

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 708 766**

51 Int. Cl.:

<b>H02J 3/16</b>	(2006.01)
<b>F03D 7/02</b>	(2006.01)
<b>F03D 7/04</b>	(2006.01)
<b>H02J 3/38</b>	(2006.01)
<b>H02J 3/48</b>	(2006.01)
<b>H02J 3/00</b>	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.10.2015 PCT/DK2015/050317**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **12.05.2016 WO16070882**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.10.2015 E 15784560 (3)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.12.2018 EP 3216099**

54 Título: **Método de control de la generación de potencia activa de una planta de generación eólica, y planta de generación eólica**

30 Prioridad:

**03.11.2014 DK 201470669**

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

**11.04.2019**

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)  
Hedeager 42  
8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:

**GUPTA, MANOJ;  
NAYEBI, KOUROUSH y  
KUMAR, RAVI**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

**ES 2 708 766 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**

Método de control de la generación de potencia activa de una planta de generación eólica, y planta de generación eólica

5 **Campo técnico**

La presente divulgación describe realizaciones que se refieren en general a un método de control de una planta de generación eólica. Las realizaciones pueden proporcionar un método de control de la generación de potencia activa de una planta de turbinas eólicas. La presente divulgación describe también una planta de generación eólica configurada para llevar a cabo un método de control de una planta de generación eólica.

**Antecedentes**

15 Está proliferando el desarrollo y aceptación de la energía eólica como una fuente limpia y productiva de energía alternativa. La energía eólica puede capturarse mediante un generador de turbina eólica, que es una máquina rotativa que convierte la energía cinética del viento en energía mecánica, y la energía mecánica posteriormente en potencia eléctrica. Las turbinas eólicas de eje horizontal comunes incluyen una torre, una góndola ubicada en la cima de la torre, y un rotor que se soporta en la góndola mediante un árbol. El árbol acopla el rotor o bien directamente o bien indirectamente con un conjunto de rotor de un generador alojado dentro de la góndola. Pueden disponerse juntos una pluralidad de generadores de turbina eólica para formar un parque eólico o una planta de generación eólica.

25 El significativo crecimiento en la aceptación de la generación de energía eólica ha conducido a diversos países y operadores de la red eléctrica a implementar exigentes requisitos en la conexión a la red, también conocidos como normativa de la red. Alguna normativa de la red requiere que una planta de generación eólica cumpla con ciertos requisitos de potencia reactiva de modo que la planta de generación eólica sea capaz de importar y/o exportar potencia reactiva durante perturbaciones de tensión en la red.

30 El factor de potencia en general puede definirse como la relación de la potencia real que fluye a la carga a la potencia aparente en el circuito. Generalmente, los requisitos de la red se definen en términos de valores absolutos del factor de potencia, que dependen de la potencia activa despachada por la planta de generación eólica, en el punto de acoplamiento común.

35 Alguna normativa de la red, sin embargo, define su requisito de factor de potencia como una cantidad de potencia reactiva importada o exportada basándose en los valores nominales de la planta de generación eólica e independientemente de la generación de potencia activa. De ese modo, los requisitos de factor de potencia pueden identificarse como un requisito de potencia reactiva. En tales casos, se requiere compensación adicional de potencia reactiva para que la planta de generación eólica cumpla con la normativa de la red.

40 Típicamente, esta compensación puede proporcionarse mediante una fuente de potencia reactiva dinámica, tal como un compensador síncrono estático (STATCOM) o un compensador de VAR estático (VAR) o mediante dispositivos estáticos tales como unos MSC (condensadores mecánicamente conmutados). Sin embargo, pueden surgir complicaciones, si por alguna razón, la compensación de potencia reactiva en la que se basa la planta de generación eólica para cumplimiento con la normativa de la red queda indisponible, por ejemplo, debido a un fallo del equipo o incluso a interrupción o errores en la comunicación de datos. Como resultado, la planta de generación eólica no será capaz de controlar el MSC o STATCOM y no será capaz de satisfacer los requisitos de normativa de la red a plena generación, lo que puede conducir a penalización financiera para el operador de la planta de generación eólica o en un escenario más perjudicial, dar como resultado la desconexión de la red debido a que la planta de generación eólica no es capaz de mantener la capacidad reactiva requerida tal como se demanda por la normativa de la red y supone un riesgo potencial sobre la disponibilidad de potencia reactiva dentro de la red.

55 El documento WO 2014/071948 A1 divulga una planta de generación eólica de la técnica anterior con despacho inteligente de puntos de consigna de potencia para las turbinas eólicas y equipo de compensación de una planta de generación eólica, como las unidades de producción de potencia de una planta de generación eólica. Se refiere a un caso en el que la potencia producida solicitada es menor que la capacidad total de la planta de generación, y utiliza esta situación para despachar puntos de consigna a las turbinas eólicas y al equipo de compensación basándose en factores de corrección que se refieren a las condiciones de operación del parque eólico.

**Sumario**

60 Existe un deseo tal de un método de operación de una planta de generación eólica, que proporcione cumplimiento con los requisitos de factor de potencia o potencia reactiva de la normativa de la red con respecto a la capacidad de la planta de generación eólica.

65 De acuerdo con la invención, se proporciona un método de control de la generación de potencia activa de una planta de generación eólica acoplada a una red eléctrica, incluyendo la planta de generación eólica un controlador de la

planta de generación para el control de una pluralidad de generadores de turbina eólica estando el método caracterizado por las etapas de:

- 5 supervisar un estado operativo de un equipo de compensación de la planta; ajustar una capacidad de potencia reactiva de la planta cuando el estado operativo del equipo de compensación de la planta indica un fallo en el equipo de compensación de la planta; controlar la planta de generación eólica para limitar la potencia activa generada por la planta de generación eólica mediante una limitación de la cantidad determinada basándose en la capacidad de potencia reactiva de la planta ajustada.

- 10 De acuerdo con la invención, se proporciona también una planta de generación eólica, que comprende una pluralidad de generadores de turbina eólica; un equipo de compensación de la planta que incluye una pluralidad de módulos de compensación; y un controlador de la planta de generación, configurado para controlar la pluralidad de generadores de turbina eólica, caracterizado por que comprende además: un módulo de supervisión configurado para supervisar un estado operativo del equipo de compensación de la planta; un módulo de capacidad de potencia reactiva configurado para ajustar una capacidad de potencia reactiva de la planta cuando el estado operativo del equipo de compensación de la planta indica un fallo en el equipo de compensación de la planta; un módulo de limitación configurado para controlar la planta de generación eólica para limitar una potencia activa generada por la planta de generación eólica en una cantidad de limitación basándose en la potencia reactiva de la planta ajustada. La invención proporciona adicionalmente un producto de programa informático de acuerdo con la reivindicación 15. Se definen realizaciones de la invención en las reivindicaciones dependientes.

20

### Breve descripción de los dibujos

- 25 En los dibujos, los caracteres de referencia similares se refieren, generalmente, a las mismas partes en todas las diferentes vistas. Los dibujos no están necesariamente a escala, poniéndose en su lugar, en general, el énfasis en la ilustración de los principios de la presente divulgación. Se ha de observar que los dibujos adjuntos ilustran solamente ejemplos de realizaciones de la presente divulgación y no han de considerarse por lo tanto limitativos de su alcance, ya que la divulgación puede admitir otras realizaciones igualmente eficaces. En la siguiente descripción, se describen diversas realizaciones de la divulgación con referencia a los siguientes dibujos, en los que:

- 30 La FIG. 1 ilustra una planta de generación eólica de acuerdo con una realización.

La FIG. 2 ilustra un control esquemático durante la operación de una planta de generación eólica de acuerdo con una realización.

- 35 La FIG. 3 ilustra un bloque esquemático de un método de retrocesión de acuerdo con realizaciones.

La FIG. 4A ilustra un gráfico PQ de una planta de generación eólica con capacidad de potencia reactiva instalada plenamente operativa.

- 40 La FIG. 4B ilustra un gráfico PQ de la planta de generación eólica de la FIG. 4A con capacidad de potencia reactiva reducida.

La FIG. 5 ilustra un método para la operación de una planta de generación eólica de acuerdo con una realización.

- 45 La FIG. 6 ilustra una planta de generación eólica de acuerdo con una realización.

### Descripción detallada

- 50 Se describe en detalle a continuación un método de operación de una planta de generación eólica y una planta de generación eólica con referencia a las figuras adjuntas. Sin embargo, debería entenderse que la divulgación no está limitada a las realizaciones específicas descritas. Se apreciará que las realizaciones descritas a continuación pueden modificarse en diversos aspectos, características, y elementos, sin cambiar la esencia de la divulgación. Además, cualquier referencia a diversas realizaciones 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.

- 60 De acuerdo con diversas realizaciones, la representación de un elemento dado o la consideración o uso de un número de elementos particulares en una figura particular o una referencia a los mismos del material descriptivo correspondiente pueden llevar el mismo, un equivalente, o un elemento análogo o número de elementos identificado en otra figura o material descriptivo asociado con él. El uso de "/" en el presente documento significa "y/o" a menos que específicamente se indique lo contrario.

- 65 La presente divulgación puede describir realizaciones del sistema y/o un aparato que puede ser operativo en diversas orientaciones, y por ello debería entenderse que cualquiera de los términos "superior", "inferior", "base", "abajo", "de costado", "hacia abajo", etc., cuando se usan en la descripción que sigue se usan por conveniencia y para ayudar a la comprensión de las posiciones o direcciones relativas, y no se pretende limitar la orientación del sistema o aparato.

Un sistema informático o un controlador o un microcontrolador o cualquier otro sistema que proporciona una capacidad de procesamiento pueden presentarse de acuerdo con diversas realizaciones en la presente divulgación. Dicho sistema puede considerarse que incluye un procesador. Un sistema o aparato de acuerdo con diversas realizaciones puede incluir un controlador que puede incluir una memoria que se usa por ejemplo en el procesamiento llevado a cabo por el controlador. Una memoria usada en las realizaciones puede ser una memoria volátil, por ejemplo una memoria DRAM (memoria de acceso aleatorio dinámico) o una memoria no volátil, por ejemplo una PROM (memoria solo de lectura programable), una EPROM (PROM borrable), EEPROM (PROM eléctricamente borrable), o una memoria flash, por ejemplo, una memoria de puerta flotante, una memoria de captura de carga, una MRAM (memoria de acceso aleatorio magnetorresistiva) o una PCRAM (memoria de acceso aleatorio de cambio de fase).

En diversas realizaciones, un "circuito" puede entenderse como cualquier clase de entidad de implementación lógica, que puede ser un circuito de finalidad especial o un procesador ejecutando software almacenado en una memoria, firmware, o cualquier combinación de los mismos. De ese modo, en una realización, un "circuito" puede ser un circuito lógico cableado o un circuito lógico programable tal como un procesador programable, por ejemplo un microprocesador (por ejemplo, un procesador de ordenador de conjunto de instrucciones complejas (CISC) o un procesador de ordenador de conjunto de instrucciones reducidas (RISC)). Un "circuito" puede ser también un procesador ejecutando software, por ejemplo cualquier clase de programa informático, por ejemplo un programa informático que use un código de máquina virtual tal como, por ejemplo, Java. Cualquier otra clase de implementación de las funciones respectivas que se describirán con más detalle a continuación puede entenderse también como un "circuito" de acuerdo con diversas realizaciones alternativas. De manera similar, un "módulo" se define asimismo como una parte de un sistema de acuerdo con diversas realizaciones de la presente divulgación y puede englobar un "circuito" como anteriormente, o puede entenderse como cualquier clase de entidad de implementación de lógica a partir del mismo.

La FIG. 1 ilustra una planta de generación eólica de acuerdo con una realización. En una realización, se proporciona una planta de turbinas eólicas o una planta de generación eólica 100. Una planta de generación eólica se forma típicamente con una colección de unidades de generación eólica, o de generadores de turbina eólica, de modo que se centraliza el control y se realiza un único acoplamiento a una red eléctrica, o a una red de transmisión eléctrica, o a una red de distribución eléctrica, o a una red eléctrica de potencia 160. En diversas realizaciones, la planta de generación eólica 100 puede ser conectable a una red eléctrica 160.

En una realización, la planta de generación eólica 100 puede incluir una pluralidad de generadores de turbina eólica, o turbinas eólicas, 120, eléctricamente acoplados a la planta de generación eólica 100. En una realización, la planta de generación eólica 100 incluye una flota de generadores de turbina eólica 120 similares. En otras realizaciones, es posible tener una variedad de generadores de turbina eólica conectados a las ramas de transmisión de la planta de generación eólica. Esto es cuando los generadores de turbina eólica se distribuyen típicamente geográficamente en diversas localizaciones en las que los vientos predominantes se utilizarían mejor mediante diferentes tipos de generadores de turbina eólica.

Los generadores de turbina eólica 120 se acoplan a una barra del bus de distribución de la planta 130, que puede conocerse como la barra del bus principal o un bus de media tensión (MT), a través de una rama de transmisión 110. La planta de generación eólica 100 puede incluir una pluralidad de ramas de transmisión 110, cada una incluyendo una pluralidad de generadores de turbina eólica 120 eléctricamente conectados a una rama de transmisión correspondiente. En una realización, hay dos turbinas eólicas conectadas a una rama de transmisión. Sin embargo, no hay típicamente guías en cuanto al número de turbinas eólicas por rama de transmisión, simplemente por la preferencia de la localización física.

En las realizaciones, una rama de transmisión 110 puede incluir un interruptor 112, que puede configurarse para proteger tanto los generadores de turbina eólica 120 conectados a la rama de transmisión 110 como otras partes de la planta de generación eólica 100 frente a picos o incursiones de potencia que pudieran tener lugar cuando hay un fallo en la red eléctrica 160 o en la planta 100. En tales casos, el interruptor 112 disparará hasta una situación de circuito abierto, y aísla la rama de transmisión 110 de la planta de generación eólica 100, hasta que se identifique y acometa la falta, y los sistemas eléctricos de la planta estén de nuevo en condiciones para la reconexión de la rama de transmisión 110.

La planta de generación eólica 100 puede incluir una subestación de la planta 140 que puede acoplarse a la barra del bus de distribución de la planta 130. Las subestaciones de la planta pueden ser tanto un área física de la planta de generación eólica como un número agregado de características dispersas sobre la planta. En una realización, la subestación 140 se presenta como localizada en un área física. De acuerdo con la realización, los componentes principales de la subestación 140 son el transformador principal 142, que eleva la potencia generada en la planta a una tensión apropiada para ser proporcionada a una red eléctrica 160, y el interruptor principal 144, que define un interruptor activo para la planta de generación eólica. La subestación de la planta 140 se asienta entre medias de las turbinas eólicas 120 de la planta de generación eólica 100 y el punto de acoplamiento común 146 a la red eléctrica 160.

La operación de la planta de generación eólica 100 es controlada por el controlador de la planta de generación ("PPC") 150 que despacha diversos puntos de consigna de referencia a generadores de turbina eólica 120 individuales en la

planta de generación eólica 100. El controlador de la planta de generación 150 recibe también múltiples fuentes de medidas o lecturas de salida desde los generadores de turbina eólica 120, así como desde diversas localizaciones sobre la rama de transmisión 110, la barra de distribución 130, la subestación de la planta 140, y la red eléctrica 160, y usa la información recibida para optimizar la contribución de la planta de generación eólica a la red eléctrica. El controlador de la planta de generación 150 puede recibir también puntos de consigna para la operación desde el operador de red de la red eléctrica 160 a la que está acoplada la planta de generación eólica 100.

De acuerdo con una realización, el PPC 150 de la planta de generación eólica 100 es parte de una red de control, supervisión y adquisición de datos (SCADA) 154 que acopla la planta 100 y la pluralidad de generadores de turbina eólica 120 en la planta 100 a un centro remoto de datos y control. La red SCADA de la planta 154 puede incluir acoplamiento de transmisión de datos entre los controladores de planta y turbina proporcionado mediante una transmisión de fibra óptica tendida. Además, la red SCADA 154 puede incluir conectividad entre el controlador de la planta 150 y diversos equipos auxiliares en la planta de generación eólica 100, por ejemplo, el equipo de compensación de la potencia, sistemas de almacenamiento de energía, sistemas de control avanzado, sistemas de detección meteorológica, etc. La red SCADA 154 puede facilitar también la comunicación de información de datos e información de mediciones. En las realizaciones, pueden proporcionarse líneas de comunicación separadas para la comunicación de información de datos y de información de mediciones. En diversas realizaciones, se proporciona una línea de comunicación de datos 157 en la planta de generación eólica 100. Puede proporcionarse también una línea de comunicación de mediciones 158 en la planta de generación eólica 100.

En diversas realizaciones, la planta de generación eólica 100 incluye un módulo de control SCADA 156, configurado para proporcionar control y vigilancia de la red SCADA 154. El módulo de control SCADA 156 puede incluir subsistemas para consolidar datos de medición recibidos desde los componentes de la planta, comunicar mensajes, y diversas otras funciones operativas. En las realizaciones, el módulo de control SCADA 156 y el PPC 150 pueden localizarse físicamente en la subestación de la planta. En las realizaciones, el módulo de control SCADA 156 y el PPC 150 pueden localizarse en un anexo de la planta de generación eólica 100. Se entiende que la localización física no plantea limitación para la operación de la planta de generación eólica 100.

En una realización, se proporciona un sensor 152 en el punto de acoplamiento común 146, y la salida resultante se proporciona al PPC 150 para supervisión de las características eléctricas de la red eléctrica 160. Puede supervisarse una tensión, corriente y características de potencia, y procesarse posteriormente en varios formatos característicos útiles por el PPC 150. El punto de medición (PdM) de la planta de generación eólica 100 puede estar en el lado de alta tensión del transformador principal 142, o en el punto de acoplamiento común 146. Puede proporcionarse equipo adicional en el PdM, por ejemplo, pero sin limitación, un contador, junto con un transformador de corriente, o un transformador de potencial.

De acuerdo con diversas realizaciones, la pluralidad de generadores de turbina eólica puede incluir uno o más tipos o versiones de generadores de turbina eólica. Se representa esquemáticamente un generador de turbina eólica 121 y puede ejemplificar representativamente un generador de turbina eólica de la pluralidad de generadores de turbina eólica. El generador de turbina eólica 121 puede incluir una pluralidad de palas del rotor que accionan un árbol principal rotativo que se acopla mecánicamente a una caja de engranajes que eleva la rotación para un árbol de generador de alta velocidad de un sistema de producción de energía 122. En una realización, el sistema de producción de energía 122 incluye un generador de inducción doblemente alimentado (DFIG) en el que el árbol del generador se acopla al rotor del generador o Tipo 3). En una realización, el generador es un generador de conversión completa (Tipo 4). El generador de Tipo 4 se acopla a un convertidor de potencia de escala completa. El método tal como se describe en realizaciones de la presente divulgación es aplicable tanto a máquinas de Tipo 3 como de Tipo 4. En el generador de inducción doblemente alimentado, el par mecánico se convierte en potencia eléctrica, que se proporciona posteriormente a un convertidor de frecuencia para el acondicionamiento de la potencia. La salida del convertidor de frecuencia se eleva con un transformador proporcionado en la turbina, que posteriormente produce potencia eléctrica a 30 kV (puede ser cualquier tensión que varía entre 10 kV a 35 kV) a la rama de transmisión 110. En diversas realizaciones, el transformador puede elevar la potencia eléctrica hasta una tensión variable desde 10 kV a 35 kV.

En otras realizaciones, las turbinas en la planta pueden incluir un sistema de producción de potencia que incluye un generador que puede ser un generador de alimentación simple, un generador de inducción, un generador de imanes permanentes o cualquier otro tipo de generador que incluya un devanado de estator. Además, las turbinas en otras realizaciones pueden incluir un sistema de producción de potencia que incluye accionamiento directo u otros sistemas de accionamiento alternativo, que se apartan del uso de una caja de engranajes tradicional. Puede ser posible cualquier configuración eléctrica del sistema de producción de energía de turbina eólica para la satisfacer la finalidad de generación de energía eléctrica a partir de la captura cinética del viento.

De acuerdo con una realización, en operación normal, el generador de la turbina eólica 121 recibe una referencia de potencia desde el PPC 150 de modo que se genere una salida controlada de potencia eléctrica. Las referencias de potencia generadas por el PPC 150 dependen del estado de operación de la red según se experimente por el operador de red 160, así como el viento actualmente experimentado para conversión de energía. En una realización, la referencia de potencia desde el PPC 150 puede proporcionarse como una referencia de potencia activa  $P^*$  y como una referencia de potencia reactiva  $Q^*$ , indicando al generador de la turbina eólica 121 la cantidad requerida de

potencia a ser generada y suministrada por el generador de la turbina eólica 121 como parte de la contribución de la planta de energía eólica a la red eléctrica 160. En una realización, la referencia de potencia desde el PPC 150 puede ser también una referencia de factor de potencia, que puede definirse como la relación de la potencia real a la potencia aparente en el circuito.

5 En una realización, el generador de la turbina eólica 121 incluye un controlador de turbina eólica (no mostrado). El controlador de la turbina eólica incluye capacidades de control para el control de diversos aspectos de la funcionalidad de la turbina eólica, por ejemplo, optimización de la captura del viento en capacidades de orientación de la góndola y cambio de paso de palas, procedimientos de emergencia tal como frenado de emergencia o parada de la turbina, o control de la producción eléctrica. En diversas realizaciones, el controlador de la turbina eólica se configura para maximizar la producción de potencia, en tanto que impide daños a la turbina eólica o a la carga.

15 En una realización, el controlador de la turbina eólica puede incluir un controlador de potencia de turbina eólica 124. El controlador de potencia de la turbina eólica 124 puede proporcionarse con potencia de procesamiento, tal como con ordenadores, microprocesadores, microcontroladores, tarjetas de procesamiento de señal digital (DSP), circuitos integrados de aplicación específica (ASIC) o cualesquiera otros, y con módulos de memoria apropiados adjuntos o cualquier medio de almacenamiento legible por ordenador no transitorio.

20 El controlador de potencia de la turbina eólica 124 se proporciona para la supervisión de la capacidad de producción de potencia del generador de la turbina eólica 121. En diversas realizaciones, el controlador de potencia de la turbina eólica 124 se acopla al PPC 150 y recibe desde el PPC 150 una referencia de potencia activa  $P^*$  y una referencia de potencia reactiva  $Q^*$  para un requisito de contribución del generador de la turbina eólica 121 a la planta 100. Además, el controlador de potencia de la turbina eólica 124 se acopla, y está en constante comunicación con, el controlador de la turbina eólica. En diversas realizaciones, se proporciona información con relación al control del generador de la turbina eólica 121 al controlador de la turbina eólica para su ejecución, y se proporciona información de sensores al controlador de potencia de la turbina eólica 124 para su uso en la optimización de la generación de potencia por parte del generador de la turbina eólica 120. Bajo condiciones de operación normales la turbina seguirá las referencias  $P^*$  y  $Q^*$  desde el PPC.

30 De acuerdo con una realización, la planta de generación eólica 100 puede incluir equipo de compensación de potencia o equipo de compensación de planta 170. El equipo de compensación de potencia 170 puede acoplarse sobre la barra de distribución de la planta 130. El equipo de compensación de potencia 170 puede incluir equipo de soporte de la potencia reactiva dinámico, por ejemplo, unos SVC o un compensador síncrono estático (STATCOM) 172, en el que el STATCOM puede incluir una combinación de unidades de suministro de potencia más pequeñas. El equipo de compensación de potencia 170 puede incluir también equipo estático de soporte de la potencia reactiva, por ejemplo, bancos de condensadores conmutados 174 y bancos de inductores conmutados 176. Además, podrían ser posibles también otras clases de equipo de compensación de potencia, tales como, por ejemplo, condensadores estáticos y condensadores síncronos. De acuerdo con diversas realizaciones, el equipo de compensación de la potencia 170 puede incluir un conjunto de módulos compensadores 178. Los módulos de compensación 178 pueden incluir bancos de condensadores, módulos STATCOM, bancos SVC, o cualquier otro equipo de compensación que pueda proporcionar potencia reactiva para la regulación. En las realizaciones, los módulos de compensación 178 pueden incluir 3 conjuntos de bancos de condensadores.

45 El equipo de compensación de potencia 170 puede usarse para controlar el factor de potencia, el nivel de potencia reactiva contribuido, o el nivel de tensión del punto de acoplamiento común 146. En las realizaciones, el equipo de compensación de potencia puede localizarse también junto con la subestación de planta 140. En otras realizaciones, el equipo de compensación de potencia podría distribuirse a, y localizarse en, cada generador de turbina eólica 121.

50 El equipo de compensación de potencia 170 puede configurarse para dar soporte a la planta de generación eólica 100 a lo largo de diversas perturbaciones en la red 160. Por ejemplo, el equipo de compensación de potencia 170 puede configurarse para dar soporte a la red 160 durante, por ejemplo, caídas y huecos de tensión, subidas de tensión, fluctuaciones de tensión, interrupciones de corta duración, desequilibrios, u otras formas de perturbaciones.

55 De acuerdo con ciertas realizaciones, diversos componentes en el equipo de compensación de potencia 170 pueden acoplarse conjuntamente con finalidades de comunicación. En una realización, el STATCOM 172, los bancos de condensadores 174 y los bancos de inductores 176 pueden acoplarse juntos con finalidades de comunicación en una red de comunicación interna 180. Un controlador de compensación central 171 puede proporcionar supervisión para la funcionalidad operativa del equipo de compensación de potencia 170. Además, puede obtenerse información de salida de diversos componentes en el equipo de compensación 170 y proporcionarse al controlador de compensación 171 con finalidades de medición, en una red de medición interna 179. En las realizaciones, el PPC 150 puede acoplarse al controlador de compensación 171 a través de la línea de comunicación de datos 157 y la línea de comunicación de mediciones 158, y a través del controlador de compensación 171, consigue el control operativo y supervisión sobre diversos componentes del equipo de compensación de potencia 170. En las realizaciones, el PPC puede comunicar directamente con diversos componentes del equipo de compensación de la planta. Por ejemplo, la red SCADA 154 puede incluir una conexión directa con el STATCOM 172. En las realizaciones, el STATCOM 172 puede acoplarse a una línea de comunicación de datos 157 y línea de comunicación de mediciones 158. De esa

manera, el STATCOM 172 puede controlarse directa y eficientemente desde el PPC 150. En las realizaciones, cada uno de los módulos compensadores 178 se acopla directamente al PPC 150 y puede controlarse directa y efectivamente desde el PPC 150.

5 En operación, el equipo de compensación de la planta 170 se conmuta para dar soporte a la planta de generación eólica 100 a lo largo de diversas perturbaciones en la red eléctrica 160. El PPC 150 puede supervisar la red eléctrica 160 a través del sensor 152 y determinar un requisito de potencia adicional. En la situación de, por ejemplo, un hueco en la tensión de red, se requiere potencia reactiva adicional desde la planta de generación eólica 100 en soporte de la recuperación de la red eléctrica. Como se ha indicado, se determina una referencia de potencia reactiva  $Q^*$  por parte del PPC 150. El PPC 150 conecta adicionalmente el equipo 170 para proporcionar potencia reactiva adicional, si la inyección de potencia reactiva no puede ser soportada totalmente por los generadores de turbina eólica 120.

De acuerdo con ciertas realizaciones, el equipo de compensación de la planta puede incluir diversos módulos compensadores 178 acoplados juntos para la realización de una función de compensación para la planta de energía eólica 100. De acuerdo con ciertas realizaciones, los módulos compensadores 178 pueden ser bancos de condensadores. En una realización representativa, una planta de energía eólica 100, compuesta de una pluralidad de generadores de turbina eólica 120, puede llegar a 83 MW a plena capacidad. En el soporte de dicho nivel de planta de generación de energía eólica 100, los módulos compensadores 178 pueden incluir un valor de 18,5 MVAR para dar soporte a la planta de generación eólica 100 para cumplir con los requisitos de la red eléctrica o requisitos de potencia reactiva de la red. En las realizaciones, los módulos compensadores 178 pueden incluir tres bancos de condensadores 178, 179, 180, de 6, 6 y 6,5 MVAR respectivamente.

La FIG. 2 ilustra un control esquemático durante la operación de una planta de generación eólica de acuerdo con una realización. En diversas realizaciones, la planta de generación eólica 100 puede incluir mecanismos de control relevantes tal como microcontroladores o microprocesadores que se configuran para llevar a cabo un esquema de control 200 en la operación de la planta de generación eólica 100. De acuerdo con ciertas realizaciones, se configura un módulo de medición 210 para recibir información con relación a la red eléctrica 160. El módulo de medición 210 puede incluir sensores dispuestos para medir características eléctricas de la red eléctrica 160. El módulo de medición 210 puede medir parámetros eléctricos tales como tensión, corriente, potencia activa, potencia reactiva, etc. en el punto de acoplamiento común (PCC). Además, el módulo de medición 210 puede incluir también sensores dispuestos para medir características eléctricas de la energía eléctrica generada por la planta de generación eólica 100 y dispuesta para entrega a la red eléctrica 160.

El módulo de medición 210 proporciona posteriormente lecturas eléctricas medidas de la red eléctrica y la potencia generada por la planta de generación eólica y comunica las mediciones al PPC 250. El PPC 250 puede incluir un módulo de control de  $Q$  252, configurado el módulo de control de  $Q$  252 para recibir lecturas de medición de la red eléctrica 160 desde el módulo de medición 210 y dispuesto para generar y enviar una referencia de potencia reactiva  $Q_{ref}$ . El módulo de control de  $Q$  252 puede incluir un controlador de  $Q_{ref}$  254, configurado para recibir las características eléctricas medidas de la red eléctrica y de la planta y generar una salida de  $Q_{ref}$  a partir de las mismas. El valor de  $Q_{ref}$  se proporciona posteriormente a un módulo de despacho de  $Q_{ref}$  256, que comunica el valor de  $Q_{ref}$  a diversos componentes en la planta de generación eólica 100. En las realizaciones, el módulo de despacho del  $Q_{ref}$  256 puede descomponer la referencia de potencia reactiva a nivel de subsistema, y proporcionar un punto de consigna de  $Q$  a los diversos componentes.

El PPC 250 puede incluir también un módulo de control de  $P$  258, configurado el módulo de control de  $P$  258 para recibir lecturas de medición de la red eléctrica 160 desde el módulo de medición 210 y dispuesto para generar y enviar una referencia de potencia activa  $P_{ref}$ . El módulo de control de  $P$  258 puede incluir un controlador de  $P_{ref}$  260, configurado para recibir las características eléctricas medidas de la red eléctrica y de la planta y generar una salida de  $P_{ref}$  a partir de las mismas. El valor de  $P_{ref}$  se proporciona posteriormente a un módulo de despacho de  $P_{ref}$  262, que comunica el valor de  $P_{ref}$  a diversos componentes en la planta de generación eólica 100.

El PPC 250 se acopla comunicativamente a una pluralidad de turbinas eólicas en la planta de generación eólica 100. El bloque 220 ilustra representativamente el esquema de control 200 como perteneciente a una turbina eólica individual. El bloque 220 puede ser representativo de un controlador de potencia de la turbina eólica. En las realizaciones, las turbinas eólicas de la planta de generación eólica se controlan de modo similar con respecto al esquema de control. Por supuesto, diversos parámetros y puntos de consigna pueden diferir con respecto a generadores de turbina eólica individuales, de acuerdo con el valor nominal y condición de la turbina. Generalmente, cada turbina eólica 220 incluye un controlador de  $Q$  222 y un controlador de  $P$  224, dispuestos para recibir una  $Q_{ref}$  y una  $P_{ref}$  respectivamente desde el módulo de control de  $Q$  252 y el módulo de control de  $P$  258 en el PPC 250. Tras la recepción de la referencia de potencia reactiva  $Q_{ref}$  y la referencia de potencia activa  $P_{ref}$ , el controlador de potencia de la turbina eólica de 220 configura el sistema de producción de potencia para generar y producir la salida del tipo requerido y la cantidad de potencia.

En las realizaciones, el PPC 250 se acopla comunicativamente a un controlador de compensación 270. El controlador de compensación 270 puede supervisar la operación del equipo de compensación, que puede incluir una pluralidad de módulos compensadores, por ejemplo, bancos de condensadores, que se disponen para proporcionar una cantidad

- de potencia reactiva bajo demanda. Se señala que el controlador de compensación incluye además la supervisión y operación no solamente de los módulos compensadores, sino de diversos otros componentes del equipo de compensación de la planta, tales como el STATCOM 172, condensadores 174 e inductores 176. Sin embargo la presente descripción se dirige específicamente a la operación y función solamente de los módulos compensadores
- 5 178, pero puede extenderse fácilmente a diversos otros componentes. Por ejemplo, el STATCOM 172 puede incluir una pluralidad de pequeñas unidades de generación. Por ejemplo un STATCOM de valor nominal 20 MVar puede incluir 10 unidades de módulos de valor nominal 2 MVar. Dichos módulos pueden supervisarse por parte del controlador de compensación 270 o del PPC 250.
- 10 La cantidad de potencia reactiva a ser proporcionada por los módulos compensadores puede deducirse del valor  $Q_{ref}$  recibido desde el módulo de despacho de  $Q_{ref}$  256 en el PPC 250. El valor  $Q_{ref}$  es recibido por un controlador de Q 272 en el controlador de compensación 270, que posteriormente controla los módulos compensadores para proporcionar la potencia reactiva solicitada.
- 15 Se señala que el controlador de compensación 270 vigila la capacidad operativa de los módulos compensadores. En una realización, el controlador de compensación 270 puede acoplarse comunicativamente con cada uno de los módulos compensadores 178. En consecuencia, en diversas realizaciones, el PPC 250 se acopla comunicativamente a cada uno de los módulos compensadores 178. Los módulos compensadores pueden supervisarse respecto a su estado operativo y para funcionalidad y eficiencia de su salida, entre otros parámetros. Dicha información de
- 20 supervisión puede devolverse al PPC 250 a través del controlador de compensación 270 para acciones adicionales.
- De acuerdo con ciertas realizaciones, el controlador de compensación 270 puede incluir un módulo de disponibilidad de Q 274, que puede incluir el procesamiento de datos de supervisión del estado operativo y proporcionar una realimentación al PPC 250 indicando la cantidad de capacidad de potencia reactiva que son capaces de soportar los
- 25 módulos compensadores 178.
- La información de supervisión puede incluir dónde se indica un fallo en la operación del equipo de compensación de la planta. En las realizaciones, la información de supervisión puede incluir dónde se indica un fallo en la operación de los módulos compensadores. Tal y como se ha mencionado, hay situaciones en las que los módulos compensadores
- 30 instalados pueden no estar operando a plena capacidad. Por ejemplo, uno o más de los módulos compensadores individuales pueden estar operando con una eficiencia subóptima, o puede tener un estado de fallo parcial o completo debido a una rotura física de componentes. Además, la falta puede incluir un fallo de comunicación entre uno cualquiera de los módulos compensadores y el controlador de compensación, o en la red SCADA que enlaza el PPC al controlador de compensación y módulos compensadores. Además, la falta puede incluir, por ejemplo, una
- 35 interrupción eléctrica o fallo de componente, que puede impedir que los módulos compensadores instalados sean conectados o desconectados por el PPC.
- En el caso de que se indique un fallo en los módulos compensadores instalados, y los módulos compensadores estén funcionando con una capacidad subóptima, o no operando en absoluto, o que algunos o todos los módulos de
- 40 compensación no puedan ser manejados por el PPC, la contribución de potencia reactiva desde la planta de generación eólica queda afectada. En las metodologías actuales, tras la identificación por el PPC de un fallo en el equipo de compensación de la planta, el PPC registra la capacidad de potencia reactiva reducida, por ejemplo, en la que uno o más módulos de compensación están inoperativos, y el módulo de control de Q del PPC modifica y reduce el  $Q_{ref}$  y despacho desde el mismo. El inconveniente de dichas metodologías actuales puede ser que puede no
- 45 cumplirse con la normativa de la red, dado que la capacidad de inyección de potencia reactiva de la planta de generación eólica está comprometida con la falta en el equipo de compensación de la planta. Dicho no cumplimiento puede conducir a graves penalizaciones impuestas por los operadores de la red por la violación de la normativa de la red.
- 50 La FIG. 3 ilustra un bloque esquemático de un método de retrocesión de acuerdo con realizaciones. Se proporciona una estrategia 300 de retrocesión, de acuerdo con diversas realizaciones de la presente divulgación. Dicho método de retrocesión proporciona un cumplimiento dinámico de una planta de generación eólica 100 con varias normativas de la red eléctrica a la vista de una capacidad de potencia reactiva de la planta de generación eólica 100. De acuerdo con ciertas realizaciones, en 310, el método puede incluir la supervisión de un estado de operación de un equipo de
- 55 compensación de la planta. En 320, el método considera la capacidad del equipo de compensación. Si está disponible el equipo de compensación, no se requiere limitación de la potencia activa, como bajo 330. El método pasa en ciclos posteriormente de vuelta a 310 para una supervisión continua del estado de operación.
- De acuerdo con ciertas realizaciones, si partes o todo el equipo de compensación no está disponible, el método lleva a cabo el bloque 340, en el que se limita la potencia activa. En las realizaciones, en 340, la potencia activa se limita en una cantidad  $\Delta P$  para satisfacer la demanda de potencia reactiva extra en MVar desde los generadores de turbina eólica. De acuerdo con ciertas realizaciones, el método puede incluir además identificar una deficiencia en la capacidad de potencia reactiva de la planta de generación eólica basándose en el equipo de compensación indisponible.
- 60 La deficiencia puede ser debida a un fallo en el equipo de compensación, incluyendo una reducción en el estado operativo del equipo de compensación, que conduce a la contribución subóptima. Un fallo puede incluir también una
- 65

no operación total del equipo de compensación. Dicha falta puede incluir también una rotura en la comunicación de datos con el equipo de compensación, que conduce a una incapacidad o a una reducción en la capacidad de operación del equipo de compensación.

- 5 En la limitación de la potencia activa, el método puede incluir limitar la generación de potencia activa de la planta de generación eólica para cumplir con la operación de la planta de generación eólica bajo la normativa de conexión a la red de la red eléctrica acoplada. De acuerdo con ciertas realizaciones, la potencia activa de la planta de generación eólica se limita para cumplir con un requisito de la normativa de la red de requerir una cantidad fija de potencia reactiva exportada basándose en la capacidad nominal de la planta de generación eólica. En las realizaciones, la potencia
- 10 activa de la planta de generación eólica se limita para superar una deficiencia en la capacidad de potencia reactiva de la planta de generación eólica, con respecto a la capacidad nominal de la planta de generación eólica. En las realizaciones, la planta de generación eólica ajusta la capacidad nominal de la planta de generación eólica, de acuerdo con una capacidad de potencia reactiva reducida. En las realizaciones, la capacidad de potencia activa de la planta de generación eólica se optimiza basándose en la capacidad de potencia reactiva reducida. En las realizaciones, la
- 15 generación de potencia activa en la planta de generación eólica se limita basándose en la capacidad de potencia reactiva reducida para la optimización de la generación de potencia activa.

De acuerdo con diversas realizaciones, se introduce una estrategia de retrocesión y se incorpora en el esquema de operación de la planta de generación eólica. Dicha estrategia de retrocesión se inicia y se lleva a cabo en respuesta a

20 identificar un fallo en el equipo de compensación de la planta 170 de la planta de generación eólica 100. Volviendo a referirnos a la FIG. 2, el controlador de compensación 270 lleva a cabo una supervisión de un estado operativo del equipo de compensación de la planta 170. En las realizaciones, el controlador de compensación 270 lleva a cabo la supervisión de un estado operativo de los módulos compensadores 178. Además, el controlador de compensación 270 supervisa la comunicación de datos con los módulos compensadores 178, como parte de la supervisión del estado

25 operativo.

En el caso de una detección de falta, puede comprometerse el estado operativo de los módulos compensadores, y el equipo de compensación de la planta 170 ya no será capaz de proporcionar la cantidad de capacidad de potencia reactiva, conduciendo a un ajuste descendente en la capacidad de potencia reactiva del equipo de compensación de la planta 170. El controlador del STATCOM 270 puede llevar a cabo dicho ajuste de la capacidad de potencia reactiva del equipo de compensación de la planta, con el módulo de disponibilidad de Q 274, y proporcionar dicha

30 realimentación al PPC 250. El PPC 250 recibe dicha información de realimentación y ajusta hacia abajo la capacidad de potencia reactiva total de la planta de la planta de generación eólica 100.

De acuerdo con diversas realizaciones, para cumplir con los requisitos de la normativa de la red, se ajusta hacia abajo la capacidad de potencia activa de la planta de generación eólica 100. El PPC 250 puede incluir un módulo de limitación 264, que puede configurarse para limitar la cantidad de potencia activa que puede proporcionarse por la planta de generación eólica 100 a la red eléctrica. Tal como se mencionó anteriormente, la capacidad de potencia activa, o la capacidad nominal, de la planta de generación eólica 100 se limita o reduce, de modo que permita a la planta de

40 generación eólica 100 cumplir funcionalmente con los requisitos de la red. En las realizaciones, la capacidad de potencia activa se limita para cumplir con los requisitos de la red, pero se optimiza para proporcionar la máxima potencia activa permisible basándose en los requisitos de la red y la capacidad de potencia reactiva.

El módulo de limitación 264 puede incluir un módulo de capacidad de Q 266, que puede configurarse para compilar la capacidad de potencia reactiva de la planta de generación eólica. Dicha capacidad de potencia reactiva puede tener en cuenta la capacidad de generación de potencia reactiva de los generadores de turbina eólica 120 así como la capacidad de potencia reactiva del equipo de compensación de la planta 170. De acuerdo con ciertas realizaciones, cuando se detecta un fallo en el equipo de compensación de la planta 170, el módulo de disponibilidad de Q 274 reduce la capacidad de potencia reactiva del equipo de compensación de la planta, y proporciona dicho valor de

50 capacidad reducida al módulo de limitación 264 y al módulo de capacidad de Q 266 para procesamiento adicional.

En la compilación y ajuste hacia abajo de una capacidad de potencia reactiva de la planta de generación eólica, el módulo de capacidad de Q 266 identifica la cantidad de potencia reactiva que la planta de generación eólica puede proporcionar cuando se requiere. El valor de la capacidad de potencia reactiva se proporciona posteriormente a un

55 módulo de determinación de P 268, que puede configurarse para deducir una cantidad de potencia activa a ser limitada. El módulo de determinación de P 268 determina la cantidad de potencia activa a ser limitada a partir de la potencia nominal de la planta de generación eólica 100 y deduce así una capacidad de potencia activa reducida de la planta de generación eólica 100.

En diversas realizaciones, se lleva a cabo una comparación de referencia en la determinación de la cantidad optimizada de potencia activa a ser generada por la planta de generación eólica, con respecto a la capacidad de potencia reactiva requerida. De acuerdo con diversas realizaciones, el módulo de limitación 264 puede incluir un módulo de tabla de búsqueda (TdB) 269, siendo capaz el módulo de TdB 269 de ser manejado como parte del módulo de determinación de P 268. En las realizaciones, el módulo de TdB 269 puede proporcionar la capacidad de potencia

60 activa reducida de la planta de generación eólica optimizada dentro de los requisitos de normativa de la red con respecto a la capacidad de potencia reactiva. Se señala que con el método de estrategia de retrocesión de acuerdo

65

con las presentes realizaciones, la planta de generación eólica es capaz de una operación continua dentro de los requisitos de la normativa de la red, sin ninguna costosa actualización del hardware.

- 5 Se señala que los valores para comparación dentro del módulo de TdB 269 se calculan globalmente y se extraen basándose en unos estudios del sistema de generación con ingeniería global y completa que pueden llevarse a cabo previamente a la instalación o puesta en servicio de la planta de generación eólica. Dichos estudios de ingeniería se generan basándose en una pluralidad de parámetros de la planta de generación eólica, con respecto a los requisitos de la normativa de la red asociada, y requieren una considerable potencia de procesamiento y tiempo de cálculo para compilar. Puede señalarse que dichos estudios para determinar los valores de la TdB que conducen al cumplimiento con los requisitos de la normativa de la red se optimizan al mismo tiempo respecto a producción bajo los mismos requisitos. Unos valores de TdB predeterminados liberan al PPC de tener que llevar a cabo un cálculo simultáneo de la capacidad de potencia activa reducida basándose en la capacidad de potencia reactiva, lo que podría requerir una poderosa capacidad de procesamiento, así como llevar un tiempo relativamente largo para finalizar dichos cálculos complejos dado que dichos cálculos tienen en cuenta condiciones del emplazamiento y parámetros de la instalación.
- 10 En tal caso, la utilización de una tabla de búsqueda proporciona un retorno rápido y suficientemente preciso de la capacidad de potencia activa reducida, en comparación con el cálculo de la capacidad de potencia activa reducida. A pesar de todo, en diversas realizaciones, el módulo de determinación de P puede incluir un módulo de cálculo para proporcionar una capacidad de potencia activa reducida basándose en la capacidad de potencia reactiva.
- 15 De acuerdo con diversas realizaciones, el módulo de TdB 269 puede incluir una tabla para comparación entre una capacidad de potencia reactiva y una capacidad de potencia activa utilizada. En las realizaciones, la tabla puede proporcionar una comparación entre el número de módulos compensadores disponibles y la máxima potencia activa bajo el cumplimiento de la normativa de la red. En una realización ejemplificada, la planta de generación eólica puede evaluarse en 83 MW a plena capacidad, e incluir equipo de compensación de potencia en la forma de tres bancos de condensadores de 6, 6 y 6,5 MVar respectivamente. Dicha planta de generación eólica se ajusta para una operación optimizada a plena capacidad dentro de los requisitos de normativa de la red. En una realización, puede proporcionarse la tabla 1 que sigue en el módulo de TdB 269 para la determinación de la potencia activa.
- 20
- 25

Bancos de cond. disponibles (MVar)	Potencia activa optimizada bajo cumplimiento (MW)
6+6+6,5	83
6+6	80
6+6,5	80,5
6,5	76,5
Sin bancos de cond.	73,5

Tabla 1

- 30 A partir de la tabla, puede observarse que cada vez que un módulo compensador o un banco de condensadores falla y se retira de la operación, la cantidad de potencia activa que puede proporcionar la turbina eólica a la red se reduce correspondientemente. La tabla se proporciona para diversas combinaciones de disponibilidad de bancos de condensadores del compensador. Puede observarse que la tabla anterior es representativa de parámetros implicados en dicha estrategia de retrocesión, y que pueden utilizarse en su lugar otros parámetros que indican la capacidad de potencia reactiva y la capacidad de potencia activa. De acuerdo con diversas realizaciones, los algoritmos de control basados en simulaciones de diseño de ingeniería previamente determinados pueden usarse en lugar de una TdB, en la determinación de una cantidad optimizada de potencia activa a ser generada por la planta de generación eólica.
- 35 Una vez determinados, el valor de la capacidad de potencia reactiva y el valor de la capacidad de potencia activa optimizada se proporcionan al módulo de control de  $Q_{ref}$  254 y al módulo de control de  $P_{ref}$  260 para procesamiento adicional y retransmisión de los puntos de consigna de control de potencia a los generadores de turbina eólica 120 y al equipo de compensación de potencia 170 en consecuencia. De acuerdo con diversas realizaciones, el controlador de  $P_{ref}$  260 puede incluir un módulo de limitación de potencia, configurado para limitar la potencia producida por la planta de generación eólica, de acuerdo con el valor de potencia activa optimizada recibido del módulo de limitación 264.
- 40 En diversas realizaciones, el PPC 250 es capaz de optimizar la cantidad de potencia activa que debería producir la planta de generación eólica, basándose en el módulo de TdB 269, para satisfacer la normativa de la red en todo momento en el caso de un fallo en el equipo de compensación de la planta. La capacidad de potencia activa puede revisarse con un tiempo de muestreo de 1 segundo con supervisión de la señal de comunicación. Además, si hay un fallo de señal de comunicación con el módulo compensador, se identifica el módulo compensador, y puede revisarse la capacidad de potencia activa con el módulo de determinación de P 268.
- 45
- 50
- 55 En las realizaciones, el PPC 150 puede medir también la inyección de potencia reactiva total en la barra del bus de distribución de la planta 130 o en el terminal de BT del transformador principal 142 para hallar si el banco de condensadores con el que no hay comunicación está conectado o desconectado. El PPC 150 puede activar una alarma o revisar la  $Q_{ref}$  si el banco de condensadores está conectado y si ese no es el estado pretendido y viceversa.

La FIG. 4A ilustra un gráfico PQ de una planta de generación eólica con capacidad de potencia reactiva instalada plenamente operativa. De acuerdo con un ejemplo representativo, se proporciona una planta de generación eólica con una potencia de capacidad nominal de 83 MW. El gráfico 400 incluye una indicación de un requisito PQ de la red o requisito de factor de potencia 410, en el que puede observarse, requiere que la planta de generación eólica proporcione una capacidad de generación de potencia reactiva de aproximadamente 27 MVAR cuando la planta de generación eólica está generando a la producción de potencia activa nominal de 83 MW. La capacidad de generación de potencia reactiva puede proporcionarse por los generadores de turbina eólica en la planta, suplementados por el equipo de compensación de potencia. En las realizaciones, los bancos de condensadores pueden proporcionar hasta una compensación de 18,5 MVAR cuando se requiere.

Las curvas 422, 424, 426 se refieren a la capacidad de potencia reactiva de la planta de generación eólica de acuerdo con el ejemplo representativo, correspondiente a una tensión de red de 0,9, 1,0 y 1,1 por unidad respectivamente. Puede observarse que la capacidad de potencia reactiva de la planta de generación eólica cumple con el requisito de la red 410 en cada punto de generación de la potencia activa. La provisión del equipo de compensación de potencia proporciona un desplazamiento positivo y suplemento a la capacidad de potencia reactiva real de la planta de generación eólica.

La FIG. 4B ilustra un gráfico PQ de la planta de generación eólica de la FIG. 4A con capacidad de potencia reactiva reducida. En el gráfico 450, se proporciona similarmente el requisito PQ de la red 410, para la planta de generación eólica con capacidad 83 MW. En dicho ejemplo representativo, uno de los módulos compensadores, se considera que un banco de condensadores con capacidad de 6,5 MVAR está defectuoso y por ello no operativo. La capacidad de potencia reactiva del equipo de compensación de potencia está así en 12 MVAR. Las curvas 462, 464, 466 muestran la capacidad de potencia reactiva de la planta de generación eólica de acuerdo con el ejemplo representativo, correspondiente a una tensión de red de 0,9, 1,0 y 1,1 por unidad respectivamente. Puede observarse a partir de la línea de referencia 470 que cuando la planta de generación eólica funciona a capacidad nominal, es decir 83 MW, el requisito del factor de potencia de la normativa de la red no puede satisfacerse.

La línea de referencia 472 indica una intersección de la curva 462, que establece la capacidad de potencia reactiva de la planta con una tensión de red de 0,9 por unidad, y requisito de la red 410. Puede observarse que la línea de referencia indica la cantidad máxima u optimizada de potencia activa que la planta puede generar y proporcionar a la red eléctrica, mientras funciona en cumplimiento con los requisitos de la red. La cantidad de limitación,  $\Delta P$ , puede observarse que es la diferencia entre los valores de potencia activa de las líneas de referencia 470 y 472. Esta es la cantidad de potencia activa a reducir por la planta de generación eólica en respuesta a la pérdida del equipo de compensación de potencia. Además, dicha cantidad de limitación puede considerarse que es una cantidad de limitación óptima. Dicha cantidad de limitación puede basarse en la potencia reactiva adicional requerida debido a la no disponibilidad del equipo de compensación de potencia.

De acuerdo con diversas realizaciones, cuando se lleva a cabo dicho método de estrategia de retrocesión de acuerdo con la presente divulgación, la planta de generación eólica 100 puede soportar actividades de regulación de la frecuencia de la red. Actualmente, los operadores de la red eléctrica incluyen a veces reservas giratorias para soportar fluctuaciones de frecuencia y restaurar la frecuencia de operación. Generalmente, se incrementa la potencia activa y se proporciona a la red eléctrica para dar soporte a la restitución de la frecuencia. Al llevar a cabo dicha estrategia de retrocesión como se ha descrito, una planta de generación eólica puede de ese modo mantener una forma de reserva giratoria, que el operador de la planta puede poner a disposición de la red eléctrica.

La planta de generación eólica puede considerar la cantidad limitada de potencia activa, debido al cumplimiento con la normativa de la red en capacidad de potencia reactiva reducida, como una forma de reserva para provisión a la red eléctrica. En una situación de fluctuación de frecuencia, se requiere toda la potencia activa de los equipos de generación de potencia acoplados a la red eléctrica. De ese modo, el requisito de factor de potencia de la normativa de la red queda temporalmente insignificante. Después de que se restaure la frecuencia de la red, la planta de generación eólica puede volver a la operación con nivel de generación de potencia nominal reducida.

La FIG. 5 ilustra un método 500 para la operación de una planta de generación eólica de acuerdo con una realización. En una realización, el método es un método para el control de la generación de potencia de la planta de generación eólica. La planta de generación eólica puede incluir un controlador de la planta de generación para el control de una pluralidad de generadores de turbina eólica en la planta de generación eólica. En 510, el método incluye la supervisión de un estado operativo de un equipo de compensación de la planta. En 520, el método incluye ajustar una capacidad de potencia reactiva de la planta cuando el estado operativo del equipo de compensación de la planta indica un fallo en el equipo de compensación de la planta. En 530, el método incluye controlar la planta de generación eólica para limitar la potencia activa generada por la planta de generación eólica mediante una limitación de la cantidad determinada basándose en la capacidad de potencia reactiva de la planta ajustada.

Al proporcionar dicho método para el control de una capacidad de potencia activa de la planta de generación eólica, se proporciona una planta de generación eólica con una capacidad de adherirse a los requisitos de factor de potencia de la normativa de la red. Dicho método para el control de la generación de potencia activa de la planta de generación eólica permite que la planta de generación eólica satisfaga los requisitos de potencia reactiva o factor de potencia

- dispuestos por la normativa de la red aplicable en caso de que el módulo de compensación reactiva tal como bancos de condensadores o STATCOM estén temporalmente inhabilitados debido a defectos o mantenimiento, etc. De modo que se consigue una capacidad incluso en el caso de falta en uno o más componentes del equipo de compensación de potencia. Con dicho ajuste dinámico en el control de la capacidad de potencia activa, la planta de generación eólica
- 5 no necesita desconectarse de la red eléctrica hasta que el equipo defectuoso pueda repararse o sustituirse, ni estar sometida a penalizaciones por no cumplimiento con los requisitos de la normativa de la red.
- Con este método, el reajuste de la capacidad de la planta puede ajustarse también dinámicamente basándose en la capacidad de potencia reactiva de la planta de generación eólica. Ventajosamente, el cumplimiento con los requisitos
- 10 de normativa de la red puede llevarse a cabo mediante mejoras de software o firmware, y sin costosos cambios reales en el equipo o hardware.
- En una realización, el método incluye además optimizar la potencia activa generada por la planta de generación eólica basándose en los requisitos de la normativa de la red. En una realización, el método incluye además optimizar la
- 15 potencia activa generada por la planta de generación eólica basándose en la potencia reactiva adicional requerida debido a la no disponibilidad del equipo de compensación de la planta.
- En una realización, el método incluye además comparar la capacidad de potencia reactiva de la planta con los requisitos de normativa de la red para optimizar la potencia activa generada por la planta de generación eólica. La
- 20 optimización de la potencia activa puede incluir la optimización de la limitación de la potencia activa generada.
- En una realización, el método incluye además obtener la cantidad de limitación a partir de una comparación en la tabla de búsqueda.
- 25 En una realización, los valores de la cantidad de limitación en la tabla de búsqueda están predeterminados mediante un estudio del sistema de potencia.
- En una realización, la supervisión de un estado operativo del equipo de compensación de la planta incluye cualquiera de supervisión de la capacidad operativa del equipo de compensación de la planta y supervisión de la comunicación
- 30 entre el equipo de compensación de la planta y el controlador de la planta de generación.
- En una realización, el método incluye además una tasa de muestreo de aproximadamente 1 segundo en la supervisión del estado operativo del equipo de compensación de la planta.
- 35 En una realización, el método incluye además supervisar la frecuencia de la red respecto a una caída en la frecuencia de la red;
- En una realización, el método incluye además controlar la planta de generación eólica para maximizar la producción de potencia activa, incluyendo el uso de la cantidad de limitación, para dar soporte a la recuperación de la frecuencia
- 40 de la red.
- En una realización, el método incluye además asignar la cantidad de limitación a un operador de red de la red eléctrica como reserva giratoria para soporte de una caída de frecuencia de la red.
- 45 La FIG. 6 ilustra una planta de generación eólica de acuerdo con una realización. Se proporciona una planta de generación eólica 600. En una realización, la planta de generación eólica se configura para llevar a cabo el método anteriormente descrito para el control de una planta de generación eólica. En una realización, la planta de generación eólica se configura para llevar a cabo un método para el control de la generación de potencia activa de la planta de
- 50 generación eólica. La planta de generación eólica 600 incluye una pluralidad de generadores de turbina eólica 610. La planta de generación eólica 600 incluye también un equipo de compensación de la planta 620, que puede incluir una pluralidad de módulos de compensación 622. La planta de generación eólica incluye también un controlador de la planta de generación 630. De acuerdo con una realización, se configura el controlador de la planta de generación 630 para controlar la pluralidad de generadores de turbina eólica 610. Además, el controlador de la planta de generación 630 puede incluir un módulo de supervisión 632 configurado para supervisar un estado operativo del equipo de
- 55 compensación de la planta. El controlador de la planta de generación 630 puede incluir un módulo de capacidad de potencia reactiva 634 configurado para ajustar una capacidad de potencia reactiva de la planta cuando el estado operativo del equipo de compensación de la planta indica un fallo en el equipo de compensación de la planta. Además, el controlador de la planta de generación 630 puede incluir un módulo de limitación 636 configurado para controlar la planta de generación eólica para limitar la potencia activa generada por la planta de generación eólica mediante una
- 60 cantidad de limitación determinada basándose en la capacidad de potencia reactiva de planta ajustada.
- En una realización, el controlador de la planta de generación se configura para optimizar la potencia activa generada por la planta de generación eólica basándose en un requisito de la normativa de la red.
- 65 En una realización, el controlador de la planta de generación se configura para comparar la capacidad de potencia reactiva de la planta con los requisitos de la normativa de la red para optimizar la potencia activa generada por la

planta de generación eólica.

- 5 En una realización, el controlador de la planta de generación se configura para obtener la cantidad de limitación a partir de una comparación en tabla de búsqueda.
- 5 En una realización, los valores de la cantidad de limitación en la tabla de búsqueda están predeterminados mediante un estudio del sistema de potencia.
- 10 En una realización, el controlador de la planta de generación se configura para supervisar la capacidad operativa del equipo de compensación de la planta y supervisar la comunicación entre el equipo de compensación de la planta y el controlador de la planta de generación.
- 15 En una realización, el controlador de la planta de generación incluye una tasa de muestreo de aproximadamente 1 segundo en la supervisión del estado operativo del equipo de compensación de la planta.
- 15 En una realización, el controlador de la planta de generación se configura para supervisar la frecuencia de la red respecto a una caída en la frecuencia de la red.
- 20 En una realización, el controlador de la planta de generación se configura para controlar la planta de generación eólica para maximizar la producción de potencia activa, incluyendo el uso de la cantidad de limitación, para dar soporte a la recuperación de la frecuencia de la red.
- 25 En una realización, el controlador de la planta de generación se configura para la potencia activa generada por un generador de turbina eólica funcionando por encima de la asignación de la cantidad de limitación a un operador de red de la red eléctrica como reserva giratoria para soporte de una red.
- 30 En una realización, los módulos de compensación pueden incluir uno cualquiera de entre un módulo de condensadores, un módulo STATCOM, un módulo SVC, o un módulo de inductores.
- 30 En una realización, el acoplamiento de comunicación de datos entre el controlador de la planta de generación y los módulos de compensación.
- 35 En una realización, el acoplamiento de comunicación de datos se proporciona entre el controlador de la planta de generación y cada uno de los módulos de compensación.
- 40 De acuerdo con diversas realizaciones, se proporciona un producto de programa informático que puede cargarse directamente dentro de la memoria interna de al menos un ordenador digital proporcionado en una planta de generación eólica, incluyendo porciones de código de software para la realización de las etapas del método de acuerdo con una realización de la presente divulgación cuando el producto de programa informático se ejecuta en al menos un ordenador digital.
- 45 En diversas realizaciones, un controlador para llevar a cabo una función operativa en la planta de generación eólica, que incluye por ejemplo, pero sin limitación, un controlador de la planta, un controlador de la planta de generación, un controlador SCADA, un controlador de compensación, un controlador de turbina eólica, un controlador de potencia de la turbina eólica, o un controlador de la corriente reactiva, incluye un ordenador digital configurado para recibir un producto de programa informático. En las realizaciones, los ordenadores digitales proporcionados en la planta de generación eólica se sincronizan y funcionan cooperativamente como parte de un sistema global.
- 50 El aparato, métodos y/o sistema anterior tal como se describe e ilustra en las figuras correspondientes, no se pretende que limite uno o cualquier aparato, método o sistema de acuerdo con una realización, ni el alcance de la presente divulgación. La descripción adicional incluye, tanto explícita como implícitamente, diversas características y ventajas del método o sistema de acuerdo con la presente divulgación, que pueden englobarse dentro de un aparato, método o sistema de acuerdo con la divulgación.
- 55 Aunque se han mostrado y descrito particularmente realizaciones de la divulgación con referencia a realizaciones específicas, los expertos en la materia entenderán que pueden hacerse varios cambios en la forma y detalle de las mismas sin desviarse del alcance de la invención, tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

**REIVINDICACIONES**

1. Un método para el control de la generación de potencia activa de una planta de generación eólica (100, 600) acoplada a una red eléctrica, comprendiendo la planta de generación eólica (100, 600) un controlador de la planta de generación (150, 630) para el control de una pluralidad de generadores de turbina eólica (120, 610), estando el método caracterizado por las etapas de:
- 5
- supervisar un estado operativo de un equipo de compensación de la planta (170, 620);  
 ajustar una capacidad de potencia reactiva de la planta cuando el estado operativo del equipo de compensación de la planta (170, 620) indica un fallo en el equipo de compensación de la planta (170, 620);  
 controlar la planta de generación eólica (100, 600) para limitar la potencia activa generada por la planta de generación eólica (100, 600) mediante una cantidad de limitación determinada basándose en la capacidad de potencia reactiva de la planta ajustada.
- 10
2. El método según la reivindicación 1, que comprende además optimizar la potencia activa generada por la planta de generación eólica (100, 600) basándose en los requisitos de la normativa de la red.
- 15
3. El método según la reivindicación 2, que comprende además comparar la capacidad de potencia reactiva de la planta con los requisitos de normativa de la red para optimizar la potencia activa generada por la planta de generación eólica (100, 600).
- 20
4. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además obtener la cantidad de limitación a partir de una comparación en la tabla de búsqueda.
- 25
5. El método según la reivindicación 4, en el que los valores de la cantidad de limitación en la tabla de búsqueda están predeterminados mediante un estudio del sistema de potencia.
- 30
6. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la supervisión de un estado operativo del equipo de compensación de la planta (170, 620) comprende cualquiera de supervisión de la capacidad operativa del equipo de compensación de la planta (170, 620) y supervisión de la comunicación entre el equipo de compensación de la planta (170, 620) y el controlador de la planta de generación (150, 630).
- 35
7. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además una tasa de muestreo de aproximadamente 1 segundo en la supervisión del estado operativo del equipo de compensación de la planta (150, 630).
- 40
8. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende adicionalmente:
- supervisar la frecuencia de la red respecto a una caída en la frecuencia de la red;  
 controlar la planta de generación eólica (100, 600) para maximizar la producción de potencia activa, incluyendo el uso de la cantidad de limitación, para dar soporte a la recuperación de la frecuencia de la red.
- 45
9. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además asignar la cantidad de limitación a un operador de red de la red eléctrica como reserva giratoria para soporte de una caída de frecuencia de la red.
- 50
10. Una planta de generación eólica (100, 600), que comprende
- una pluralidad de generadores de turbina eólica (120, 610);  
 equipo de compensación de la planta (170, 620) que comprende una pluralidad de módulos de compensación (178, 622); y  
 un controlador de la planta de generación (150, 630), configurado para controlar la pluralidad de generadores de turbina eólica (120, 610), caracterizado por que comprende además:
- 55
- un módulo de supervisión (632) configurado para supervisar un estado operativo del equipo de compensación de la planta (170, 620);  
 un módulo de capacidad de potencia reactiva (634) configurado para ajustar una capacidad de potencia reactiva de la planta cuando el estado operativo del equipo de compensación de la planta (170, 620) indica un fallo en el equipo de compensación de la planta;  
 un módulo de limitación (264) configurado para controlar la planta de generación eólica (100, 600) para limitar una potencia activa generada por la planta de generación eólica mediante una cantidad de limitación determinada basándose en la capacidad de potencia reactiva de la planta ajustada.
- 60
11. La planta de generación eólica de la reivindicación 10, configurada para llevar a cabo el método de operación de una planta de generación eólica (100, 600) de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9.
- 65

12. La planta de generación eólica de la reivindicación 10 u 11, en el que los módulos de compensación (178, 622) pueden comprender uno cualquiera de entre un módulo de condensadores, un módulo STATCOM, un módulo SVC, o un módulo de inductores.
- 5 13. La planta de generación eólica de una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, que comprende además un acoplamiento de comunicación de datos entre el controlador de la planta de generación (150, 620) y los módulos de compensación (178, 622).
- 10 14. La planta de generación eólica de la reivindicación 13, en la que el acoplamiento de comunicación de datos se proporciona entre el controlador de la planta de generación (150, 630) y cada uno de los módulos de compensación (178, 622).
- 15 15. Un producto de programa informático que puede cargarse directamente dentro de una memoria interna de al menos un ordenador digital proporcionado en una planta de generación eólica, que comprende porciones de código de software para la realización de las etapas del método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9 cuando el producto de programa informático se ejecuta en el al menos un ordenador digital.

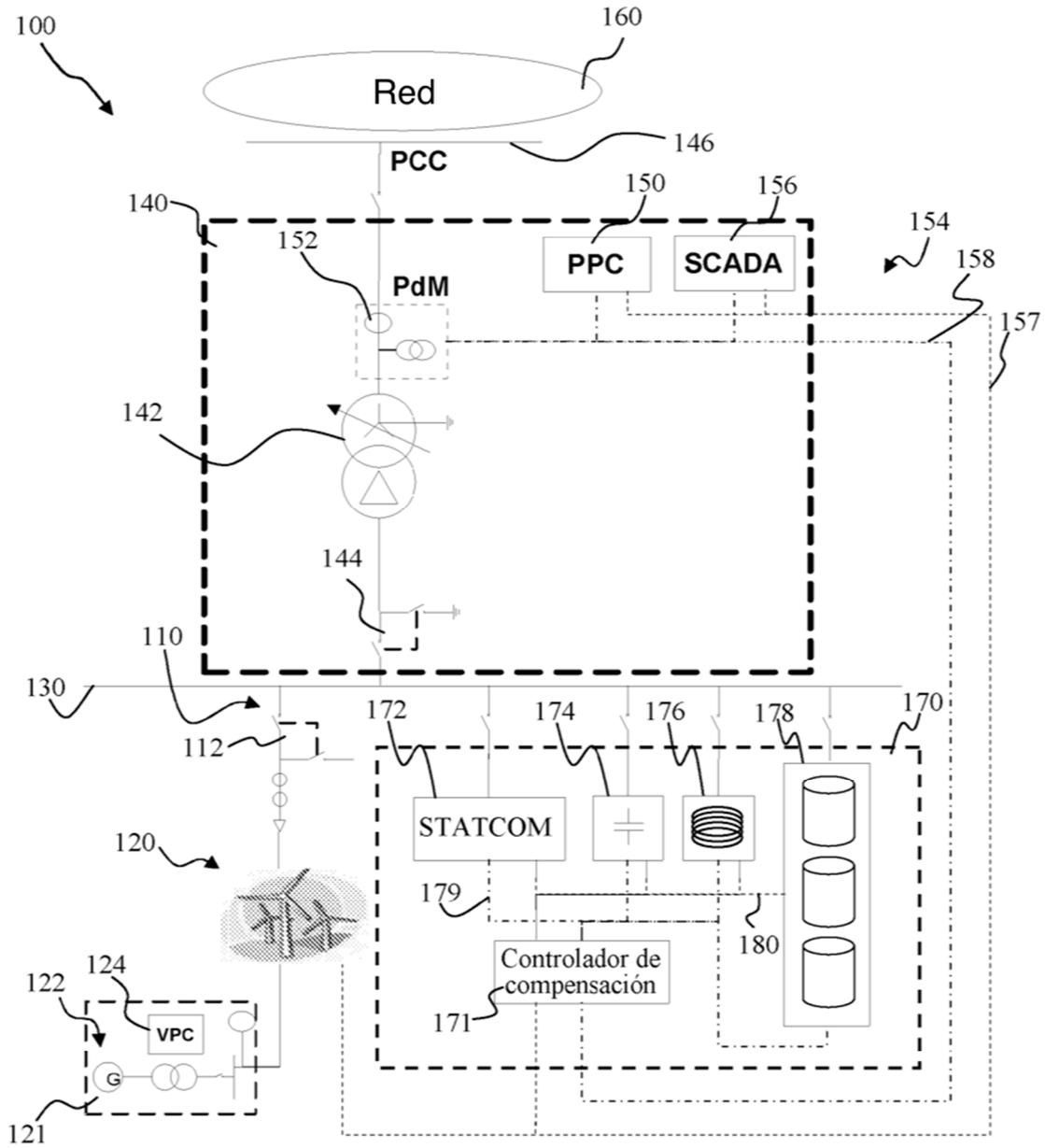


FIG. 1

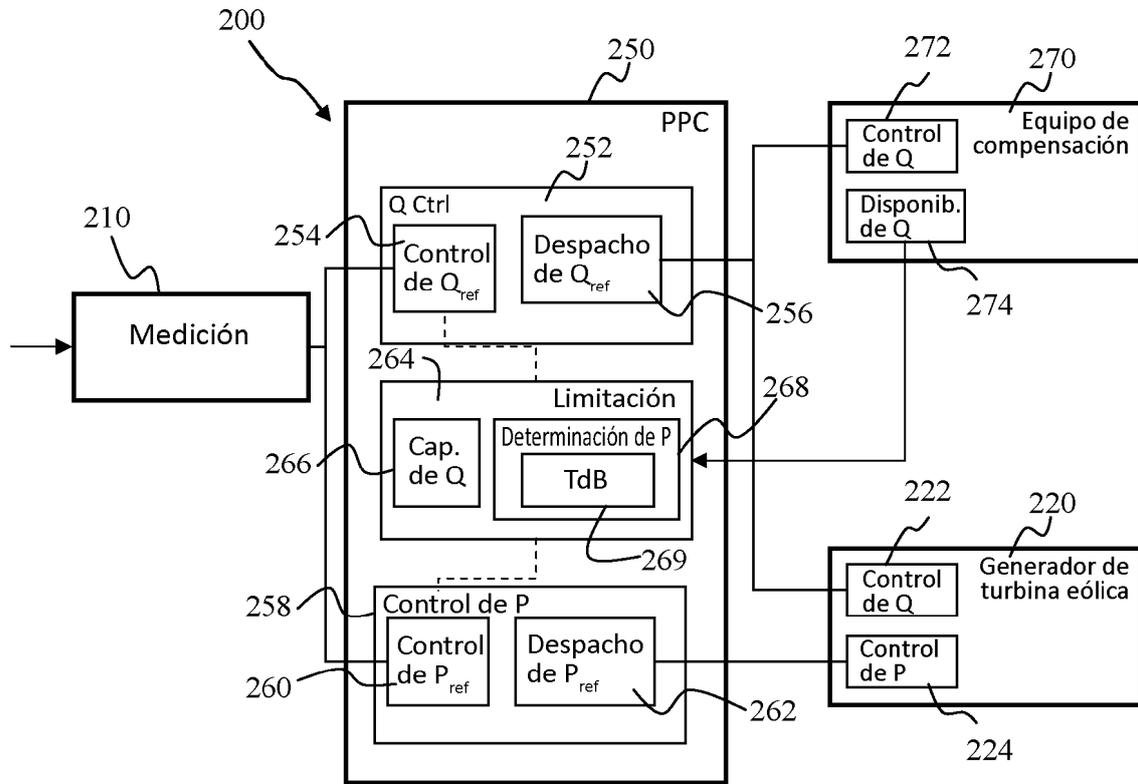


FIG. 2

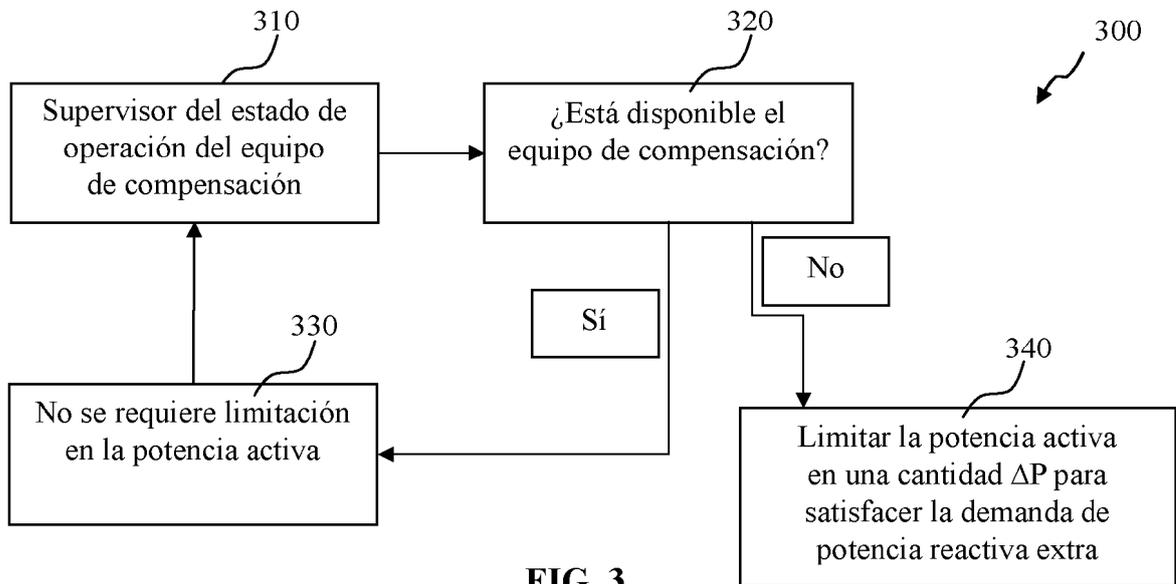
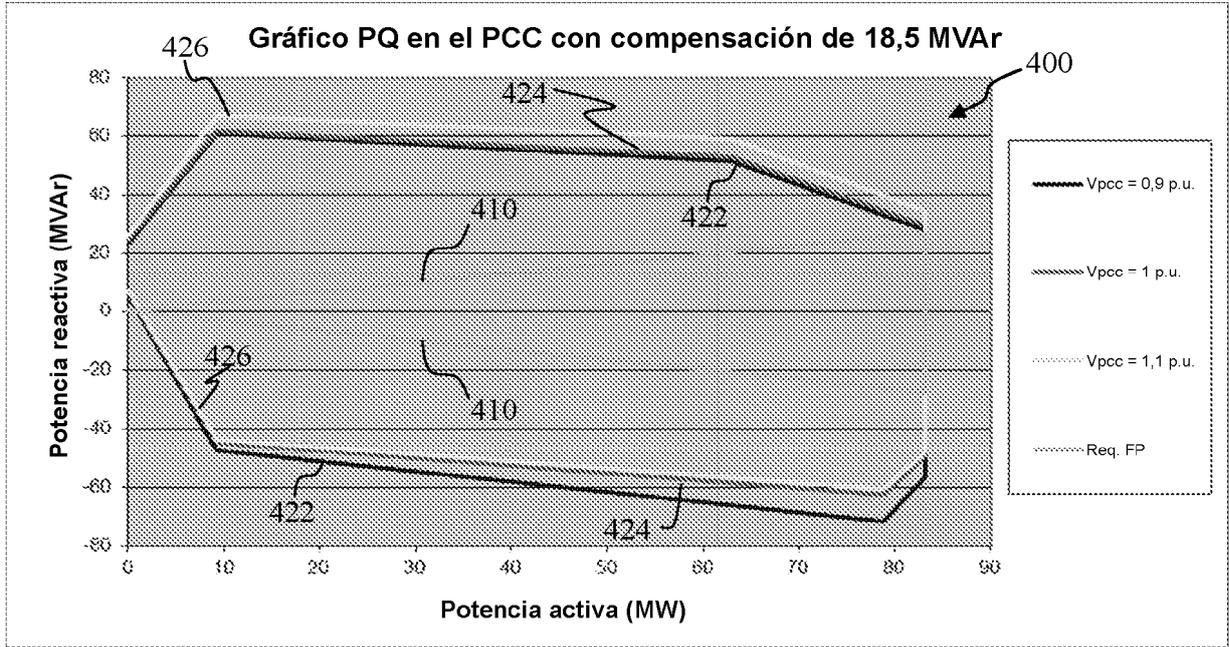
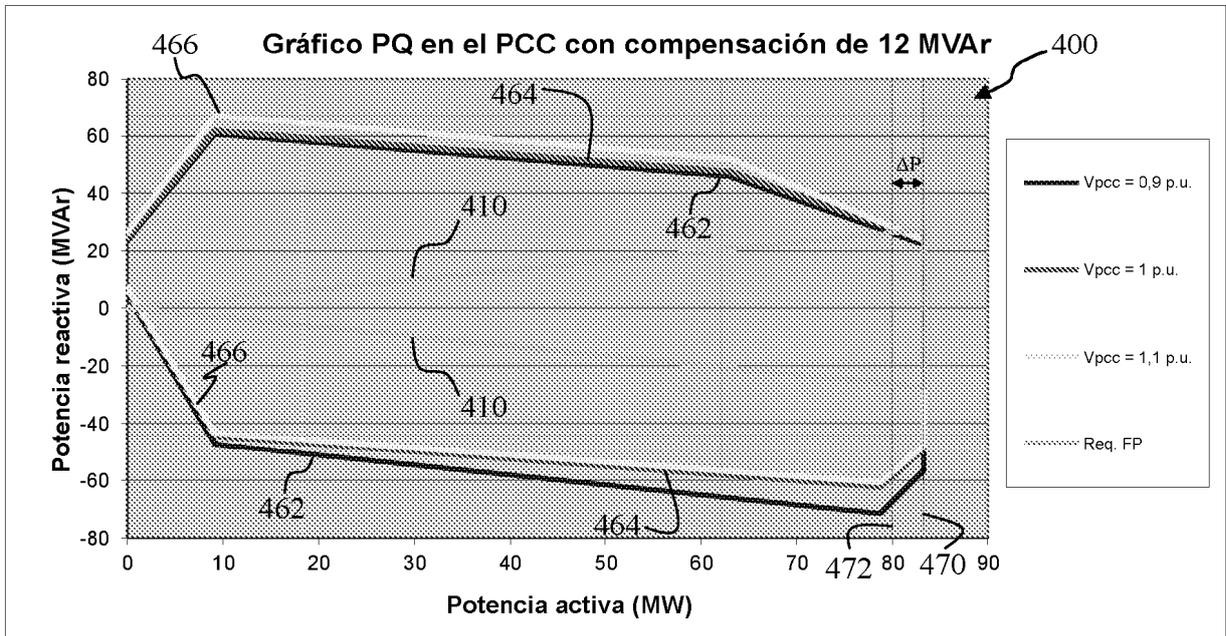


FIG. 3



**FIG. 4A**



**FIG. 4B**

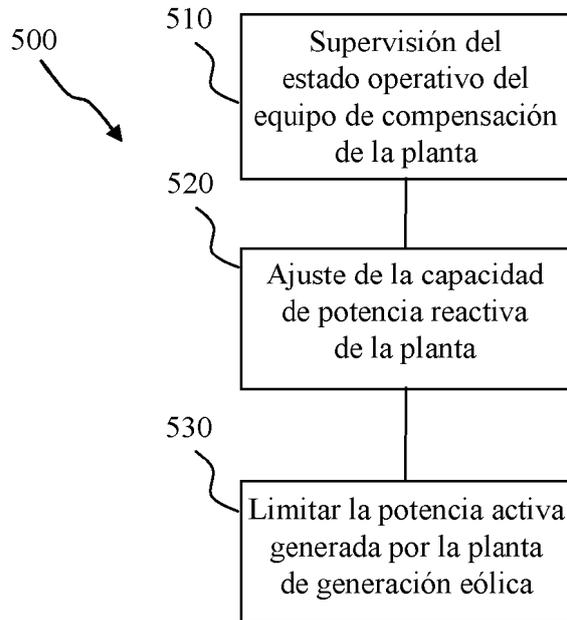


FIG. 5

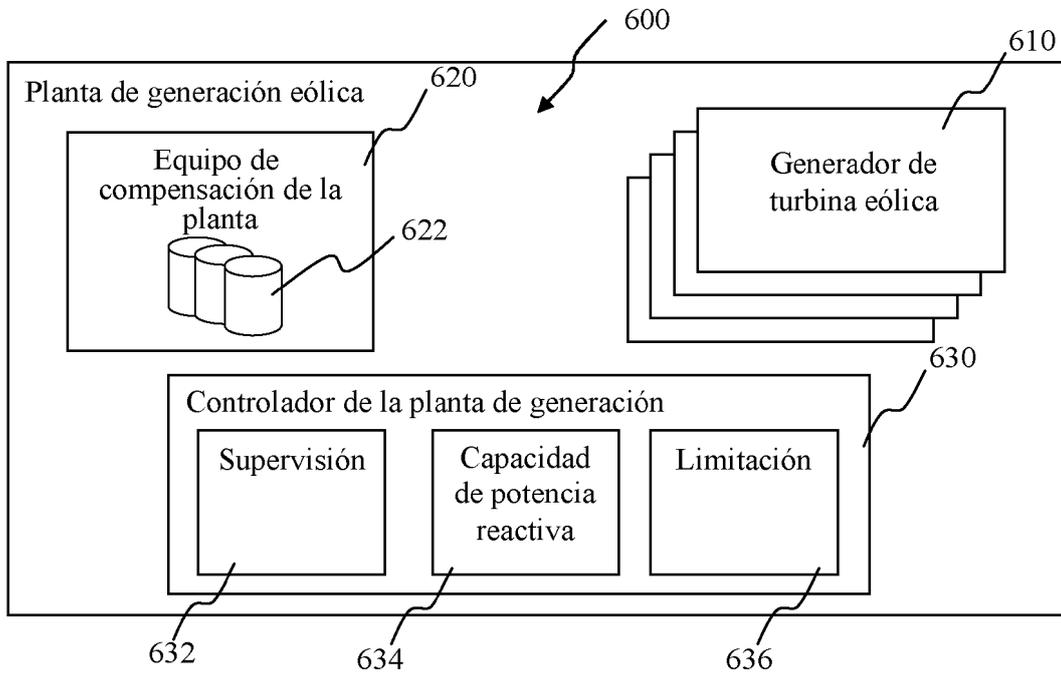


FIG. 6