

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 773 047**

51 Int. Cl.:

H02J 3/38 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 9/25 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.05.2012 E 12167315 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.11.2019 EP 2662944**

54 Título: **Control de turbina eólica para una red débil reduciendo la producción de potencia activa**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
09.07.2020

73 Titular/es:

**SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY A/S
(100.0%)
Borupvej 16
7330 Brande, DK**

72 Inventor/es:

BECH, JOHN

74 Agente/Representante:

LOZANO GANDIA, José

ES 2 773 047 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

Control de turbina eólica para una red débil reduciendo la producción de potencia activa

5 Campo de la invención

Campo de invención

10 La presente invención se refiere a un método y a una disposición para controlar una turbina eólica, en la que se realiza una medición basada en una pendiente de una tensión en función de la potencia activa para estabilizar la red de distribución eléctrica.

Antecedentes de la técnica

15 Pueden ubicarse centrales de energía eólica que comprenden una pluralidad de turbinas eólicas en áreas rurales en las que la velocidad del viento es alta, pero en las que la infraestructura del sistema de energía eléctrica tiene deficiencias. En particular, un sistema de transmisión, el transformador y el/los cable(s) de conexión pueden no ser estables en todas las situaciones, lo que puede dar como resultado un sistema de energía débil o una red de distribución eléctrica débil, que tienen una impedancia de red particularmente alta. En particular, la intensidad (en particular la impedancia) del sistema de energía o la red de distribución eléctrica puede cambiar a lo largo del tiempo. En particular, los cambios pueden asociarse con la conexión o la desconexión del generador, el condensador, la línea de transmisión, los cables o los transformadores. En particular, para una red de distribución eléctrica que tiene una impedancia cambiante la tensión suministrada a un punto de acoplamiento común puede no mantenerse en un intervalo predeterminado en torno a una tensión nominal.

25 Pueden ser necesarios un método y una disposición para controlar una turbina eólica, lo que puede aplicarse en particular para una red de distribución eléctrica que tiene impedancia cambiante, y lo que puede dar como resultado una tensión más estable en el punto de acoplamiento común.

30 El documento WO 2011/050807 A2 da a conocer el control de una central de energía eólica que comprende al menos un generador de turbina eólica para producir energía para una red eléctrica en el que la cantidad de energía producida se basa en una respuesta de señal en una señal de tensión en dicha red eléctrica debido a un cambio en la producción de potencia en dicha red eléctrica.

35 El documento WO 2012/022353 A2 da a conocer un método para controlar un convertidor de lado de red de una turbina eólica, en el que se conecta una salida del convertidor de lado de red por medio de una línea de energía a una entrada de un transformador de red, comprendiendo el método: determinar un voltio-segundo de convertidor que se produce en la salida del convertidor de lado de red basándose en una tensión de convertidor que se produce en la salida del convertidor de lado de red; determinar un error de voltio-segundo entre el voltio-segundo de convertidor determinado y una referencia de voltio-segundo de convertidor, en el que se determina la referencia de voltio-segundo de convertidor basándose en la referencia de potencia activa, la referencia de potencia reactiva, la corriente de línea y una tensión de línea que se producen en la entrada del transformador de red (o en los bornes de turbina eólica); y controlar, basándose en el error de voltio-segundo determinado, el convertidor de lado de red de tal manera que se compensa parcial o completamente el error de voltio-segundo. El método puede soportar la calidad de la energía demandada incluso durante condiciones de tensión anormales y puede pasar sin dificultades de una zona lineal a una no lineal de funcionamiento de convertidor.

50 El documento GB 2410386 A da a conocer una granja eólica que comprende al menos una turbina eólica y la combinación de un controlador de tensión y un transformador de cambio de toma dispuesto para controlar una producción de potencia reactiva de la granja eólica. El transformador de cambio de toma se dispone para transformar una tensión de salida de la granja eólica en una posición predeterminada en la red. El controlador tiene una primera entrada dispuesta para proporcionar una medición de la tensión de salida de la granja eólica en la posición predeterminada y una segunda entrada representativa de una tensión de referencia deseada establecidas por un operador de red. El controlador se dispone para monitorizar la entrada y generar una primera salida para el transformador de cambio de toma para cambiar su ajuste de toma y mantener la tensión en la posición predeterminada dentro de límites predeterminados, y para generar una segunda salida para controlar la producción de potencia reactiva de la granja eólica.

60 Sumario de la invención

65 El alcance de la presente invención se define mediante las reivindicaciones adjuntas. Según una realización de la presente invención, se proporciona un método para controlar una turbina eólica conectada a un nodo (eléctrico) conectado a una red de distribución eléctrica (que suministra energía eléctrica a los consumidores), en el que se conectan una pluralidad de otras turbinas eólicas al nodo, comprendiendo el método: medir una cantidad (física) (por ejemplo representada por una señal) indicativa de una pendiente (por ejemplo un gradiente) de una tensión en el nodo en función de la potencia activa suministrada al nodo (en particular desde la turbina eólica); determinar que la

pendiente es menor que un límite de pendiente negativa; realizar una medición, con el fin de aumentar la pendiente por encima del límite de pendiente.

El nodo también puede denominarse punto de acoplamiento común. La turbina eólica puede comprender un generador que emite un flujo de potencia de una frecuencia variable a un convertidor de CA-CC-CA que convierte el flujo de potencia de frecuencia variable en un flujo de potencia de frecuencia fija que después puede suministrarse a un transformador de turbina eólica que recibe el flujo de energía en su lado primario y emite un flujo de potencia que tiene una tensión mayor que en el lado primario en su lado secundario. Puede suministrarse la producción de flujo de potencia mediante el transformador de turbina eólica a una red colectora que recoge flujos de salida adicionales de otras turbinas eólicas. La red colectora puede conectarse a un lado de baja tensión de un transformador de parque que tiene su lado de alta tensión conectado al punto de acoplamiento común o el nodo. La cantidad que indica la pendiente de la tensión en función de la potencia activa puede representarse por ejemplo mediante una señal eléctrica o una señal óptica que puede ser por ejemplo proporcional a la pendiente de la tensión en función de la potencia activa. En particular, la pendiente puede ser una derivada (o gradiente) de la tensión V en función de la potencia activa P , es decir dV/dP , o puede ser una razón de un cambio de la tensión y un cambio correspondiente de la potencia activa. Alternativamente, la cantidad puede ser o puede corresponder o puede obtenerse de una pendiente de la potencia activa en función de la tensión. A partir de la cantidad medida, sin embargo, puede obtenerse la pendiente de la tensión en función de la potencia activa, incluso si la cantidad en sí misma no es igual a o proporcional a la pendiente de la tensión en función de la potencia activa.

La cantidad puede basarse en uno o más valores o señales de medición que se obtienen en una o múltiples posiciones entre el borne de salida de la turbina eólica y el punto de acoplamiento común. Basándose en el o más valores de medición puede obtenerse la pendiente de la tensión en el nodo en función de la potencia activa suministrada al nodo, en particular teniendo en cuenta o usando un modelo matemático/físico de componentes eléctricos y/o electrónicos comprendidos en la parte de transmisión de potencia entre el borne de salida de la turbina eólica y la carga.

El método puede comprender comparar la pendiente medida con el límite de pendiente negativa. De ese modo, puede emplearse una unidad aritmética/lógica. El límite de pendiente negativa puede basarse en la experiencia y/o la simulación. En particular, una pendiente que es menor que el límite de pendiente negativa puede asociarse con una tensión que es menor que una tensión nominal. En particular, la pendiente puede disminuir para aumentar la producción de potencia activa en un intervalo particular de la producción de potencia activa, tal como por ejemplo en un intervalo de entre 0 y 1000 MW, o en otros intervalos.

En particular, la relación entre la tensión en el nodo y la potencia activa suministrada al nodo puede depender de una impedancia de la red de distribución eléctrica. De ese modo, la impedancia es la razón compleja de la tensión con respecto a la corriente en la red de distribución eléctrica. La impedancia posee tanto magnitud como fase. En la red de distribución eléctrica de CA hay otros mecanismos que impiden el flujo de corriente además de la resistencia normal de circuitos de CC, concretamente la inducción de tensiones en conductores autoinducidos por los campos magnéticos de corrientes (inductancia), y el almacenamiento electrostático de carga inducida por tensiones entre conductores (capacitancia). La impedancia provocada por estos dos efectos se denomina de manera conjunta reactancia y forma la parte imaginaria de la impedancia compleja, mientras que la resistencia forma la parte real.

En particular, cuanto más alta es la impedancia de la red de distribución eléctrica tanto más rápido puede disminuir la pendiente con producción de potencia activa creciente.

Realizar la medición puede comprender controlar uno o más componentes entre el/los tren/es de accionamiento de turbina(s) eólica(s) y el punto de acoplamiento común, tal como controlar el generador de la turbina eólica, controlar el convertidor de la turbina eólica, controlar un transformador de turbina eólica y en particular también controlar un transformador de parque y también controlar un banco de condensadores conectado a la(s) turbina(s) eólica(s).

De ese modo, la medición se selecciona de tal manera que realizar la medición aumenta la pendiente, en particular por encima del límite de pendiente. De ese modo, puede evitarse además que la pendiente disminuya lo que puede dar como resultado una caída de la tensión de la red de distribución eléctrica. En particular, puede evitarse por tanto un apagón.

Además, en particular, la(s) turbina(s) eólica(s) pueden mantenerse conectadas a la red de distribución eléctrica y pueden suministrar (aunque en una cantidad reducida) potencia activa a la red de distribución eléctrica. Por tanto, puede mejorarse la eficiencia de la producción de energía mediante la(s) turbina(s) eólica(s). En particular, puede evitarse una situación en la que la red de distribución eléctrica puede ser inestable, en particular si la pendiente de la tensión en función de la potencia activa obtiene o adopta un valor, que es menor que el límite de pendiente negativa. Además, puede habilitarse una conexión continua de la(s) turbina(s) eólica(s) a la red de distribución eléctrica, manteniendo de ese modo la producción de potencia activa. Además, pueden producirse menos apagones y puede estabilizarse la red de distribución eléctrica, en particular en cuanto a su tensión. Además, el método puede mejorar el cumplimiento con códigos de red, porque la tensión puede mantenerse dentro de los límites requeridos dictados por el código de red. En particular, también puede aplicarse el método con redes de distribución eléctricas

relativamente débiles. De ese modo se entiende que una red de distribución eléctrica débil comprende una red de distribución eléctrica que tiene una (en particular la amplitud de la) impedancia relativamente alta.

5 Según una realización de la presente invención, el método comprende además obtener otra cantidad indicativa de la tensión en el nodo; determinar que la tensión es menor que un límite de tensión, en particular normalmente 0,9 de una tensión nominal (es decir 0,9 pu), u otro valor límite, en el que la medición realizada, con el fin de aumentar la pendiente por encima del límite de pendiente, está adaptada para aumentar la tensión.

10 La otra cantidad puede obtenerse parcialmente a partir de la cantidad que es indicativa de la pendiente o viceversa. En particular, medir la cantidad indicativa de la pendiente puede comprender medir una o más tensiones y medir uno o más valores de potencia activa de los que puede obtenerse la pendiente. Por tanto, para obtener la otra cantidad puede usarse la tensión obtenida o medida. Obtener la otra cantidad también puede implicar, sin embargo, realizar una o más medidas en una o más ubicaciones entre el borne de salida de la turbina eólica y el punto de acoplamiento común. Usando un modelo o una simulación puede obtenerse la tensión en el nodo a partir de uno o
15 más valores de medición.

En particular, el método puede comprender comparar la tensión en el nodo con el límite de tensión. La tensión nominal puede ser la tensión deseada en el nodo que también puede denominarse una por unidad (1 pu). En particular, la tensión puede aumentar como consecuencia de realizar la medición. Alternativamente, puede
20 seleccionarse la medición de tal manera que realizar la medición aumentará la tensión.

De ese modo, puede mejorarse además la estabilidad de la tensión de la red de distribución eléctrica.

25 Según una realización de la presente invención, la medición de la cantidad y/o la obtención de la otra cantidad comprende medir la cantidad respectiva en el nodo, en un borne de salida de turbina eólica, en un lado de alta tensión de un transformador de parque, en un lado de alta tensión de un transformador de turbina eólica y/o en un lado de baja tensión de un transformador de turbina eólica.

30 Usar un modelo del sistema eléctrico global, puede permitir obtener la pendiente así como la tensión en el nodo a partir de una o más cantidades o valores de medición que se han obtenido o medido en una o más posiciones aparte del nodo. En particular, pueden utilizarse valores de medición obtenidos o medidos en un parque eólico convencional o una turbina eólica convencional con el fin de obtener la pendiente de la tensión en el nodo en función de la potencia activa suministrada al nodo. De ese modo, puede simplificarse el método.

35 Según una realización de la presente invención, realizar la medición comprende realizar una primera medición que comprende cambiar una razón de transformación de un transformador de parque eólico conectado entre un borne de salida de turbina eólica y el nodo de tal manera que aumenta una tensión en el lado de baja tensión del transformador de parque eólico, conectándose el lado de alta tensión al nodo.

40 La razón de transformación puede definir una razón de la tensión en el lado primario (en particular el lado de baja tensión) y el lado secundario (en particular el lado de alta tensión) del transformador de parque eólico. En particular, el transformador de parque eólico puede ser o puede comprender un transformador de toma que puede permitir cambiar la razón de transformación de una manera sencilla. De ese modo, el transformador de turbina eólica puede permitir seleccionar una posición de toma particular para la conexión de la bobina primaria o las bobinas primarias o
45 la bobina secundaria o las bobinas secundarias. Cambiando la razón de transformación de tal manera que aumenta la tensión en el lado de baja tensión del transformador de turbina eólica puede mejorarse la estabilidad de la red de distribución eléctrica, en particular reduciendo el riesgo de una caída de la tensión de red.

50 Según una realización de la presente invención, la primera medición comprende además, con el fin de aumentar la pendiente por encima del límite de pendiente: aumentar la producción de potencia reactiva mediante la(s) turbina(s) eólica(s) usando un condensador y/o un convertidor de turbina eólica conectado entre un generador de turbina eólica y el borne de salida de turbina eólica; y/o aumentando la potencia reactiva absorbida por la(s) turbina(s) eólica(s) usando un condensador y/o un convertidor de turbina eólica conectado entre un generador de turbina eólica y el
55 borne de salida de turbina eólica.

En particular, la turbina eólica puede comprender un condensador o un banco de condensadores que incluyen una pluralidad de condensadores que pueden conectarse al borne de salida de la turbina eólica. El convertidor de turbina eólica puede conectarse a un borne de salida del generador y puede comprender una porción de convertidor de CA-CC, un enlace de CC y una porción de convertidor de CC-CA, en la que pueden controlarse todas las porciones de
60 convertidor mediante controladores asociados. En particular, la porción de convertidor de CA-CC y también la porción de convertidor CC-CA pueden comprender una pluralidad de interruptores de alta potencia, tales como transistores bipolares de puerta aislada (IGBT). Estos transistores pueden controlarse por medio del suministro de señales de control respectivas, en particular señales de modulación por anchura de impulsos, a sus puertas. Formando apropiadamente las señales de control puede modificarse la producción de flujo de potencia en el
65 convertidor para que tenga una tensión particular, una potencia activa particular y una potencia reactiva particular. De ese modo, puede realizarse el método controlando apropiadamente componentes convencionales.

5 Según una realización de la presente invención, la realización de la medición comprende, si la primera medición no es satisfactoria, en particular no da como resultado el aumento previsto de la pendiente por encima del límite de pendiente, realizar una segunda medición, que comprende reducir la producción de potencia activa mediante la turbina eólica, con el fin de aumentar la pendiente por encima del límite de pendiente.

10 En particular, puede aplicarse la segunda medición, si la impedancia de la red de distribución eléctrica (también denominada impedancia de red) aumenta repentinamente, en particular en una cantidad predeterminada o por encima de un límite de impedancia predeterminado. De ese modo, puede mejorarse el evitar una inestabilidad de la red de distribución eléctrica. En particular, puede evitarse una caída de la tensión de la red de distribución eléctrica. Aunque se reduce la producción de potencia activa puede mantenerse constante la producción de potencia reactiva. Reducir la producción de potencia activa puede conllevar un aumento de la tensión en el nodo. Reduciendo la producción de potencia activa sólo si la primera medición no es satisfactoria, puede evitarse una disminución innecesaria de la producción de potencia activa. De ese modo, puede mejorarse la producción de potencia activa de la turbina eólica y todo el parque de turbinas eólicas.

20 Según una realización de la presente invención, una cantidad de reducción de la potencia activa se basa en una simulación de la(s) turbina(s) eólica(s), una línea de transmisión entre el borne de salida de turbina eólica y el nodo teniendo en cuenta una impedancia de la red de distribución eléctrica.

De ese modo, puede obtenerse la cantidad de reducción de la potencia activa (emitida mediante la turbina eólica) de tal manera que la red de distribución eléctrica puede mantenerse en un estado estable (en particular en cuanto a su tensión), aunque al mismo tiempo la producción de potencia activa no se reduce de manera excesiva.

25 Según una realización de la presente invención, realizar la segunda medición (y también realizar la primera medición) comprende mantener la turbina eólica conectada a la red de distribución eléctrica. De ese modo, la turbina eólica suministra constante o continuamente potencia, en particular potencia activa, aunque posiblemente en una cantidad reducida, a la red de distribución eléctrica.

30 Según una realización de la presente invención, la realización de la segunda medición comprende aumentar la tensión en el nodo. Por tanto, se evita que la tensión en el nodo descienda o incluso caiga. En particular, incrementar la tensión puede ser un resultado de disminuir o reducir la producción de potencia activa mediante la(s) turbina(s) eólica(s).

35 Según una realización de la presente invención, la reducción de la producción de potencia activa mediante la turbina eólica se realiza de tal manera que la tensión está en un intervalo predeterminado teniendo en cuenta un resultado de la simulación.

40 El intervalo predeterminado puede ser por ejemplo de entre 0,9 y 1,1 de una tensión nominal (es decir 0,9 pu a 1,1 pu). De ese modo, puede evitarse que la tensión se sitúe fuera del intervalo predeterminado que puede garantizar el funcionamiento apropiado de la red de distribución eléctrica.

45 Según una realización de la presente invención, la medición de la cantidad y/o la obtención de la otra cantidad y/o la determinación de que la pendiente es menor que un límite de pendiente negativa y/o la determinación de que la tensión es menor que un límite de tensión se realizan repetidamente, en particular continua o periódicamente con un periodo de repetición de entre 1 ms y 10 s, en particular de entre 10 ms y 1 s.

50 En particular, obtener o medir repetidamente la cantidad y/o la otra cantidad puede ser necesario cuando la red de distribución eléctrica cambia rápidamente con respecto a la impedancia de red. De ese modo, controlar la turbina eólica puede tener en cuenta cambios de la impedancia de red. La cantidad y/o la otra cantidad pueden medirse u obtenerse en instantes consecutivos, por ejemplo, como una pluralidad de muestras analógicas o digitales.

55 Según una realización de la presente invención, un aumento de la impedancia de la red de distribución eléctrica conlleva una disminución de la pendiente, en particular en un intervalo particular de la producción de potencia activa. En particular, en un primer intervalo de la producción de potencia activa el aumento de la impedancia de la red de distribución eléctrica puede conllevar un aumento de la pendiente. En un segundo intervalo de la producción de potencia activa que comprende una producción de potencia activa mayor que el primer intervalo, el aumento de la impedancia de la red de distribución eléctrica puede conllevar una disminución de la pendiente.

60 Según una realización de la presente invención, el método comprende además determinar que la pendiente es igual a o mayor que el límite de pendiente negativa y aumentar la producción de potencia activa mediante la turbina eólica.

65 Por tanto, tan pronto como se determine que la pendiente es igual a o incluso mayor que el límite de pendiente negativa puede aumentarse rápidamente la producción de potencia activa mediante la(s) turbina(s) eólica(s), con el fin de aumentar la producción de potencia de la turbina y por tanto la eficiencia de todo el parque de turbinas eólicas.

5 Debe entenderse que las características dadas a conocer, descritas, explicadas o empleadas, individualmente o en cualquier combinación, para un método para controlar una turbina eólica también pueden aplicarse individualmente o en cualquier combinación a una disposición para controlar una turbina eólica según una realización de la presente invención y viceversa.

10 Según una realización de la presente invención, se proporciona una disposición para controlar una turbina eólica que puede conectarse a un nodo que puede conectarse a la red de distribución eléctrica, en la que una pluralidad de otras turbinas eólicas pueden conectarse al nodo, comprendiendo la disposición: un borne de entrada para recibir una cantidad medida indicativa de una pendiente de tensión en el nodo en función de la potencia activa suministrada al nodo; una sección de determinación adaptada para determinar que la pendiente es menor que un límite de pendiente negativa; y un borne de salida para emitir una señal de control para realizar una medición, con el fin de aumentar la pendiente por encima del límite de pendiente.

15 La disposición para controlar la turbina eólica puede estar comprendida o ubicada, en particular, en un controlador de parque eólico (o guía) que controla una pluralidad de turbinas eólicas comprendidas en el parque eólico. De ese modo, la señal de control emitida desde el borne de salida puede estar relacionada con o referirse a, por ejemplo, una tensión de referencia, una potencia de referencia, una potencia activa de referencia, una potencia reactiva de referencia, que pueden suministrarse a uno o más controlador(es) de cada turbina eólica individual, en particular
20 pueden suministrarse a un convertidor de la(s) turbina(s) eólica(s). Además, la disposición puede controlar una razón de transformación del transformador de parque eólico. Por tanto, según una realización de la presente invención, se proporciona un controlador de parque de turbinas eólicas que comprende la disposición para controlar la turbina eólica.

25 Ahora se describen realizaciones de la presente invención con referencia a los dibujos adjuntos. La invención no se limita a las realizaciones ilustradas o dadas a conocer.

Breve descripción de los dibujos

30 La figura 1 ilustra esquemáticamente un parque eólico que comprende una disposición para controlar una turbina eólica según una realización de la presente invención;

la figura 2 ilustra un diagrama de flujo de un método para controlar una o más turbina(s) eólica(s) según una realización de la presente invención;

35 la figura 3 ilustra un gráfico para explicar un método según una realización de la presente invención; y

la figura 4 ilustra un gráfico para explicar un método según una realización de la presente invención.

40 El parque 100 de turbinas eólicas ilustrado esquemáticamente en la figura 1 comprende varias turbinas 101 eólicas de las que sólo se ilustra con cierto detalle una turbina eólica. La turbina 101 eólica comprende un árbol 103 de rotación principal al que se conectan una pluralidad de palas 105 de rotor. El árbol 103 principal se conecta mecánicamente al generador 107 que genera, tras la rotación del árbol 103 principal, un flujo 109 de potencia que se suministra a un convertidor 111 de la turbina eólica. El convertidor 111 convierte el flujo 109 de potencia de
45 frecuencia variable en un flujo 113 de potencia de frecuencia fija (que comprende potencia activa P1 y potencia reactiva Q1) que se suministra a un transformador 115 de turbina eólica que transforma la tensión del flujo 113 de potencia en un flujo 116 de potencia de tensión mayor que se emite en un borne 117 de salida de turbina eólica.

50 El flujo 116 de producción de potencia se suministra a una red 119 colectora. Las turbinas 101 eólicas se conectan por medio de sus transformadores 115 de turbina eólica a la red 119 colectora (normalmente una red por cable), que suministra el flujo de potencia a un transformador 121 de parque eólico que tiene un lado 123 de baja tensión y un lado 125 de alta tensión.

55 El lado 125 de alta tensión del transformador 121 de parque se conecta a un punto 127 de acoplamiento común (también denominado nodo) al que se conectan una pluralidad de otras turbinas 101 eólicas. El punto 127 de acoplamiento común se conecta (potencialmente por medio de otro transformador que no se ilustra en la figura 1) a una red 129 de distribución eléctrica que proporciona la energía eléctrica a uno o más consumidores.

60 La granja 100 eólica comprende además una disposición 131 para controlar la turbina 101 eólica y una pluralidad de otras turbinas eólicas de la granja 100 eólica según una realización de la presente invención. De ese modo, la disposición 131 está adaptada para recibir por medio de un borne 133 de entrada una cantidad 135 medida que es indicativa de la pendiente de la tensión V en el punto 127 de acoplamiento común en función de la potencia activa P suministrada al punto 127 de acoplamiento común, en la que P es la suma de las contribuciones de potencia activa P1, P2, ..., PN suministradas desde todas las turbinas 101 eólicas.

65 La disposición 131 comprende una sección de determinación que está adaptada para determinar que la pendiente

que puede obtenerse a partir de la cantidad 135 es menor que un límite de pendiente negativa (que puede almacenarse, por ejemplo, en un almacenamiento de la disposición 131). Si este es el caso, la disposición 131 emite una señal de control, tal como una señal 137 de control y/o una señal 139 de control, con el fin de realizar una medición para aumentar la pendiente por encima del límite de pendiente. En particular, la disposición 131 está adaptada para cambiar por medio de la señal 137 de control una razón de transformación del transformador 121 de parque eólico y/o para aumentar o disminuir la producción de potencia reactiva Q1 del convertidor 111 y/o para disminuir la producción de potencia activa P1 del convertidor 111 y, por tanto, de la turbina 101 eólica (y/u otras turbinas eólicas del parque 100 eólico).

De ese modo, el método tal como se ilustra a modo de ejemplo en la figura 2 se realiza según una realización de la presente invención. El método 200 comprende medir una tensión 134 (V) en el punto 127 de acoplamiento común y también medir una potencia 136 activa (P) en el punto de acoplamiento común, tal como se indica también en la figura 2 mediante señales 134, 136 respectivas conducidas desde el punto 127 de acoplamiento común hasta la disposición 131.

En una etapa 201 de método se calcula la pendiente 135 que es igual a $\Delta(\text{tensión})/\Delta(\text{potencia activa})$ o dV/dP . La pendiente 135 resultante se suministra a un elemento 203 de decisión que decide si la pendiente es menor que un límite de pendiente negativa. Si este no es el caso, se deriva a la trayectoria 205 que conduce de vuelta al elemento 201 de determinación, que calcula entonces de manera continua o repetida la pendiente. Si el elemento 203 de decisión determina que la pendiente es menor que el límite de pendiente, se deriva a la trayectoria 207 que conduce al elemento 209 de decisión adicional. El elemento 209 de decisión desencadena o inicia una primera medición para aumentar la pendiente, en la que la primera medición puede implicar cambiar la razón de transformación del transformador 121 de parque eólico y/o introducir potencia reactiva Q1 de la turbina 101 eólica a la red de distribución eléctrica o absorber potencia reactiva Q1 de la red de distribución eléctrica. Si la primera medición da como resultado un aumento de la pendiente por encima del límite de pendiente, se deriva a la trayectoria 211 que conduce de vuelta al elemento 201 de cálculo.

Si la primera medición no da como resultado un aumento apropiado de la pendiente, se deriva a una trayectoria 213 que conduce a una etapa 215 de método adicional, en la que se realiza una segunda medición, con el fin de aumentar la pendiente. En particular, se reduce la producción de potencia activa P1 en el borne 117 de salida de turbina eólica, con el fin de aumentar la pendiente. Si esta segunda medición da como resultado un aumento apropiado de la pendiente, se deriva a una trayectoria 217 que conduce de vuelta a la etapa 201 de cálculo, que se repite entonces para posteriores puntos en el tiempo.

Sin embargo, si la reducción de la producción de potencia activa P1 no da como resultado el aumento requerido de la pendiente, se deriva a la trayectoria 219 que conduce a una etapa 221 de método en la que la turbina 101 eólica sigue conectada todavía a la red pero la potencia activa se reduce regulando el paso de las palas 105 de rotor.

La figura 3 ilustra un gráfico, en el que las abscisas 301 indican una suma P de producción de potencia activa P1, P2, ... mediante las turbinas eólicas del parque 100 eólico (o la potencia activa suministrada al punto 127 de acoplamiento común) y en el que las ordenadas 303 designan la tensión V en el punto 127 de acoplamiento común. La curva 305 ilustra el caso de una red 129 de distribución eléctrica fuerte, mientras que la curva 307 ilustra el caso de una red 129 de distribución eléctrica relativamente débil.

Tal como puede observarse en la figura 3, para aumentar la potencia activa P suministrada al punto 127 de acoplamiento común, la tensión V aumenta en primer lugar, pero después disminuye para aumentar la potencia activa. En particular, la pendiente de la tensión en función de la potencia activa es menor de cero en un intervalo 309 de la potencia activa P. Tal como puede observarse además (también haciendo referencia a la figura 4 que muestra la pendiente en función de la potencia activa P), la pendiente de la curva 307 es menor que la de la curva 305 en el intervalo 309.

Inicialmente, el parque 100 eólico se hace funcionar según un punto 311 de funcionamiento en la red fuerte, en el que la potencia activa P es de aproximadamente 500 MW (sólo como ejemplo, también pueden aplicarse otros niveles de potencia) y la tensión está ligeramente por debajo de la tensión nominal que aparece en este caso en la posición 1,0 pu. En particular, la turbina eólica se hace funcionar con una red de distribución eléctrica relativamente fuerte.

Luego, la impedancia de la red de distribución cambia de tal manera que se aplica la curva 307. De ese modo, el punto de funcionamiento pasa a ser el punto 313 que muestra una menor pendiente de la tensión en función de la potencia activa que el punto 311 de trabajo. Con el fin de evitar el colapso de la tensión de red, la producción de potencia activa P mediante las turbinas eólicas, en particular la producción de potencia activa P1 mediante la turbina 101 eólica, se hace disminuir en total desde alrededor de 500 MW hasta aproximadamente 400 MW, alcanzando de ese modo el punto 315 de funcionamiento. De ese modo, la pendiente se hace disminuir para estabilizar el sistema.

La figura 4 ilustra en las abscisas 401 la producción de potencia activa P desde las turbinas eólicas de la parte 100 (o suministrada al punto 127 de acoplamiento común) y en las ordenadas 403 la pendiente de la tensión en función

de la potencia activa correspondiente a la situación ilustrada en la figura 3.

5 El punto 411 de funcionamiento pertenece a la red de distribución eléctrica fuerte, tal como se ilustra mediante la curva 405. La impedancia de la red de distribución eléctrica aumenta entonces repentinamente de tal manera que el punto de funcionamiento pasa a ser el punto 413 correspondiente al punto 313 de funcionamiento en la figura 3. Resulta evidente a partir de la figura 4 que la pendiente perteneciente al punto 413 está por debajo de un límite 414 de pendiente que conlleva el riesgo de que colapse la tensión en el punto 127 de acoplamiento común. Con el fin de evitar tal colapso, la producción de potencia activa P se disminuye de tal manera que se adopta el punto 415 de funcionamiento correspondiente al punto 315 de funcionamiento en la figura 3. El punto 415 de funcionamiento
10 comprende una pendiente que se encuentra por encima del límite 414 de pendiente.

15 Debe observarse que el término “que comprende” no excluye otros elementos o etapas y “un(o)” o “una” no excluye una pluralidad. También pueden combinarse elementos descritos en asociación con diferentes realizaciones. También debe observarse que los símbolos de referencia en las reivindicaciones no deben interpretarse como limitativos del alcance de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Método para controlar una turbina (101) eólica conectada a un nodo (127) conectado a una red (129) de distribución eléctrica, en el que se conectan una pluralidad de otras turbinas (102) eólicas al nodo, comprendiendo el método:
- 5 medir una cantidad (134, 135, 136) indicativa de una pendiente (403) de una tensión (V) en el nodo (127) en función de la potencia (P) activa suministrada al nodo;
- 10 determinar que la pendiente (403) es menor que un límite (414) de pendiente negativa;
- realizar una medición, con el fin de aumentar la pendiente (403) por encima del límite (414) de pendiente, caracterizado porque realizar la medición comprende realizar una primera medición (209) que comprende:
- 15 cambiar una razón (137) de transformación de un transformador (121) de parque eólico conectado entre un borne de salida de turbina eólica y el nodo de tal manera que aumenta una tensión en el lado de baja tensión del transformador de parque eólico, conectándose el lado de alta tensión al nodo.
- 20 2. Método según la reivindicación 1, que comprende además:
- obtener otra cantidad (134) indicativa de la tensión (V) en el nodo (127);
- determinar que la tensión (V) es menor que un límite de tensión, en particular 0,95 de una tensión nominal, además en particular 0,9 de una tensión nominal;
- 25 en el que la medición realizada, con el fin de aumentar la pendiente (403) por encima del límite (414) de pendiente, está adaptada para aumentar la tensión (V).
- 30 3. Método según la reivindicación 1 ó 2, en el que la medición de la cantidad y/o la obtención de la otra cantidad comprende medir la cantidad respectiva en el nodo (127), en un borne (117) de salida de turbina eólica, en un lado (125) de alta tensión de un transformador (121) de parque, en un lado (114) de alta tensión de un transformador (115) de turbina eólica y/o en un lado (112) de baja tensión de un transformador (115) de turbina eólica.
- 35 4. Método según una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la primera medición comprende además, con el fin de aumentar la pendiente por encima del límite de pendiente:
- 40 aumentar la producción de potencia reactiva (Q1) mediante la turbina (101) eólica usando un condensador y/o un convertidor de turbina eólica conectado entre un generador de turbina eólica y el borne de salida de turbina eólica.
5. Método según una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la primera medición comprende además, con el fin de aumentar la pendiente por encima del límite de pendiente:
- 45 aumentar la potencia reactiva (Q1) absorbida por la turbina (101) eólica usando un condensador y/o un convertidor de turbina eólica conectado entre un generador de turbina eólica y el borne de salida de turbina eólica.
- 50 6. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que realizar la medición comprende, si la primera medición no es satisfactoria, realizar una segunda (215) medición, que comprende:
- reducir la producción de potencia activa (P1) mediante la turbina (101) eólica,
- 55 con el fin de aumentar la pendiente (403) por encima del límite (414) de pendiente.
7. Método según la reivindicación 6, en el que una cantidad de reducción de la potencia activa se basa en una simulación de la turbina eólica, una línea de transmisión entre el borne de salida de turbina eólica y el nodo teniendo en cuenta una impedancia de la red de distribución eléctrica.
- 60 8. Método según la reivindicación 6 ó 7, en el que realizar la segunda (215) medición comprende mantener la turbina (101) eólica conectada a la red (129) de distribución eléctrica.
9. Método según una de las reivindicaciones 6 a 8, en el que realizar la segunda (215) medición comprende
- 65 aumentar la tensión (V).

10. Método según una de las reivindicaciones 7 a 9, en el que se realiza la reducción de la producción de potencia activa (P1) mediante la turbina eólica de tal manera que la tensión (V) está en un intervalo predeterminado teniendo en cuenta un resultado de la simulación.
- 5 11. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la medición de la cantidad (135) y/o la obtención de la otra cantidad (134,136) y/o la determinación de que la pendiente es menor que un límite de pendiente negativa y/o la determinación de que la tensión es menor que un límite de tensión se realiza repetidamente, en particular continua o periódicamente con un periodo de repetición de entre 1 ms y 10 s, en particular de entre 10 ms y 1 s.
- 10 12. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que un aumento de la impedancia de la red de distribución eléctrica conlleva una disminución de la pendiente.
- 15 13. Método según una de las reivindicaciones anteriores, que comprende además:
determinar que la pendiente (403) es igual a o mayor que el límite (414) de pendiente negativa;
aumentar la producción de potencia activa (P1) mediante la turbina eólica.
- 20 14. Disposición (131) para controlar una turbina (101) eólica conectada a un nodo (127) conectado a la red (129) de distribución eléctrica, en la que se conectan una pluralidad de otras turbinas (102) eólicas al nodo (127), comprendiendo la disposición:
un borne (133) de entrada para recibir una cantidad (134, 135, 136) medida indicativa de una pendiente (403) de tensión (V) en el nodo (127) en función de la potencia activa (P) suministrada al nodo (127);
una sección de determinación adaptada para determinar que la pendiente (403) es menor que un límite (414) de pendiente negativa;
un borne (138) de salida para emitir una señal (139, 137) de control para realizar una medición, con el fin de aumentar la pendiente (403) por encima del límite (414) de pendiente
caracterizada porque
35 la disposición para realizar la medición está adaptada para realizar una primera medición (209) que comprende:
cambiar una razón (137) de transformación de un transformador (121) de parque eólico conectado entre un borne de salida de turbina eólica y el nodo de tal manera que aumenta una tensión en el lado de baja
40 tensión del transformador de parque eólico, conectándose el lado de alta tensión al nodo.

FIG 2





