

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 771 073**

51 Int. Cl.:

H02J 3/50	(2006.01)
H02J 3/38	(2006.01)
H02J 3/18	(2006.01)
F03D 9/25	(2006.01)
F03D 7/02	(2006.01)
F03D 7/04	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.08.2010 PCT/EP2010/061233**

87 Fecha y número de publicación internacional: **09.02.2012 WO12016585**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.08.2010 E 10737586 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.11.2019 EP 2601720**

54 Título: **Regulación de potencia reactiva de un parque eólico**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
06.07.2020

73 Titular/es:
**GE RENEWABLE TECHNOLOGIES WIND B.V.
(100.0%)
Bergschot 69, 2
4817 PA Breda, NL**

72 Inventor/es:
**MATA DUMENJÓ, MONTSERRAT;
CARULLA PIERA, JORDI y
GOMIS BELLMUNT, ORIOL**

74 Agente/Representante:
FORTEA LAGUNA, Juan José

ES 2 771 073 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

Regulación de potencia reactiva de un parque eólico

5 **[0001]** La presente invención se refiere a un procedimiento para la regulación de la potencia reactiva en un parque eólico, un procedimiento de regulación de la potencia reactiva en una turbina eólica y en un parque eólico.

TÉCNICA ANTERIOR

10 **[0002]** Con el creciente uso de energía eólica para la generación de electricidad, los operadores de red (TSO u operadores del sistema de transmisión) han introducido requisitos más estrictos para los operadores de parques eólicos con respecto a la generación de energía activa y reactiva de apoyo a la red. Por ejemplo, se puede solicitar a los operadores de parques eólicos que no siempre generen la máxima potencia activa disponible dependiendo de las condiciones del viento. Además, de acuerdo con algunos códigos de la red, los parques eólicos deben apoyar a la red durante una caída de tensión y no, por ejemplo, desconectarse de la red.

15 **[0003]** A este respecto, se conoce variar la potencia reactiva generada en un parque eólico de acuerdo con una tensión de red en un punto de acoplamiento común (PCC). También se conoce variar la potencia activa generada en un parque eólico de acuerdo con una frecuencia de red medida.

20 **[0004]** El documento EP 1 850 002 divulga un parque eólico que comprende varias turbinas eólicas de velocidad fija y varias turbinas eólicas de velocidad variable. Las turbinas eólicas de velocidad variable están adaptadas para ecualizar la salida del parque eólico compensando la salida variable de las turbinas eólicas de velocidad fija. Estas turbinas eólicas de velocidad variable pueden ser independientes o se puede proporcionar un dispositivo de gestión central para enviar órdenes de control a cada una de las turbinas eólicas de velocidad variable.

25 **[0005]** El documento US 7.531.911 divulga un procedimiento de regulación de la potencia reactiva en un parque eólico en el que una salida de potencia reactiva medida del parque eólico se compara con una referencia de entrada de la potencia reactiva; en base a la diferencia entre los dos valores se genera una orden de potencia reactiva. Las órdenes de potencia reactiva para cada una de las turbinas eólicas se determinan como un porcentaje de una capacidad de potencia reactiva máxima instantánea de cada una de las turbinas.

30 **[0006]** El documento US 2008/0073912 divulga un parque eólico que incluye al menos dos turbinas eólicas y un controlador de maestro de parque configurado para el control del factor de potencia y para enviar señales de coeficiente de potencia global a reguladores de nivel inferior en las turbinas eólicas.

35 **[0007]** El documento WO 2005/099063 divulga un procedimiento para operar un convertidor de frecuencia de un generador, en particular de una turbina de energía eólica, en el caso de una caída sustancial de tensión de la red, en el que el convertidor de frecuencia comprende un convertidor de potencia del lado del generador, para conectarse al generador, un convertidor de potencia del lado de la red para conectarse a la red de tensión, y un circuito de enlace de CC para conectar el convertidor de potencia del lado del generador al convertidor de potencia del lado de la red, comprende la etapa de generar la cantidad de corriente reactiva que se suministrará a la red controlando el convertidor de frecuencia.

40 **[0008]** El documento US 2008/0106099 divulga un dispositivo de interfaz que transmite una orden de potencia reactiva dependiendo de un sistema de potencia desde un dispositivo de regulación de tensión del sistema de potencia a un aparato de generación de potencia eólica conectado eléctricamente al sistema de potencia, y el aparato de generación de potencia eólica recibe la orden de potencia reactiva.

45 **[0009]** El documento WO 2009/083446 divulga un procedimiento para operar un parque eólico que comprende una pluralidad de generadores de turbinas eólicas que tienen sustancialmente las mismas clasificaciones de potencia de salida real que suministran potencia a una red. El procedimiento comprende las etapas de seleccionar al menos una turbina eólica en un primer grupo de turbinas eólicas para satisfacer las necesidades de potencia reactiva del parque o la red suministrando o absorbiendo potencia reactiva cuando sea necesario; seleccionar al menos una turbina en un segundo grupo de turbinas eólicas para satisfacer la necesidad de potencia reactiva del parque o la red mediante la absorción de potencia reactiva cuando sea necesario; y enviar órdenes al menos una turbina eólica en el primer o segundo grupo para satisfacer las necesidades de potencia reactiva del parque o la red.

50 **[0010]** El documento US 2010/0134076 divulga sistemas y procedimientos para la regulación de la potencia reactiva y soporte de tensión para plantas de energía renovable. En un modo de realización, se proporcionan un sistema y un procedimiento para coordinar la tensión y la salida de potencia reactiva de una planta con uno o más requisitos asociados con una empresa de servicios públicos.

55 **[0011]** El documento DE 10 2007 044 601 A1 divulga un parque eólico con control de tensión, donde las turbinas individuales usan una superposición de una orden de potencia reactiva local recibido desde un controlador central y una orden de potencia reactiva local que se genera localmente dentro de la turbina eólica dependiendo de la tensión

de la red local. Más allá de ciertos límites de la tensión de la red local, la orden de potencia reactiva local será la potencia reactiva inductiva o capacitiva máxima de la turbina eólica.

[0012] En general, se conocen sistemas de control de la técnica anterior que se basan en un control centralizado o en un control descentralizado. Una ventaja de un enfoque de control centralizado puede ser en general que el control es estable. Sin embargo, una desventaja de un control centralizado puede ser que dicho control no siempre puede reaccionar con la suficiente rapidez a las anomalías de la red. Una ventaja de un control descentralizado puede ser que reacciona más rápido a las anomalías de la red, pero una desventaja puede ser que el control puede ser inestable. Por lo tanto, todavía existe la necesidad de un control de potencia en un parque eólico que pueda combinar un control estable con una capacidad de reacción rápida a las anomalías de la red. La presente invención está dirigida a satisfacer parcial o completamente esta necesidad. Otras ventajas resultarán evidentes a partir de la siguiente descripción.

SUMARIO DE LA INVENCION

[0013] La invención se define por un procedimiento de regulación de la potencia reactiva en un parque eólico de acuerdo con la reivindicación 1, un procedimiento de regulación de la potencia reactiva en una turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 11 y una turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 15. Todas las características técnicas de una de las reivindicaciones independientes respectivas son obligatorias y no opcionales, independientemente de cualquier declaración en contra en los siguientes párrafos. Los modos de realización preferentes se describen en las reivindicaciones dependientes.

[0014] En un primer aspecto, la presente invención proporciona un procedimiento de regulación de la potencia reactiva en un parque eólico conectado a una red eléctrica, el parque eólico comprende una pluralidad de turbinas eólicas y un sistema de control central de la potencia reactiva, en el que al menos una primera porción de la pluralidad de turbinas eólicas comprende un sistema de control local de la potencia reactiva adaptado para trabajar en un modo de control central y un modo de control local, en el que el sistema de control central de la potencia reactiva envía órdenes indicativas de las demandas de potencia reactiva local a los sistemas de control local de la potencia reactiva de acuerdo con al menos una variable medida de la red; y en el que en un modo de control central, un sistema de control local de la potencia reactiva opera una turbina eólica para generar potencia reactiva de acuerdo con dichas órdenes; y en el que en un modo de control local, un sistema de control local de la potencia reactiva determina una cantidad de potencia reactiva a generar y controla una turbina eólica para generar dicha cantidad de potencia reactiva.

[0015] De acuerdo con este aspecto de la invención, se proporciona una combinación de control centralizado y control descentralizado, combinando las ventajas de ambos enfoques.

[0016] En algunos modos de realización, un sistema de control local de la potencia reactiva puede conmutar del modo de control central al modo de control local cuando una variable local medida excede un valor límite local para la turbina eólica. Una condición de red excepcional en general se traducirá en una condición de red excepcional dentro del parque eólico. Un aspecto de estos modos de realización es que un sistema de control local no tiene que esperar a que un sistema de control central detecte una anomalía y traduzca esa anomalía en señales de control. En cambio, un sistema de control local puede medir la anomalía y responder rápidamente. Opcionalmente, la conmutación a un control local solo se realiza si la variable local medida excede un valor límite local durante al menos un período de tiempo predeterminado. Preferentemente, los valores límite locales para cada turbina eólica se determinan sustancialmente de manera que, en condiciones de red normales, el parque eólico opera en el modo de control central y que, en condiciones de red excepcionales o casi, funciona en el modo de control local. Un aspecto de estos modos de realización es que en condiciones de red normales, se puede usar el control centralizado más estable, mientras que en condiciones de red excepcionales o casi, está disponible una respuesta más rápida con el control local. De acuerdo con estos modos de realización, en condiciones de red excepcionales, todas las turbinas eólicas con sistemas de control local de la potencia reactiva pueden estar en modo de control local o solo una parte de ellas. Un TSO puede determinar qué condiciones de red son "normales". Cualquier condición de red que no se considere "normal" puede considerarse "excepcional". Un ejemplo de una condición de red excepcional puede ser, por ejemplo, una tensión de red fuera de ciertos valores límite predefinidos.

[0017] En algunos modos de realización, los valores límite locales para cada turbina eólica son tensiones y dichas variables locales medidas son tensiones locales. En algunos de estos modos de realización, los valores límite locales para cada turbina eólica comprenden una tensión mínima y una tensión máxima.

[0018] En algunos modos de realización, los valores límite locales pueden ser constantes. En modos de realización alternativos, los valores límite locales pueden determinarse de acuerdo con al menos una variable medida.

[0019] En algunos modos de realización, la cantidad de potencia reactiva generada en un modo de control local puede ser la cantidad máxima o mínima de potencia reactiva que puede generar realmente una turbina eólica. En algunos modos de realización, los sistemas de control local pueden determinar la cantidad máxima y mínima de potencia reactiva que puede generar una turbina eólica de acuerdo con las condiciones operativas del parque eólico y/o cada turbina eólica. Las condiciones que pueden tenerse en cuenta incluyen, por ejemplo, las condiciones térmicas

de los componentes del generador y/o convertidor. De forma alternativa, los sistemas de control local pueden usar máximos y/o mínimos predefinidos (que deberán estar dentro de los límites operativos reales del generador y/o convertidor).

5 **[0020]** En algunos modos de realización, un sistema de control local de la potencia reactiva puede conmutar del modo de control central al modo de control local cuando un valor absoluto de una tasa de cambio de una variable local medida (por ejemplo, una tensión local) excede una tasa límite local. En estos modos de realización, el modo de control local puede activarse cuando una tasa de cambio (ya sea positiva o negativa) excede una tasa límite. Opcionalmente, las tasas límite locales pueden ser constantes. Las tasas límite locales también pueden determinarse de acuerdo con al menos una variable medida.

15 **[0021]** En algunos modos de realización, los sistemas de control local reactivo conmutan del modo de control central al modo de control local cuando un cambio repentino de una variable local medida excede las proporciones límite locales. Opcionalmente, dichas proporciones límite locales comprenden una diferencia límite local absoluta. En estos modos de realización, la conmutación no está necesariamente determinada por un valor instantáneo de una tasa de cambio de una tensión, sino más bien por un "salto" de cierto tamaño dentro de un tiempo determinado. En estos modos de realización, la tasa de cambio se toma en cuenta por tanto indirectamente.

20 **[0022]** En algunos modos de realización, cuando un sistema de control local conmuta de un modo de control central a un modo de control local en respuesta a una tasa de cambio de una variable local medida que supera una tasa límite local, en el modo de control local, la cantidad de potencia reactiva que se generará se puede determinar de acuerdo con la tasa de cambio registrada y/o las condiciones operativas del parque eólico y/o las condiciones operativas de la turbina eólica.

25 **[0023]** En algunos modos de realización, cuando un sistema de control local conmuta de un modo de control central a un modo de control local en respuesta a un cambio repentino de una variable local medida que supera las proporciones de límite local, en el modo de control local, la cantidad de potencia reactiva que se generará puede determinarse de acuerdo con la conmutación repentino registrado y/o las condiciones operativas del parque eólico y/o las condiciones operativas de la turbina eólica.

30 **[0024]** En algunos modos de realización, los valores límite locales y/o las tasas límite locales y/o las proporciones límite locales para un cambio repentino pueden calcularse periódicamente (ya sea por un sistema de control central o por los sistemas de control local), o pueden proporcionarse, por ejemplo, por medio de una tabla de consulta calculada previamente. Los valores límite locales y/o las tasas límite locales y/o las proporciones límite locales también pueden determinarse de acuerdo con un algoritmo obtenido con una red neuronal artificial.

35 **[0025]** En algunos modos de realización, los valores límite locales y/o las tasas límite locales y/o las proporciones límite locales para un cambio repentino de una variable pueden determinarse mediante el sistema de control central de la potencia reactiva y suministrarse a cada uno de los sistemas de control local de la potencia reactiva. En otros modos de realización, los valores límite locales y/o las tasas límite locales y/o las proporciones límite locales pueden determinarse por cada uno de los sistemas de control local de la potencia reactiva.

45 **[0026]** En algunos modos de realización, un sistema de control local de la potencia reactiva puede conmutar del modo de control local al modo de control central después de que haya transcurrido una cantidad predeterminada de tiempo de funcionamiento en el modo de control local. En otros modos de realización, un sistema de control local de la potencia reactiva puede conmutar del modo de control local al modo de control central de acuerdo con las condiciones operativas del parque eólico y/o la red eléctrica y/o las turbinas eólicas.

50 **[0027]** En algunos modos de realización, en el modo de control central se puede determinar una demanda de potencia reactiva central en respuesta a una tensión de red medida. Opcionalmente, las órdenes indicativas de las demandas de potencia reactiva local pueden determinarse distribuyendo la orden de potencia reactiva central entre la pluralidad de turbinas eólicas de manera que cada orden de control local de la potencia represente el mismo porcentaje de la potencia reactiva local máxima disponible de cada turbina eólica. En modos de realización alternativos, se pueden usar diferentes algoritmos de distribución o claves de distribución.

55 **[0028]** En otro aspecto, la invención proporciona un procedimiento de regulación de la potencia reactiva en una turbina eólica que comprende recibir órdenes indicativas de una demanda local de potencia reactiva de un sistema de control central de la potencia reactiva; obtener una tensión local máxima y mínima; obtener un valor instantáneo de la tensión local a partir de un dispositivo de medición y comparar dicho valor instantáneo para la tensión local con los valores límite; y si la tensión local es mayor que la tensión local máxima, enviar órdenes de control a al menos un componente de la turbina eólica para generar la máxima potencia reactiva inductiva disponible; y si la tensión local es menor que la tensión local mínima, enviar órdenes de control a al menos un componente de la turbina eólica para generar la potencia capacitiva máxima disponible. En este aspecto, se proporciona un procedimiento de control de una turbina eólica que puede proporcionar apoyo a una red de manera rápida y estable.

65

- 5 **[0029]** En algunos modos de realización, el procedimiento de regulación de la potencia reactiva en una turbina eólica puede comprender además obtener un límite de tasa de cambio absoluto de una tensión local, determinar una tasa de cambio de una tensión local basada en los valores obtenidos de la tensión local a partir del dispositivo de medición, y si la tasa absoluta de cambio de tensión determinada es mayor que el límite absoluto de la tasa de cambio, determinar localmente la cantidad de potencia reactiva que se generará y enviar órdenes de control a al menos uno de los componentes de la turbina eólica para generar dicha cantidad de potencia reactiva. En estos modos de realización, las turbinas eólicas no solo reaccionan rápidamente a una tensión particularmente alta o particularmente baja en la red, sino que también se tienen en cuenta los cambios de tensión.
- 10 **[0030]** Opcionalmente, obtener un límite absoluto de la tasa de cambio de una tensión local comprende recibir el límite absoluto de la tasa de cambio desde el sistema de control central de la potencia reactiva. Otra opción es que obtener un límite absoluto de la tasa de cambio de una tensión local comprende calcular el límite absoluto de la tasa de cambio.
- 15 **[0031]** En modos de realización alternativos, el procedimiento comprende además obtener proporciones límite locales para una diferencia repentina en la tensión, determinar una diferencia repentina en la tensión basada en los valores obtenidos de los valores locales del dispositivo de medición, y si la diferencia repentina en la tensión excede las proporciones límite locales, determinar localmente la cantidad de potencia reactiva que se generará, y enviar órdenes de control a al menos un componente de la turbina eólica para generar dicha cantidad de potencia reactiva.
- 20 En estos modos de realización, las turbinas eólicas pueden reaccionar rápidamente a los "saltos" de tensión (tanto positivos como negativos) en la red.
- 25 **[0032]** En otro aspecto, la invención también proporciona un producto de programa informático que comprende instrucciones de programa para hacer que un sistema informático realice un procedimiento de regulación de la potencia reactiva en una turbina eólica sustancialmente como se describe anteriormente en el presente documento. Dicho programa informático puede realizarse en medios de almacenamiento (por ejemplo, en un medio de registro, en una memoria informática o en una memoria de solo lectura) o transportarse en una señal portadora para, por ejemplo, descargarse de un ordenador o enviarse por un correo electrónico (por ejemplo, en una señal portadora eléctrica u óptica).
- 30 **[0033]** En otro aspecto adicional, la invención proporciona un parque eólico conectado a una red eléctrica y que comprende una pluralidad de turbinas eólicas, en el que al menos una parte de la pluralidad de turbinas eólicas comprende un sistema de control local de la potencia reactiva capaz de controlar la potencia reactiva que genera una turbina eólica, el parque eólico que comprende además un sistema de control central de la potencia reactiva capaz de determinar órdenes indicativas de las demandas locales de potencia reactiva para cada uno de los sistemas de control local de la potencia reactiva en respuesta a al menos una variable medida de la red, y enviar las órdenes a los sistemas de control local de la potencia reactiva y los sistemas de control local de la potencia reactiva que están adaptados para trabajar en un modo de control central y un modo de control local, en el que en un modo de control central, el sistema de control local de la potencia reactiva controla una turbina eólica para generar potencia reactiva de acuerdo con una orden recibido del sistema de control central de la potencia reactiva, y en el que en un modo de control local, el sistema de control local de la potencia reactiva determina una cantidad de potencia reactiva que generará la turbina eólica correspondiente y controla la turbina eólica para generar dicha cantidad de potencia reactiva.
- 35 **[0034]** En algunos modos de realización, los controles locales de potencia reactiva están adaptados para controlar un convertidor y/o un sistema de pitch.
- 40 **[0035]** En algunos modos de realización, el parque eólico puede comprender medios de compensación de potencia reactiva adicionales tales como, por ejemplo, bancos de condensadores y/o bancos de inductores, y el control central de la potencia reactiva puede adaptarse para controlar estos medios de compensación de la potencia reactiva. En estos modos de realización, el parque eólico comprende más posibilidades para controlar la potencia reactiva generada.
- 45 **[0036]** En otro aspecto adicional, la invención proporciona un procedimiento de regulación de la potencia reactiva en una turbina eólica que comprende recibir órdenes indicativas de un sistema de control local de la potencia reactiva; obtener un límite absoluto de la tasa de cambio de una tensión local; obtener valores instantáneos de la tensión local a partir de un dispositivo de medición; determinar una tasa de cambio de una tensión local con base en los valores obtenidos de la tensión local del dispositivo de medición, y si la tasa absoluta de cambio de tensión es menor que el límite de la tasa de cambio, enviar órdenes de control a al menos un componente de la turbina eólica para generar potencia reactiva de acuerdo con las órdenes recibidas del sistema de control central de la potencia reactiva; y si la tasa absoluta de cambio de tensión determinada es mayor que el límite de la tasa de cambio, determinar localmente la cantidad de potencia reactiva que se generará y enviar órdenes de control a al menos un componente de turbina eólica para generar dicha cantidad de potencia reactiva. Y en otro aspecto adicional, la invención proporciona un procedimiento de regulación de la potencia reactiva en una turbina eólica que comprende recibir órdenes indicativas de un sistema de control local de la potencia reactiva; obtener proporciones límite locales para un cambio repentino en la tensión local; obtener valores instantáneos de la tensión local a partir de un dispositivo de medición; determinar una diferencia repentina de tensión en base a los valores obtenidos de la tensión local a partir del dispositivo de
- 55
- 60
- 65

medición, y si el cambio repentino de tensión es menor que las proporciones límite locales, enviar órdenes de control a al menos un componente de la turbina eólica para generar potencia reactiva de acuerdo con las órdenes recibidas del sistema de control central de la potencia reactiva; y si la diferencia repentina de tensión excede las proporciones límite locales, determinar localmente la cantidad de potencia reactiva que se generará y enviar órdenes de control a al menos un componente de turbina eólica para generar dicha cantidad de potencia reactiva.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0037] En la descripción de modos de realización/ejemplos: En la siguiente descripción, el término "modo de realización" puede usarse para una materia objeto que no forma parte de la invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas. Solo aquellos ejemplos que comprenden todas las características de una de las reivindicaciones independientes forman parte de la invención y, por lo tanto, modos de realización de la invención. Partes de materia objeto de la descripción no cubiertas por las reivindicaciones constituyen antecedentes de la técnica o ejemplos útiles para comprender la invención.

[0038] Se describirán modos de realización particulares de la presente invención en los siguientes ejemplos no limitativos, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 ilustra esquemáticamente un primer modo de realización de un parque eólico de acuerdo con la presente invención;

la figura 1b ilustra esquemáticamente líneas de comunicación en dicho primer modo de realización;

Las figuras 2a - 2b ilustran un control central de potencia reactiva de acuerdo con algunos modos de realización de la presente invención;

Las figuras 3a y 3b ilustran modos de realización de procedimientos de control de acuerdo con la presente invención en un sistema de control central y un sistema de control local respectivamente.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE MODOS DE REALIZACIÓN DE LA INVENCION

[0039] En toda la descripción se hace referencia a una cantidad máxima o mínima de potencia reactiva, a una cantidad positiva o negativa de potencia reactiva, así como a un aumento o disminución de la potencia reactiva. Dentro del alcance de esta descripción, una potencia reactiva positiva se considera potencia reactiva capacitiva; por lo tanto, se considera que una cantidad máxima de potencia reactiva es la potencia reactiva capacitiva máxima posible y, por lo tanto, un aumento en la potencia reactiva se considera un aumento en la potencia capacitiva (o una disminución en la potencia inductiva). Una potencia reactiva negativa se considera potencia reactiva inductiva; por lo tanto, se considera que una cantidad mínima de potencia reactiva es la potencia reactiva inductiva máxima posible y, por lo tanto, una disminución de la potencia reactiva se considera un aumento de la potencia inductiva (o una disminución de la potencia capacitiva).

[0040] La figura 1a ilustra esquemáticamente un parque eólico que comprende n turbinas eólicas, 100, 200... n00. Al menos una parte de las n turbinas eólicas comprende un sistema de control local de la potencia reactiva 120, 220... n20. Los sistemas de control local reactivos pueden incorporarse en un sistema de control local general más grande o pueden ser un sistema de control autónomo dedicado. Cada una de las turbinas eólicas comprende un generador 110, 210... n10.

[0041] El parque eólico comprende además un sistema de control central de la potencia reactiva 20. Además, el sistema de control central de la potencia reactiva 20 puede formar parte de un sistema de control central general del parque eólico o puede ser un sistema de control autónomo dedicado.

[0042] El parque eólico está conectado a una red eléctrica 10 en un punto de acoplamiento común (PCC). Cada uno de los generadores de las turbinas eólicas puede conectarse a la red del parque eólico de media tensión 40 a través de un transformador adecuado 130, 230... n30. La red del parque eólico de media tensión 40 puede conectarse a la red eléctrica de alta tensión a través de un transformador adecuado 30.

[0043] Se ilustran esquemáticamente con líneas de puntos las líneas de comunicación entre el sistema de control central de la potencia reactiva 20 con cada uno de los sistemas de control local de la potencia reactiva 120, 220... n20. De este modo, los datos pueden intercambiarse y el sistema de control central 20 puede enviar órdenes a los sistemas de control local. Además, cada uno de los sistemas de control local puede comunicarse con su generador y convertidor correspondiente (si está presente). De este modo, el sistema de control local puede recopilar datos del generador y convertidor (corrientes, tensiones) y el sistema de control local puede dar órdenes para controlar la turbina eólica y al menos algunos de sus componentes. La figura 1b ilustra esquemáticamente las líneas de comunicación en dicho primer modo de realización. Un TSO 5 puede comunicar sus requisitos a un sistema de control central de potencia reactiva 20 del parque eólico. El sistema de control central puede, de acuerdo con una o más mediciones 15, enviar instrucciones a un sistema de control local de la potencia reactiva x20. Sobre la base de estas instrucciones y

sobre la base de una o más mediciones x15, en este modo de realización, el sistema de control local x20 puede controlar un sistema de control del convertidor x22 y un sistema de control de pitch x24. El sistema de control del convertidor x22 y el sistema de control de la pitch x24 pueden comunicar su funcionamiento al sistema de control local x20. Al controlar tanto la pitch como el convertidor, el sistema de control local puede controlar, por ejemplo, la potencia activa de la turbina eólica, la velocidad de la turbina eólica, la generación de potencia reactiva, el control de frecuencia, el control de tensión y el comportamiento LFRT (capacidad de soportar averías de la línea).

[0044] Una medición 15 sobre la cual el control central 20 puede basar sus instrucciones puede ser una tensión de red en o cerca del PCC. Las mediciones x15 que pueden tener en cuenta los controles locales 120, 220, x20, etc. pueden ser tensiones locales.

[0045] De acuerdo con los modos de realización de la invención, en respuesta a una tensión local medida, el modo de control de uno o más de los sistemas de control local de la potencia reactiva puede conmutarse desde un modo de control central (en el que las instrucciones enviadas al control local x20 van seguidas del sistema de control local) a un modo de control local (en el que los sistemas de control local determinan las cantidades de potencia reactiva que se generarán y controlan las turbinas eólicas en consecuencia). En algunos modos de realización y en algunas circunstancias, las cantidades de potencia reactiva a generar pueden ser, por ejemplo, una cantidad mínima o máxima de potencia reactiva.

[0046] La figura 2a ilustra uno de los requisitos que un TSO puede proporcionar a un operador de un parque eólico. Dentro de un cierto intervalo de tensiones de la red, la cantidad de potencia reactiva que un operador de un parque eólico puede que deba suministrar puede variar linealmente de acuerdo con una de las líneas mostradas. En la figura 2a, se muestra un ejemplo de un parque eólico de 4950 kVAR y una tensión en el PCC de 33 kV. El TSO puede, de acuerdo con las circunstancias, requerir que un operador de un parque eólico suministre potencia reactiva de acuerdo con una de las líneas rectas a, b o c mostradas. Un TSO puede proporcionar más de dichas líneas. De forma alternativa, los valores correspondientes se pueden proporcionar a un operador de un parque eólico en forma de una o más tablas que especifiquen cuánta potencia reactiva se debe generar en respuesta a las condiciones variables de la red.

[0047] En general, cada una de las líneas rectas a, b y c se puede describir con la siguiente ecuación:

$$Q_{WF} = \frac{U_{medida} - U_{ref}}{U_b} \cdot k \quad \text{Ec. 1}$$

, en el que Q_{WF} es una potencia reactiva de referencia (potencia reactiva que generará el parque eólico), U_{medida} es una tensión medida en el PCC, U_{ref} es una tensión de referencia en el PCC que puede proporcionar un TSO, U_b es una tensión (media o alta tensión) y k es una constante. Tanto U_b como k pueden ser proporcionados por un TSO. Cada una de las líneas a, b y c en la figura 2a representa una línea con una constante k diferente.

[0048] En la práctica, un TSO puede requerir una cierta pendiente para la línea recta (a, b o c), normalmente en forma de porcentaje "g". Sin embargo, la constante k dependerá de la capacidad de potencia reactiva del parque eólico y puede determinarse de acuerdo con:

$$k = \frac{-100 \cdot Q_{m\acute{a}x}}{g} \quad \text{Ec. 2}$$

, en el que $Q_{m\acute{a}x}$ es la capacidad de potencia reactiva máxima del parque eólico. Cuando la tensión de la red está fuera de los límites que se muestran en la figura 2a, se puede requerir que un operador de un parque eólico genere la máxima potencia reactiva disponible (capacitiva) o genere la mínima potencia reactiva disponible (inductiva). En el modo de realización particular mostrado, cuando la tensión de la red está dentro de los límites (y en ausencia de otras anomalías), se puede decir que la red está en "condiciones normales". Cuando la tensión de la red está fuera de los límites, se puede decir que la red está en "condiciones excepcionales". La definición de condiciones de red normales y condiciones de red excepcionales puede depender de la red y del TSO.

[0049] La figura 2b ilustra además un posible procedimiento de control central de acuerdo con algunos modos de realización de la invención. Una vez que se ha determinado una cantidad de potencia reactiva requerida Q^*_{WF} de acuerdo con los requisitos del TSO, esta Q^*_{WF} se compara con la cantidad de potencia reactiva generada realmente en ese momento Q_{WF} . La diferencia entre estos dos valores ("el error") puede servir de entrada para un controlador PID, que genera una orden de control de potencia reactiva central Q_{ref} .

[0050] Para diferentes modos de realización de la invención, los valores de las constantes para los componentes proporcionales, integrales y derivados pueden variar, y para algunos modos de realización, algunas constantes pueden ser iguales a cero. Sin embargo, un control PID es simplemente uno de los posibles procedimientos de control

que pueden emplearse en un sistema de control central de la potencia reactiva en los modos de realización de la invención.

5 **[0051]** Se puede añadir un factor de compensación Q_{com} para compensar la capacitancia del parque eólico. En algunos modos de realización de la invención, el factor de compensación Q_{com} puede determinarse de acuerdo con:

$$Q_{com} = \sum_{i=0}^N F_i \cdot X_{cci} \cdot I_i^2 + X_{ccwf} \cdot I_{trwf}^2 \cdot I_i = \frac{I_{trwf}}{\sum_{i=0}^N F_i}, \quad \text{Ec. 3}$$

10 en el que F_i indica para cada turbina eólica si una turbina eólica particular está operativa o no (si está operativa entonces $F = 1$, si no está operativa, entonces $F = 0$) X_{cci} es la reactancia del transformador de una turbina eólica particular, I_i es la corriente en el transformador en una turbina eólica particular, X_{ccwf} es la reactancia del transformador del parque eólico, y I_{trwf} es la corriente en el transformador del parque eólico. Si el parque eólico comprende bancos de condensadores u otros medios de compensación de potencia reactiva (como, por ejemplo, bancos de inductores), y si están activos, también pueden tenerse en cuenta en el factor de compensación.

15 **[0052]** De acuerdo con la figura 2b, el factor de compensación Q_{com} puede añadirse a la demanda de control de potencia reactiva central Q_{ref} . El resultado es una demanda compensada de control de potencia reactiva central Q_{ref}^* .

20 **[0053]** Esta demanda de control de potencia reactiva central Q_{ref}^* puede servir de entrada a una función de envío, que determina las cantidades de potencia reactiva Q_{100} , Q_{200} etc. que se pueden solicitar a cada uno de los sistemas de control local de las turbinas eólicas. De acuerdo con un modo de realización, la demanda de control central Q_{ref}^* puede dividirse simplemente por igual entre todas las turbinas eólicas.

25 **[0054]** De acuerdo con otros modos de realización, la demanda de control central puede dividirse de tal manera que se genere sustancialmente el mismo porcentaje de potencia reactiva disponible en cada una de las turbinas eólicas. Las órdenes enviadas a cada uno de los sistemas de control local pueden determinarse, por ejemplo, de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$Q_{nec} = Q_{ref}^* - \sum (1-E_i) \cdot Q_{im\acute{a}x} \quad \text{Ec. 4}$$

30 Q_{ref}^* es la demanda de control de potencia reactiva central compensada, E_i indica para cada turbina eólica si está dentro de sus límites operativos o no ($E = 1$ dentro de los límites operativos; $E = 0$ si la turbina eólica está en sus límites operativos, las turbinas eólicas que generan así su potencia reactiva máxima o mínima posible), $Q_{im\acute{a}x}$ es la potencia reactiva máxima disponible para cada una de las turbinas eólicas y el resultado Q_{nec} es la cantidad de potencia reactiva que deben generar las turbinas eólicas en el modo de control central;

$$Q_{m\acute{a}x\ total} = \sum_i^N E_i \cdot F_i \cdot Q_{im\acute{a}x} \quad \text{Ec. 5}$$

40 , donde $Q_{m\acute{a}x\ total}$ es la cantidad máxima disponible de potencia reactiva de las turbinas eólicas que están en modo de control central y F_i todavía indica para cada turbina eólica si una turbina eólica particular está operativa o no ($F = 1$ si está operativa y $F = 0$ si no está operativa); y

$$\alpha = \frac{Q_{nec}}{abs(Q_{m\acute{a}x\ total})} \quad \text{Ec. 6}$$

45 , en el que α es un factor que indica cuánta potencia reactiva disponible debe generar cada una de las turbinas eólicas. El sistema de control central puede enviar el factor α a cada uno de los controles locales, o puede enviar señales de cantidades correspondientes a cada una de las turbinas eólicas.

50 **[0055]** Además de las cantidades de potencia reactiva que producirá cada una de las turbinas eólicas que tienen un sistema de control local, también se puede enviar otra información a cada uno de los sistemas de control local. En algunos modos de realización, el sistema de control central puede enviar valores límite dinámicos (no constantes) a los sistemas de control local que indican cuándo un sistema de control local debe conmutar a un modo de control local. Los sistemas de control local pueden, por lo tanto, determinar por sí mismos conmutar a un modo de control local y no necesitan esperar una orden en particular para hacerlo. Los valores límite pueden determinarse sustancialmente de manera que, en condiciones de red normales, el parque eólico opera en el modo de control central

y que, en condiciones de red excepcionales o casi, el parque eólico opera en el modo de control local. En condiciones de red excepcionales, el control local puede reaccionar más rápido en respuesta a parámetros medidos localmente. Por ejemplo, los valores límite enviados a los sistemas de control local pueden determinarse de acuerdo con:

$$Lim\ sup_i = (1 + g \cdot 0,01 + \Delta u_{traf} + \sum \Delta u_{linea} + \Delta u_{trafi} - h_i) * U_{bt} , \quad Ec. 7$$

$$Lim\ min_i = (1 - g \cdot 0,01 + \Delta u_{traf} + \sum \Delta u_{linea} + \Delta u_{trafi} + h_i) * U_{bt}$$

en el que g es la pendiente previamente definida prescrita por el TSO, Δu_{traf} es la caída de tensión normalizada para el transformador del parque eólico, $\sum \Delta u_{linea}$ es la suma de las caídas de tensión normalizadas para las líneas de conexión eléctrica, Δu_{trafi} es la caída de tensión normalizada para el transformador de las turbinas eólicas i, U_{bt} es la baja tensión en el lado del parque eólico del transformador, y h_i es un parámetro de ajuste para la turbina eólica i.

[0056] En este modo de realización, el parámetro de ajuste h para la turbina eólica i puede determinarse de acuerdo con:

$$u_{pcc} = \Delta u_{traf} + \sum \Delta u_{linea} + \Delta u_{trafi} + h_i + u_{local} , \quad Ec. 8$$

en el que u_{pcc} es la tensión normalizada en el PCC y u_{local} es la tensión local normalizada en una turbina eólica.

[0057] Las caídas de tensión normalizadas para cada uno de los componentes separados se pueden calcular de acuerdo con:

$$\Delta u = I \cdot (R \cdot \cos\phi + X \cdot \sin\phi) , \quad Ec. 9a$$

[0058] Donde I es la corriente que circula a través de una parte particular del parque eólico (por ejemplo, un tramo de cable o transformador), R es la resistencia de la parte particular del parque eólico, X es la reactancia de una parte particular del parque eólico y ϕ es el ángulo del factor de potencia.

[0059] De forma alternativa, las caídas de tensión normalizadas pueden calcularse de acuerdo con:

$$\Delta u = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U^2} , \quad Ec. 9b$$

[0060] En el que, por ejemplo, para el transformador del parque eólico:

P es la potencia activa del parque eólico, Q es la potencia reactiva del parque eólico, R es la resistencia del transformador y X es la reactancia del transformador y U es la tensión nominal en el PCC. Las caídas de tensión para cada tramo de línea eléctrica y para cada transformador de turbina eólica se pueden determinar de manera similar utilizando la resistencia, la reactancia, la potencia activa y la potencia reactiva apropiadas.

[0061] De la manera descrita, los máximos y mínimos para las tensiones locales pueden enviarse a los sistemas de control local de las turbinas eólicas. Cuando una tensión local para una turbina eólica particular alcanza o excede uno de los valores límite, esa turbina eólica particular puede conmutar a un modo de control local. Cabe destacar que otras turbinas eólicas aún pueden estar en modo de control central y pueden continuar recibiendo y siguiendo las órdenes del sistema de control central. Las turbinas eólicas que están en modo de control local pueden suministrar cantidades predeterminadas de potencia reactiva, que puede ser, por ejemplo, la capacidad de potencia reactiva máxima o mínima posible.

[0062] Dentro del alcance de la invención, el procedimiento de cálculo de los valores límite por el sistema de control central puede variar. Por ejemplo, en la ecuación 7, el factor $1 + 0,01g$ puede limitarse a un máximo de 1,05, y el factor $1 - 0,01g$ puede limitarse a un mínimo de 0,95. Otras variaciones también son posibles. Además, en algunos modos de realización de la invención, los valores límite locales pueden ser calculados por los sistemas de control local. En otros modos de realización, los valores límite locales pueden ser constantes y pueden determinarse, por ejemplo, durante una fase de prueba o experimentación de un parque eólico.

[0063] En modos de realización adicionales de la invención, una alta tasa de cambio de una tensión local puede provocar que un sistema de control local conmute de un modo de control central a un modo de control local. En otro ejemplo, un cambio repentino de tensión de ciertas proporciones (por ejemplo, se logra una diferencia de tensión predeterminada en un período de tiempo muy pequeño) puede provocar dicha conmutación. Las tasas límite de

cambio y/o las proporciones límite de cambios repentinos pueden ser determinadas por el propio sistema de control local, pueden ser suministradas por el sistema de control central de la potencia reactiva o pueden ser constantes.

5 **[0064]** La figura 3a ilustra un procedimiento de control en un modo de control central de acuerdo con un modo de realización de la presente invención. En la etapa 1000, se inicia el procedimiento de control central y se determinan los valores iniciales de los parámetros (por ejemplo, la reactancia para los componentes del parque eólico). Las etapas 1001 a 1002 comprenden la recopilación de datos del PCC y los sistemas de control local, respectivamente. Los datos que se pueden recopilar del PCC pueden incluir (pero no se limitan a) la tensión en el PCC, la corriente en el PCC, la frecuencia de la red, la potencia activa generada por el parque eólico y la potencia reactiva generada por el parque eólico.

10 **[0065]** Los datos que se pueden recopilar de una o más de las turbinas eólicas en el parque pueden incluir (pero no se limitan a) potencia activa generada, potencia reactiva generada, el estado de la turbina eólica (en funcionamiento o no; dentro de los límites operativos o no; en modo de control local o en modo de control central), la capacidad de potencia reactiva máxima disponible (capacitiva), la capacidad de potencia reactiva mínima (inductiva), tensión local, corriente y frecuencia. La potencia reactiva disponible máxima y mínima puede variar con la tensión local variable. Los sistemas de control local pueden calcular los valores para la potencia reactiva disponible máxima y mínima y enviarlos al sistema de control central de la potencia reactiva.

15 **[0066]** La etapa 1003 comprende el cálculo de la orden de control central de potencia reactiva y el cálculo de las instrucciones que se enviarán a los sistemas de control local. Este cálculo puede ser, por ejemplo, de acuerdo con las ecuaciones 1 y 2. Si la tensión de la red está fuera de los límites predefinidos (véase, por ejemplo, la figura 2a), la orden de control de la potencia reactiva central puede ser la potencia reactiva máxima o mínima disponible para el parque eólico.

20 **[0067]** Las instrucciones enviadas a un sistema de control local pueden incluir, pero no se limitan a: órdenes de potencia reactiva local (que en algunos modos de realización pueden calcularse de acuerdo con las ecuaciones 3 a 6), valores límite locales (que en algunos modos de realización pueden calcularse de acuerdo con las ecuaciones 7 a 9) y las tasas límite locales.

25 **[0068]** La etapa 1004 comprende enviar las órdenes indicativas de la potencia reactiva que se generará localmente a los sistemas de control local. La implementación de las órdenes por parte de los sistemas de control local y las condiciones variables de la red pueden conducir a nuevos valores para una o más variables, de modo que las etapas 1001, 1002 y 1003 pueden repetirse de forma continua.

30 **[0069]** La figura 3b ilustra un procedimiento de control en un sistema de control local de acuerdo con algunos modos de realización de la presente invención. En una etapa de procedimiento 2000 se inicia el procedimiento de control. En una etapa 2001, se pueden medir ciertas variables como, por ejemplo, la tensión local, corriente, potencia activa y reactiva. En una etapa 2002, los valores de estas variables pueden enviarse a un sistema de control central. Otros parámetros/variables que pueden enviarse a un sistema de control central pueden incluir, por ejemplo, el estado de la turbina eólica (operativa o no), el estado de operación de la turbina eólica (dentro de los límites operativos o no), el modo de control (modo de control central o modo de control local).

35 **[0070]** En una etapa 2003, se pueden calcular señales de control para, por ejemplo, el convertidor y en una etapa 2004, estas señales de control se pueden enviar al convertidor. Como se puede ver en la figura 3b, las etapas individuales del procedimiento no son necesariamente secuenciales, sino que tienen lugar de forma continua y simultánea. Cada una puede tener sus propias velocidades y frecuencias operativas: en algunos modos de realización, la medición de ciertas variables puede tener lugar, por ejemplo, cada 0,01 s, mientras que el envío de datos al sistema de control central puede tener lugar, por ejemplo, cada 0,3 s. La etapa 2010 comprende recibir valores límite locales del sistema de control central y compararlos con variables locales instantáneas. La comparación puede conllevar una determinación de "dentro de los límites" en la etapa 2011, o "fuera de los límites" en la etapa 2012. Si se realiza la determinación de "fuera de los límites", el sistema de control local conmutará a un modo de control local.

40 **[0071]** Una vez que el sistema de control local de la potencia reactiva ha cambiado al modo de control local, el sistema de control local determinará la cantidad de potencia reactiva que se generará (independientemente de las órdenes recibidas desde un sistema de control central). En algunos modos de realización, los sistemas de control local pueden volver a conmutar a un modo de control central después de una cantidad de tiempo predeterminada. La cantidad de tiempo antes de regresar a un modo de control central puede determinarse de acuerdo con, por ejemplo, la pendiente de la línea de tensión-potencia reactiva prescrita por un TSO. La cantidad de tiempo antes de regresar al modo de control central puede ser constante, puede ser calculada por el sistema de control central o puede ser calculada por un sistema de control local. La cantidad de tiempo antes de volver al modo de control central puede, en ciertos modos de realización, también depender, por ejemplo, de la causa de la conmutación del modo de control central al modo de control local (por ejemplo, valor de tensión fuera de los límites, tasa de cambio de tensión fuera de los límites, o cambio repentino de tensión fuera de las proporciones límite). Al volver a conmutar al modo de control central, si se obtiene nuevamente la determinación "fuera de los límites", se reanudará el modo de control local.

[0072] En otros modos de realización, el control local volverá a conmutarse a un modo de control central cuando una o más variables medidas cumplan un requisito predefinido. También se pueden usar combinaciones de un retorno a un modo de control central dependiente del tiempo y dependiente de una variable.

5 **[0073]** El procedimiento de control de potencia reactiva para el parque eólico puede adaptarse además para incluir algoritmos para poner ciertas turbinas eólicas fuera de funcionamiento si, por ejemplo, la turbina eólica no sigue las órdenes del sistema de control central o si una turbina eólica en particular sigue funcionando en (o conmutando a) un modo de control local, o si el parque eólico no puede suministrar los valores de potencia reactiva prescritos o, por ejemplo, si se observan fallos de comunicación, etc.

10 **[0074]** Además, en modos de realización de la invención, las turbinas eólicas dentro del mismo parque eólico pueden comprender diferentes sistemas de control local de la potencia reactiva. Por ejemplo, algunos sistemas de control local de la potencia reactiva pueden adaptarse para conmutar a un modo de control local solo en respuesta a una tensión instantánea, mientras que otros sistemas de control local de la potencia reactiva conmutan solo en respuesta a (o también en respuesta a) una tasa de cambio de una tensión, y aún otros sistemas de control local de la potencia reactiva pueden adaptarse para conmutar solo en respuesta a (o también en respuesta a) saltos de tensión de proporciones específicas.

15 **[0075]** Aunque esta invención se ha divulgado en el contexto de ciertos modos de realización y ejemplos preferentes, los expertos en la materia entenderán que la presente invención se extiende más allá de los modos de realización específicamente divulgados a otros modos de realización alternativos y/o usos de la invención y modificaciones obvias y equivalentes de la misma. Así, se pretende definir el alcance de la presente invención por las reivindicaciones adjuntas.

20

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de regulación de la potencia reactiva en un parque eólico conectado a una red eléctrica (10),
 5 el parque eólico comprende una pluralidad de turbinas eólicas (100, 200... n00) y un sistema de control central de la potencia reactiva (20), en el que al menos una primera porción de la pluralidad de turbinas eólicas (100, 200... n00) comprende un sistema de control local de la potencia reactiva (120, 220... n20, x20), **caracterizado por que**
 10 el sistema de control local de la potencia reactiva está adaptado para conmutar entre un modo de control central y un modo de control local y para funcionar en el modo de control central o en el modo de control local, en el que
 15 el sistema de control central de la potencia reactiva (20) envía órdenes indicativas de las demandas locales de potencia reactiva a los sistemas de control local de la potencia reactiva (120, 220... n20) de acuerdo con al menos una variable medida (15) de la red (10) y en el que
 20 en un modo de control central, el sistema de control local de la potencia reactiva (120, 220... n20) opera una turbina eólica (100, 200... n00) para generar potencia reactiva de acuerdo con las órdenes indicativas de las demandas locales de potencia reactiva recibidas desde el sistema de control central de la potencia reactiva (20), y en el que
 25 en un modo de control local, el sistema de control local de la potencia reactiva (120, 220... n20, x20) recibe las órdenes indicativas de las demandas de potencia reactiva local desde el sistema de control central de la potencia reactiva (20), y determina una cantidad de potencia reactiva para generarse independientemente de dichas órdenes indicativas de las demandas locales de potencia reactiva recibidas de dicho sistema de control central y controla una turbina eólica (100, 200... n00) para generar dicha cantidad de potencia reactiva, y en el que
 30 un sistema de control local de la potencia reactiva (120, 220... n20) conmuta del modo de control central al modo de control local cuando una variable local medida (x15) excede un valor límite local para la turbina eólica (100, 200... n00) durante al menos un período de tiempo predeterminado, y
 35 en el que dichos valores límite locales para cada turbina eólica (100, 200... n00) se determinan sustancialmente de manera que en condiciones normales de la red, el parque eólico opera en el modo de control central y que, en condiciones excepcionales o casi excepcionales de la red, el parque eólico opera en el modo de control local, y
 en el que en el modo de control local, la cantidad de potencia reactiva a generar es la cantidad máxima o mínima de potencia reactiva que puede generar una turbina eólica (100, 200... n00).
 2. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dichos valores límite locales para cada turbina eólica son tensiones y dichas variables locales medidas (x15) son tensiones locales y, en el que dichos valores límite locales para cada turbina eólica, opcionalmente, comprenden una tensión mínima y una tensión máxima.
 40 3. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que dichos valores límite locales son constantes o se determinan de acuerdo con al menos una variable medida (X15).
 45 4. Un procedimiento según cualquier reivindicación anterior, en el que dicha cantidad máxima y mínima de potencia reactiva que puede generar una turbina eólica (100, 200... n00) se determina de acuerdo con las condiciones operativas del parque eólico y/o la turbina eólica.
 50 5. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que un sistema de control local de la potencia reactiva (120, 220... n20, x20) conmuta del modo de control central al modo de control local cuando un valor absoluto de una tasa de cambio de una variable local medida (x15) excede una tasa límite local o, cuando un cambio repentino de una variable local medida (x15) excede las proporciones límite locales, en el que dichas proporciones límite locales, opcionalmente, comprenden una diferencia límite local absoluta.
 55 6. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, en el que la variable local medida (x15) es una tensión local.
 7. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 5 o 6, en el que los valores límite locales y/o las tasas límite locales y/o las proporciones límite locales se determinan usando una tabla de consulta o se calculan periódicamente.
 60 8. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que dichos valores límite locales y/o dichas tasas límite locales y/o proporciones límite locales se determinan mediante el sistema de control central de la potencia reactiva y se suministran a cada uno de los sistemas de control local de la potencia reactiva, o se determinan por cada uno de los sistemas de control local de la potencia reactiva.
 65 9. Un procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que los sistemas de control local de la potencia reactiva (120, 220... n20, x20) conmutan del modo de control local al modo de control central después de

una cantidad predeterminada de tiempo de funcionamiento en el modo de control local, y en el que dicha cantidad predeterminada de tiempo es, opcionalmente, calculada por un sistema de control local de la potencia reactiva (120, 220... n20, x20), y en la que la cantidad predeterminada de tiempo, opcionalmente, depende de la causa de la conmutación del modo de control central al modo de control local.

5 **10.**Un procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que los sistemas de control local de la potencia reactiva (120, 220... n20, x20) conmutan del modo de control local al modo de control central de acuerdo con las condiciones operativas del parque eólico y/o la red eléctrica (10) y/o las turbinas eólicas (100, 200... n00).

10 **11.**Un procedimiento de regulación de la potencia reactiva en una turbina eólica (100, 200... n00) que comprende recibir órdenes indicativas de una demanda local de potencia reactiva (Q_{WF}^*) desde un sistema de control central de la potencia reactiva (20),

15 obtener una tensión local máxima y mínima,
obtener un valor instantáneo de la tensión local a partir de un dispositivo de medición y comparar dicho valor instantáneo de la tensión local con los valores límite, y **caracterizado por que**, si la tensión local está entre la tensión local máxima y mínima, funciona en un modo de control central enviando órdenes de control a al menos un componente de la turbina eólica para generar la demanda local de potencia reactiva recibida desde el sistema de control central de la potencia reactiva (20), y

20 si la tensión local es mayor que la tensión local máxima durante al menos un período de tiempo predeterminado, trabajar en un modo de control local enviando órdenes de control a al menos un componente de la turbina eólica para generar la máxima potencia reactiva inductiva disponible, independientemente de dichas órdenes indicativas de la demanda local de potencia reactiva recibida desde el sistema de control central de la potencia reactiva (20), y

25 si la tensión local es menor que la tensión local mínima durante al menos un período de tiempo predeterminado, trabajar en el modo de control local enviando órdenes de control a al menos un componente de la turbina eólica para generar la potencia capacitiva máxima disponible independientemente de dichas órdenes indicativas de la demanda local de potencia reactiva recibida desde el sistema de control central de la potencia reactiva (20).

30 **12.**Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 11, que comprende además obtener un límite absoluto de la tasa de cambio de una tensión local,

35 determinar una tasa de cambio de una tensión local basada en los valores obtenidos de la tensión local a partir del dispositivo de medición, y

40 si la tasa de cambio de tensión determinada absoluta es mayor que el límite de la tasa de cambio absoluta, determinar localmente la cantidad de potencia reactiva a generar y enviar órdenes de control a al menos un componente de la turbina eólica para generar dicha cantidad de potencia reactiva.

45 **13.**Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 11 o 12, en el que si la tasa de cambio de tensión determinada absoluta es menor que el límite de la tasa de cambio absoluta y la tensión local está entre la tensión local máxima y mínima,

enviar órdenes de control a al menos un componente de la turbina eólica para generar potencia reactiva de acuerdo con las órdenes recibidas desde el sistema de control central de la potencia reactiva (20).

50 **14.**Un producto de programa informático que comprende instrucciones de programa para hacer que, un sistema informático en una turbina eólica que comprende un sistema de control local de la potencia reactiva (120, 220... n20, x20) tal como se describe en la reivindicación 15, realice un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 - 13 y en el que el producto de programa informático está, opcionalmente, incorporado en medios de almacenamiento o transportado en una señal portadora.

55 **15.**Un parque eólico conectado a una red eléctrica (10) y que comprende una pluralidad de turbinas eólicas (100, 200... n00), en el que

60 al menos una parte de la pluralidad de turbinas eólicas comprende un sistema de control local de la potencia reactiva (120, 220... n20, x20) configurado para controlar la potencia reactiva (Q_{WF}) que genera una turbina eólica, el parque eólico que además comprende

65 un sistema de control central de la potencia reactiva (20) configurado para determinar órdenes indicativas de las demandas locales de potencia reactiva para cada uno de los sistemas de control local de la potencia reactiva (120, 220... n20, x20) en respuesta a al menos una variable medida de la red y configurado para enviar las órdenes a los sistemas de control local de la potencia reactiva 120, 220... n20, x20), **caracterizado por que**

- 5 los sistemas de control local de la potencia reactiva (120, 220... n20, x20) están adaptados para conmutar entre un modo de control central y un modo de control local y funcionan en el modo de control central o en el modo de control local, en el que
- 10 en un modo de control central, el sistema de control local de la potencia reactiva (120, 220... n20, x20) está configurado para controlar una turbina eólica (100, 200... n00) para generar potencia reactiva de acuerdo con una orden indicativa de la demanda local de potencia reactiva recibida desde el sistema de control central de la potencia reactiva (120, 220... n20, x20), y en el que
- 15 en un modo de control local, el sistema de control local de la potencia reactiva (120, 220... n20, x20) está configurado para determinar la cantidad de potencia reactiva que generará la turbina eólica correspondiente, independientemente de las órdenes indicativas de la demanda local de potencia reactiva recibida desde un sistema de control central y configurado para controlar la turbina eólica para generar dicha cantidad de potencia reactiva, en el que
- 20 un sistema de control local de la potencia reactiva (120, 220... n20) está configurado para conmutar del modo de control central al modo de control local cuando una variable local medida (x15) excede un valor límite local para la turbina eólica (100, 200... n00) durante al menos un período de tiempo predeterminado, y
- 25 en el que dichos valores límite locales para cada turbina eólica (100, 200... n00) se determinan de manera que en condiciones de red normales, el parque eólico está configurado para operar en el modo de control central y que, en condiciones de red excepcionales o casi excepcionales, el parque eólico está configurado para operar en el modo de control local, y
- en el que en el modo de control local, la cantidad de potencia reactiva a generar se configura para que sea la cantidad máxima o mínima de potencia reactiva que puede generar una turbina eólica (100, 200... n00).

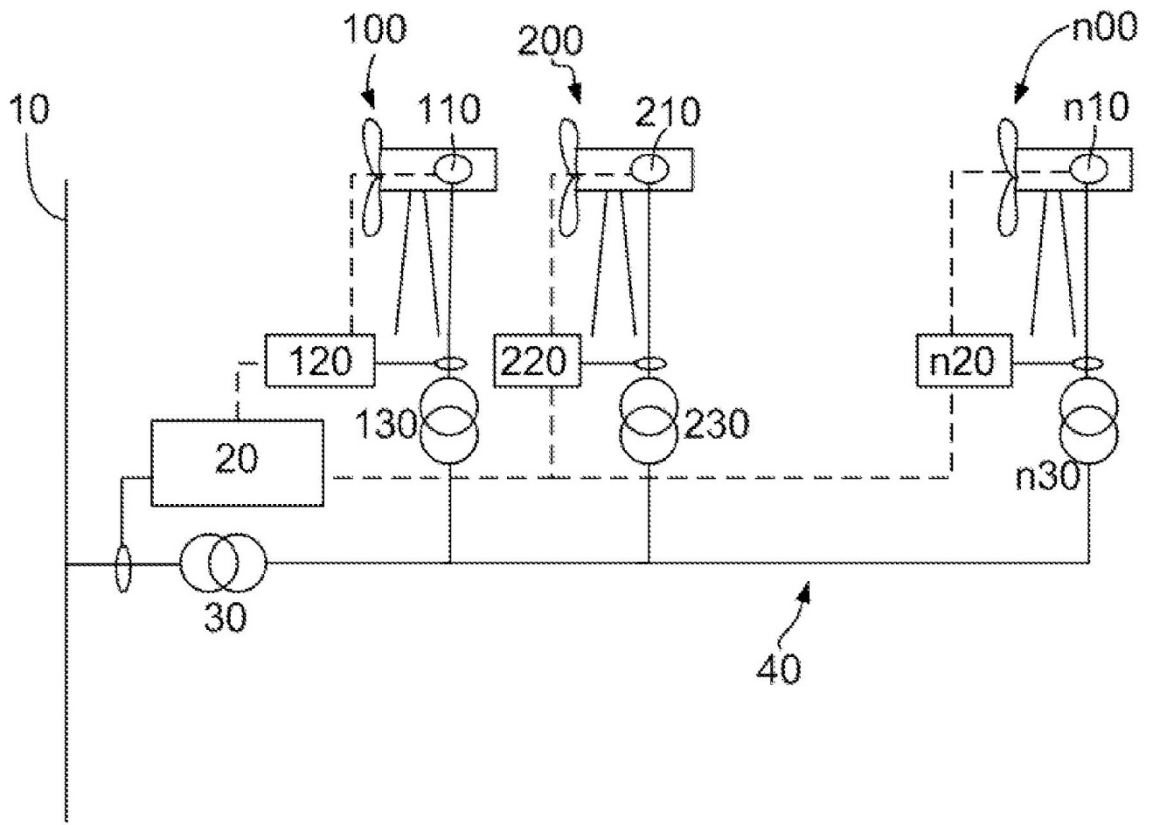


Figura 1a

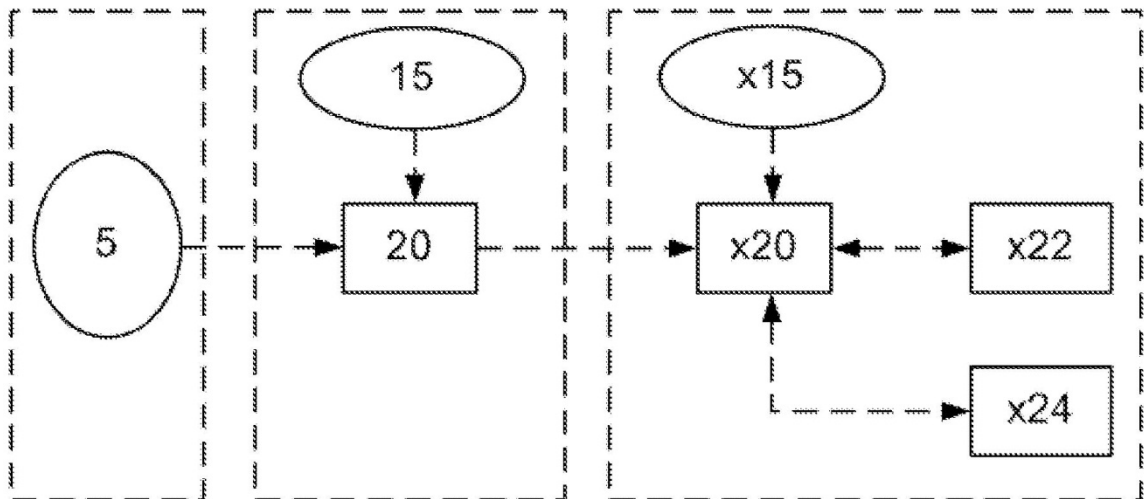


Figura 1b

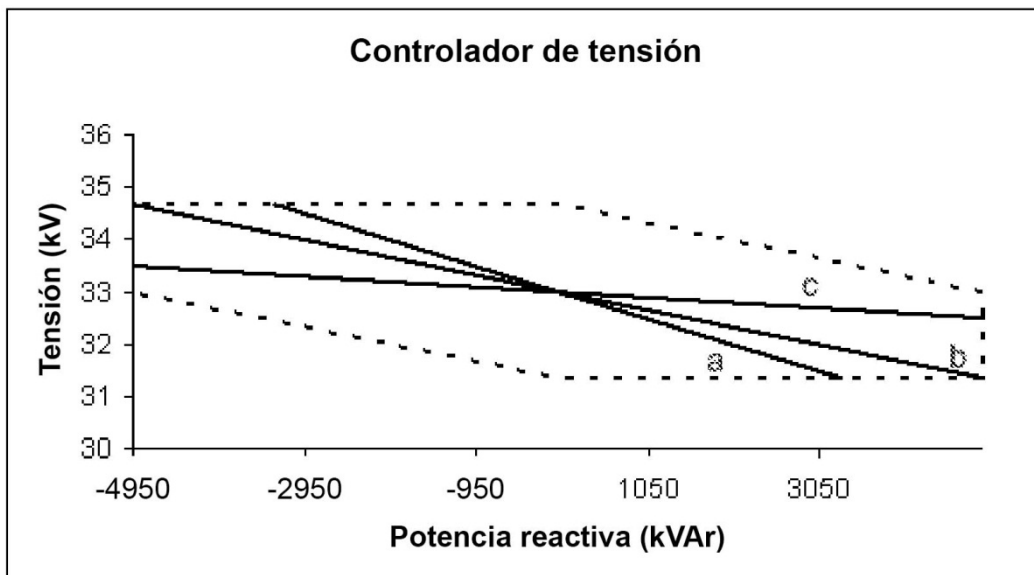


Figura 2a

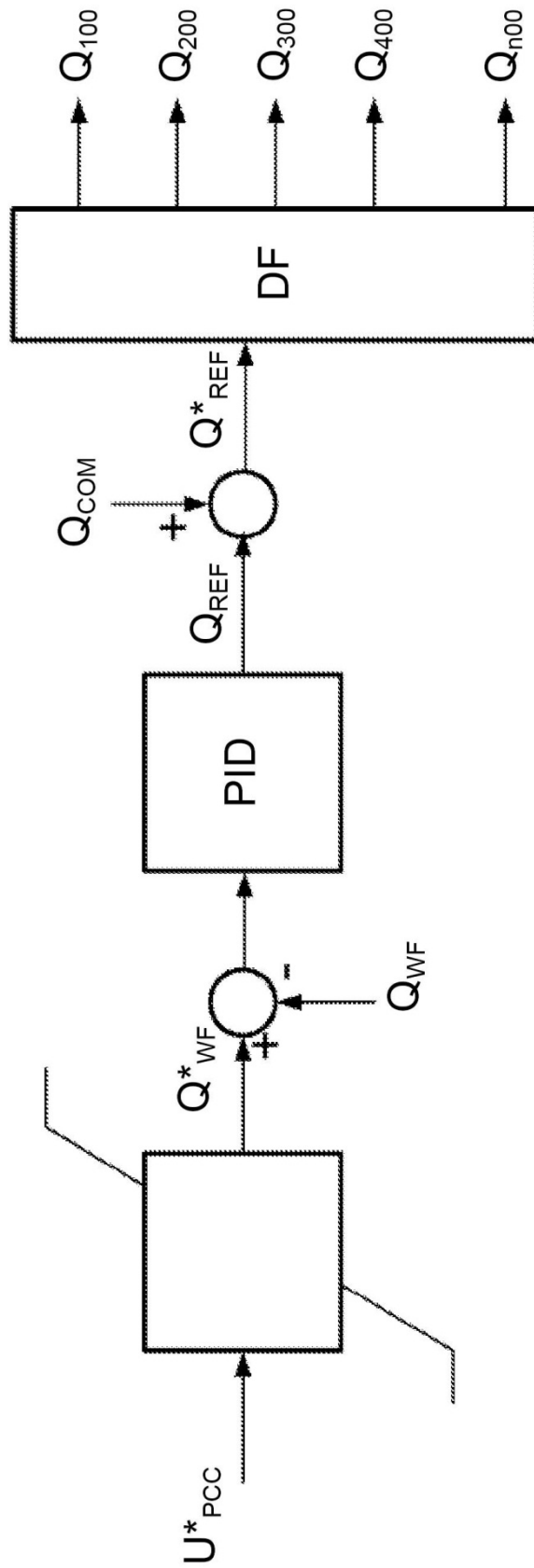


Figura 2b

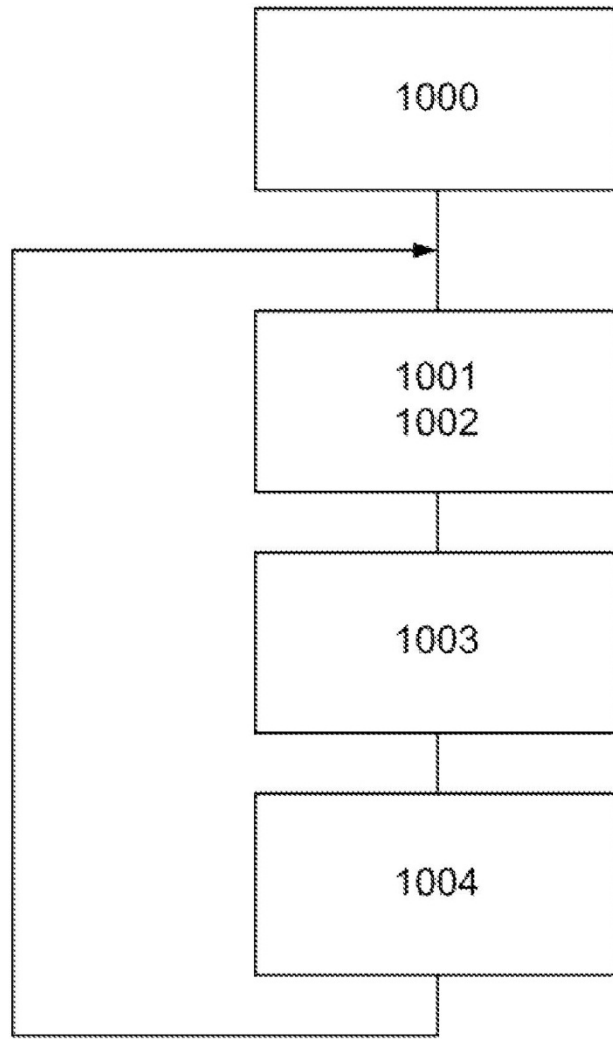


Figura 3a

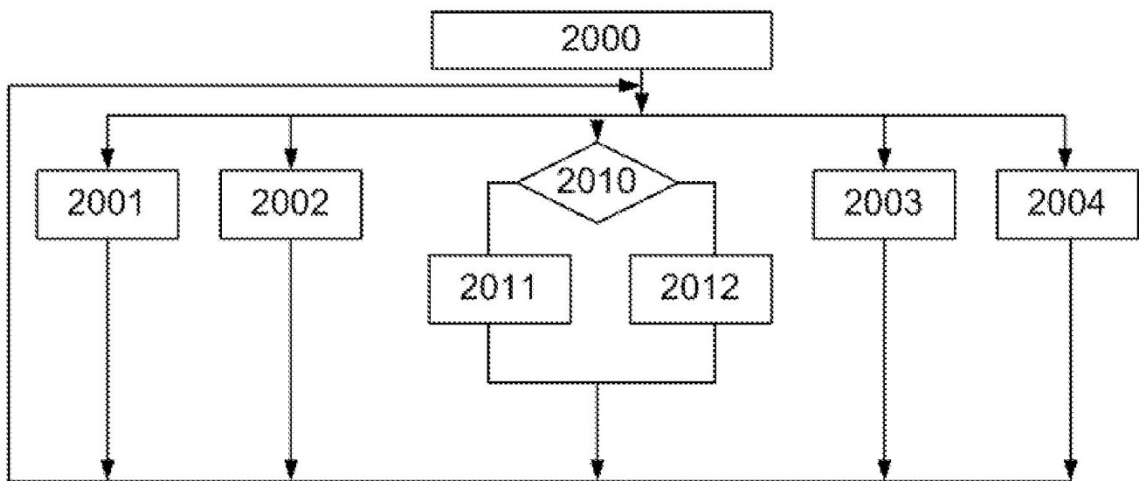


Figura 3b