, realizaciones y ventajas son meramente ilustrativos y no deben considerarse elementos o limitaciones

de las reivindicaciones adjuntas salvo cuando así se indique explícitamente en una reivindicación o reivindicaciones. Asimismo, la referencia a “la invención” no deberá interpretarse como una generalización de ninguna materia objeto inventiva divulgada en el presente documento y no deberá considerarse como un elemento o limitación de las reivindicaciones adjuntas, salvo cuando así se indique explícitamente en una reivindicación o reivindicaciones.

Lo que sigue es una descripción detallada de las realizaciones de la invención descritas en los dibujos adjuntos. Las realizaciones son ejemplos y contienen detalles suficientes como para comunicar claramente la invención. Sin embargo, no se pretende que la cantidad de detalles ofrecidos limiten las variaciones anticipadas de las realizaciones; sino que por el contrario, la intención es cubrir todas las modificaciones, equivalentes, y alternativas sin desviarse del ámbito de la invención tal y como está definida por las reivindicaciones adjuntas.

La figura 1 ilustra una turbina eólica 100 ejemplar de acuerdo con una realización de la invención. Tal y como se ilustra en la figura 1, la turbina eólica 100 puede incluir una torre 110, una góndola 120 y un rotor 130. En una realización de la invención, la turbina eólica 100 puede ser una turbina eólica terrestre. Sin embargo, las realizaciones de la invención no están limitadas únicamente a las turbinas eólicas terrestres. En realizaciones alternativas, la turbina eólica 100 puede ser una turbina eólica no terrestre situada sobre un cuerpo de agua, tal como, por ejemplo, un lago, un mar o similares.

La torre 110 de la turbina eólica 100 puede configurarse para elevar la góndola 120 y el rotor 130 a una altura donde un flujo de aire fuerte, menos turbulento y generalmente sin obstrucciones pueda ser recibido por el rotor 130. La altura de la torre 110 puede ser cualquier altura razonable. La torre 110 puede fabricarse con cualquier material razonable, por ejemplo, acero, hormigón o similares. En algunas realizaciones, la torre 110 puede estar hecha de cualquier material monolítico. Sin embargo, en realizaciones alternativas, la torre 110 puede incluir una pluralidad de secciones, por ejemplo, dos o más secciones tubulares de acero 111 y 112, tal y como se ilustra en la Figura 1. En algunas realizaciones de la invención, la torre 110 puede ser una torre en celosía. En consecuencia, la torre 110 puede incluir perfiles de acero soldados.

El rotor 130 puede incluir un buje de rotor (en adelante denominado simplemente “buje”) 131 y al menos una pala 132 (tres de tales palas 132 se muestran en la figura 1). El buje de rotor 131 puede estar configurado para acoplar la al menos una pala 132 a un árbol (no mostrado). En una realización, las palas 132 pueden tener un perfil aerodinámico tal, que a velocidades de viento predefinidas, las palas 132 experimenten una elevación, haciendo así que las palas roten radialmente en torno al buje. El movimiento de las palas también puede hacer que el árbol de la turbina eólica 100 gire. La góndola 120 puede incluir uno o más componentes configurados para convertir la energía aeromecánica de las palas en energía de rotación del árbol, y la energía de rotación del árbol en energía eléctrica.

La turbina eólica 100 puede incluir una pluralidad de sensores para controlar una pluralidad de parámetros asociados con, por ejemplo, condiciones medioambientales, cargas de turbinas eólicas, métricas de rendimiento, y similares. Por ejemplo, se muestra un medidor de tensión 133 en la pala 132. En una realización, el medidor de tensión 133 puede estar configurado para detectar la flexión y/o la torsión de las palas 132. La información con respecto a doblar y torcer las palas puede ser necesaria para realizar una o más operaciones que reduzcan las cargas en las palas 132 que pueden producirse, por ejemplo, durante ráfagas de viento fuerte. En tales situaciones, las palas pueden inclinarse para reducir las cargas, evitando así daños a las palas.

La figura 1 también ilustra un acelerómetro 113 que puede colocarse en la torre 110. El acelerómetro 113 puede configurarse para detectar movimientos horizontales y la flexión de la torre 110 que pueden ser causados debido a las cargas en la turbina eólica 100. Los datos capturados por el acelerómetro 113 pueden usarse para realizar una o más operaciones para reducir las cargas en la turbina eólica 100. En algunas realizaciones de la invención, el acelerómetro 113 se puede colocar en la góndola 120.

La figura 1 también muestra un sensor de viento 123. El sensor de viento 123 puede configurarse para detectar una dirección del viento en o cerca de la turbina eólica 100. Al detectar la dirección del viento, el sensor de viento 123 puede proporcionar datos útiles que pueden determinar las operaciones para virar la turbina eólica 100 hacia el viento. El sensor de viento 123 también puede detectar una velocidad del viento. Los datos de velocidad del viento pueden usarse para determinar un ángulo de inclinación apropiado que permita que las palas 132 capturen una cantidad deseada de energía del viento. En algunas realizaciones, el sensor de viento 123 puede estar integrado con un sensor de temperatura, un sensor de presión, y similares, que pueden proporcionar datos adicionales sobre el entorno que rodea la turbina eólica. Dichos datos se pueden usar para determinar uno o más parámetros operativos de la turbina eólica para facilitar la captura de una cantidad deseada de energía por la turbina eólica 100.

Aunque un medidor de tensión 133, un acelerómetro 113 y un sensor de viento 123 se describen en el presente documento, las realizaciones de la invención no están limitadas a los tipos de sensores citados anteriormente. En general, se puede colocar cualquier tipo y número de sensores en varias ubicaciones de la turbina eólica 100 para facilitar la captura de datos relacionados con el estado estructural, el rendimiento, la prevención de daños, la acústica y similares. Por ejemplo, se puede colocar un sensor de ángulo de inclinación en o cerca de una pala de la turbina eólica para determinar el ángulo de inclinación actual de la pala.

La figura 2 ilustra una vista más detallada de una góndola 120 de acuerdo con una realización de la invención. Tal y como se ilustra en la figura 2, la góndola 120 puede incluir al menos un árbol de baja velocidad 210, un árbol de alta velocidad 211, una caja de engranajes 220 y un generador 230. En una realización, el árbol de baja velocidad 210 puede acoplar la caja de engranajes 230 al buje 130, tal y como se ilustra en la Figura 2. La caja de engranajes 230 puede depender de las relaciones de engranajes en un tren de transmisión para proporcionar conversiones de velocidad y par a partir de la rotación del árbol de baja velocidad 210 al conjunto de rotor del generador 230 a través del árbol de alta velocidad 211.

En una realización alternativa, el árbol de baja velocidad 210 puede conectar directamente el buje 130 con un conjunto de rotor del generador 230, de modo que la rotación del buje 130 accione directamente el conjunto de rotor para girar con relación al conjunto de estator del generador 230. En realizaciones en las que el árbol de baja velocidad 210 está acoplado directamente al buje 130, la caja de engranajes 220 puede no estar incluida, permitiendo así que la góndola 120 sea más pequeña y/o más ligera.

El generador 230 puede configurarse para generar una corriente alterna trifásica basada en uno o más requisitos de la red. En una realización, el generador 230 puede ser un generador síncrono. Los generadores síncronos pueden configurarse para operar a una velocidad constante y pueden conectarse directamente a la red. En algunas realizaciones, el generador 230 puede ser un generador de imán permanente. En realizaciones alternativas, el generador 230 puede ser un generador asíncrono, también conocido a veces como un generador de inducción. Los generadores de inducción pueden o no estar conectados directamente a la red. Por ejemplo, en algunas realizaciones, el generador 230 se puede acoplar a la red a través de uno o más dispositivos eléctricos configurados para, por ejemplo, ajustar la corriente, la tensión y otros parámetros eléctricos para cumplir con uno o más requisitos de la red. Los dispositivos eléctricos ejemplares incluyen, por ejemplo, inversores, convertidores, resistencias, conmutadores y similares.

Las realizaciones de la invención no están limitadas a ningún tipo particular de generador o disposición del generador y a uno o más dispositivos eléctricos asociados con el generador en relación con la red eléctrica. Cualquier tipo adecuado de generador, incluyendo (pero no limitado a) generadores de inducción, generadores de imán permanente, generadores síncronos, o similares, configurados para generar electricidad de acuerdo con los requisitos de la red caen dentro del alcance de la invención.

En algunas realizaciones, se puede incluir una pluralidad de sensores en la góndola 120 para monitorizar la salud estructural y el rendimiento de los componentes de la misma, la calidad de la potencia generada y similares. Por ejemplo, se puede colocar un sensor 221 en la caja de engranajes 220 para detectar la tensión mecánica y el desgaste/desgarro de la caja de engranajes 220. Se puede colocar un sensor 231 en el generador 230 para detectar la velocidad del generador, la generación de energía, o similares.

Una pluralidad de turbinas eólicas se pueden disponer juntas en una planta de energía eólica. La figura 3 ilustra una planta de energía eólica 300, de acuerdo con una realización de la invención. Tal y como se ilustra en la figura 3, la planta de energía eólica 300 puede incluir una pluralidad de generadores G1-GN. Cada uno de los generadores G1-GN puede corresponder a una sola turbina eólica en el parque eólico, por ejemplo, el generador 230 ilustrado en la figura 2.

Tal como también se ilustra en la figura 3, cada uno de los generadores G1-GN se puede acoplar con un respectivo convertidor 310 del lado del generador. El convertidor 310 del lado del generador puede ser un convertidor de CA a CC configurado para convertir la potencia de corriente alterna (CA) trifásica producida por un generador respectivo en corriente continua (CC). La potencia de CC generada por los convertidores 310 del lado del generador puede transferirse a los respectivos convertidores 320 del lado de la carga a través de un enlace de CC 311. Los convertidores 320 del lado de carga pueden convertir la potencia de CC recibida desde los convertidores 310 del lado del generador de nuevo en una potencia de CA trifásica.

La función de los convertidores 310 del lado del generador y los convertidores 320 del lado de la carga puede ser convertir la potencia variable generada por los generadores G1-GN en una potencia de CA trifásica más estable y bien definida de acuerdo con los requisitos de la red. Dicho de otra forma, la potencia generada por los generadores G1-GN puede depender de las velocidades del viento. Como las velocidades del viento pueden cambiar constantemente, la potencia generada por los generadores G1-GN puede tener una fase variable. Los convertidores 310 del lado del generador y los convertidores 320 del lado de la carga pueden convertir la potencia variable generada por los generadores G1-GN en una potencia de CA trifásica que tiene una fase constante.

En una realización de la invención, los convertidores 310 del lado del generador y los convertidores 320 del lado de la carga pueden incluirse en las góndolas de las turbinas respectivas. Como alternativa, los convertidores 310 del lado del generador y los convertidores 320 del lado de carga pueden estar ubicados fuera de las góndolas.

En una realización, la potencia transferida a través de los convertidores 320 del lado de la carga se puede proporcionar a una red de recogida 321, tal y como se ilustra en la Figura 3. La red de recogida 321 puede acoplar las turbinas eólicas en la planta de energía eólica a un convertidor de corriente continua de alta tensión (HVDC) 330 del lado de la

planta. La red de recogida 321 también se denomina en el presente documento como una red interna. En general, la red interna puede ser cualquier red que se acople a una pluralidad de convertidores de turbinas eólicas (por ejemplo, los convertidores 320) a un convertidor HVDC.

El convertidor HVDC 330 del lado de la planta puede convertir la potencia de CA trifásica recibida desde la red de recogida 321 a la potencia de CC para la transmisión a través de un enlace HVDC 331 a un convertidor HVDC 340 del lado de la red. El convertidor HVDC 340 del lado de la red puede convertir la potencia de CC recibida a través del enlace HVDC 331 en una potencia de CA trifásica que tiene una fase constante. Tal y como se ilustra en la figura 3, la potencia de CA se puede transferir desde el convertidor HVDC 340 del lado de la red a una red 350.

En una realización de la invención, El enlace HVDC 331 puede ser un enlace de larga distancia que acopla el convertidor HVDC 330 del lado de la planta a un convertidor HVDC 340 del lado de la red. Por ejemplo, en una realización particular, el enlace HVDC puede tener más de 80 kilómetros de largo. El convertidor HVDC 330 del lado de la planta, el enlace HVDC 331 y el convertidor HVDC 340 del lado de la red (denominado colectivamente como configuración HVDC) pueden ser particularmente ventajosos para conectar plantas de energía eólica remotas a una red. Por ejemplo, la configuración de HVDC se puede usar para conectar una planta de energía eólica marina a una red en tierra. La configuración HVDC también se puede utilizar para conectar, por ejemplo, una planta de energía eólica ubicada en un lugar con condiciones de viento favorables a un lugar distante con alta demanda de energía. La transmisión de energía a través de la configuración de HVDC en largas distancias puede ser ventajosa sobre la transmisión de CA debido a las pérdidas de transmisión relativamente bajas.

Además de generar potencia activa, la planta de energía eólica 300 también pueden configurarse para generar y consumir potencia reactiva. En general, la potencia activa, o la potencia real, se refiere a la potencia que se transfiere desde los generadores de turbina eólica a la red 350. La potencia reactiva se refiere a la potencia que alterna entre los generadores de la turbina eólica y la red. Mantener el control sobre la potencia reactiva en el sistema puede ser necesario por varias razones. Por ejemplo, el control de la potencia reactiva puede ser necesario para controlar la tensión en ubicaciones predefinidas. El control de potencia reactiva también puede ser necesario para mantener la magnetización adecuada de los componentes dentro de los generadores de la turbina eólica, evitar daños a los componentes de las turbinas eólicas o plantas eólicas, y similares.

En una realización de la invención, puede ser necesario mantener una tensión constante en una red interna, por ejemplo, la red de colector 321, de la planta eólica 300. El mantenimiento de una tensión constante puede ser necesario para cumplir con varios códigos de red, y lidiar con contingencias tales como paso a través de baja tensión (LVRT). En una realización, la tensión en la red de colector 321 puede ser una función de ambos, la potencia activa generada por la turbina, así como la potencia reactiva generada por la turbina. Como se ha explicado anteriormente, la potencia activa generada por los generadores G1-GN puede depender directamente de la velocidad del viento. En consecuencia, la generación de potencia reactiva puede tener que ser controlada para mantener una tensión constante en la red de colector 321.

En una realización de la invención, se puede proporcionar un monitor de red 360 para monitorizar una tensión en la red de colector 321. El monitor de red puede proporcionar la tensión medida en la red de colector a uno o más dispositivos de control configurados para administrar la generación de potencia reactiva en la planta de energía eólica, tal y como se describirá con mayor detalle más adelante.

En una realización, los convertidores 320 del lado de la carga y el convertidor HVDC 330 del lado de la planta pueden configurarse para generar potencia reactiva para administrar una tensión en la red de colector 321. Cada uno de los convertidores 320 del lado de carga y el convertidor HVDC 330 del lado de la planta pueden configurarse para generar potencia reactiva basada en una curva de capacidad para el convertidor respectivo. La figura 4 ilustra una curva de capacidad ejemplar para un convertidor ejemplar, de acuerdo con una realización de la invención. Específicamente, el círculo 400 que se muestra en la figura 4 ilustra la clasificación de potencia compleja (S) para el convertidor ejemplar. Dicho de otra forma, el círculo 400 representa la potencia (S) máxima (o nominal) que puede ser transferida por el convertidor ejemplar.

Tal y como se ilustra en la figura 4, la potencia compleja (S) puede ser una función de la potencia real (P) y la potencia reactiva (Q). En consecuencia, en una realización, si la potencia real generada por una turbina o turbinas eólicas es P', entonces el convertidor puede tener la capacidad de generar potencia reactiva hasta el valor Q', tal y como se ilustra en la Figura 4. Por otro lado, si la potencia real generada por una turbina o turbinas eólicas es P'', entonces el convertidor puede tener la capacidad de generar potencia reactiva hasta el valor Q'', tal y como se ilustra en la Figura 4.

Por lo tanto, para una cantidad dada de potencia real generada por los generadores G1-GN, que puede basarse en las velocidades del viento, los convertidores 320 del lado de la carga y el convertidor HVDC 330 del lado de la planta pueden ser capaces de generar una cantidad predefinida de potencia reactiva para soportar la red de colector 321. Las realizaciones de la invención proporcionan un sistema de control para gestionar la potencia reactiva generada por los componentes de la planta de energía eólica.

La figura 5 ilustra un sistema de control 500 ejemplar para operar una planta de energía eólica, por ejemplo, la planta de energía eólica 300 de la figura 3. Tal y como se ilustra en la figura 5, el sistema de control 500 puede incluir un controlador de planta de energía (PPC) 510 acoplado con un controlador HVDC 520 del lado de la planta de energía y una pluralidad (N) de controladores 530 de las turbinas eólicas. El controlador de la planta de energía 510 es un sistema de control de supervisión para la planta de energía eólica que se puede implementar utilizando al menos un procesador 511 seleccionado de microprocesadores, microcontroladores, microordenadores, procesadores de señal digital, unidades de procesamiento central, matrices de puestas programables de campo, dispositivos lógicos programables, máquinas de estado, circuitos lógicos, circuitos analógicos, circuitos digitales y/o cualquier otro dispositivo que manipule señales (analógicas y/o digitales) de acuerdo con instrucciones operativas almacenadas en una memoria 512.

La memoria 512 puede ser un dispositivo de memoria único o una pluralidad de dispositivos de memoria que incluyen, entre otros, memoria de acceso aleatorio (RAM), memoria volátil, memoria no volátil, memoria estática de acceso aleatorio (SRAM), memoria dinámica de acceso aleatorio (DRAM), memoria flash, memoria caché y/o cualquier otro dispositivo capaz de almacenar información digital. El controlador de la planta de energía 510 puede incluir un dispositivo de almacenamiento masivo 513 que puede incluir una o más unidades de disco duro, disquetes u otras unidades de disco extraíbles, dispositivos de almacenamiento de acceso directo (DASD), unidades ópticas (por ejemplo, una unidad de CD, una unidad de DVD, etc.), y/o unidades de cinta, entre otros.

El procesador 511 del controlador de la planta de energía 510 puede operar bajo el control de un sistema operativo, y ejecuta o se basa de otra manera en el código de programa de ordenador incorporado en varias aplicaciones de software de ordenador, componentes, programas, objetos, módulos, estructuras de datos, etc. El código del programa informático que reside en la memoria 512 y se almacena en el dispositivo de almacenamiento masivo 513 también incluye un algoritmo de control 514 que, cuando se ejecuta en el procesador 511, controla y administra la potencia reactiva en una red interna de la planta de energía eólica (por ejemplo, la red de colector 321 de la figura 3) utilizando cálculos numéricos y lógica operativa para controlar la salida de los componentes de la planta de energía eólica. El código del programa de ordenador típicamente comprende una o más instrucciones que residen en varias ocasiones en la memoria 512, y que, cuando es leído y ejecutado por el procesador 511, hace que el controlador de la planta de energía 510 realice las etapas necesarias para ejecutar etapas o elementos que incorporan las diversas realizaciones y aspectos de la invención.

Se pueden identificar diversos códigos de programa descritos en el presente documento basándose en la aplicación dentro de la cual se implementa en una realización específica de la invención. Sin embargo, debe apreciarse que cualquier nomenclatura de programa en particular que se sigue se usa simplemente por conveniencia, y por lo tanto, la invención no debe limitarse al uso exclusivo en ninguna aplicación específica identificada y/o implícita por dicha nomenclatura. Por otro lado, dado el número infinito de maneras en que los programas de ordenador pueden organizarse en rutinas, procedimientos, métodos, módulos, objetos y similares, así como las diversas maneras en que la funcionalidad del programa se puede asignar entre varias capas de software que residen en un ordenador típico (por ejemplo, sistemas operativos, bibliotecas, API, aplicaciones, applets, etc.), debe apreciarse que la invención no se limita a la organización y asignación específicas de la funcionalidad del programa descrita en este documento.

Tal y como se ilustra en la figura 5, el controlador 510 de la planta de energía está conectado en comunicación con los controladores 530 de las turbinas eólicas. El viento interactúa con las turbinas eólicas, tal y como se ha explicado anteriormente, para generar energía eléctrica a partir del par suministrado desde el rotor al generador. Las señales de control del controlador de la planta de energía 510 pueden ser utilizadas por cada uno de los controladores 530 de las turbinas eólicas para variar dinámicamente la salida de las turbinas eólicas respectivas en el parque eólico para cumplir con ciertos requisitos de salida en la energía eléctrica generada. Por ejemplo, en respuesta a una señal de control recibida desde el controlador 510 de la planta de energía, cada uno de los controladores 530 de las turbinas eólicas, por ejemplo, puede controlar la guiñada de la góndola, la inclinación de una o más palas del aerogenerador, y similares.

Cada uno de los controladores de las turbinas eólicas puede asociarse con una turbina eólica respectiva en un parque eólico. En una realización, los controladores 530 de las turbinas eólicas pueden configurarse para controlar la operación de los respectivos convertidores de potencia de turbina (por ejemplo, los convertidores 320 del lado de la carga de la figura 3). Por ejemplo, en una realización, los controladores 530 de las turbinas eólicas pueden configurarse para intercambiar señales de control y datos con el controlador 510 de la planta de energía. Por ejemplo, los controladores 530 de las turbinas eólicas pueden configurarse para transferir datos del dispositivo con respecto a los convertidores de potencia de la turbina al controlador 510 de la planta de energía. En una realización particular, los controladores 530 de las turbinas eólicas pueden transferir datos que definen una curva de capacidad del convertidor de potencia al controlador 510 de la planta de energía.

El controlador HVDC 520 del lado de la planta de energía puede configurarse para controlar la operación de un convertidor HVDC, por ejemplo, el convertidor HVDC 330 del lado de la planta de la figura 3. En una realización de la invención, el controlador HVDC 520 del lado de la planta de energía puede configurarse para intercambiar señales de control y datos con el controlador 510 de la planta de energía. Por ejemplo, el controlador HVDC 520 del lado de la planta de energía puede configurarse para transferir datos del dispositivo con respecto a los convertidores de potencia HVDC al controlador 510 de la planta de energía. En una realización particular, el controlador HVDC 520 del lado de

la planta de energía puede transferir datos que definen una curva de capacidad del convertidor HVDC al controlador 510 de la planta de energía.

En una realización de la invención, el controlador 510 de la planta de energía puede configurarse para recibir una entrada desde el monitor de la red 360, tal y como se ilustra en la Figura 5. En una realización, la entrada del monitor de red 360 puede indicar un nivel de tensión en tiempo real en una red interna, tal como la red de colector 321 de un parque eólico. Tal y como se ha descrito antes, puede ser deseable mantener un nivel de tensión constante en una red interna. Sin embargo, pueden producirse fluctuaciones en la tensión de red interna debido a fallos, variaciones en la potencia real generada por los generadores de las turbinas eólicas y similares.

En una realización de la invención, el controlador 310 de la planta de energía puede configurarse para calcular una cantidad de potencia reactiva que debe producirse para mantener los niveles de tensión en la red interna cuando se produce un fallo u otro evento de cambio de tensión. Por ejemplo, cuando un fallo de red causa que el nivel de tensión caiga, la generación de potencia reactiva puede tener que aumentarse para una rápida recuperación de la tensión.

Al calcular la cantidad de potencia reactiva total que debe producirse, el controlador 310 de la planta de energía puede asignar la tarea de generación de potencia reactiva a uno o más convertidores del parque eólico. Por ejemplo, el controlador de potencia 310 puede hacer que el controlador HVDC 330 del lado de la planta y uno o más convertidores 320 del lado de la carga generen la potencia reactiva requerida. Específicamente, el controlador 310 de la planta de energía puede indicar el controlador HVDC 520 del lado de la planta de energía y uno o más controladores 530 de la turbina eólica, en el que la señal puede indicar una cantidad de potencia reactiva que debe ser generada por un respectivo convertidor. Sobre los controladores 520 y 530, los convertidores respectivos pueden generar la potencia indicada.

Durante la asignación de la potencia reactiva que generará cada convertidor en el parque eólico, el controlador 510 de la planta de energía puede considerar la capacidad de cada convertidor. Dicho de otra forma, el controlador 510 de la planta de energía puede determinar, basado en los datos del convertidor, una cantidad máxima de potencia reactiva que puede generar cada convertidor antes de determinar la responsabilidad de asignación para generar potencia reactiva. La cantidad máxima de capacidad de potencia reactiva puede depender de, por ejemplo, la cantidad de potencia activa que se genera y la curva de capacidad del convertidor.

En una realización de la invención, el controlador 510 de la planta de energía puede utilizar un esquema de prioridad para asignar la responsabilidad de la generación de potencia reactiva a los convertidores. Por ejemplo, en una realización particular, la responsabilidad principal de generar la potencia reactiva requerida puede recaer principalmente en el convertidor HVDC del lado de la planta. Los convertidores de turbina eólica pueden activarse para producir la potencia reactiva solo cuando el convertidor HVDC del lado de la planta no es capaz de generar toda la potencia reactiva requerida. El esquema de prioridad aquí mencionado anteriormente se proporciona solo como un ejemplo. En realizaciones alternativas, cualquier esquema de prioridad razonable puede ser implementado.

La figura 6 es un diagrama de flujo de operaciones de ejemplo realizadas por un controlador de planta de energía, de acuerdo con una realización de la invención. Las operaciones pueden comenzar en la etapa 610 detectando un evento de alteración de tensión en una red interna de una planta de energía eólica. El evento de alteración de tensión puede producirse, por ejemplo, debido a un fallo en una o más turbinas, un cortocircuito en la red interna, fluctuaciones en la potencia real generada, y similares. La detección del evento de alteración de tensión puede ser facilitada por un monitor de red, como se ha descrito antes.

En la etapa 620, el controlador de la planta de energía puede calcular una cantidad total de potencia reactiva que debe generarse para mantener un nivel de tensión deseado de la red interna y uno o más convertidores. En la etapa 630, el controlador de la planta de energía puede determinar la capacidad de uno o más convertidores en el parque eólico para generar la potencia reactiva requerida. En la etapa 640, el controlador de la planta de energía puede asignar la generación de cantidades predefinidas de potencia reactiva a cada uno de uno o más convertidores en la planta de energía eólica según su capacidad respectiva.

Aunque la invención se ha ilustrado mediante una descripción de diversas realizaciones, y aunque estas realizaciones se han descrito con detalle considerable, no es la intención del presente solicitante restringir o limitar de cualquier forma el alcance de las reivindicaciones adjuntas a dichos detalles. Les surgirán fácilmente a los expertos en la materia ventajas y modificaciones adicionales. La invención en sus aspectos más amplios, por lo tanto, no se limita a los detalles específicos, métodos representativos y ejemplos ilustrativos mostrados y descritos. En consecuencia, es posible apartarse de tales detalles sin apartarse del espíritu o alcance del concepto inventivo general del solicitante.

REIVINDICACIONES

1. Un método para mantener una tensión en una red interna (321) de una planta de energía eólica (300) a una tensión deseada, que comprende:

5 detectar (610) un cambio en la tensión en la red interna (321);
 en respuesta a la detección del cambio en la tensión, calcular (620) una cantidad de potencia reactiva que debe generarse para mantener la tensión de la red interna (321) a una tensión deseada;
 10 determinar (630) una capacidad de un convertidor HVDC de corriente continua de alta tensión (330) y uno o más convertidores (320) de la turbina eólica para generar potencia reactiva; y
 asignar (640) la generación de potencia reactiva para mantener la tensión de la red interna (321) a la tensión deseada a al menos uno o más del convertidor HVDC (330) y el uno o más convertidores (320) de la turbina eólica basados en la capacidad determinada.

15 2. El método de la reivindicación 1, en el que determinar (630) la capacidad del convertidor HVDC (330) y el uno o más convertidores (320) de la turbina eólica para generar potencia reactiva comprende:
 recuperar datos del convertidor desde un controlador (520, 530) asociado con cada uno de los convertidores HVDC (330) y el uno o más convertidores (320) de la turbina eólica.

20 3. El método de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que la asignación (640) de la generación de potencia reactiva a uno o más del convertidor HVDC (330) y el uno o más convertidores (320) de la turbina eólica se basa en un esquema de prioridad.

25 4. El método de la reivindicación 3, en el que al convertidor HVDC (330) se le asigna la responsabilidad principal de generar la potencia reactiva para mantener la tensión de la red interna (321) a la tensión deseada.

5. El método de cualquier reivindicación anterior, en el que la red interna (321) acopla el uno o más convertidores (320) de la turbina eólica al convertidor HVDC (330).

30 6. Un medio de almacenamiento legible por ordenador (513) que comprende un producto de programa que, cuando se ejecuta por un procesador (511) está configurado para realizar una operación para mantener una tensión en una red interna (321) de una planta de energía eólica (300) a una tensión deseada, comprendiendo la operación:

35 detectar (610) un cambio en la tensión en la red interna (321);
 en respuesta a la detección del cambio en la tensión, calcular (620) una cantidad de potencia reactiva que debe generarse para mantener la tensión de la red interna (321) a la tensión deseada;
 determinar (630) una capacidad de un convertidor HVDC de corriente continua de alta tensión (330) y uno o más convertidores (320) de la turbina eólica para generar potencia reactiva; y
 40 asignar (640) la generación de potencia reactiva para mantener la tensión de la red interna (321) a la tensión deseada a al menos uno o más del convertidor HVDC (330) y el uno o más convertidores (320) de la turbina eólica basados en la capacidad determinada.

45 7. El medio de almacenamiento legible por ordenador (513) de la reivindicación 6, en el que determinar la capacidad del convertidor HVDC (330) y el uno o más convertidores (320) de la turbina eólica para generar potencia reactiva comprende recuperar datos del convertidor de un controlador (520, 530) asociado con cada uno de los convertidores HVDC (330) y el uno o más convertidores (320) de la turbina eólica.

50 8. El medio de almacenamiento legible por ordenador (513) de la reivindicación 6 o la reivindicación 7, en el que la asignación de generación de potencia reactiva a uno o más del convertidor HVDC (330) y el uno o más convertidores de turbina eólica (320) se basa en un esquema de prioridad.

55 9. El medio de almacenamiento legible por ordenador (513) de la reivindicación 8, en el que al convertidor HVDC (330) se le asigna la responsabilidad principal de generar la potencia reactiva para mantener la tensión de la red interna (321) a la tensión deseada.

10. El medio de almacenamiento legible por ordenador (513) de cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9, en el que la red interna (321) acopla el uno o más convertidores (320) de la turbina eólica al convertidor HVDC (330).

11. Una planta de energía eólica (300), que comprende:

60 una pluralidad de turbinas eólicas (100), comprendiendo cada turbina eólica al menos un dispositivo convertidor (320) de turbina eólica;
 un convertidor de corriente continua de alta tensión (HVDC) (330) acoplado a los dispositivos convertidores (320) de la turbina eólica de la pluralidad de turbinas eólicas (100) a través de una red interna (321); y
 65 un controlador (510) de planta de energía configurado para:

- detectar (610) un cambio en una tensión en la red interna (321);
 en respuesta a la detección del cambio en la tensión, calcular (620) una cantidad de potencia reactiva que debe generarse para mantener el nivel de tensión de la red interna (321) a una tensión deseada;
 determinar (630) una capacidad del convertidor HVDC (330) y los dispositivos convertidores (320) de la turbina eólica para generar potencia reactiva; y
 asignar (640) la generación de potencia reactiva para mantener la tensión de la red interna (321) a la tensión deseada a al menos uno o más del convertidor HVDC (330) y los dispositivos convertidores (320) de la turbina eólica en función de la capacidad determinada.
- 5
- 10 12. La planta de energía eólica (300) de la reivindicación 11, en la que determinar la capacidad del convertidor HVDC (330) y los dispositivos convertidores (320) de la turbina eólica para generar potencia reactiva comprende recuperar datos del convertidor de un controlador (520, 530) asociado con cada uno de los convertidores HVDC (330) y los dispositivos convertidores (320) de la turbina eólica.
- 15 13. La planta de energía eólica (300) de la reivindicación 11 o la reivindicación 12, en la que la asignación de generación de potencia reactiva a uno o más del convertidor HVDC (330) y los dispositivos convertidores (320) de la turbina eólica se basa en un esquema de prioridad.
- 20 14. La planta de energía eólica (300) de la reivindicación 13, en la que al convertidor HVDC (330) se le asigna la responsabilidad principal de generar la potencia reactiva para mantener la tensión de la red interna (321) a la tensión deseada.
- 25 15. La planta de energía eólica (300) de cualquiera de las reivindicaciones 11 a 14, en la que la pluralidad de turbinas eólicas (100) están situadas en alta mar.

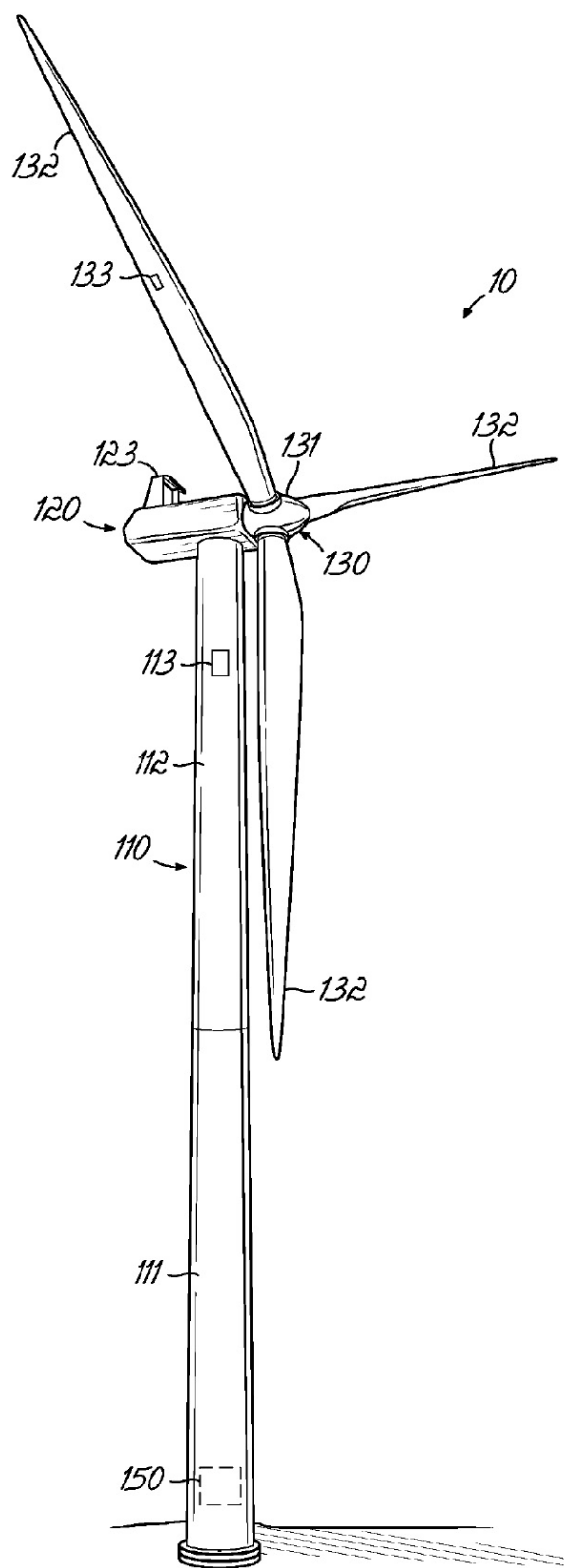


FIG. 1

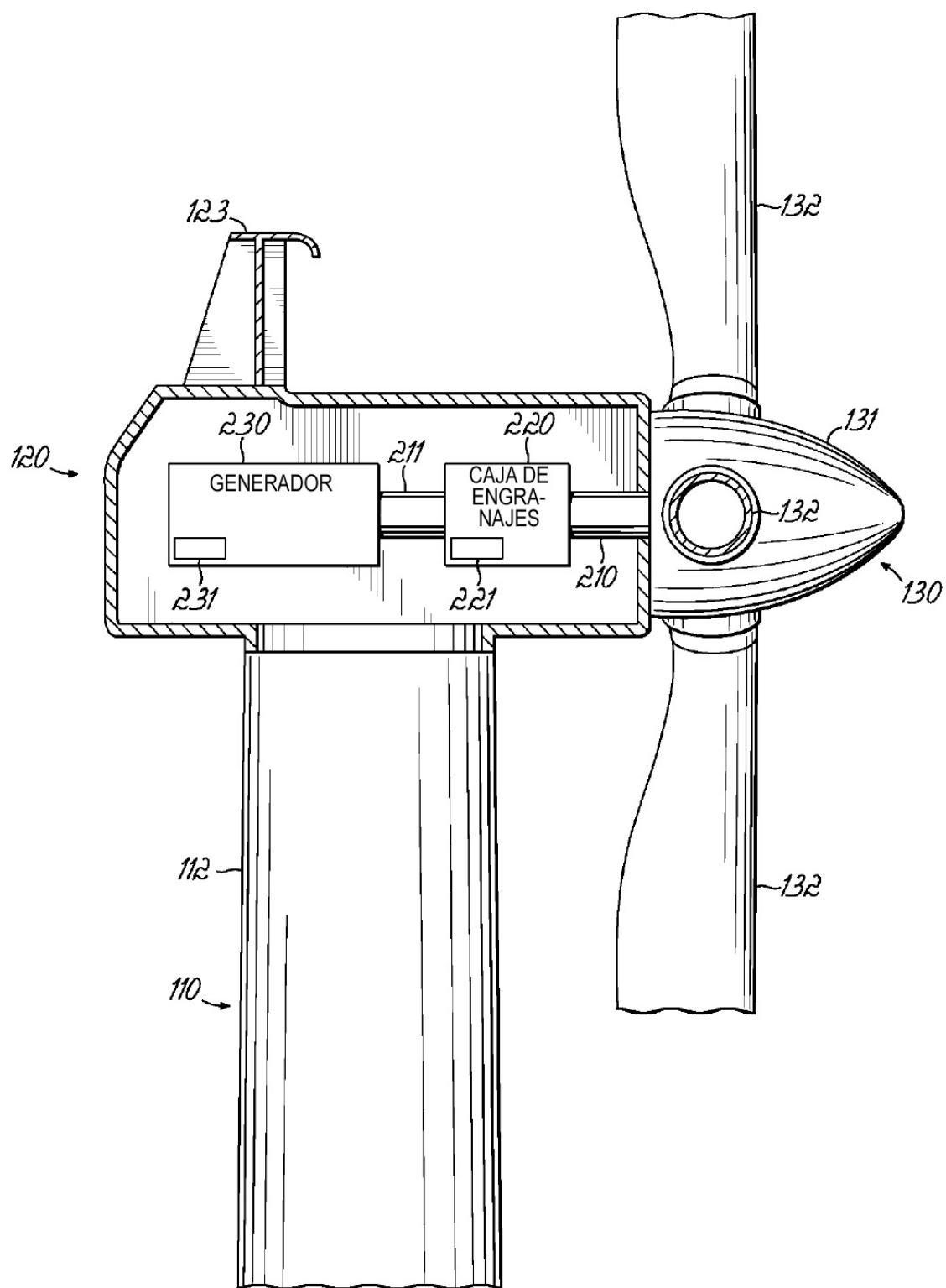


FIG. 2

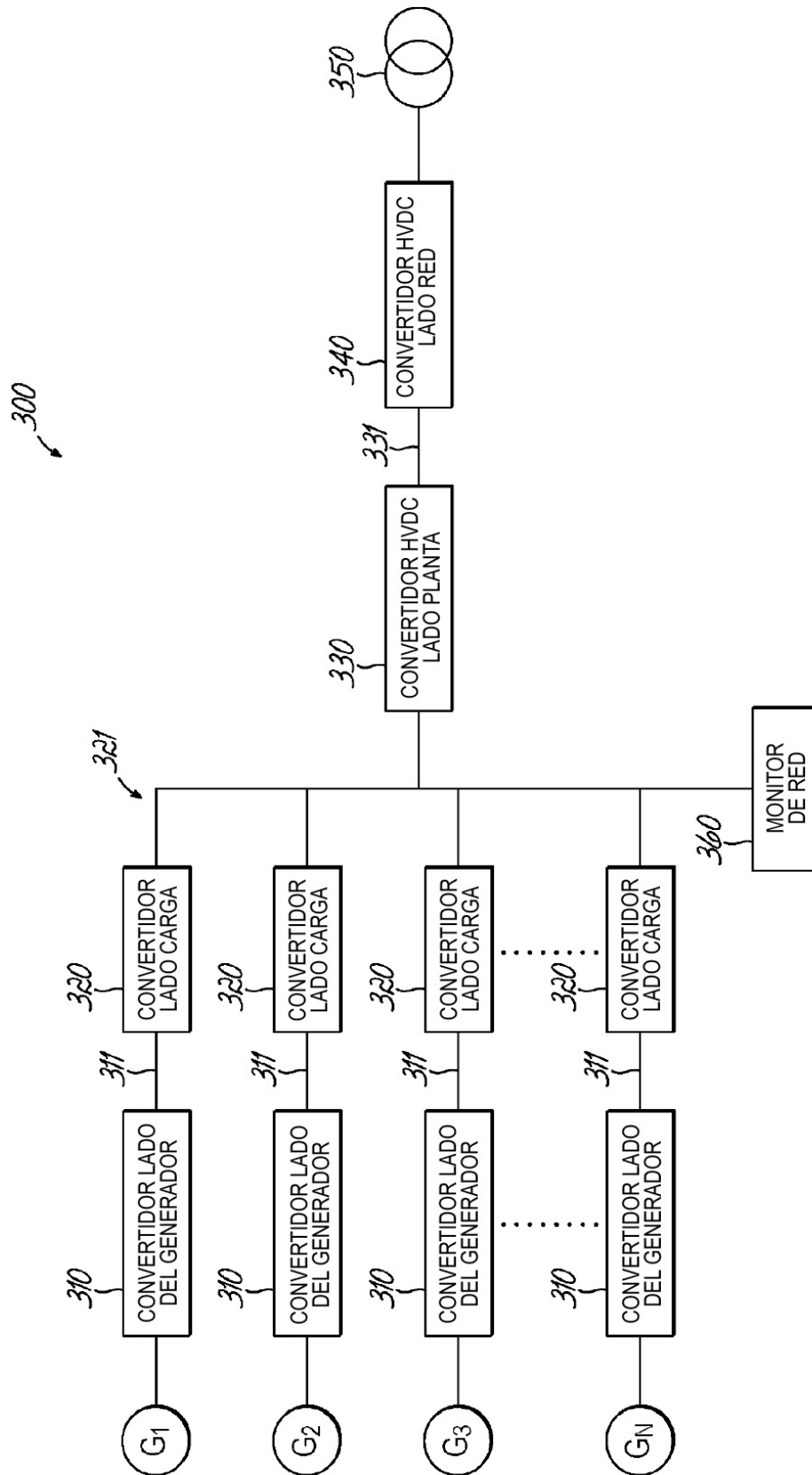


FIG. 3

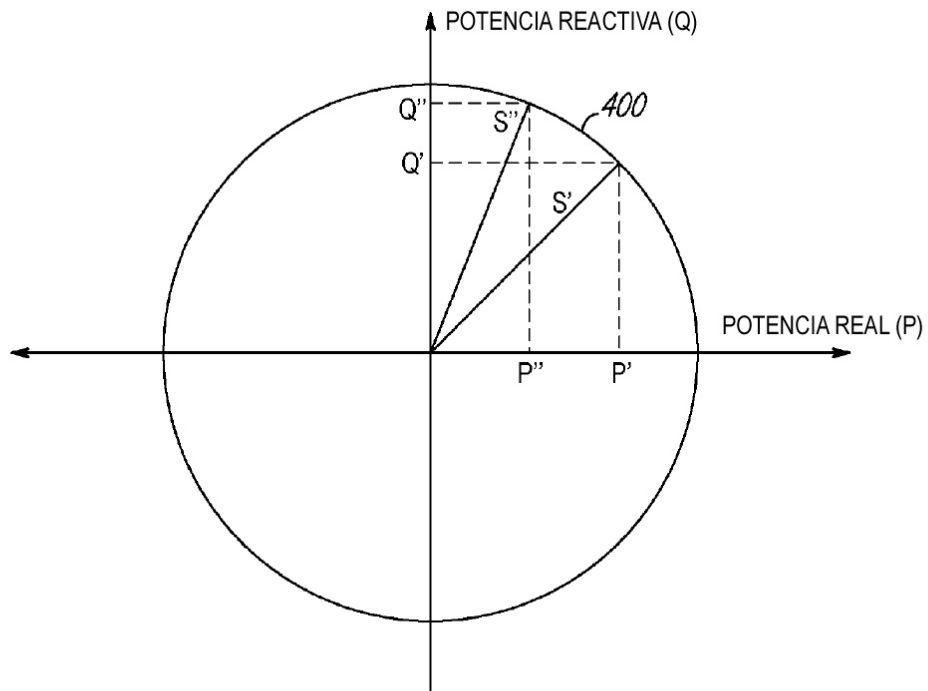


FIG. 4

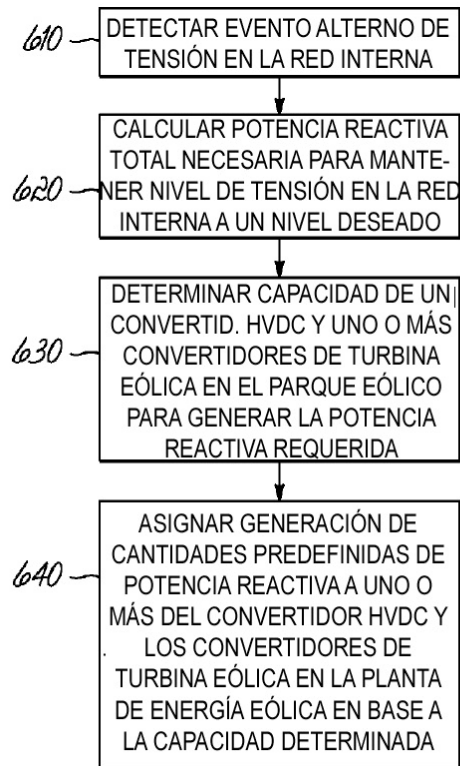


FIG. 6

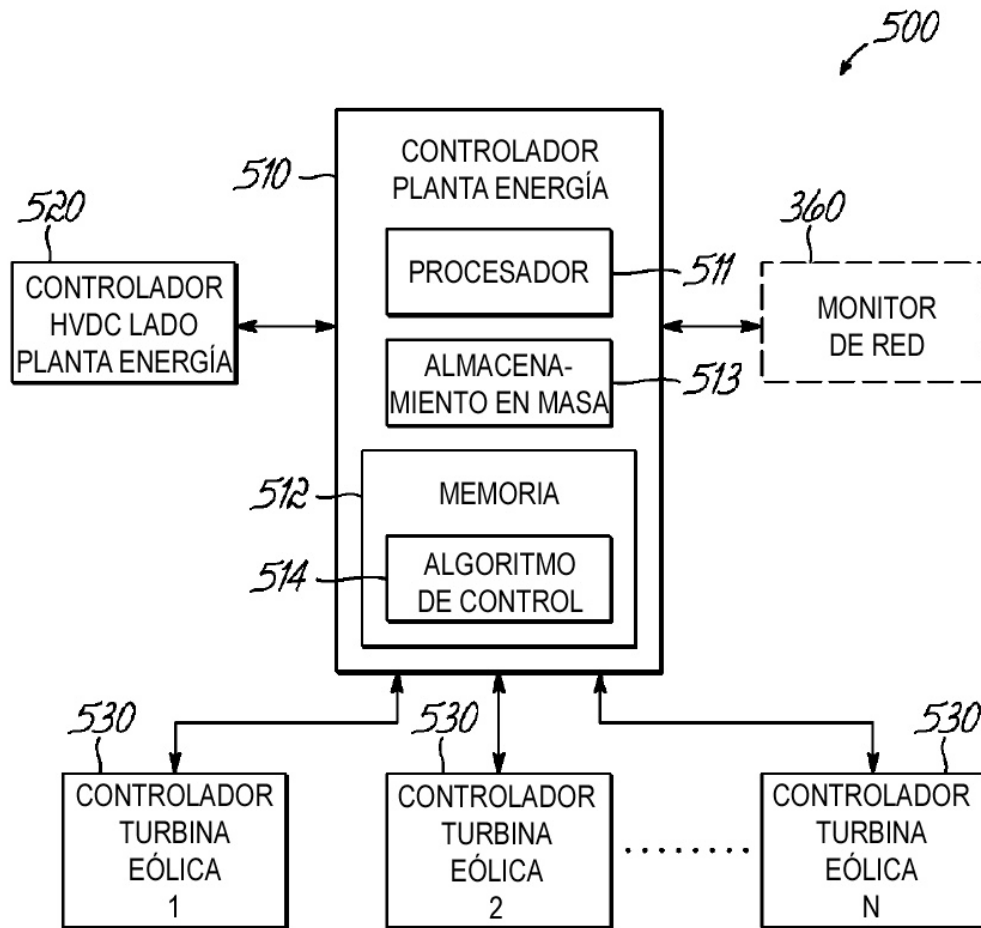


FIG. 5