

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 929 294**

51 Int. Cl.:

H02J 3/38 (2006.01)
F03D 9/25 (2006.01)
H02K 16/04 (2006.01)
H02K 19/34 (2006.01)
H02K 19/36 (2006.01)
H02K 21/48 (2006.01)
H02K 3/28 (2006.01)
H02K 7/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.06.2019** **PCT/EP2019/064403**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.12.2019** **WO19233974**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.06.2019** **E 19729693 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.10.2022** **EP 3788696**

54 Título: **Turbina de doble transformador**

30 Prioridad:

08.06.2018 EP 18176819

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
28.11.2022

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

GODRIDGE, PAUL;
KILPIN, MATTHEW ROBERT ANTHONY y
RASMUSSEN, BRIAN

74 Agente/Representante:

LOZANO GANDIA, José

ES 2 929 294 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

Turbina de doble transformador

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a una disposición para producir energía eléctrica y, además, se refiere a una turbina eólica que comprende la disposición.

10 Antecedentes de la técnica

Un generador eléctrico puede comprender uno o más conjuntos de devanados, cada uno de los cuales proporciona, por ejemplo, tres fases. Se ha usado un generador que tiene dos conjuntos de devanados trifásicos para una turbina eólica. Para cada conjunto de devanados de los dos conjuntos de devanados, puede estar presente un convertidor de CA-CC-CA respectivo. La salida combinada de los dos convertidores puede suministrarse a un transformador de la turbina eólica para transformar la tensión de salida en una tensión más alta para suministrarla a un punto de acoplamiento común al que se conecta una pluralidad de turbinas eólicas.

Se ha observado que el diseño convencional de una turbina eólica tiene desventajas en cuanto a la salida de energía o potencia. Por lo tanto, puede existir una necesidad de una disposición para producir energía eléctrica y puede existir una necesidad de una turbina eólica, en la que se pueda producir una gran cantidad de energía eléctrica de manera fiable y segura.

Los documentos US 2006/103137 A1 y ES 2 325 844 A1 divulgan respectivamente un sistema eléctrico de una instalación de energía eólica y un sistema de accionamiento eléctrico de un generador de turbina eólica, comprendiendo cada uno de ellos todas las características incluidas en el preámbulo de la reivindicación 1, por lo que comparten una estructura equivalente.

El documento US 2017/331295 A1 divulga varias posibilidades de control para una estructura similar a la de la reivindicación 1, que incluye un control de potencia activa-reactiva maestro-esclavo y un control de respuesta ante fallos de baja tensión.

El documento EP 2 947 467 A1 divulga un método de compensación de desviación de un transformador de potencial para una estructura similar a la de la reivindicación 1.

Sumario de la invención

Esta necesidad puede satisfacerse mediante el objeto según la reivindicación independiente. Las reivindicaciones dependientes describen realizaciones ventajosas de la presente invención.

La invención, es decir, la reivindicación independiente, se refiere a una disposición para producir energía eléctrica, que comprende: un generador que tiene una pluralidad de conjuntos de devanados; una pluralidad de convertidores, cada uno conectado a uno de los conjuntos de devanados; al menos dos transformadores, en la que un primer transformador y un segundo transformador están respectivamente conectados en un lado de baja tensión a terminales de salida de un primer convertidor y un segundo convertidor de la pluralidad de convertidores; una porción de control conectada para controlar los convertidores; un módulo de medición adaptado para medir valores de tensión de lado de baja tensión en los lados de baja tensión de cada uno de los transformadores; y un procesador adaptado para derivar un valor de tensión promedio como promedio de los valores de tensión de lado de baja tensión asociados con todos los transformadores, en la que la porción de control está configurada para realizar un control de tensión en el que se logra un valor de tensión de demanda en el lado de baja tensión de los transformadores, en la que la porción de control se configura durante el control de tensión: para derivar, en base al valor de tensión promedio y al valor de tensión de demanda, un valor de demanda de corriente reactiva, y para dividir el valor de demanda de corriente reactiva entre la pluralidad de convertidores, en la que la porción de control está configurada para controlar la pluralidad de convertidores en base a los valores de demanda de corriente reactiva divididos.

El generador puede ser, por ejemplo, un generador eléctrico de imanes permanentes. El generador puede comprender un estator que comprende dientes que alternan con ranuras, ranuras que pueden alojar al menos porciones de la pluralidad de devanados. Se puede montar una pluralidad de imanes permanentes en un rotor interior o exterior que se puede soportar de forma giratoria con respecto al estator que comprende los devanados. El generador puede tener, por ejemplo, dos conjuntos de devanados, tres conjuntos de devanados, cuatro conjuntos de devanados, cinco conjuntos de devanados o incluso más conjuntos de devanados, teniendo cada conjunto de devanados una pluralidad de cables para proporcionar diferentes fases de electricidad. Para cada uno de la pluralidad de conjuntos de devanados, se puede proporcionar un convertidor y conectarlo al conjunto de devanados respectivo.

Los conjuntos de devanados pueden enrollarse parcialmente dentro de las ranuras del estator en un esquema de devanado particular. El esquema de devanado puede ser, por ejemplo, compatible con una configuración en estrella, en la que un extremo de una pluralidad de cables de un conjunto (o canal) de devanados están eléctricamente conectados entre sí. El esquema de devanado puede, por ejemplo, ser compatible con una configuración en triángulo. Los cables de diferentes conjuntos (o canales) de devanados pueden estar eléctricamente aislados unos de otros.

Además, una pluralidad de bobinas pueden formarse parcialmente dentro de las ranuras y conducir alrededor de los dientes del estator. Otros extremos de los cables de cada conjunto, por ejemplo, tres cables, pueden conectarse eléctricamente a tres terminales de entrada del convertidor respectivo.

Los convertidores pueden convertir un flujo de potencia de corriente alterna de frecuencia variable en un flujo de potencia de corriente alterna de frecuencia sustancialmente fija. Los convertidores pueden comprender una pluralidad de conmutadores controlables, tales como IGBT, que pueden conectarse como semipuentes entre dos terminales de CC. En particular, cada convertidor puede comprender una porción de lado de generador (en particular, la porción de convertidor de CA-CC), un enlace de CC y una porción de convertidor de lado de red (en particular, la porción de convertidor de CC-CA). Los conmutadores controlables pueden controlarse por señales de puerta apropiadas que se suministran por la porción de control.

La disposición puede comprender dos transformadores, tres transformadores, cuatro transformadores o incluso más transformadores. Cada uno de los transformadores está conectado a al menos uno de los convertidores. Por ejemplo, cada uno de los transformadores puede estar conectado exactamente a un convertidor o, por ejemplo, cada uno de los transformadores puede estar conectado exactamente a dos convertidores o incluso a más convertidores. Por ejemplo, cada uno de los transformadores puede estar conectado a un mismo número de convertidores, tal como uno, dos, tres o incluso más. Además, un primero de los dos transformadores puede estar conectado, por ejemplo, a un convertidor, mientras que otro de los dos transformadores puede estar conectado, por ejemplo, a dos convertidores o tres convertidores o incluso a más convertidores.

Los transformadores pueden estar adaptados para transformar el flujo de potencia de salida del/de los convertidor(es) conectado(s) a una tensión más alta, para la transmisión de la potencia con menos pérdida de potencia. Los transformadores pueden comprender una bobina primaria en el lado de baja tensión y una bobina secundaria acoplada inductivamente en el lado de alta tensión.

La porción de control puede configurarse de varias maneras diferentes. La porción de control puede comprender, por ejemplo, para uno o más convertidores, un controlador de convertidor respectivo. La porción de control puede adaptarse en una configuración de maestro-esclavo, en la que un controlador de convertidor maestro puede suministrar o derivar señales de control para el controlador de convertidor esclavo y puede proporcionar o transmitir la señal de control al/a los respectivo(s) controlador(es) de convertidor esclavo(s).

El control de tensión puede permitir ajustar la tensión en el lado de baja tensión o en el lado de alta tensión de los transformadores a un valor deseado, es decir, el valor de tensión de demanda. El control de tensión puede implicar inyectar corriente reactiva dependiendo de una desviación del valor de tensión real con respecto al valor de tensión de demanda. Por lo tanto, se pueden usar métodos aplicados convencionalmente.

El módulo de medición también puede estar adaptado para medir corrientes de salida de cada uno de los convertidores. Todas las señales de medición pueden suministrarse al procesador, que puede analizar los valores de medición y derivar el valor de tensión promedio, por ejemplo, como un promedio de valores de RMS para cada conjunto de devanados. Por ejemplo, para cada conjunto de devanados se puede formar la media de las tensiones al cuadrado para cada fase y se puede tomar la raíz cuadrada para obtener de ese modo el valor de RMS (RMS: raíz cuadrática media) de este conjunto de devanados particular. A continuación, el promedio de los valores de RMS de cada uno o de todos los conjuntos de devanados puede derivarse como media aritmética o geométrica.

Al tener al menos dos transformadores en la disposición, se puede mejorar la salida de potencia de la disposición para producir potencia eléctrica. Además, la porción de control puede comprender, al menos parcialmente, módulos de control disponibles convencionalmente y puede aplicar, al menos parcialmente, algoritmos de control disponibles convencionalmente.

Según una realización de la presente invención, cada conjunto de devanados comprende una pluralidad de cables, proporcionando cada cable una fase y estando parcialmente dispuesto dentro de ranuras de un estator del generador. La pluralidad de cables puede disponerse dentro de las ranuras (por ejemplo, entre los dientes) del estator del generador. Por lo tanto, se soportan generadores convencionales.

Cuando los cables se enrollan en una configuración en triángulo, la corriente en cada fase del convertidor se generará a partir de una combinación de corrientes de múltiples fases del devanado del generador.

Según una realización de la presente invención, cada uno de los convertidores es un convertidor de CA-CC-CA. Por

lo tanto, se pueden soportar convertidores disponibles convencionalmente, en particular, que comprenden conmutadores controlables, tales como IGBT.

Según una realización de la presente invención, la porción de control comprende una pluralidad de controladores de convertidor, siendo el número de controladores de convertidor igual a un número de transformadores, estando conectado cada controlador de convertidor para controlar al menos uno de la pluralidad de convertidores.

Para cada uno de los al menos dos transformadores, puede estar presente un controlador de convertidor respectivo y que puede conectarse para controlar aquellos convertidores cuyos terminales de salida están conectados al transformador respectivo. Por lo tanto, se puede lograr un control eficaz, en particular, equilibrando al menos aproximadamente la salida de potencia o la corriente activa a través de cada uno de los transformadores. De ese modo, los convertidores pueden agruparse, por ejemplo, en conjuntos de convertidores, estando cada conjunto del convertidor conectado a un lado de baja tensión de uno particular de los al menos dos transformadores. Cada conjunto de convertidores puede controlarse mediante un controlador de convertidor respectivo. De este modo, puede reducirse la complejidad de la disposición.

Cada uno de los controladores de convertidor puede comprender un módulo de división que puede dividir respectivos valores de demanda (de salida eléctrica) entre el número de convertidores conectados. En otras realizaciones el módulo de división puede implementarse como un módulo adicional central que puede derivar y suministrar respectivos valores de demanda divididos a los convertidores.

Según una realización de la presente invención, la porción de control está configurada, en momentos en los que no se realiza control de tensión: para realizar control de potencia, en particular, control de potencia activa, en el que se emite un valor de potencia de demanda por parte de toda la disposición; y, en otros momentos, para realizar la respuesta ante fallos de red en caso de desviaciones repentinas y/o fuertes de la tensión de red con respecto a una tensión de red nominal.

Durante el control de potencia, la salida de potencia de toda la disposición puede ajustarse para cumplir con el valor de potencia de demanda, en particular, el valor de potencia activa de demanda y/o el valor de potencia reactiva de demanda. Para lograr el valor de potencia de demanda (por ejemplo, en el lado de baja tensión de los transformadores o la suma de las salidas de potencia en el lado de baja tensión de todos los transformadores de la disposición) se puede ajustar apropiadamente una corriente activa. O bien, la potencia suministrada por cada conjunto de convertidores puede ajustarse adecuadamente de modo que la suma es igual al valor de la potencia de demanda.

Pueden soportarse dos modos de funcionamiento principales: "estado estacionario" y GFRT. Por ejemplo, se puede recibir una referencia de corriente reactiva de estado estacionario directo, en lugar de una referencia de tensión de baja tensión.

Durante un fallo en la red, la tensión de red puede reducirse repentinamente o aumentarse bruscamente en gran medida. En esos casos, se requiere que una instalación de producción de energía reaccione de una manera particular, para evitar daños a los componentes de la instalación de producción de energía y/o componentes de red. Por lo tanto, la disposición está dispuesta para detectar y reaccionar apropiadamente ante fallos de red para proporcionar una respuesta segura y fiable. Por lo tanto, pueden realizarse e implementarse métodos aplicados convencionalmente en la porción de control. Sin embargo, esos métodos disponibles convencionalmente ahora están adaptados para al menos dos transformadores, cada uno de los cuales está conectado a un respectivo conjunto de convertidores o al menos a un convertidor cada uno.

En otras realizaciones, los cuadrados de las tensiones de fase en el lado de baja tensión de un primer transformador se suman y se dividen entre el número de fases. Lo mismo se realiza con las tensiones presentes en todos los demás terminales de entrada en todos los demás transformadores. A continuación, se calcula el promedio (por ejemplo, promedio aritmético o promedio geométrico) de todos esos valores de RMS, para llegar al valor de tensión promedio. Por tanto, el valor de tensión promedio puede reflejar tensiones en los lados de baja tensión de todos los transformadores. Por lo tanto, el valor de tensión promedio puede ser una señal de retroalimentación apropiada, por ejemplo, para control de tensión o control de respuesta ante fallos de red o incluso también control de potencia.

Según una realización de la presente invención, la porción de control se configura durante el control de tensión: para usar el valor de tensión promedio como valor de retroalimentación, en la que, en particular, el valor de tensión promedio se usa por al menos un controlador de convertidor, en particular el controlador de convertidor maestro como valor de retroalimentación.

Así, de acuerdo con esta realización, se usa un solo valor de retroalimentación, a saber, el valor de tensión promedio, para toda la disposición. En particular, no se usan varios valores de retroalimentación diferentes, lo que simplifica la disposición y garantiza un funcionamiento fiable.

Según una realización de la presente invención, la porción de control, en particular un controlador de convertidor

maestro, se configura durante el control de respuesta ante fallos de red: para derivar, en base al valor de tensión promedio y al valor de tensión de demanda, un valor de demanda de corriente reactiva, y para dividir el valor de demanda de corriente reactiva entre la pluralidad de convertidores, en la que la porción de control está configurada para controlar la pluralidad de convertidores en base a los valores de demanda de corriente reactiva divididos.

Por ejemplo, si un canal de convertidor se estaba calentando (por ejemplo), se puede elegir deliberadamente una división desigual según alguna restricción térmica (por ejemplo). En particular, la división de la corriente entre canales se puede realizar según la capacidad del canal en ese momento. Otra posibilidad puede ser dividir la corriente reactiva según el equilibrio de las corrientes de RMS en cada canal. Para tener la misma potencia activa en cada canal, puede haber corrientes activas desiguales, entonces se pueden elegir corrientes reactivas desiguales para crear corrientes de RMS iguales. Se pueden aplicar otras reglas de división.

Se puede suministrar una desviación entre el valor de tensión promedio y el valor de tensión de demanda a un controlador, tal como un controlador de PID o PI, que puede emitir el valor de demanda de corriente reactiva. A continuación, se puede ordenar a los diferentes convertidores que cada uno proporcione una porción del valor de demanda de corriente reactiva. Por lo tanto, el valor de demanda de corriente reactiva puede compartirse o dividirse apropiadamente entre los convertidores presentes. En particular, se puede ordenar a los convertidores que emitan sustancialmente la misma corriente reactiva que cualquier otro convertidor o se puede ordenar a algunos o al menos a un convertidor que proporcionen una corriente reactiva más alta que otro convertidor. Cuando el valor de demanda de corriente reactiva se divide por igual o se comparte entre el convertidor, se puede cumplir de una manera sencilla el valor nominal del convertidor.

Alternativamente, el valor de demanda de corriente reactiva puede dividirse o compartirse de manera desigual entre el convertidor, por ejemplo, dependiendo del estado y/o de la capacidad/valor nominal de los convertidores/conjuntos de devanados.

Según una realización de la presente invención, durante el control de tensión y/o el control de respuesta ante fallos de red, el control es tal (por ejemplo, mediante la porción de control o los controladores de convertidor) que cada convertidor emite sustancialmente la misma corriente reactiva que cualquier otro convertidor.

Según una realización de la presente invención, durante el control de potencia, el control es tal que cada convertidor emite sustancialmente la misma potencia activa que cualquier otro convertidor.

Además, cuando cada convertidor emite sustancialmente la misma potencia activa que cualquier otro convertidor, los valores nominales de los convertidores pueden cumplirse y pueden ser los mismos, sin requerir convertidores de valor nominal especialmente alto. Todos los convertidores pueden configurarse de manera similar o incluso igual.

Alternativamente, la porción de control, en particular un controlador de convertidor maestro, se configura durante el control de potencia: para derivar, en base al valor de potencia de demanda y el valor de tensión promedio, un valor de demanda de corriente activa, y para dividir por igual o de forma desigual el valor de demanda de corriente activa entre la pluralidad de convertidores, en la que la pluralidad de convertidores realizan su control en base a los valores de demanda de corriente activa dividida.

El valor de demanda de corriente activa se puede derivar de tal manera que el producto del valor de demanda de corriente activa así derivado tomado con el valor de tensión promedio da como resultado el valor de potencia de demanda. De ese modo, se proporciona una división alternativa de porciones de potencia o porciones de corriente particulares entre los convertidores.

En particular, según una realización de la presente invención, durante el control de potencia, el control es tal que cada convertidor emite sustancialmente la misma corriente activa que cualquier otro convertidor.

Según una realización de la presente invención, un lado de alta tensión de cada transformador se puede conectar (en particular, se conecta) a una red pública o un punto de conexión común al que se conecta una pluralidad de instalaciones de producción de energía. Por lo tanto, la disposición puede constituir o soportar propiedades eléctricas requeridas convencionalmente.

Según una realización de la presente invención, el generador tiene cuatro conjuntos de devanados, en particular trifásicos; en el que un primer transformador de los dos transformadores está conectado en un lado de baja tensión a terminales de salida de los dos primeros convertidores, en el que un segundo transformador de los dos transformadores está conectado en un lado de baja tensión a terminales de salida de los dos segundos convertidores, en el que la porción de control comprende un controlador de convertidor maestro conectado para controlar los dos primeros convertidores y un controlador de convertidor esclavo conectado para controlar los dos segundos convertidores.

De este modo, se puede lograr una salida de alta potencia proporcionada de manera fiable y segura. En particular, los dos transformadores de turbina pueden estar conectados entre sí en los terminales de salida de media tensión

de la red de la turbina, cada uno con su propio circuito de baja tensión separado dentro de la turbina. Cada uno de los dos terminales de baja tensión del transformador está conectado a dos canales de convertidor eléctricamente independientes. Así, hay cuatro canales de convertidores eléctricamente independientes en total. Cada uno de los cuatro canales de convertidores está conectado a un conjunto separado de devanados eléctricos del generador de turbina. Por lo tanto, hay un único generador de cuatro canales según esta realización. Además, los cuatro canales de convertidor se coordinan por la porción de control que incluye la operación en la que se deshabilita uno o más canales de convertidor. Si uno o más canales de convertidor están deshabilitados, el tipo de división o compartición de valores de corriente reactiva entre los convertidores puede cambiarse para no incluir el convertidor defectuoso o el canal defectuoso o el conjunto de devanados del generador.

La disposición también puede soportar un fallo en uno o más de los conjuntos de devanados. En este caso, el convertidor respectivo puede desconectarse o deshabilitarse durante cualquier control, tal como el control de tensión, el control de potencia o el control de respuesta ante fallos de red. Además, las señales de control indicativas de la potencia o corriente que debe emitir el convertidor respectivo pueden compartirse o dividirse sólo entre aquellos convertidores que están conectados a conjuntos de devanados intactos.

Según una realización de la presente invención, se proporciona una turbina eólica que comprende un rotor de turbina eólica que tiene una pluralidad de palas de rotor y una disposición según una de las realizaciones anteriores, en la que un rotor de generador del generador está conectado al rotor de turbina eólica.

La turbina eólica puede comprender una torre de turbina eólica, una góndola montada en la parte superior de la torre, alojando la góndola el generador y, en particular, toda la disposición para la producción de energía eléctrica.

Los aspectos definidos anteriormente y aspectos adicionales de la presente invención son evidentes a partir de los ejemplos que van a describirse a continuación, a los que, sin embargo, no se limita la invención.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 ilustra esquemáticamente una disposición para producir energía eléctrica según una realización de la presente invención que incluye dos convertidores y dos transformadores; y

la figura 2 ilustra esquemáticamente una disposición para producir energía eléctrica según una realización de la presente invención que incluye cuatro convertidores y dos transformadores.

Descripción detallada

La ilustración en los dibujos es de forma esquemática. Se observa que, en figuras diferentes, elementos similares o idénticos están provistos de los mismos signos de referencia o de signos de referencia que son diferentes de los signos de referencia correspondientes sólo en el primer dígito.

La disposición 100 ilustrada esquemáticamente en la figura 1 para proporcionar energía eléctrica comprende un generador 101 eléctrico, en particular, un generador 101 que tiene dos conjuntos 103a, 103b de devanados, cada uno de los cuales comprende tres cables parcialmente dispuestos dentro de ranuras de un estator del generador 101 y parcialmente enrollados alrededor de dientes del estator del generador 101. Los cables de diferentes conjuntos 103a y 103b de devanados están eléctricamente desconectados unos de otros. Los cables de un mismo conjunto de devanados, por ejemplo, 103a o 103b, están eléctricamente desconectados unos de otros en al menos un extremo respectivo de los cables. Cada uno de los conjuntos de devanados puede comprender, por ejemplo, tres cables que proporcionan tres fases.

La disposición 100 comprende además un primer convertidor 105a que tiene sus terminales de entrada conectados con el primer conjunto 103a de devanados. Además, la disposición 100 comprende un segundo convertidor 105b cuyos terminales de entrada están conectados al segundo conjunto 103b de devanados.

La disposición 100 comprende además un primer transformador 107a conectado con su lado 109 de baja tensión a terminales de salida del primer convertidor 105a. La disposición comprende además un segundo transformador 107b cuyo lado 109b de baja tensión está conectado a terminales de salida del segundo convertidor 105b. Los respectivos lados 111a, 111b de alta tensión del primer transformador 107a y del segundo transformador 107b, respectivamente, están conectados a una barra de conexión o un cable 113 de conexión que puede estar conectado, por ejemplo, a un punto de acoplamiento común al que se conecta una pluralidad de turbinas eólicas.

La disposición 100 comprende además una porción 115 de control conectada para controlar los convertidores 105a, 105b. En la realización ilustrada, la porción 115 de control se implementa teniendo o comprendiendo un primer controlador 117a de convertidor y un segundo controlador 117b de convertidor que controlan el primer convertidor 105a y el segundo convertidor 105b, respectivamente, usando líneas 119a, 119b de señal. Los convertidores 105a, 105b son convertidores de CA-CC-CA. El número de controladores de convertidor, es decir, los controladores 117a, 117b, es igual al número de transformadores, es decir, dos.

La disposición 100 es una porción de una turbina 120 eólica que comprende un rotor 123 de turbina eólica que tiene una pluralidad de palas 121 de rotor conectadas al mismo, en la que el rotor 123 de turbina eólica está conectado a un rotor de generador del generador 101.

La figura 2 ilustra esquemáticamente una disposición 200 incluida en una turbina 220 eólica según una realización de la presente invención. Los signos de referencia que indican elementos iguales o similares en cuanto a la estructura y/o a la función están etiquetados con signos de referencia que difieren sólo en el primer dígito en las figuras 1 y 2.

La disposición 200 ilustrada en la figura 2 comprende un generador 201 de cuatro canales, por lo tanto, un generador que tiene cuatro conjuntos 203a1, 203a2, 203b1 y 203b2 de devanados independientes. La disposición comprende además los convertidores 205a1 y 205a2 conectados a los conjuntos 203a1 y 203a2 de devanados, respectivamente. Además, la disposición comprende los convertidores 205b1 y 205b2 conectados a los segundos conjuntos 203b1 y 203b2 de devanados, respectivamente. Los terminales de salida de los convertidores conducen a inductancias 225 y un bloque 227 de filtro para filtrar, por ejemplo, armónicos y/o interarmónicos de una frecuencia de red, tal como de 50 Hz o 60 Hz, y/o armónicos y/o interarmónicos de una frecuencia de conmutación de convertidor. Más abajo, se proporcionan respectivos conmutadores 229.

Las salidas de los primeros convertidores 205a1, 205a2 están combinadas y conectadas de manera común al lado 209a de baja tensión de un primer transformador 207a, cuyo lado 211a de alta tensión está conectado a la barra 213 de conexión. De manera similar, los segundos convertidores 205b1, 205b2 están conectados, a través de las inductancias y los filtros 225, 227 y conmutadores 229, al lado 209b de baja tensión del segundo transformador 207b. El lado 211b de alta tensión del segundo transformador 209b también está conectado a la barra o cable 213 de conexión común.

La sección 215 de control de la disposición 200 está implementada por un primer controlador 217a de convertidor que controla los primeros convertidores 205a1 y 205a2. Además, la sección 215 de control comprende un segundo controlador 217b de convertidor que controla los segundos convertidores 205b1 y 205b2. La disposición 200 comprende además un módulo 230 de medición que está adaptado para medir, usando sensores 231, valores de tensión de lado de baja tensión en el lado 209a, 209b de baja tensión de cada uno de los transformadores 207a, 207b, respectivamente. Además, los dispositivos 233 de medición de corriente pueden medir la salida de corrientes de cada uno de los convertidores 205a1, 205a2, 205b1, 205b2 y proporcionar señales de medición respectivas a un módulo de red o procesador 235a y 235b que puede estar integrado en el primer controlador 217a de convertidor y el segundo controlador 217b de convertidor o puede implementarse en diferentes módulos.

Como alternativa o adicionalmente, se pueden proporcionar sensores de corriente que miden la corriente, por ejemplo, en el reactor 225. Estas corrientes pueden controlarse en realizaciones de la presente invención, en lugar de las medidas por los sensores 233.

Los controladores 217a y 217b de convertidor pueden comunicarse entre sí usando líneas 237 de comunicación. Además, los controladores de convertidor pueden comunicarse usando líneas 239 de comunicación con un ordenador principal o piloto 241 del parque.

Las referencias de tensión y/o potencia pueden decidirse mediante una combinación del piloto del parque y el controlador de turbina.

El piloto 241 del parque puede proporcionar, por ejemplo, valores de demanda tales como un valor de potencia de demanda o un valor de tensión de demanda. Usando los valores de demanda y los valores realmente medidos, el controlador puede controlar apropiadamente los convertidores respectivos suministrando señales 243 de control de puerta a conmutadores controlables dentro de los convertidores. De ese modo, el controlador 215 como tal puede equilibrar la potencia activa en cada canal siempre que sea posible. Además, el promedio de las tensiones medidas en los terminales 209a, 209b de baja tensión de los dos transformadores 207a, 207b se usa para derivar una retroalimentación de tensión de red única que se usa para el control de tensión de red y para detectar y responder a eventos de red como se define en los códigos de red.

Como se ilustra en la figura 2, hay dos controladores de convertidor, cada uno de los cuales controla dos canales de convertidor y hay una fibra 237 entre convertidores por la que los dos controladores 217a, 217b pueden comunicarse entre sí. El resultado de este detalle de implementación es que cada uno de los cuatro canales 205a1, 205a2, 205b1, 205b2 de convertidor puede comunicarse, en principio, directamente con cualquier otro canal de convertidor. Se pueden intercambiar datos entre canales a la misma velocidad a la que se ejecutan las funciones controladas.

El diagrama de bloques de la figura 2 también muestra que las tensiones en los terminales de baja tensión de cada transformador se miden en los puntos 231 de medición usando dispositivos de medición. Además, también se miden las corrientes que fluyen hacia el transformador 207a, 207b usando los dispositivos 233 de medición de corriente. Un módulo 235a, 235b de red separado puede ser responsable de recoger y procesar estas mediciones de tensión y

corriente del transformador y comunicar los resultados a sus controladores de convertidor locales. El módulo de red puede ser una implementación de un procesador según una realización de la presente invención.

A un controlador de convertidor, por ejemplo, al controlador 217a de convertidor, se le puede asignar el papel de un "canal maestro". Al canal maestro se le puede proporcionar una retroalimentación de tensión que es el promedio de las tensiones de RMS medidas por cada uno de los módulos de red y, por lo tanto, es el promedio de las tensiones de los dos transformadores 207a, 207b:

$$V_{\text{promediored}} = (V_{\text{módulored1}} + V_{\text{módulored2}}) / 2$$

El canal maestro ahora puede usar esa retroalimentación de tensión en un controlador de tensión de CA de red cuya salida es la demanda de corriente reactiva. Tal controlador de tensión de CA puede ser una característica estándar de los convertidores y las turbinas usados actualmente. Esa demanda de corriente reactiva ahora puede compartirse, por ejemplo, por igual entre los cuatro canales de convertidor en una disposición de maestro y tres esclavos. O en el caso de ejecutar menos de cuatro canales, tal como cuando un canal es defectuoso, esa demanda de corriente reactiva se puede compartir por igual entre los canales disponibles. Esto, a su vez, puede significar que las tensiones de los dos transformadores no serían iguales si hubiera un número diferente de canales activos en cada transformador. Pero, en cambio, habría corrientes reactivas iguales en cada canal y la tensión promedio de la red coincidiría con el valor de referencia o demanda de tensión. La turbina recibe una sola referencia de tensión de red e informa de una sola retroalimentación de tensión de red, por lo que las señales que produce esta función soportarán perfectamente la interfaz externa estándar de la turbina.

De manera similar, el canal maestro recibe una demanda para entregar potencia a la red. Esta demanda de potencia puede distribuirse por igual entre los canales de convertidor disponibles, de modo que todos tienen la misma potencia en una disposición de maestro más tres esclavos.

Una alternativa sería que el canal maestro decidiera la corriente activa total necesaria, en base a la demanda de potencia total solicitada y la tensión de red promedio medida. Si se tomara esta opción de diseño, la corriente en el puente de red de cada canal de convertidor sería igual. Pero la potencia en cada canal de convertidor no se equilibraría si las tensiones de red individuales de los dos transformadores no coincidieran y, por lo tanto, la potencia del puente de generador y la corriente de cada canal no coincidirían. Por lo tanto, la opción de diseño tomada es equilibrar la potencia activa, no la corriente activa del puente de red. Pero la invención descrita aquí soporta cualquiera de las dos opciones.

El convertidor también puede tener algunas características que detectan y actúan sobre grandes transitorios en la tensión de red. Estas características se pueden denominar respuesta ante fallos de red o GFRT y pueden incluir tanto el aumento repentino como la disminución repentina de las reacciones de tensión de red. Durante tales eventos, la respuesta de la turbina (y, por lo tanto, la respuesta de los convertidores) puede definirse mediante cualquier código de red que la turbina esté configurada para cumplir. Nuevamente, se puede usar una única retroalimentación de tensión de red promedio de modo que puede haber una decisión de un solo punto sobre si la desviación de tensión de red es o no lo suficientemente grande como para activar una de varias características de eventos de red. Además, la retroalimentación de la tensión de red promedio única puede usarse para decidir la corriente reactiva que se inyecta en el fallo de red o en la red, así como contribuir al cálculo de la corriente activa y/o la potencia que debe proporcionar cada canal de convertidor.

Las realizaciones de la presente invención proporcionan una instalación de producción de energía que tiene dos o más transformadores. Además, se puede crear una única señal que representa la tensión promedio de lado de baja tensión de los dos o más transformadores. Esta única "medición" se puede usar como retroalimentación para las características del convertidor, cuyo objetivo es controlar la tensión de red o responder a las desviaciones en la tensión de red. De este modo, se pueden lograr varias ventajas:

(a) Se proporciona una señal clara e inequívoca, a partir de la cual se puede determinar si la turbina en su conjunto debe responder a un evento de red o no. Además, esta señal clara e inequívoca también se usará para determinar qué combinación de corriente activa y reactiva debe inyectarse en la red.

(b) La corriente reactiva igual en cada canal de convertidor se puede ajustar en todo momento, incluso en la operación reducida del convertidor donde las tensiones de transformador pueden ser desiguales. Si no se hace esto y se usa un controlador de tensión de CA independiente para cada terminal de baja tensión de transformador, entonces la corriente reactiva en cada canal será extremadamente desigual en la operación reducida del convertidor.

Debe indicarse que el término "que comprende" no excluye otros elementos o etapas, y "un" o "una" no excluye una pluralidad.

También debe indicarse que los signos de referencia en las reivindicaciones no deben interpretarse como una limitación del alcance de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Disposición (100, 200) para producir energía eléctrica, que comprende:
 - 5 un generador (101) que tiene una pluralidad de conjuntos (103a, 103b) de devanados;
una pluralidad de convertidores (105a, 105b), cada uno conectado a uno de los conjuntos (103a, 103b) de devanados; y
 - 10 al menos dos transformadores (107a, 107b), en la que un primer transformador (107a) y un segundo transformador (107b) están respectivamente conectados en un lado (109a, 109b) de baja tensión a terminales de salida de un primer convertidor (105a) y un segundo convertidor (105b) de la pluralidad de convertidores (105a, 105b);
 - 15 una porción (115) de control conectada para controlar los convertidores (105a, 105b);
caracterizada:
porque la disposición comprende, además
 - 20 un módulo (230) de medición adaptado para medir valores de tensión de lado de baja tensión en los lados de baja tensión de cada uno de los transformadores (207a, 207b); y
 - 25 un procesador (235a, 235b) adaptado para derivar un valor de tensión promedio como promedio de los valores de tensión de lado de baja tensión asociados con todos los transformadores (107a, 107b),
y porque la porción (115) de control está configurada para realizar un control de tensión en el que se logra un valor de tensión de demanda en el lado de baja tensión de los transformadores (107a, 107b),
 - 30 en la que la porción (115, 215) de control se configura durante el control de tensión:
para derivar, en base al valor de tensión promedio y al valor de tensión de demanda, un valor de demanda de corriente reactiva, y
 - 35 para dividir el valor de demanda de corriente reactiva entre la pluralidad de convertidores (105a, 105b), en la que la porción (115) de control está configurada para controlar la pluralidad de convertidores (105a, 105b) en base a los valores de demanda de corriente reactiva divididos.
- 40 2. Disposición según la reivindicación anterior, en la que el generador comprende un estator que tiene ranuras, en la que cada conjunto (103a, 103b) de devanados comprende una pluralidad de cables, proporcionando cada cable una fase y estando dispuesto parcialmente dentro de las ranuras del estator del generador (101).
- 45 3. Disposición según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque al menos uno o cada uno de los convertidores (105a, 105b) es un convertidor de CA-CC-CA o de CA-CA.
- 50 4. Disposición según una de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo la porción (115) de control:
una pluralidad de controladores (117a, 117b) de convertidor, siendo el número de controladores de convertidor, en particular, igual o diferente a un número de transformadores, estando conectado cada controlador (117a, 117b) de convertidor para controlar al menos uno de la pluralidad de convertidores (105a, 105b) o
- 55 un único controlador de convertidor configurado para controlar la totalidad de la pluralidad de convertidores (105a, 105b).
- 60 5. Disposición según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque la porción (115) de control está configurada,
en momentos en los que no se realiza control de tensión:
para realizar control de potencia, en particular, control de potencia activa, en el que se emite un valor de potencia de demanda por parte de toda la disposición; y, en otros momentos,
- 65 para realizar la respuesta ante fallos de red en caso de desviaciones repentinas y/o fuertes de la tensión de red con respecto a una tensión de red nominal.

6. Disposición según una de las reivindicaciones anteriores,
5 en la que el módulo (230) de medición está adaptado para medir valores de tensión de lado de baja tensión para cada fase en los lados de baja tensión de cada uno de los transformadores (207a, 207b),
en la que el procesador (235a, 235b) está adaptado para derivar el valor de tensión promedio como promedio de los valores de tensión de lado de baja tensión para cada fase asociada con todos los transformadores (107a, 107b).
10 7. Disposición según una de las reivindicaciones anteriores cuando se hace referencia a la reivindicación 5, caracterizada porque la porción de control se configura durante el control de tensión:
15 para usar el valor de tensión promedio como valor de retroalimentación, en la que, en particular, el valor de tensión promedio se usa por al menos un controlador de convertidor, en particular el controlador de convertidor maestro como valor de retroalimentación.
20 8. Disposición según una de las reivindicaciones anteriores cuando se hace referencia a la reivindicación 5, caracterizada porque la porción (115, 215) de control, en particular un controlador (217a) de convertidor maestro, se configura durante el control de respuesta ante fallos de red:
para derivar, en base al valor de tensión promedio y al valor de tensión de demanda, un valor de demanda de corriente reactiva, y
25 para dividir el valor de demanda de corriente reactiva entre la pluralidad de convertidores (105a, 105b), en la que la porción de control está configurada para controlar la pluralidad de convertidores (105a, 105b) en base a los valores de demanda de corriente reactiva divididos.
30 9. Disposición según una de las reivindicaciones anteriores cuando se hace referencia a la reivindicación 5, caracterizada porque durante el control de tensión y/o el control de respuesta ante fallos de red, la porción de control se configura para controlar cada convertidor (105a, 105b) para emitir sustancialmente la misma corriente reactiva que cualquier otro convertidor.
35 10. Disposición según una de las reivindicaciones anteriores cuando se hace referencia a la reivindicación 5, caracterizada porque durante el control de potencia la porción de control está configurada para controlar cada convertidor (105a, 105b) para emitir sustancialmente la misma potencia activa que cualquier otro convertidor.
40 11. Disposición según una de las reivindicaciones anteriores cuando se hace referencia a la reivindicación 5, caracterizada porque la porción de control, en particular un controlador de convertidor maestro, se configura durante el control de potencia:
45 para derivar, en base al valor de potencia de demanda y al valor de tensión promedio, un valor de demanda de corriente activa, y
para dividir el valor de demanda de corriente activa entre la pluralidad de convertidores (105a, 105b), en la que la porción de control está configurada para controlar la pluralidad de convertidores (105a, 105b) en base a los valores de demanda de corriente activa divididos.
50 12. Disposición según la reivindicación anterior, caracterizada porque durante el control de potencia la porción de control se configura para controlar cada convertidor (105a, 105b) para emitir sustancialmente la misma corriente activa que cualquier otro convertidor,
55 en la que, en particular, la corriente de RMS total se comparte por igual entre los convertidores.
13. Disposición según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque un lado de alta tensión de cada transformador (107a, 107b) se puede conectar a una red pública o a un punto (113, 213) de conexión común al que se conecta una pluralidad de instalaciones de producción de energía.
60 14. Disposición según una de las reivindicaciones anteriores,
en la que el generador (201) presenta cuatro conjuntos (203a1, 203a2, 203b1, 203b2) de devanados, en particular trifásicos;
65

en la que un primer transformador (207a) de los dos transformadores está conectado en un lado de baja tensión a terminales de salida de los dos primeros convertidores (205a1, 205a2) de la pluralidad de convertidores,

5 en la que un segundo transformador (207b) de los dos transformadores está conectado en un lado de baja tensión a terminales de salida de los dos segundos convertidores (205b1, 205b2) de la pluralidad de convertidores,

10 en la que la porción de control comprende un controlador (217a) de convertidor maestro conectado para controlar los dos primeros convertidores (205a1, 205a2) y un controlador (217b) de convertidor esclavo conectado para controlar los dos segundos convertidores (205b1, 205b2).

15. Turbina (120, 220) eólica, que comprende:

15 un rotor (123, 223) de turbina eólica que tiene una pluralidad de palas (121, 221) de rotor; y

una disposición (100, 200) según una de las reivindicaciones anteriores, en la que un rotor de generador del generador (101, 201) está conectado al rotor (123, 223) de turbina eólica.

FIG 1



