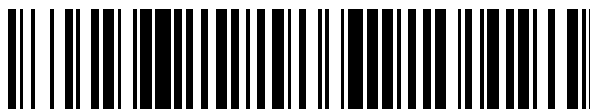


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 722 408**

51 Int. Cl.:

H02J 3/38 (2006.01)
F03D 7/04 (2006.01)
F03D 7/02 (2006.01)
H02J 3/16 (2006.01)
H02P 9/10 (2006.01)
H02K 7/18 (2006.01)
F03D 9/25 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.11.2014** **PCT/DK2014/050400**
87 Fecha y número de publicación internacional: **18.06.2015** **WO15086021**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.11.2014** **E 14805171 (7)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.04.2019** **EP 3080887**

54 Título: **Una central de energía eólica, y un método para aumentar la capacidad de potencia reactiva de una central de energía eólica**

30 Prioridad:

11.12.2013 DK 201370760

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
09.08.2019

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

GUPTA, MANOJ y
SABOOR, ABDUL

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 722 408 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

Una central de energía eólica, y un método para aumentar la capacidad de potencia reactiva de una central de energía eólica

Campo técnico

- 5 La presente divulgación describe realizaciones referidas en general a una central de energía eólica, y a un método para aumentar la capacidad de potencia reactiva de una central de energía eólica.

Antecedentes

- 10 El desarrollo y la aceptación de la energía eólica como una fuente de energía alternativa limpia y productiva están incrementándose. La energía eólica puede capturarse mediante un generador de turbina eólica, que es una máquina rotatoria que convierte la energía cinética del viento en energía mecánica, y la energía mecánica posteriormente en energía eléctrica. Las turbinas eólicas de eje horizontal habituales incluyen una torre, una góndola ubicada en la cúspide de la torre y un rotor que se soporta en la góndola por medio de un árbol. El árbol acopla el rotor o bien directamente o bien indirectamente con un conjunto de rotor de un generador alojado en el interior de la góndola. Una pluralidad de generadores de turbina eólica pueden disponerse juntos para formar un parque eólico o una central de energía eólica.

- 15 El crecimiento significativo de la aceptación de la generación energía eólica ha llevado a diversos países y operadores de red eléctrica a implementar estrictos requisitos de conexión a la red, también conocidos como códigos de red. Algunos códigos de red requieren que una central de energía eólica cumpla un determinado requisito de potencia reactiva de manera que la central de energía eólica pueda importar y/o exportar potencia reactiva durante perturbaciones de tensión en la red.

- 20 El factor de potencia puede definirse generalmente como la razón de la potencia real que fluye a la carga con respecto a la potencia aparente en el circuito. Generalmente, los requisitos de red se definen en cuanto a valores de factor de potencia absolutos, que dependen de la potencia activa que entrega la central de energía eólica, en el punto de acoplamiento común.

- 25 Sin embargo, algunos códigos de red sí que definen su requisito de factor de potencia como una cantidad de potencia reactiva importada o exportada basándose en la capacidad nominal de la WPP e independientemente de la generación de potencia activa. Como tal, un requisito de factor de potencia puede identificarse como un requisito de potencia reactiva. En tales casos, se requiere una compensación de potencia reactiva adicional para que la central de energía eólica cumpla el código de red. Normalmente, esta compensación la proporciona una fuente de potencia reactiva dinámica, tal como un compensador estático síncrono (STATCOM) o un compensador estático de VAR (SVR). Sin embargo, un equipo de compensación de este tipo puede ser prohibitivamente caro, por ejemplo, 1 millón USD por un STATCOM de 5 MVAR, lo que aumenta de manera desfavorable los costes de capital para implementar una central de energía eólica.

- 30 Además, pueden surgir complicaciones si, por algún motivo, deja de estar disponible la compensación de potencia reactiva de la que depende la central de energía eólica para el cumplimiento de código de red. Como resultado, la central de energía eólica no podría cumplir los requisitos de código de red a plena generación, lo que puede conducir a sanciones económicas para el operador de la central.

- 35 A modo de antecedentes adicionales, algunos enfoques para regular el suministro de potencia activa y reactiva a un punto de conexión común son evidentes en la técnica. Un ejemplo es el documento EP2221958 A1. Este documento propone garantizar que el factor de potencia propuesto requerido que ha de suministrar una central de energía en un punto de conexión común se mantenga de manera exacta proporcionando comandos de factor de potencia "compensado" o "corregido" a cada generador de turbina eólica en la central de energía con el objetivo de compensar los diferentes elementos de consumo de potencia reactiva relacionados con cada uno de los generadores de turbina eólica, tales como longitudes de cable y similares.

- 40 Otro documento de antecedentes de la técnica representado por el documento WO 2013/044922 A1 da a conocer una central de energía eólica que comprende al menos una turbina eólica y un controlador de central de energía. El controlador de central de energía está configurado para detectar si una tensión de red excede un umbral predefinido, y si detectó que la tensión de red excede el umbral predeterminado, el controlador de central de energía envía una referencia de potencia reactiva a al menos una turbina eólica, provocando de ese modo que la al menos una turbina reduzca su potencia reactiva en respuesta a la referencia de potencia reactiva. En una realización, se envía una referencia de potencia activa al controlador y reduciendo la salida de potencia activa de la turbina eólica, la turbina eólica puede absorber más potencia reactiva durante un acontecimiento de sobretensión temporal.

Sumario

- 55 Existe como tal el deseo de un método para controlar una central de energía eólica que pueda reducir la dependencia de la central de energía eólica de un equipo de compensación costoso, y proporcionar el cumplimiento

de los requisitos de factor de potencia de código de red.

Según diversas realizaciones, se proporciona un método para aumentar la capacidad de potencia reactiva de una central de energía eólica, que incluye: recibir un requisito de potencia reactiva desde una red; determinar una potencia activa generada por la central de energía eólica; comprobar si la central de energía eólica satisface el requisito de potencia reactiva basándose en la potencia activa generada por la central de energía eólica; y controlar la central de energía eólica para restringir la potencia activa generada por la central de energía eólica en una cantidad de restricción cuando no se satisface el requisito de potencia reactiva, y en respuesta a un acontecimiento de red.

Según diversas realizaciones, se proporciona una central de energía eólica, que incluye: una pluralidad de generadores de turbina eólica; un controlador de central de energía configurado para: recibir un requisito de potencia reactiva desde una red eléctrica; determinar una potencia activa generada por la central de energía eólica; comprobar si la central de energía eólica satisface el requisito de potencia reactiva basándose en la potencia activa generada por la central de energía; y controlar la central de energía eólica para restringir la potencia activa generada por la central de energía eólica en una cantidad de restricción cuando no se satisface el requisito de potencia reactiva, y en respuesta a un acontecimiento de red.

Breve descripción de los dibujos

En los dibujos, caracteres de referencia iguales se refieren generalmente a las mismas partes a lo largo de todas las vistas diferentes. Los dibujos no están necesariamente a escala, haciéndose énfasis en cambio generalmente en ilustrar los principios de la presente divulgación. Ha de observarse que los dibujos adjuntos ilustran sólo ejemplos de realizaciones de esta divulgación y, por tanto, no ha de considerarse que limitan su alcance, porque 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:

La figura 1 ilustra una central de energía eólica según una realización.

La figura 2 ilustra una capacidad de potencia activa y reactiva de un generador de turbina eólica de tipo 3.

La figura 3A ilustra un diagrama de PQ de una central de energía eólica según una realización.

La figura 3B ilustra un diagrama de PQ de una central de energía eólica en un segundo estado que realiza una restricción según una realización.

La figura 4A ilustra una tabla de resumen de flujo de carga y un diagrama de PQ de una central de energía eólica que requiere un STATCOM para los cumplir requisitos de red.

La figura 4B ilustra una tabla de resumen de flujo de carga y un diagrama de PQ de una central de energía eólica que realiza una restricción según una realización.

La figura 5 ilustra un método para controlar una central de energía eólica según una realización.

La figura 6 ilustra una central de energía eólica según una realización.

Descripción detallada

A continuación se describen con detalle realizaciones de un método que aumenta la capacidad de potencia reactiva de una central de energía eólica y una central de energía eólica con referencia a las figuras adjuntas. Sin embargo, debe entenderse que la divulgación no se limita a las realizaciones descritas específicas. Se apreciará que las realizaciones descritas a continuación pueden modificarse en diversos aspectos, características y elementos, sin cambiar la esencia de la divulgación. Además, no debe interpretarse que cualquier referencia a diversas realizaciones es una generalización de cualquier contenido inventivo dado a conocer en el presente documento y no se considerará que es un elemento o una limitación de las reivindicaciones adjuntas excepto cuando se indica de manera explícita en una(s) reivindicación/reivindicaciones.

Según diversas realizaciones, la representación de un elemento dado o la consideración o el uso de un número de elemento particular en una figura particular o una referencia al mismo en el material descriptivo correspondiente puede abarcar el mismo, un elemento equivalente o un elemento o número de elemento análogo identificado en otra figura o material descriptivo asociado con el mismo. El uso de “/” en el presente documento significa “y/o” a menos que se indique lo contrario específicamente.

Puede presentarse un sistema informático o un controlador o un microcontrolador o cualquier otro sistema que proporcione una capacidad de procesamiento según diversas realizaciones en la presente divulgación. Puede asumirse que un sistema de este tipo incluye un procesador. Una central de energía eólica y un generador de turbina eólica que funciona en la central de energía eólica según diversas realizaciones pueden incluir un controlador que puede incluir una memoria que se usa, por ejemplo, en el procesamiento que lleva a cabo el controlador de central de energía eólica y/o el controlador de turbina eólica. Una memoria usada en las realizaciones puede ser una

memoria volátil, por ejemplo una DRAM (memoria dinámica de acceso aleatorio) o una memoria no volátil, por ejemplo una PROM (memoria de sólo lectura programable), una EPROM (PROM borrable), una EEPROM (PROM borrable eléctricamente), 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 de lógica, que puede ser un conjunto de circuitos para fines especiales o un procesador que ejecuta software almacenado en una memoria, firmware o cualquier combinación de los mismos. Por tanto, en una realización, un “circuito” puede ser un circuito de lógica cableado o un circuito de lógica programable tal como un procesador programable, por ejemplo un microprocesador (por ejemplo, un procesador de ordenador con conjunto de instrucciones complejo (CISC) o un procesador de ordenador con conjunto de instrucciones reducido (RISC)). Un “circuito” también puede ser un procesador que ejecuta un software, por ejemplo cualquier clase de programa informático, por ejemplo un programa informático que usa 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 también puede entenderse como un “circuito” según diversas realizaciones alternativas. De manera similar, un “módulo” se define por tanto como una parte de un sistema según diversas realizaciones en la presente divulgación y puede abarcar un “circuito” tal como se indicó anteriormente, o puede entenderse que es cualquier clase de entidad de implementación de lógica del mismo.

La figura 1 ilustra una central de energía eólica según una realización. En una realización, se proporciona una central de turbina eólica o una central de energía eólica 100. Una central de energía eólica se forma normalmente como un conjunto de unidades de generación eólicas, o generadores de turbina eólica, de manera que se centraliza el control y se realiza un único acoplamiento a una red de transmisión eléctrica, o una red eléctrica, o una red eléctrica, o una red de potencia 160. En diversas realizaciones, la central de energía eólica 100 puede conectarse a una red eléctrica 160.

En una realización, la central de energía eólica 100 incluye una pluralidad de ramales de transmisión 110, 112, 114, que incluyen cada uno una pluralidad de generadores de turbina eólica, o turbinas eólicas, 120 conectados eléctricamente a un ramal de transmisión correspondiente. En una realización, la central de energía eólica 100 incluye un conjunto de generadores de turbina eólica 120 similares. El generador de turbina eólica 121 se usa como referencia en la presente divulgación para una descripción que puede aplicarse a la pluralidad de generadores de turbina eólica 120. En otras realizaciones, es posible tener una variedad de generadores de turbina eólica conectados a los ramales de transmisión en la central de energía eólica. Esto se debe a que los generadores de turbina eólica normalmente están distribuidos geográficamente en diversas ubicaciones donde los vientos dominantes se utilizarán mejor por diferentes tipos de generadores de turbina eólica. En una realización, hay dos turbinas eólicas conectadas a los ramales de transmisión 110, 112, 114. Sin embargo, normalmente no hay pautas en cuanto al número de turbinas eólicas por ramal de transmisión, simplemente por preferencia de ubicación física.

Cada ramal de transmisión 110, 112, 114 se acopla a una barra colectora de distribución de central 136, que también puede conocerse como barra colectora principal, mediante un disyuntor de ramal de transmisión 130, 132, 134. La función del disyuntor de ramal de transmisión es proteger tanto las turbinas eólicas conectadas al ramal de transmisión como las demás partes de la central de energía eólica frente a picos o aumentos repentinos de potencia que pueden tener lugar cuando hay un fallo en la red eléctrica o en la central. En un caso de este tipo, el disyuntor se dispara para pasar a un estado de circuito abierto, y aísla el ramal de transmisión de la central de energía eólica hasta que el fallo se identifica y se resuelve, y el sistema eléctrico vuelve a estar listo para la nueva conexión del ramal de transmisión.

La subestación de central 140 se acopla a la barra colectora de distribución de central 136. Las subestaciones de central pueden ser o bien un área física de la central de energía eólica o bien un número agregado de características repartidas por la central. En una realización, la subestación 140 se presenta como ubicada en un área física. Según la realización, los principales componentes de la subestación 140 son el transformador principal 142, que incrementa la potencia generada en la central hasta una tensión apropiada que va a proporcionarse a una red eléctrica 160, y el dispositivo de distribución principal 144, que define un interruptor activo para la central de energía eólica. La subestación de central 140 se encuentra entre los ramales de transmisión 130, 132, 134 de la central de energía eólica 100 y el punto de acoplamiento común 146 a la red eléctrica 160.

Según una realización, parte del equipo de compensación de potencia 148 está ubicado junto con la subestación de central 140. En una realización, el equipo de compensación de potencia 148 incluye varios compensadores estáticos síncronos (STATCOM), pero también pueden ser posibles otras alternativas, tales como: baterías de condensadores conmutados, baterías de inductores conmutados, condensadores estáticos y condensadores síncronos. El equipo de compensación de potencia 148 se usa para controlar el factor de potencia, el nivel de potencia reactiva contribuida o el nivel de tensión del punto de acoplamiento común 146. En otras realizaciones, el equipo de compensación de potencia puede estar distribuido y ubicado en cada generador de turbina eólica 120.

El funcionamiento de la central de energía eólica 100 se controla mediante un controlador de central de energía (“PPC”) 150 que envía diversos puntos de ajuste de referencia a generadores de turbina eólica 120 individuales en

la central de energía eólica 100. El controlador de central de energía 150 también recibe múltiples fuentes de mediciones o lecturas de salida desde cada generador de turbina eólica 120, así como desde diversas ubicaciones en los ramales de transmisión 110, 112, 114, la barra colectora de distribución 136, la subestación de central 140 y la red eléctrica 160, y usa la información recibida para optimizar la contribución de corriente de falla de central de energía eólica a la red eléctrica. El controlador de central de energía 150 también puede recibir puntos de ajuste para el funcionamiento desde el operador de red de la red eléctrica 160 a la que está acoplada la central de energía eólica 100. Según una realización, el PPC 150 de la central de energía eólica 100 forma parte de una red de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA) que acopla la central 100 y la pluralidad de generadores de turbina eólica 120 en la central 100 a un centro remoto de datos y control. La red SCADA de la central puede incluir un acoplamiento de transmisión de datos entre controladores de central y de turbina proporcionado por una transmisión de fibra óptica tendida.

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 monitorizar características eléctricas de la red eléctrica 160. Puede monitorizarse una característica de tensión, corriente y potencia, y posprocesarse para dar diversos formatos de característica útiles mediante el PPC 150.

El generador de turbina eólica 121 puede incluir una pluralidad de palas de rotor que accionan un árbol principal rotatorio que se acopla mecánicamente a una caja de engranajes que incrementa la rotación de 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 de generador se acopla al rotor de generador o de tipo 3). En una realización, el generador es un generador de convertidor completo (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 puede aplicarse a máquinas tanto de tipo 3 como de tipo 4. En el generador de inducción doblemente alimentado, el par mecánico se convierte en energía eléctrica, que después de eso se proporciona a un convertidor de frecuencia para el acondicionamiento energético. La salida del convertidor de frecuencia se incrementa con un transformador proporcionado en la turbina, que produce posteriormente una energía eléctrica nominal de 30 kV (puede ser cualquier tensión nominal de desde 10 kV hasta 35 kV) al ramal de transmisión 110. En diversas realizaciones, el transformador puede incrementar la energía eléctrica hasta una tensión nominal de desde 10 kV hasta 35 kV.

En otras realizaciones, las turbinas en la central pueden incluir un sistema de producción de energía que incluye un generador que puede ser un generador síncrono individualmente alimentado, un generador de inducción, un generador de imán permanente o cualquier otro tipo de generador que incluya un devanado estatístico. Además, las turbinas en otras realizaciones pueden incluir un sistema de producción de energía que incluye un sistema de accionamiento directo u otros sistemas de accionamiento alternativos que eliminan el uso de una caja de engranajes tradicional. Cualquier configuración eléctrica de sistema de producción de energía de turbina eólica puede ser posible para satisfacer el propósito de generación de energía eléctrica a partir de la captura de la energía cinética del viento.

Según una realización, durante el funcionamiento normal, el generador de turbina eólica 121 recibe una referencia de potencia desde el PPC 150 de manera que se genera una salida controlada de energía eléctrica. Las referencias de potencia generadas por el PPC 150 dependen de la condición de funcionamiento de la red tal como la experimenta el operador de la red 160, así como el viento experimentado en ese momento para la conversión de energía. En una realización, la referencia de potencia procedente del PPC 150 puede proporcionarse como una referencia de potencia activa P^* y una referencia de potencia reactiva Q^* , que indican al generador de turbina eólica 121 la cantidad de energía que el generador de turbina eólica 121 debe generar y suministrar como parte de la contribución de la central de energía eólica a la red eléctrica 160. En una realización, la referencia de potencia procedente del PPC 150 también puede ser una referencia de factor de potencia, que puede definirse como la razón de la potencia real con respecto a la potencia aparente en el circuito.

En una realización, el generador de turbina eólica 121 incluye un controlador de turbina eólica (no mostrado). El controlador de turbina eólica incluye capacidades de control para controlar diversos aspectos de la funcionalidad de turbina eólica, por ejemplo, optimización de captura del viento en capacidades de guiñada de góndola y paso de pala, procedimientos de emergencia tales como freno de emergencia o parada de turbina, o control de producción eléctrica. En diversas realizaciones, el controlador de turbina eólica está configurado para maximizar la producción de energía, al tiempo que impide daños en la turbina eólica o en la carga.

En una realización, el controlador de turbina eólica puede incluir un controlador de potencia de turbina eólica 124. El controlador de potencia de turbina eólica 124 puede estar dotado de capacidad informática, tal como de ordenadores, microprocesadores, microcontroladores, tarjetas de procesamiento digital de señales (DSP), circuitos integrados de aplicación específica (ASIC) o cualquier otro, y con módulos de memoria apropiados adjuntos o cualquier medio de almacenamiento legible por ordenador no transitorio.

El controlador de potencia de turbina eólica 124 se proporciona para la supervisión de la capacidad de producción de energía del generador de turbina eólica 121. En diversas realizaciones, el controlador de potencia de turbina eólica 124 se acopla al PPC 150 y recibe desde el PPC una referencia de potencia activa P^* y una referencia de

potencia reactiva Q^* para un requisito de provisión del generador de turbina eólica 121 con respecto a la central 100. Además, el controlador de potencia de turbina eólica 124 se acopla a y está en constante comunicación con el controlador de turbina eólica. En diversas realizaciones, se proporciona al controlador de turbina eólica información referente al control del generador de turbina eólica 121 para la ejecución, y se proporciona al controlador de potencia de turbina eólica 124 información de sensor para su uso en la optimización de la generación de energía por parte del generador de turbina eólica 120. En condiciones de funcionamiento normales, la turbina seguirá las referencias P^* y Q^* procedentes del PPC.

La figura 2 ilustra una capacidad de potencia activa y reactiva de un generador de turbina eólica 121 de tipo 3. En una realización, la turbina eólica de tipo 3 comprende un generador de inducción doblemente alimentado como parte del sistema de producción de energía 122 del generador de turbina eólica 121. En la realización, el generador de turbina eólica 121 tiene una capacidad de producción de 2 MW. El diagrama 200 ilustra la capacidad de PQ del generador de turbina eólica 121. Tal como se mencionó anteriormente, puede utilizarse cualquier tipo de generador de turbina eólica en la central de energía eólica para la generación de energía.

La curva 210 muestra la capacidad de potencia reactiva del generador de turbina eólica 121. Puede observarse que el generador de turbina eólica 121 tiene una capacidad de potencia reactiva limitada a plena generación de potencia activa, y proporciona una capacidad mucho más grande con una generación de potencia activa inferior. Por ejemplo, con una salida de generador de turbina eólica de 2,0 MW, el generador de turbina eólica 121 puede producir una salida de potencia reactiva de 0,406 MVAR, mientras que con una salida de potencia activa de 1,4 MW, el generador de turbina eólica puede producir una salida de potencia reactiva de 1,0 MVAR.

Tal como se mencionó anteriormente, el factor de potencia puede definirse como la razón de la potencia real con respecto a la potencia aparente en el circuito, con un valor de entre 0 y 1. Se usan signos positivos y negativos para distinguir el funcionamiento capacitivo del inductivo. El factor de potencia como tal puede definirse como: P/S , donde P es la potencia activa (medida en vatios (W)) y S es la potencia aparente (medida en voltamperios (VA)).

Además, los componentes de potencia de corriente alterna (CA) pueden expresarse como vectores en un triángulo vectorial de manera que: $S^2 = P^2 + Q^2$, donde Q es la potencia reactiva (medida en voltamperios reactivos (VAR)). Si ϕ es el ángulo de fase entre corriente y tensión, entonces el factor de potencia es igual al coseno del ángulo, es decir $\cos \phi$, y $|P| = |S| \cos \phi$.

La curva 220 ilustra la potencia reactiva máxima disponible de un generador de turbina eólica a plena capacidad. Puede observarse que con la curva de capacidad de potencia reactiva 210 del generador de turbina eólica 121 puede suministrarse una cantidad mayor de potencia reactiva. Sin embargo, puede observarse que la generación de potencia activa de una turbina eólica debe reducirse para lograr la capacidad de potencia reactiva mayor del generador de turbina eólica.

La figura 3A ilustra un diagrama de PQ 300 de una central de energía eólica según una realización. Puede entenderse que PQ hace referencia a una potencia activa (P) y una potencia reactiva (Q). En una realización, se proporciona una central de energía eólica, incluyendo la central de energía eólica 100 una pluralidad de generadores de turbina eólica 120, generadores de turbina eólica para convertir energía eólica en energía eléctrica. En una realización, la central de energía eólica incluye 22 generadores de turbina eólica con una capacidad nominal de 2 MW cada uno. Como tal, la central de energía eólica tiene una capacidad nominal de 44 MW. Dicho de otro modo, los 22 generadores de turbina eólica 120 en la central de energía eólica pueden proporcionar una salida de potencia activa combinada de hasta 44 MW. Naturalmente, son posibles otros modelos y configuraciones de generadores de turbina eólica y combinaciones de los mismos en la formación de una central de energía eólica.

La curva 310 proporciona un requisito de código de red representativo para su cumplimiento por la central de energía eólica 100. Generalmente, se espera que la central de energía eólica 100 proporcione una salida de potencia reactiva de aproximadamente 14,9 MVAR con respecto a una salida de potencia activa de central de desde 8 MW hasta 44 MW (salida nominal). Con una consideración de salida negativa, la curva de requisito 310 indica un requisito de potencia reactiva creciente de desde 8 MW hasta aproximadamente 22 MW, a partir del cual se requiere una salida de potencia reactiva de aproximadamente -14,9 MVAR para obtener una salida de potencia activa de central de desde 22 MW hasta 44 MW (salida nominal).

Se observa que aunque el requisito de red exige que la central de energía eólica pueda generar la potencia reactiva respectiva, no requiere necesariamente que la central de energía eólica inyecte la potencia reactiva indicada todo el tiempo. Normalmente se suministra potencia reactiva a la red cuando hay una fluctuación de tensión de red, o una desviación de la tensión de red con respecto a un intervalo de funcionamiento normal. La potencia reactiva se regula normalmente para estabilizar la tensión de red durante fluctuaciones de tensión de red. En momentos de fluctuaciones de tensión de red, la central de energía eólica, por consiguiente, proporciona una inyección de corriente reactiva basándose en la tensión de red a la red, que puede requerir hasta 1,0 p.u. de corriente reactiva cuando la tensión de red desciende hasta 0,4 p.u.

Tal como se mencionó, la potencia reactiva se requiere de la central de energía eólica durante situaciones de fluctuaciones de tensión de red. En algunas realizaciones, las fluctuaciones no duran demasiado, por ejemplo, desde

10 hasta 20 segundos. Según diversos requisitos de código de red de transmisión, se proporciona a la central de energía eólica una breve ventana, por ejemplo de 5 segundos, para cumplir los requisitos de código de red, tal como se expone en la curva 310.

La curva 320 destaca la capacidad de potencia reactiva de la central de energía eólica 100. La curva 320 puede proporcionar una perspectiva representativa de la capacidad de potencia reactiva de una central de energía eólica en un primer estado, normal, de funcionamiento. Una curva 320 de este tipo se establece como resultado o subproducto de un estudio de interconexión de red, o un estudio de diseño previo eléctrico. Tales estudios se llevan a cabo normalmente para la central de energía eólica antes de la instalación y puesta en servicio. Se llevan a cabo simulaciones basadas en ordenador exhaustivas para que el propio equipo de central que va a instalarse obtenga la información pertinente sobre el comportamiento de la central de energía eólica prevista y también las capacidades de la central con respecto a los requisitos de red.

La curva de capacidad de potencia reactiva 320 se obtiene a través de diversos estudios y simulaciones y traza las capacidades de la central de energía eólica con respecto a la salida de potencia activa. Además, se proporcionan diversas curvas para el funcionamiento en diversas condiciones de tensión de red. La curva 320 se refiere al funcionamiento con una tensión de red de 0,9 p.u., lo que supone una ligera desviación con respecto a una tensión de red de funcionamiento normal de 1,0 p.u. La curva 330 se refiere al funcionamiento con una tensión de red de 1,0 p.u., mientras que la curva 340 se refiere al funcionamiento con una tensión de red de 1,10 p.u. Debido a una similitud en las respuestas resultantes, 320, 330, 340 y comparten una curva similar para una respuesta de capacidad de potencia reactiva positiva, mientras que 320 y 330 comparten una curva similar para una respuesta de capacidad de potencia reactiva negativa.

Tal como puede observarse con respecto a la capacidad de generación de energía de la central de energía eólica 100, cuando la central de energía eólica 100 genera una cantidad de producción de potencia activa mayor que 31 MW, la central de energía eólica 100 no podrá generar la suficiente potencia reactiva para cumplir el requisito de potencia reactiva 310 tal como lo expone el código de red. En una realización, se proporciona un punto de intersección 322 entre el requisito de código de red 310 y la capacidad de potencia reactiva 320 de la central de energía eólica en el que puede proporcionarse una potencia activa máxima al tiempo que se cumplen los requisitos de código de red para la capacidad de potencia reactiva.

Según diversas realizaciones, se proporciona un método para controlar una central de energía eólica, la central de energía eólica recibe un requisito de factor de potencia o un requisito de potencia reactiva desde una red. En algunas realizaciones, el requisito de potencia reactiva es la curva 310 como parte del código de red para la red de transmisión 160 a la que está acoplada la central de energía eólica 100. En algunas realizaciones, el requisito de potencia reactiva también incluye una solicitud de potencia reactiva realizada por la red de transmisión 160. En algunas realizaciones, la red de transmisión entra en un periodo de fluctuación de tensión de red, y la central de energía eólica 100 entra en un modo de mantenimiento de capacidad de respuesta, en el que se genera una potencia reactiva y se suministra a la red como parte de un requisito de potencia reactiva procedente la red, o bien con una solicitud de potencia reactiva realizada por la red 160 o bien sin ella. Con respecto al requisito de potencia reactiva, se proporciona a la central de energía eólica 100 un requisito para que pueda proporcionar una determinada cantidad de potencia reactiva, con respecto a la cantidad de potencia activa que genera realmente la central de energía eólica 100.

Aunque puede que no se requiera necesariamente que la central de energía eólica 100 genere la cantidad requerida de potencia reactiva con respecto a una generación real de potencia activa, en cada momento dado, se gobierna por el requisito de código de red 310 para que pueda proporcionar tal potencia reactiva cuando se solicita o se requiere. Normalmente, se proporciona una breve ventana, por ejemplo, de 5 segundos, para que la turbina eólica cumpla los requisitos tal como se expone en el código de red. Dentro de tal plazo de tiempo, se espera que la central de energía eólica cumpla los requisitos de red de proporcionar una cantidad de potencia reactiva de este tipo, si existe tal necesidad de hacerlo para soportar una recuperación de tensión de red.

Según diversas realizaciones, el método incluye determinar una potencia activa generada por la central de energía eólica, y comprobar si la central de energía eólica satisface el requisito de potencia reactiva basándose en la potencia activa generada por la central de energía eólica. En una realización, la central de energía eólica produce una cantidad de potencia activa que excede la referencia de potencia activa del punto de intersección 322, en el que puede proporcionarse una potencia activa máxima al tiempo que todavía se cumple el requisito de red. En un acontecimiento en el que la red requiere el cumplimiento del código de red, por ejemplo, durante un acontecimiento de fluctuación de tensión de red, se requiere una cantidad de potencia reactiva de la central de energía eólica 100, pero la central de energía eólica en sus condiciones de funcionamiento presentes no podría soportar tal cantidad solicitada de potencia reactiva.

Según una realización, el método incluye controlar la central de energía eólica para restringir la potencia activa generada por la central de energía eólica en una cantidad de restricción cuando no se satisface el requisito de potencia reactiva. En una realización, el PPC 150 de la central de energía eólica 100 lleva a cabo una restricción de la potencia activa generada por la pluralidad de generadores de turbina eólica 120 durante un acontecimiento que requiere que la central de energía eólica 100 cumpla los requisitos de código de red. En una realización, la

restricción de potencia activa se lleva a cabo de manera que la pluralidad de generadores de turbina eólica en la central de energía eólica puede generar una cantidad de potencia reactiva para su provisión a la red de transmisión, que cumple un requisito de código de red, en particular un requisito de potencia reactiva.

En un ejemplo representativo, la pluralidad de generadores de turbina eólica 120 en la central de energía eólica 100 funciona normalmente en un primer estado de funcionamiento y disfruta de condiciones de funcionamiento idóneas para generar de ese modo una salida de potencia activa nominal de 44 MW. Tras encontrar una desviación de tensión de red, se requiere una entrada de potencia reactiva en la red de transmisión para respaldar la recuperación de tensión de red. Según la curva de requisito de código de red 310, se supone que la central de energía eólica 100 ha de proporcionar hasta 14,9 MVAR de potencia reactiva a la red de transmisión 160. Para que la central de energía eólica 100 pueda hacerlo, según una realización de la presente divulgación, la salida de potencia activa de la central de energía eólica 100 se restringe en un segundo estado de funcionamiento, tal como para mejorar la capacidad de potencia reactiva de la central de energía eólica 100 y para generar la cantidad requerida de potencia reactiva. En el ejemplo representativo, la cantidad de restricción, ΔP , es de 13 MW.

Según una realización, la cantidad de restricción puede determinarse a modo de la curva de capacidad de potencia reactiva 320, que se obtiene a través de un estudio de interconexión de red de central de energía eólica. La cantidad de potencia activa que se requiere que restrinja la central de energía eólica con el fin de poder proporcionar una potencia reactiva requerida puede determinarse a partir de una comparación de la curva de capacidad de potencia reactiva 320 y la curva de requisito de código de red 310. Normalmente, se restringe la potencia activa a un punto de intersección 322 en el que puede proporcionarse una potencia activa máxima al tiempo que se cumplen los requisitos de código de red para la provisión de potencia reactiva.

La figura 3B ilustra un diagrama de PQ 302 de una central de energía eólica en un segundo estado que realiza una restricción según una realización. La curva 310 proporciona un requisito de código de red representativo para su cumplimiento por parte de la central de energía eólica 100. Según una realización, la potencia activa de la central de energía eólica 100 se ha restringido en una cantidad de restricción, de manera que la central de energía eólica 100 puede cumplir los requisitos de red y proporcionar una capacidad de potencia reactiva. La curva 321 destaca la capacidad de potencia reactiva de la central de energía eólica, de acuerdo con una restricción de potencia activa de la central de energía eólica 100. En una realización, la potencia activa de la central de energía eólica se restringe a un punto en el que puede proporcionarse una potencia activa máxima al tiempo que se cumplen los requisitos de código de red en cuanto a capacidad de potencia reactiva. En una realización, se trata del punto de intersección 322.

Además, en el diagrama 302 se proporcionan las curvas 331 y 341, referentes a la capacidad de PQ de la central de energía eólica en funcionamiento con una tensión de red de 1,0 p.u. y 1,1 p.u. También puede observarse que la restricción permite que la central de energía eólica cumpla los requisitos de código de red funcionando con una variación de tensión de red.

También se destaca que una restricción con respecto a la presente divulgación es distinta de una función de disminución de capacidad nominal que se conoce habitualmente en el funcionamiento de generadores de turbina eólica. Una función de disminución de capacidad nominal se lleva a cabo normalmente para un generador de turbina eólica cuando el generador de turbina eólica se hace funcionar por debajo de su potencia máxima nominal, con el fin de prolongar su vida útil restante. Una función de disminución de capacidad nominal es normalmente un acontecimiento semipermanente, en el que una vez que se determinan y se activan parámetros de funcionamiento en la disminución de capacidad nominal para producir una potencia disminuida, el generador de turbina eólica no vuelve a sus ajustes de funcionamiento anteriores y no genera una potencia mayor que la potencia disminuida.

En la presente divulgación, se pretende que la restricción de la central de energía eólica sea dinámica y adaptable, y proporciona una solución en la que la generación de potencia activa de la central de energía eólica no se ve comprometida al tiempo que se cumplen los requisitos de potencia reactiva o de factor de potencia en los momentos apropiados.

Según una realización, la potencia activa de la central de energía eólica 100 se restringe desde su provisión de potencia activa máxima nominal de 44 MW hasta 31 MW, la cantidad máxima de potencia activa que puede proporcionarse y todavía cumplir los requisitos de potencia reactiva de código de red. En una realización, la restricción es aproximadamente el 30% de la capacidad de generación de potencia activa nominal de la central de energía eólica. Según diversas realizaciones, la cantidad de restricción se deriva de un estudio de interconexión de red o de diseño previo eléctrico.

En una realización, la potencia activa de la central de energía eólica 100 se restringe en una única etapa. Según una realización, el PPC 150 de la central de energía eólica 100 deriva una cantidad de restricción de central a partir de un estudio de interconexión de red, y después de eso determina una cantidad de restricción de turbina para cada generador de turbina eólica en la central. En un ejemplo representativo, se determina que la central de energía eólica 100 requiere que se restrinjan 13 MW de su potencia activa que está generándose en ese momento, con el fin de cumplir los requisitos de potencia reactiva. El PPC 150 puede requerir simplemente que cada uno de los 22 generadores de turbina eólica en la central de energía eólica según una realización restrinja aproximadamente 0,6 MW de su producción de potencia activa presente, para restringir un total de 13 MW en la central de energía

eólica 100.

Según una realización, los generadores de turbina eólica en la central de energía eólica se controlan para la restricción basándose en una restricción distribuida. Según una realización, la potencia activa generada por la pluralidad de generadores de turbina eólica en la central de energía eólica se restringe según una lista de prioridades. En una realización, el PPC 150 monitoriza continuamente la generación de potencia activa de los generadores de turbina eólica en la central de energía eólica, y recopila la salida de generación como una lista. Una lista de este tipo se clasifica según la cantidad comparativamente más alta de potencia activa generada, y la lista también puede proporcionarse o clasificarse según la eficiencia de funcionamiento o el porcentaje de salida basándose en la potencia nominal, por ejemplo, puede considerarse que un generador de turbina eólica con una capacidad nominal de 2 MW que genera 1,6 MW de potencia funciona con una eficiencia de funcionamiento del 80%.

En un ejemplo representativo, una central de energía eólica que incluye 22 generadores de turbina eólica y con una capacidad nominal de 44 MW está generando aproximadamente 37,4 MW de potencia activa, o funcionando con una eficiencia de aproximadamente el 85%. Por tanto, puede determinarse que no todos los 22 generadores de turbina eólica están funcionando con una eficiencia de funcionamiento del 100%. Generalmente, los generadores de turbina eólica en una central no funcionan con eficiencias iguales debido a diferentes condiciones del viento, diferentes ajustes de funcionamiento, diferentes estados de mantenimiento, etc. Según una realización, el PPC determina la cantidad de potencia activa que va a restringirse. En el presente ejemplo, la cantidad de restricción es de 6,4 MW. En una realización, el PPC recopila y clasifica una lista de los generadores de turbina eólica en la central de energía eólica basándose en la eficiencia de funcionamiento presente de los generadores de turbina eólica.

En una realización, el PPC identifica la eficiencia de funcionamiento presente de la central de energía eólica y también la eficiencia de funcionamiento requerida con el fin de cumplir los requisitos de red. Según el ejemplo representativo, el PPC identifica la eficiencia de funcionamiento presente como el 85% y la eficiencia de funcionamiento requerida como aproximadamente el 70%. En una realización, el PPC identifica un generador de turbina eólica que funciona por encima de una eficiencia de funcionamiento. Según una realización, el PPC en primer lugar restringe la potencia activa generada por el generador de turbina eólica identificado que funciona por encima de la eficiencia de funcionamiento antes de restringir la potencia activa generada por los restantes generadores de turbina eólica en la central de energía eólica.

En una realización, el PPC identifica el número de generadores de turbina eólica que funcionan por encima de una eficiencia del 70% a partir de la lista de prioridades. Después de eso, el PPC proporciona referencias e instrucciones a las turbinas eólicas identificadas para restringir la salida de potencia activa de las turbinas identificadas al 70%. Según una realización, el 70% se determina basándose en la capacidad de potencia reactiva de generador de turbina eólica. Tal como puede observarse a partir de la figura 1, el ajuste de funcionamiento más eficiente para obtener una potencia activa máxima junto con una potencia reactiva máxima posible tiene lugar con una salida de 1,4 MW, o el 70% de la potencia nominal. Un esquema de este tipo permite una identificación fácil así como un control fácil.

En una realización, el PPC identifica el número de generadores de turbina eólica que funcionan por encima de una eficiencia del 85% a partir de la lista de prioridades. Después de eso, el PPC distribuye la cantidad de restricción de central de 6,4 MW equitativamente entre los generadores de turbina eólica identificados y proporciona referencias e instrucciones a las turbinas eólicas identificadas para restringir la salida de potencia activa de las mismas. En otras realizaciones, el PPC puede identificar generadores de turbina eólica que funcionan por encima del 80% o el 75% o el 70%. La ventaja de un esquema de este tipo es que la restricción sólo afecta a relativamente pocas turbinas, permitiendo que el resto de las turbinas eólicas en la central continúen funcionando sin interrupción.

En una realización, el PPC identifica varios generadores de turbina eólica operativamente eficientes que llevarán a cabo un procedimiento de restricción. Por ejemplo, se identifican las 5 turbinas que más producen en la central. Además, después de eso se determina que un porcentaje de la cantidad de restricción de central va a restringirse a partir de los generadores de turbina eólica identificados. En el ejemplo, cada una de las 5 turbinas eólicas identificadas realizará el 20% de la cantidad de restricción de 6,4 MW, es decir 1,28 MW, para la restricción de la potencia activa. Según una realización, el número de generadores de turbina eólica que van a identificarse puede basarse en un porcentaje determinado de la cantidad de restricción de central. Por ejemplo, una cantidad de porcentaje del 12,5% que va a restringirse mediante una turbina eólica dará como resultado que se identifican 8 turbinas para la restricción.

Los esquemas de restricción anteriores surgen a partir de la provisión de opciones para que un operador de central controle una central de energía eólica. Tales esquemas proporcionan una ventaja puesto que ya puede considerarse que los generadores de turbina eólica que funcionan con una eficiencia menor de generación de potencia activa están listos para soportar los requisitos de red de potencia reactiva.

Según una realización, la restricción puede dividirse en múltiples etapas. En algunas realizaciones, la potencia activa generada por la central de energía eólica se restringe en la cantidad de restricción en dos etapas. Según un ejemplo representativo, la cantidad de restricción de 13 MW puede dividirse en etapas de 6,5 MW cada una. Dicho de otro

modo, la restricción puede tener lugar en dos etapas de 0,15 p.u.

Según una realización, si la central de energía eólica está funcionando con entre el 70% y el 90%, y se solicita una demanda de potencia reactiva alta, y la central de energía eólica no puede cumplirla en el plazo de 1 s, entonces puede llevarse a cabo una restricción en dos etapas de 6,5 MW. Dividir la cantidad de restricción es ventajoso en el caso de que si los generadores de turbina eólica están produciendo menos de 2 MW, entonces es posible que algunos de los WTG puedan suministrar más potencia reactiva que otros. Debido a tal característica, en ocasiones puede ser suficiente una restricción menor para que la central cumpla los requisitos de red. Un esquema de este tipo es ventajoso porque es necesario restringir un número reducido de generadores de turbina eólica así como una cantidad reducida de potencia activa.

Según una realización, al llevar a cabo la restricción, el PPC utiliza una lista de prioridades. En una realización, la primera etapa de llevar a cabo una restricción de 6,5 MW o 0,15 p.u. puede realizarse a partir de los generadores de turbina eólica con una producción con una eficiencia mayor del 70% de los MW nominales de la turbina. Para una máquina de 2 MW, si el generador de turbina eólica está produciendo más de 1,4 MW, debe encontrarse bajo un umbral de restricción en la lista de prioridades. La lista de prioridades puede actualizarse con un tiempo de muestreo establecido. En una realización, el tiempo de muestreo es de 1 s. Si la restricción de primera etapa no es suficiente para hacer que la central de energía eólica cumpla los requisitos, entonces la siguiente etapa de una restricción de 0,15 p.u. puede distribuirse igualmente a todos los WTG. En otra realización, la segunda etapa de restricción puede implicar un número identificado de turbinas eólicas.

Según una realización, la potencia activa generada por la central de energía eólica se restringe en una cantidad de restricción en tres etapas o cuatro etapas. Al dividir la cantidad de restricción, y restringir la potencia activa de manera progresiva, la central de energía eólica puede moderar la cantidad de potencia activa restringida así como posiblemente reducir el número de generadores de turbina eólica que resultan afectados.

Generalmente, una limitación del número de etapas de restricción implicadas puede ser el requisito de temporización para que la central de energía eólica cumpla el código de red. Por ejemplo, determinados códigos de red para una red de transmisión proporcionan un requisito de 5 segundos para que la central de energía eólica cumpla la inyección de potencia reactiva solicitada en la red. Como tal, se considera normalmente un equilibrio en la restricción por etapas según realizaciones de la presente divulgación.

La consecución de tal equilibrio puede verse afectada de manera adversa por la tasa de disminución en rampa del generador eléctrico en el sistema de producción de energía de generador de turbina eólica. Diversos tipos de generadores pueden tener, por ejemplo, un tasa de disminución en rampa de 0,2 p.u./s. Imponer una limitación física de este tipo puede requerir que el PPC active más turbinas de las necesarias para llevar a cabo una restricción en etapas, o limite el número de etapas que pueden realizarse posiblemente.

En diversas realizaciones, los generadores de turbina eólica de la central de energía eólica utilizan un esquema de retroceso rápido para reducir rápidamente la generación y provisión de potencia activa al llevar a cabo un procedimiento de restricción. En un esquema de retroceso rápido, el generador de turbina eólica puede reducir hasta aproximadamente el 20% de su potencia de funcionamiento nominal con mucha rapidez, y sin cargas significativas excesivas o adicionales sobre los elementos mecánicos de la turbina eólica. Esto puede tener lugar aunque una limitación técnica obstaculice la tasa de disminución en rampa del generador eléctrico, disipando una potencia activa en exceso que está generándose a través de una batería de resistencias eléctricas, entre otras operaciones llevadas a cabo en el esquema de retroceso rápido. Como tal, utilizar un esquema de retroceso rápido para la restricción de la potencia activa de generador de turbina eólica permite cumplir los requisitos de temporización del código de red, y proporciona flexibilidad en la decisión real sobre a partir de qué turbinas se restringe la potencia. Según una realización, utilizar un retroceso rápido permite además un periodo de tiempo de muestreo más breve. En una realización, un tiempo de muestreo activo puede ser de 0,5 segundos. Según una realización, los generadores de turbina eólica en la central de energía eólica pueden llevar a cabo un aumento en rampa rápido de la producción de potencia activa después de que haya finalizado un acontecimiento de red que requiere una provisión de potencia reactiva. En algunas realizaciones, un generador de turbina eólica puede realizar un aumento en rampa a tasas de hasta 480 kW/s o mayores.

La figura 4A ilustra una tabla de resumen de flujo de carga y un diagrama de PQ de una central de energía eólica que requiere un STATCOM para cumplir los requisitos de red. Según un ejemplo representativo, una central de energía eólica que incluye una pluralidad de generadores de turbina eólica está dotada de una potencia nominal de 26 MW. El diagrama 400 incluye una indicación de un requisito de PQ de red 410, en el que puede observarse que se requiere que la central de energía eólica proporcione una capacidad de generación de potencia reactiva de aproximadamente 9 MVAR cuando la central de energía eólica está generando una salida de potencia activa de 26 MW.

Además, en el ejemplo representativo, la central de energía eólica incluye un STATCOM para soportar la capacidad de potencia reactiva de la central de energía eólica. En el ejemplo, el STATCOM instalado en la central de energía eólica puede funcionar con 6 MVAR. Las curvas 421, 422, 423 se refieren a la capacidad de potencia reactiva de la central de energía eólica según el ejemplo representativo, correspondiente a una tensión de red de 0,94, 1,0 y

1,06 p.u. respectivamente. Puede observarse que la capacidad de potencia reactiva de la turbina cumple el requisito de red 410 en cada punto de generación de potencia activa. La provisión del STATCOM de 6 MVAR proporciona una compensación positiva y un complemento a la capacidad real de potencia reactiva de la central de energía eólica. Sin embargo, también se observa que el coste de un equipo de compensación de central de este tipo puede ser de más de un millón de dólares USD, lo que afecta a consideraciones de capital y cálculos de rentabilidad de la inversión en la planificación de centrales de energía eólica. La figura 4A proporciona además cifras estadísticas que ilustran cómo funciona una central de energía eólica representativa.

La figura 4B ilustra una tabla de resumen de flujo de carga y un diagrama de PQ de una central de energía eólica que realiza una restricción según una realización. En el diagrama 450, el requisito de PQ de red 410 se proporciona de manera similar para la central de energía eólica con una capacidad nominal de 26 MW. Las curvas 461, 462, 463 muestran la capacidad de potencia reactiva de la central de energía eólica según el ejemplo representativo, pero sin un STATCOM para complementar su capacidad. Puede observarse que cuando la central de energía eólica proporciona una generación de potencia activa de más de 22 MW, la central de energía eólica no cumplirá el requisito de red de potencia reactiva 410.

Según una realización, la central de energía eólica, en respuesta a un acontecimiento de red que puede incluir una solicitud de potencia reactiva de la red o una desviación en la tensión de red, requiere la aportación de potencia reactiva por parte de la central de energía eólica, realiza una transición desde un primer estado de funcionamiento normal hasta un segundo estado de restricción. Con respecto al ejemplo representativo, la central de energía eólica lleva a cabo una restricción de 4 MW a 22 MW, que está relacionada con la cantidad máxima de potencia activa que puede proporcionar la central de energía eólica en cumplimiento del requisito de potencia reactiva.

El trazado gráfico 470 ilustra el requisito de red de PQ tal como se aplica a una central de energía eólica que funciona con una generación de potencia activa de 22 MW. Puede observarse que, tras la restricción, la central de energía eólica cumple el requisito de potencia reactiva tal como lo exponen los operadores de red. Además, y ventajosamente, una vez que expira el acontecimiento de red, la central de energía eólica puede realizar una transición de vuelta desde el segundo estado de restricción hasta el primer estado de funcionamiento normal, y seguir generando un nivel nominal de salida de potencia activa, dependiendo de las condiciones del viento. Como tal, puede proporcionarse el cumplimiento de los requisitos de red, sin el gasto adicional de un equipo de compensación físico. La figura 4B proporciona además cifras estadísticas que ilustran la viabilidad del método de restricción según una realización.

La figura 5 ilustra un método 500 para controlar una central de energía eólica según una realización. En una realización, el método es un método para aumentar la capacidad de potencia reactiva de una central de energía eólica. En 510, el método incluye recibir un requisito de potencia reactiva desde una red eléctrica. En 520, el método incluye determinar una potencia activa generada por la central de energía eólica. En 530, el método incluye comprobar si la central de energía eólica satisface el requisito de potencia reactiva basándose en la potencia activa generada por la central de energía eólica. En 540, el método incluye controlar la central de energía eólica para restringir la potencia activa generada por la central de energía eólica en una cantidad de restricción cuando no se satisface el requisito de potencia reactiva, y en respuesta a un acontecimiento de red.

Al proporcionar un método de este tipo para aumentar la capacidad de potencia reactiva de una central de energía eólica, se dota a una central de energía eólica de la capacidad de adherirse a los requisitos de potencia reactiva de código de red en el momento apropiado, que es cuando la red requiere que la potencia reactiva soporte la recuperación de tensión de red. Tal capacidad se logra sin la necesidad de un equipo de compensación de central costoso. Con una reducción de este tipo en el balance de gastos de la central, que contribuye directamente al coste de la energía, la central de energía eólica constituye un mejor caso práctico de negocio, y mejora la certeza transaccional.

Además, el método proporciona una disminución de la probabilidad de que los operadores de red penalicen al operador de central de energía eólica por no cumplir los requisitos de potencia reactiva, especialmente si no hay un equipo de compensación disponible. Con este método, la modificación de la capacidad nominal de la central también puede ajustarse de manera dinámica basándose en el requisito de Q de la red. Ventajosamente, el cumplimiento de los requisitos de código de red puede llevarse a cabo mediante mejoras de software o firmware, y no mediante costosos cambios reales de equipo o hardware.

En una realización, el método incluye además determinar la cantidad de restricción basándose en una caracterización eléctrica de la central de energía eólica.

En una realización, el método incluye además determinar la cantidad de restricción identificando una cantidad de potencia activa máxima que satisface el requisito de potencia reactiva a partir de la caracterización eléctrica.

En una realización, el método incluye además controlar la central de energía eólica para restringir la potencia activa generada por la central de energía eólica en la cantidad de restricción en una única etapa.

En una realización, el método incluye además controlar la central de energía eólica para restringir la potencia activa generada por la central de energía eólica en la cantidad de restricción en una pluralidad de etapas.

En una realización, el método incluye además controlar una pluralidad de generadores de turbina eólica en la central de energía eólica para restringir la potencia activa generada por la pluralidad de generadores de turbina eólica en la cantidad de restricción.

5 En una realización, el método incluye además una restricción distribuida de la potencia activa generada por la pluralidad de generadores de turbina eólica.

En una realización, el método incluye además en primer lugar restringir la potencia activa generada por un generador de turbina eólica que funciona por encima de una eficiencia de funcionamiento.

En una realización, el método incluye además restringir la potencia activa generada por la pluralidad de generadores de turbina eólica según una lista de prioridades.

10 En una realización, el método incluye además finalizar la restricción de la potencia activa generada por la central de energía eólica cuando termina el acontecimiento de red.

15 Se proporciona una central de energía eólica 600. En una realización, la central de energía eólica está configurada para llevar a cabo el método descrito anteriormente para controlar una central de energía eólica. En una realización, la central de energía eólica está configurada para llevar a cabo un método para aumentar la capacidad de potencia reactiva de una central de energía eólica. La central de energía eólica 600 incluye una pluralidad de generadores de turbina eólica 610. La central de energía eólica 600 también incluye un controlador de central de energía 620. Según una realización, el controlador de central de energía 620 está configurado para recibir un requisito de potencia reactiva desde una red; determinar una potencia activa generada por la central de energía eólica; comprobar si la central de energía eólica satisface el requisito de potencia reactiva basándose en la potencia activa generada por la central de energía; y controlar la central de energía eólica para restringir la potencia activa generada por la central de energía eólica en una cantidad de restricción cuando no se satisface el requisito de potencia reactiva, y en respuesta a un acontecimiento de red.

20

En una realización, la cantidad de restricción se determina basándose en una caracterización eléctrica de la central de energía eólica.

25 En una realización, la cantidad de restricción se determina identificando la cantidad de potencia activa máxima que satisface el requisito de potencia reactiva a partir de la caracterización eléctrica.

En una realización, la potencia activa generada por la central de energía eólica se restringe en la cantidad de restricción en una única etapa.

30 En una realización, la potencia activa generada por la central de energía eólica se restringe en la cantidad de restricción en una pluralidad de etapas.

En una realización, una pluralidad de generadores de turbina eólica en la central de energía eólica se controlan para restringir la potencia activa generada por la pluralidad de generadores de turbina eólica en la cantidad de restricción.

En una realización, la pluralidad de generadores de turbina eólica se controla basándose en una restricción distribuida.

35 En una realización, la potencia activa generada por un generador de turbina eólica que funciona por encima de un umbral de productividad se restringe en primer lugar.

En una realización, la potencia activa generada por la pluralidad de generadores de turbina eólica se restringe según una lista de prioridades.

40 En una realización, la restricción de potencia activa generada por la central de energía eólica se finaliza cuando termina el acontecimiento de red.

Según diversas realizaciones, se proporciona al menos un producto de programa informático que puede cargarse directamente en la memoria interna de al menos un ordenador digital proporcionado en una central de energía eólica, que incluye partes de código de software para realizar las etapas de un método según una realización de la presente divulgación cuando dicho al menos un producto se ejecuta(n) en dicho al menos un ordenador.

45 En diversas realizaciones, un controlador para llevar a cabo una función operativa en la central de energía eólica, que incluye por ejemplo, pero no se limita a, un controlador de central, un controlador de central de energía, un controlador SCADA, un controlador de turbina eólica, un controlador de potencia de turbina eólica o un controlador de corriente reactiva, incluye un ordenador digital configurado para recibir un producto de programa informático. En algunas realizaciones, los ordenadores digitales proporcionados en la central de energía eólica se sincronizan y funcionan conjuntamente como parte de un sistema global.

50

No se pretende que el aparato, el método y/o el sistema anterior(es), tal como se describe(n) y se ilustra(n) en las figuras correspondientes, se limite(n) a cualquier aparato, método o sistema según una realización, y el alcance de

la presente divulgación. La descripción incluye además, o bien explícita o bien implícitamente, diversas características y ventajas del método o el sistema según la presente divulgación que pueden englobarse dentro de un aparato, un método o un sistema según la divulgación.

- 5 Aunque se han mostrado y descrito particularmente realizaciones de la divulgación con referencia a realizaciones específicas, los expertos en la técnica deben entender que pueden realizarse diversos cambios en forma y detalle en la misma sin apartarse del alcance de la divulgación tal como se define mediante las reivindicaciones adjuntas. Por tanto, el alcance de la divulgación se indica mediante las reivindicaciones adjuntas y, por tanto, se pretende englobar todos los cambios que se encuentren dentro del significado y el intervalo de equivalencia de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Método para aumentar la capacidad de potencia reactiva de una central de energía eólica (100), que comprende:
recibir (502) un requisito de potencia reactiva desde una red eléctrica (160);
5 determinar (504) una potencia activa generada por la central de energía eólica (100);
comprobar (506) si la central de energía eólica (100) satisface el requisito de potencia reactiva basándose en la potencia activa generada por la central de energía eólica; y
controlar (508) la central de energía eólica para restringir la potencia activa generada por la central de energía eólica en una cantidad de restricción cuando no se satisface el requisito de potencia reactiva, y en respuesta a un acontecimiento de red.
10
2. Método según la reivindicación 1, que comprende además determinar la cantidad de restricción basándose en una caracterización eléctrica de la central de energía eólica (100).
3. Método según la reivindicación 2, que comprende además determinar la cantidad de restricción identificando una cantidad de potencia activa máxima que satisface el requisito de potencia reactiva a partir de la caracterización eléctrica.
15
4. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además controlar (620) la central de energía eólica (100) para restringir la potencia activa generada por la central de energía eólica en la cantidad de restricción en una única etapa.
5. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además controlar (620) la central de energía eólica (100) para restringir la potencia activa generada por la central de energía eólica en la cantidad de restricción en una pluralidad de etapas.
20
6. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además controlar (620) una pluralidad de generadores de turbina eólica (120) en la central de energía eólica para restringir la potencia activa generada por la pluralidad de generadores de turbina eólica en la cantidad de restricción.
- 25 7. Método según la reivindicación 6, que comprende además una restricción distribuida de la potencia activa generada por la pluralidad de generadores de turbina eólica.
8. Método según la reivindicación 7, en el que restringir la potencia activa generada por los generadores de turbina eólica de la central de energía eólica incluye uno o más de :
30 i) en primer lugar restringir la potencia activa generada por un generador de turbina eólica que funciona por encima de una eficiencia de funcionamiento predeterminada;
ii) restringir la potencia activa generada por la pluralidad de generadores de turbina eólica según una lista de prioridades.
9. Central de energía eólica (100), que comprende:
una pluralidad de generadores de turbina eólica (120);
35 un controlador de central de energía (150; 560) configurado para:
recibir (502) un requisito de potencia reactiva desde una red eléctrica (160);
determinar (504) una potencia activa generada por la central de energía eólica (100);
comprobar (506) si la central de energía eólica satisface el requisito de potencia reactiva basándose en la potencia activa generada por la central de energía; y
40 controlar (508) la central de energía eólica para restringir la potencia activa generada por la central de energía eólica en una cantidad de restricción cuando no se satisface el requisito de potencia reactiva, y en respuesta a un acontecimiento de red.
10. Central de energía eólica según la reivindicación 9, en la que la cantidad de restricción se determina basándose en una caracterización eléctrica de la central de energía eólica (100), y en la que la cantidad de restricción se determina identificando la cantidad de potencia activa máxima que satisface el requisito de potencia reactiva a partir de la caracterización eléctrica.
45
11. Central de energía eólica según las reivindicaciones 9 ó 10, en la que la potencia activa generada por la

central de energía eólica (100) se restringe en la cantidad de restricción en una única etapa.

12. Central de energía eólica según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en la que la potencia activa generada por la central de energía eólica (100) se restringe en la cantidad de restricción en una pluralidad de etapas.
- 5 13. Central de energía eólica según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, en la que se controlan una pluralidad de generadores de turbina eólica (120) en la central de energía eólica (100) para restringir la potencia activa generada por la pluralidad de generadores de turbina eólica (120) en la cantidad de restricción.
- 10 14. Central de energía eólica según la reivindicación 13, en la que restringir la potencia activa generada por la central de energía eólica incluye al menos uno de:

i) en primer lugar restringir un generador de turbina eólica que funciona por encima de un umbral de productividad;

ii) restringir la potencia activa generada por la pluralidad de generadores de turbina eólica según una lista de prioridades.
- 15 15. Al menos un producto de programa informático que puede cargarse directamente en la memoria interna de al menos un ordenador digital proporcionado en una central de energía eólica, que comprende partes de código de software para realizar las etapas del método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8 basándose en la información recibida desde la central de energía eólica y el operador de red de la red eléctrica a la que está acoplada la central de energía eólica cuando dicho al menos un producto se ejecuta(n) en dicho al menos un ordenador.
- 20

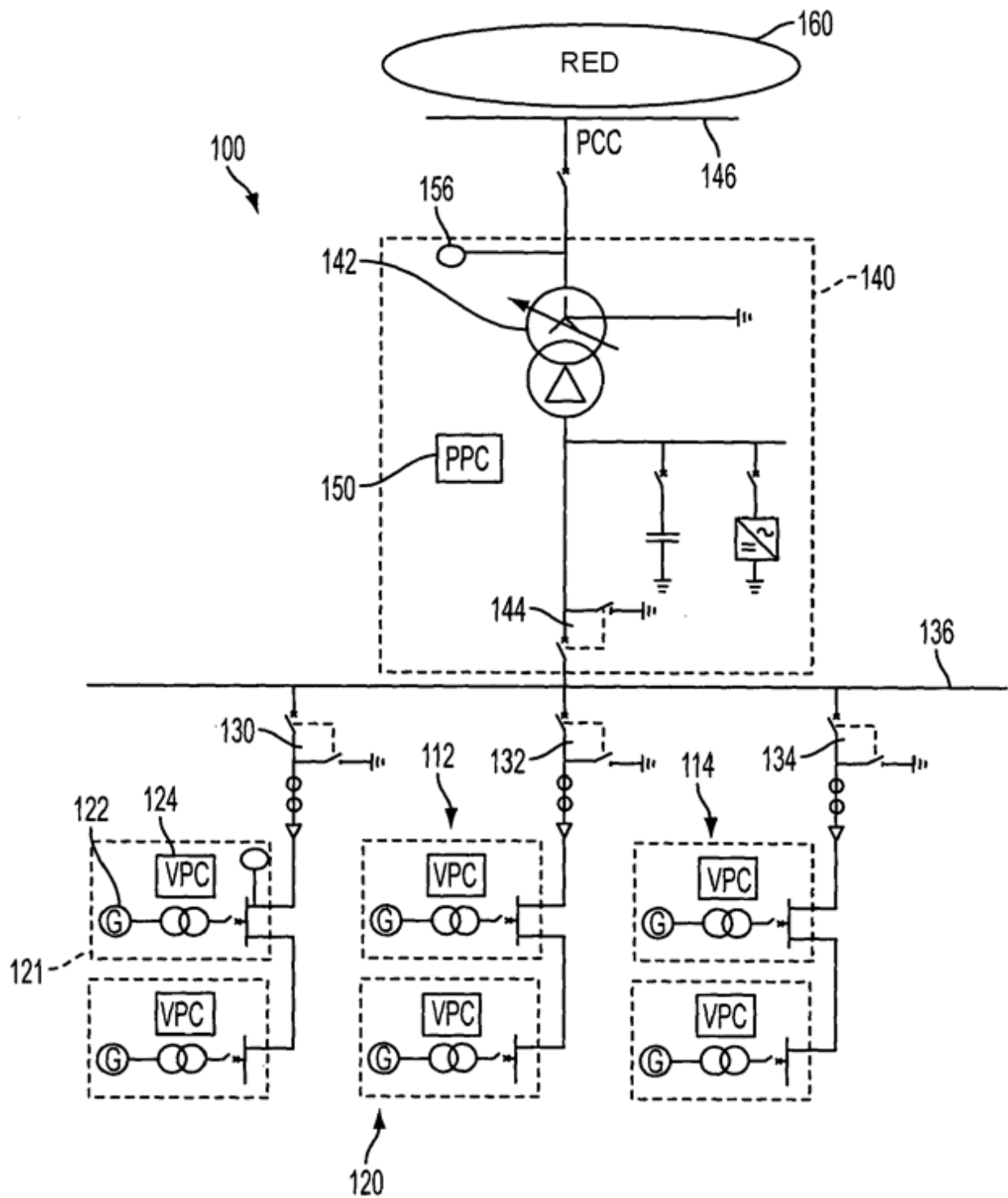


FIG. 1

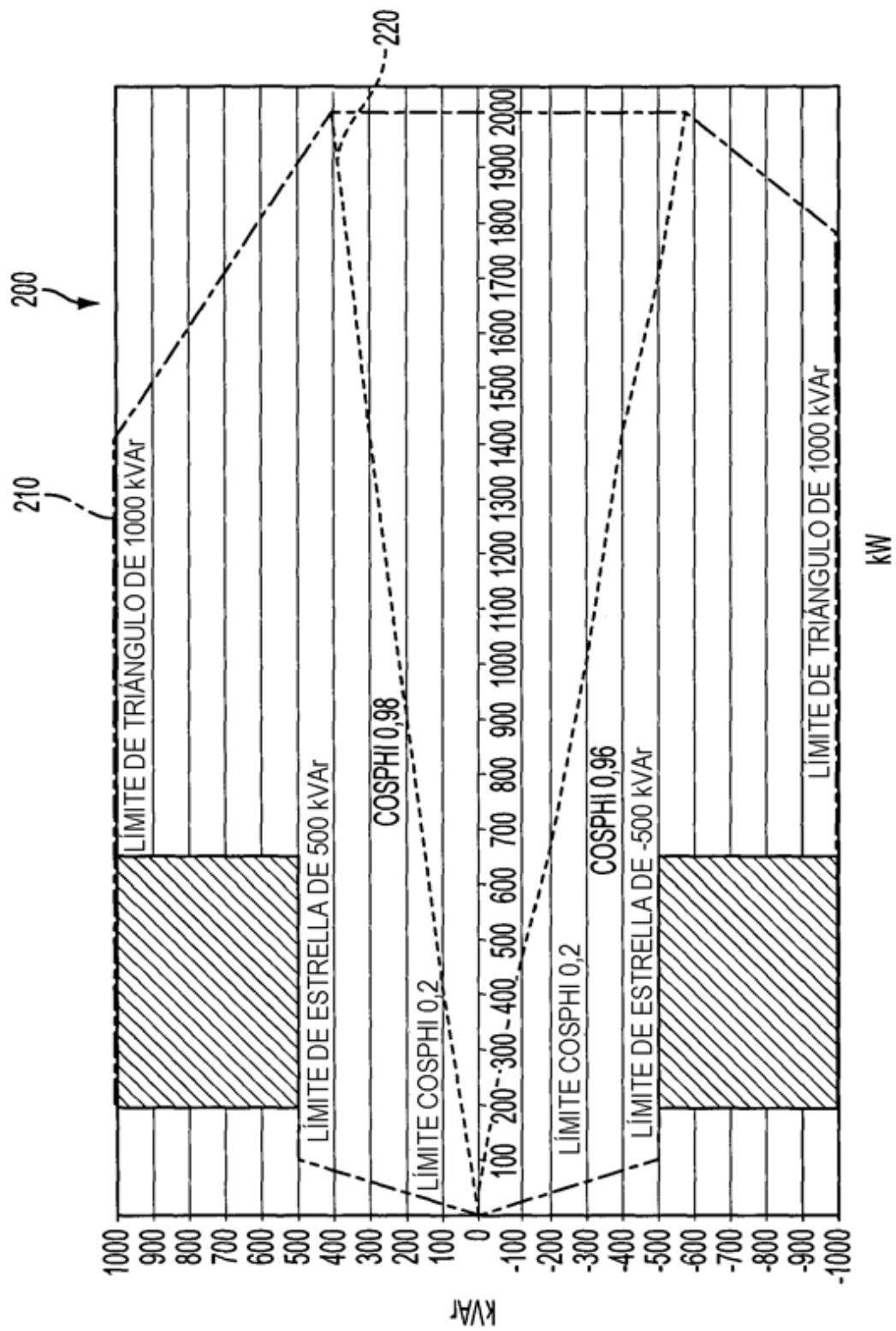


FIG. 2

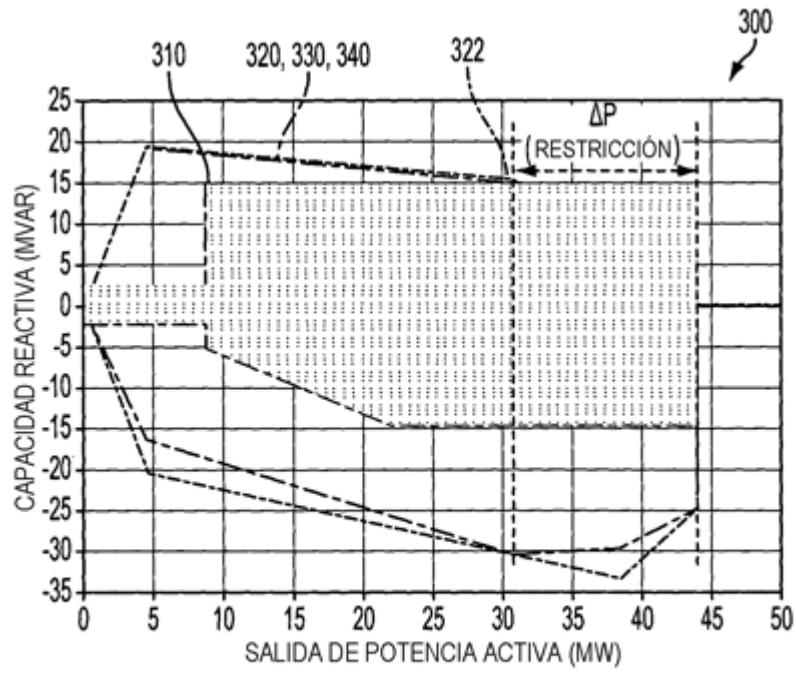


FIG. 3A

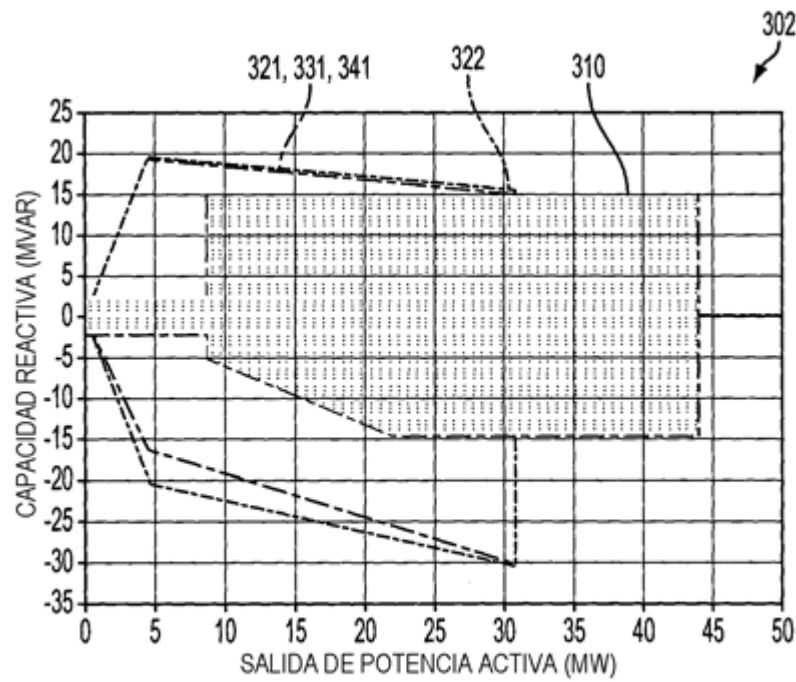
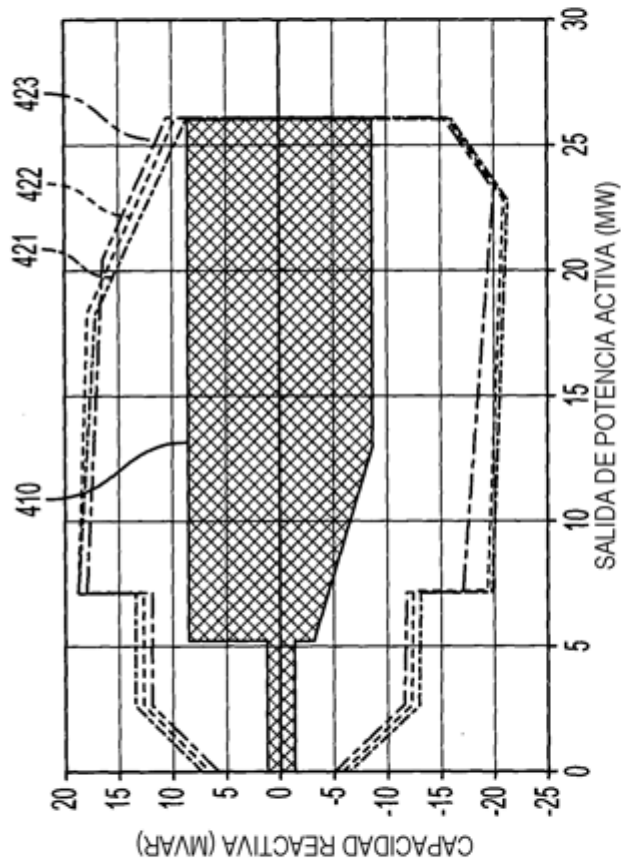
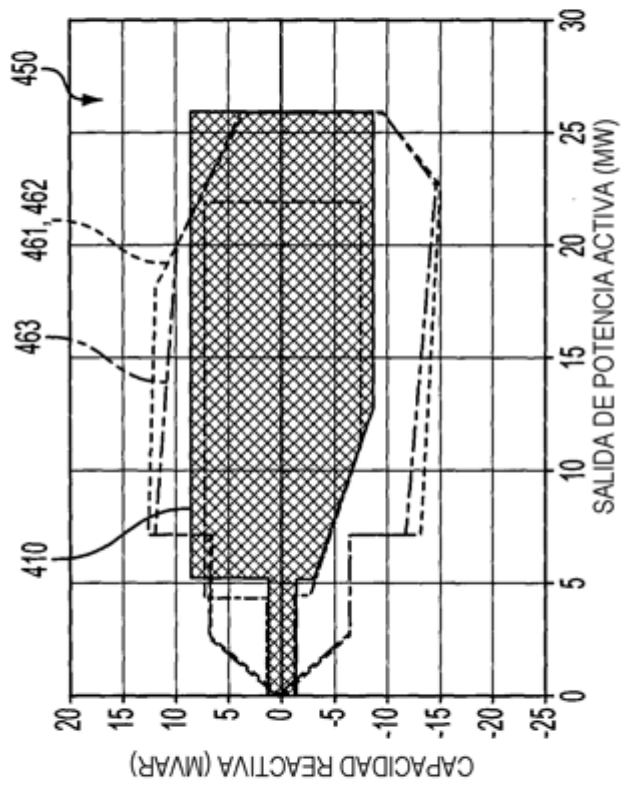


FIG. 3B



CASO	V _{PCC}	FP DE WPPA PCC	P _{PCC} (MW)	Q _{PCC} (MVar)	COMP. REACTIVA (MVar)	CARGA DE CABLE MÁX. Y NOMBRE DE CABLE	TENSIÓN MÁX. [pu] Y NOMBRE BARR. COL.	TENSIÓN MÍN. [pu] Y NOMBRE BARR. COL.	Suma Q WTG
A	1,00	UPF	25,69	0	0	60,82-C GRP1B T10	1,01-WTGT12LV	1,00-PCC BUS	1,65
B	1,00	0,95 CAP	25,69	8,44	4,85	61,42-C GRP1B T10	1,03-WTGT12LV	1,00-PCC BUS	5,28
C	1,00	0,95 IND	25,66	-8,43	0	64,00-C GRP1B T10	1,00-WTGT12HV	0,98-WTGT1LV	-6,52
D	0,94	UPF	25,66	0	0	64,63-C GRP1B T10	0,96-WTGT12LV	0,94-PCC BUS	1,99
E	0,94	0,95 CAP	25,66	8,43	5,86	65,16-C GRP1B T10	0,97-WTGT12LV	0,94-PCC BUS	5,28
F	0,94	0,95 IND	25,63	-8,42	0	67,99-C GRP1B T10	0,94-WTGT12HV	0,92-WTGT1LV	-6,14
G	1,06	UPF	25,71	0	0	57,43-C GRP1B T10	1,07-WTGT12LV	1,06-PCC BUS	1,35
H	1,06	0,95 CAP	25,71	8,45	4,05	58,10-C GRP1B T10	1,08-WTGT12LV	1,06-PCC BUS	5,28
I	1,06	0,95 IND	25,69	-8,44	0	60,44-C GRP1B T10	1,06-WTGT12HV	1,04-WTGT1LV	-6,85
J	1,00	UPF	-0,05	0	-0,52	1,38-C GRP1B T10	1,00-WTGT13HV	1,00-WTGT2LV	0

FIG. 4A



CASO	V _{PCC}	FP DE VPPA PCC	P _{PCC} (MW)	Q _{PCC} (MVar)	COMP. REACTIVA (MVar)	CARGA DE CABLE MÁX. Y NOMBRE DE CABLE	TENSIÓN MÁX. [pu] Y NOMBRE BARR. COL.	TENSIÓN MÍN. [pu] Y NOMBRE BARR. COL.	Suma Q WTG
A	1,00	UPF	22,12	0	0	52,37-C GRP1B T10	1,01-WTGT12LV	1,00-PCC BUS	1,09
B	1,00	0,95 CAP	22,1	7,26	0	55,11-C GRP1B T10	1,04-WTGT12LV	1,00-PCC BUS	8,5
C	1,00	0,95 IND	22,1	-7,26	0	55,11-C GRP1B T10	1,00-WTGT12HV	0,98-WTGT1LV	-6,98
D	0,94	UPF	22,1	0	0	55,66-C GRP1B T10	0,95-WTGT12LV	0,94-PCC BUS	1,36
E	0,94	0,95 CAP	22,08	7,25	0	58,57-C GRP1B T10	0,98-WTGT12LV	0,94-PCC BUS	8,78
F	0,94	0,95 IND	22,07	-7,25	0	58,57-C GRP1B T10	0,94-WTGT12HV	0,92-WTGT1LV	-6,68
G	1,05	UPF	22,13	0	0	49,44-C GRP1B T10	1,07-WTGT12LV	1,06-PCC BUS	0,85
H	1,05	0,95 CAP	22,11	7,27	0	52,04-C GRP1B T10	1,09-WTGT12LV	1,06-PCC BUS	8,25
I	1,05	0,95 IND	22,11	-7,27	0	52,04-C GRP1B T10	1,05-WTGT12HV	1,04-WTGT1LV	-6,24
J	1,00	UPF	-0,05	0	-0,52	1,38-C GRP1B T10	1,00-WTGT13HV	1,00-WTGT2LV	0

FIG. 4B

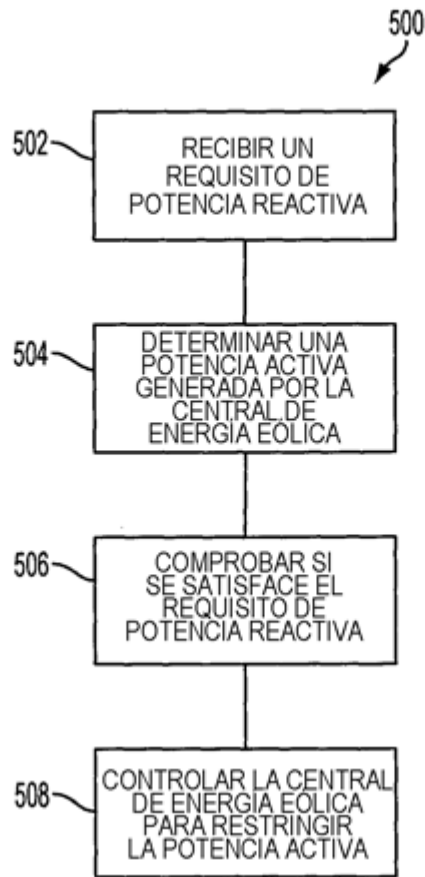


FIG. 5

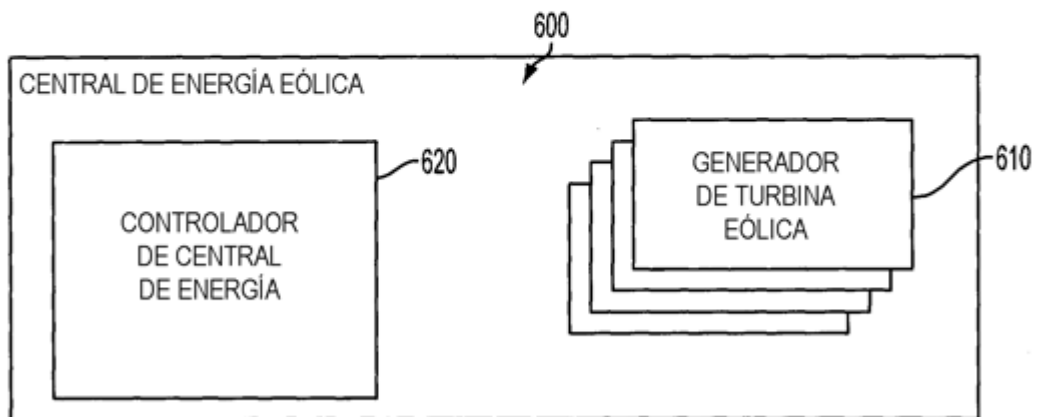


FIG. 6