

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 974 275**

51 Int. Cl.:

H02J 3/24 (2006.01)

H02J 3/48 (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: **09.07.2019** **E 19382586 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.08.2023** **EP 3764503**

54 Título: **Control y funcionamiento de un convertidor de potencia**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.06.2024

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC RENOVABLES ESPAÑA
S.L. (100.0%)
C/ Roc Boronat, 78
08005 Barcelona, ES**

72 Inventor/es:

**SANCHEZ NAVARRO, JAVIER;
RICCHIUTO, DOMENICO;
MANDRIOLI, LEONARDO y
CAUBET BUSQUET, ORIOL**

74 Agente/Representante:

DE ROOIJ, Mathieu Julien

ES 2 974 275 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 y funcionamiento de un convertidor de potencia

[0001] La presente invención se refiere a métodos para hacer funcionar una turbina eólica. La presente invención también se refiere a turbinas eólicas que incluyen un generador conectado a un convertidor de potencia.

5 ANTECEDENTES

[0002] Las turbinas eólicas modernas se utilizan habitualmente para suministrar electricidad a la red eléctrica. Las turbinas eólicas de este tipo constan generalmente de una torre y un rotor dispuesto sobre la torre. El rotor, que suele constar de un buje y una pluralidad de palas, se pone en rotación bajo la influencia del viento sobre las palas. Dicha rotación genera un par que normalmente se transmite a través de un eje del rotor a un generador eléctrico, ya sea directamente ("accionamiento directo") o mediante el uso de una caja de engranajes. De este modo, el generador eléctrico produce electricidad que puede suministrarse a la red eléctrica.

[0003] El generador puede estar conectado a la red eléctrica a través de un convertidor de potencia. Dicho convertidor de potencia puede incluir un convertidor del lado de la línea conectado a la red, un convertidor del lado de la máquina conectado a un rotor del generador y un enlace de CC ("DC link") entre el convertidor del lado de la línea y el convertidor del lado de la máquina.

[0004] El convertidor de potencia regula la salida de potencia del generador a la red y puede controlar el par aplicado al estator del generador. En el funcionamiento normal de una turbina eólica, la potencia activa producida por el generador se inyectará en la red. La potencia que puede producir un generador depende de la velocidad del viento reinante, pero también depende del par aplicado al estator del generador. El control de la turbina eólica dependerá generalmente de la velocidad del viento reinante, y el ángulo de pitch de las palas y el par aplicado al estator se elegirán generalmente de forma que se maximice la generación de potencia eléctrica y la inyección de potencia eléctrica en la red.

[0005] Sin embargo, en algunas circunstancias, puede producirse una anomalía en la red, por ejemplo, una frecuencia elevada. De acuerdo con algunos códigos de red, la turbina eólica debe ser capaz de reducir la potencia activa de salida del generador hacia la red. Por ejemplo, un código de red puede prescribir la capacidad de reducir la salida de potencia activa en un 25% por segundo. También pueden darse otras condiciones de red en las que no haya ninguna anomalía (todavía), pero se solicite una reducción de la potencia activa de una turbina eólica, o de un parque eólico.

[0006] El documento WO2010002402 describe un sistema para conectar un generador de turbina eólica a una red eléctrica pública, con capacidad de transporte de baja tensión. El sistema incluye un primer convertidor de potencia que convierte una señal de CA del generador de turbina eólica en una señal de CC y suministra una cantidad controlada de corriente reactiva al generador de turbina eólica. El sistema también incluye un segundo convertidor de potencia, conectado en serie con el primer convertidor, que convierte la señal de CC del primer convertidor de potencia en una señal de CA del lado de la línea y suministra una cantidad controlada de corriente a la red eléctrica de la compañía eléctrica. Un elemento de disipación de potencia está acoplado a los convertidores de potencia primero y segundo para disipar la potencia del primer convertidor de potencia.

[0007] US2010320762 A1 divulga una instalación de energía eólica que tiene un generador asíncrono doblemente alimentado y el control de un convertidor y un método para controlar un convertidor de una instalación de energía eólica. El convertidor está conectado al rotor de un generador asíncrono de doble alimentación para inyectar potencia eléctrica a una red eléctrica y comprende un inversor del lado del generador, un inversor del lado de la red y al menos un regulador del convertidor para regular y/o controlar la salida de corriente desde al menos uno de los inversores al generador asíncrono de doble alimentación y/o a la red eléctrica. El método incluye la detección de un cambio en la potencia real de salida, la determinación de si el cambio detectado satisface una condición predefinida, y el cambio de un valor nominal de potencia reactiva a emitir en sentido opuesto a un cambio en la potencia real en el inversor del lado de la red y en el mismo sentido que el inversor del lado del generador cuando se satisface la condición predefinida.

[0008] La presente invención se refiere a métodos y sistemas diseñados para poder hacer frente a tales condiciones de red.

55 RESUMEN

[0009] La presente invención se define por un método de funcionamiento de una turbina eólica que tiene un generador y un convertidor de potencia con las etapas de la reivindicación independiente 1, y por una turbina eólica con las características técnicas de la reivindicación independiente 12.

5 [0010] De acuerdo con la invención, se proporciona una consigna de potencia diferente para el convertidor del lado de la línea que para el convertidor del lado de la máquina. La consigna de potencia para el convertidor del lado de la línea puede elegirse de modo que cumpla, por ejemplo, un requisito de la red en un momento dado. Para el convertidor del lado de la máquina se elige una consigna de potencia diferente. Se permite una divergencia entre las dos consignas para evitar problemas de funcionamiento del generador o de la turbina eólica conectada a él.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

10 [0011] A continuación se describirán ejemplos no limitativos de la presente divulgación, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:
 La figura 1 ilustra una vista en perspectiva de una turbina eólica según un ejemplo de la presente divulgación;
 La figura 2 ilustra una vista interior simplificada de una góndola de una turbina eólica según un ejemplo de la presente divulgación;
 15 La figura 3 ilustra esquemáticamente un método de funcionamiento de una turbina eólica y un convertidor de potencia según un ejemplo de la materia anterior;
 La figura 4 ilustra esquemáticamente un método de funcionamiento de una turbina eólica y un convertidor de potencia de acuerdo con un ejemplo de la presente divulgación;
 20 La figura 5 ilustra esquemáticamente un método de funcionamiento de una turbina eólica y un convertidor de potencia en caso de perturbación de la red de acuerdo con un ejemplo de la presente divulgación; y
 La figura 6 ilustra esquemáticamente un método de funcionamiento de un convertidor de potencia según otro ejemplo.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS EJEMPLOS

25 [0012] En estas figuras se han utilizado los mismos signos de referencia para designar los elementos coincidentes.

[0013] La figura 1 ilustra una vista en perspectiva de un ejemplo de turbina eólica 1. Como se muestra, la turbina eólica 1 incluye una torre 2 que se extiende desde una superficie de apoyo 3, una góndola 4 montada en la torre 2 y un rotor 5 acoplado a la góndola 4 en una región frontal. El rotor 5 incluye un buje giratorio 6 y al menos una pala del rotor 7 acoplada al buje 6 y que se extiende hacia el exterior. Por ejemplo, en el ejemplo ilustrado, el rotor 5 incluye tres palas 7. Sin embargo, en una realización alternativa, el rotor 5 puede incluir más o menos de tres palas 7. Cada pala del rotor 7 puede estar separada del buje 6 para facilitar la rotación del rotor 5 y permitir que la energía cinética se transfiera del viento a energía mecánica utilizable y, posteriormente, a energía eléctrica. Por ejemplo, el buje 6 puede estar acoplado de forma giratoria a un generador eléctrico 10 (figura 2) colocado dentro de la góndola 4 o formando parte de la góndola para permitir la producción de energía eléctrica. La rotación del rotor puede transmitirse directamente, por ejemplo en las turbinas eólicas de transmisión directa, o mediante el uso de una caja de engranajes a un generador.

40 [0014] La figura 2 ilustra una vista interna simplificada de un ejemplo de la góndola 4 de la turbina eólica 1 de la figura 1. Como se muestra, el generador 10 puede estar dispuesto dentro de la góndola 4. En general, el generador 10 puede estar acoplado al rotor 5 de la turbina eólica 1 para generar potencia eléctrica a partir de la energía de rotación generada por el rotor 5. Por ejemplo, el rotor 5 puede incluir un eje rotor principal 8 acoplado al buje 6 para girar con él. El generador 10 puede estar acoplado al eje del rotor 8 de manera que la rotación del eje del rotor 8 impulse el generador 10. Por ejemplo, en la realización ilustrada, el generador 10 incluye un eje generador 11 acoplado de forma giratoria al eje rotor 8 a través de una caja de engranajes 9. En ejemplos alternativos, el buje puede estar acoplado directamente a un rotor del generador y la rotación del buje puede así accionar el rotor del generador.

50 [0015] El generador 10 puede estar acoplado eléctricamente al convertidor. El convertidor de la turbina eólica puede adaptar la potencia eléctrica de salida del generador a los requisitos de la red eléctrica.

[0016] Debe apreciarse que el eje del rotor 8, la caja de engranajes 9 y el generador 10 pueden estar generalmente soportados dentro de la góndola 4 por una bancada o un bastidor de soporte 12 colocado en lo alto de la torre de la turbina eólica 2.

55 [0017] La góndola 4 está acoplada de forma giratoria a la torre 2 mediante un sistema de orientación 20. El sistema de orientación comprende un rodamiento de orientación (no visible en la figura 2) que tiene dos componentes de rodamiento configurados para girar uno con respecto al otro. La torre 2 está acoplada a uno de los componentes del rodamiento y la bancada o bastidor de soporte 12 de la góndola 4 está acoplado al otro componente del rodamiento. El sistema de orientación 20 comprende un engranaje anular 21 y una pluralidad de transmisiones de orientación 22 con un motor 23, una caja de engranajes 24 y un piñón 25 para engranar con el engranaje anular para girar uno de los componentes de rodamiento con respecto al otro.

5 [0018] La góndola 4 comprende además una estructura de cubierta 50 para alojar los componentes de la turbina eólica. En este ejemplo, los componentes de la turbina eólica alojados en la estructura de la cubierta 50 o encerrados por la estructura de la cubierta comprenden el generador 10, el convertidor, la caja de engranajes 9 y el eje 8. En otros ejemplos, los componentes de la turbina eólica dispuestos dentro de la góndola pueden referirse al convertidor y al generador.

10 [0019] La figura 3 ilustra esquemáticamente un método de funcionamiento de una turbina eólica y un convertidor de potencia de acuerdo con un ejemplo de la técnica anterior. En el ejemplo de la figura 3, una turbina eólica comprende un generador 10, que está conectado a una red eléctrica 80 a través de un convertidor de potencia 60. En este ejemplo concreto, el generador 10 es un generador de imanes permanentes, que incluye un rotor generador portador de una pluralidad de imanes permanentes. El generador de imanes permanentes puede ser accionado directamente (es decir, sin caja de engranajes) por el rotor de la turbina eólica 5. En este ejemplo, la turbina eólica puede ser una turbina eólica marina. En este ejemplo concreto, el estator del generador 10 está conectado a un convertidor 62 del lado de la máquina. El convertidor del lado de la máquina está conectado a un convertidor del lado de la línea 66 a través de un enlace de CC 64.

20 [0020] El generador 10 está configurado para convertir la energía mecánica en energía eléctrica con tensión y corriente CA, y suministra la CA generada al convertidor 62 del lado de la máquina. La CA del generador tiene una frecuencia variable, debido a las condiciones variables del viento. El convertidor del lado de la máquina 62 está configurado para convertir o rectificar la CA en tensión y corriente de CC suministrada al enlace de CC 64. El convertidor del lado de la línea 66 convierte la CC del enlace de CC 64 en CA de frecuencia fija para la red 80. El convertidor del lado de la línea 66 puede estar conectado a la red 80 a través de un transformador principal 70.

25 [0021] De acuerdo con este ejemplo, el convertidor de potencia 60 recibe una única consigna 92 de un controlador 90 de la turbina eólica. La consigna 92 se basa en un funcionamiento óptimo de la turbina eólica de acuerdo con las condiciones meteorológicas imperantes. Mediante el control del par del generador, puede controlarse una velocidad de rotación del generador. La velocidad de rotación del generador determina a su vez la velocidad de rotación del rotor de una turbina eólica 5. La velocidad de rotación puede elegirse de acuerdo con un programa de funcionamiento predefinido. En particular, se sabe que la turbina eólica puede controlarse de forma diferente en distintos rangos de velocidad del viento. En rangos de velocidad del viento inferiores a una velocidad nominal, la velocidad de rotación puede elegirse de modo que el viento incida en las palas del rotor con un ángulo de ataque óptimo. Este método de funcionamiento puede mantenerse hasta que se alcance una velocidad máxima de rotación.

35 [0022] A velocidades de viento superiores, y en particular por encima de la velocidad nominal del viento, la velocidad de rotación puede controlarse para mantenerla constante. Se puede aplicar el par máximo al estator y las palas se pueden pitchear para garantizar una velocidad de rotación constante. Son posibles variaciones con respecto a este funcionamiento optimizado.

40 [0023] De acuerdo con el funcionamiento predefinido, un controlador de la turbina eólica puede enviar una señal de par 92 al convertidor del lado de la máquina. La potencia activa resultante 100 se inyecta a la red. El controlador 90 de la turbina eólica puede ser un controlador local de la turbina eólica o, por ejemplo, un controlador de un parque eólico.

45 [0024] La figura 4 ilustra esquemáticamente un método de funcionamiento de una turbina eólica y un convertidor de potencia de acuerdo con un ejemplo de la presente divulgación. Como en el ejemplo de la figura 3, la turbina eólica puede comprender un generador de imanes permanentes 10 que tiene un rotor portador de una pluralidad de imanes. Como en el ejemplo de la figura 3, el generador está conectado a la red eléctrica 80 a través de un convertidor de potencia 60.

55 [0025] El convertidor de potencia incluye un convertidor del lado de la línea 66, un convertidor del lado de la máquina 62 y un enlace de CC 64. La turbina eólica incluye además un controlador 90, en el que el controlador está configurado para determinar una primera consigna de potencia 94 en respuesta, por ejemplo, a una condición de la red y enviar la primera consigna de potencia 94 al convertidor del lado de la línea 66 y para determinar una segunda consigna de potencia 92 en respuesta a la condición de la red y enviar la segunda consigna de potencia 92 al convertidor del lado de la máquina 62. La segunda consigna de potencia 92 es superior a la primera consigna de potencia 94.

60 [0026] De acuerdo con la segunda consigna, el generador 10 tiene una potencia 100. Sin embargo, de acuerdo con la primera consigna, se alimenta a la red una cantidad de potencia activa 104.

65 [0027] La turbina eólica incluye uno o más elementos resistivos en el enlace de CC, y el convertidor de potencia está configurado para disipar un excedente de potencia del generador en los elementos resistivos. El enlace de CC puede incluir un troceador ("chopper") de CC 68 para disipar el excedente de potencia del generador que no puede ser absorbido por la red. Cuando sea necesario, puede cerrarse un conmutador del troceador de CC para desviar la corriente eléctrica a través del troceador.

- 5 **[0028]** La potencia suministrada por el convertidor del lado de la máquina, por un lado, y la potencia suministrada a la red por el convertidor del lado de la línea, por otro, controlan indirectamente el funcionamiento del troceador de CC. Las consignas son consignas de potencia, a diferencia de lo que ocurre en la materia anterior, donde es habitual tener una consigna para la tensión en el enlace de CC y hacer funcionar un troceador en función de la tensión en el enlace de CC.
- 10 **[0029]** El funcionamiento basado en consignas de potencia independientes permite al convertidor y a la turbina eólica hacer frente con fiabilidad a diferentes situaciones, incluidas diferentes anomalías de la red.
- 15 **[0030]** De acuerdo con este ejemplo, se proporciona un método de funcionamiento de una turbina eólica. El método comprende determinar una primera consigna de potencia reducida 94 en respuesta a una condición de funcionamiento; reducir la potencia activa 104 según la primera consigna de potencia reducida 94 desde un convertidor del lado de la línea 66 a la red 80; determinar una consigna de potencia reducida para un convertidor del lado de la máquina; y reducir un par aplicado al generador 10 por un convertidor del lado de la máquina 62 de manera que el generador produzca potencia activa según la segunda consigna de potencia reducida 92. El método comprende además disipar un excedente de potencia (100 - 104) en uno o más elementos resistivos 68 mientras la segunda consigna de potencia sea superior a la primera consigna de potencia.
- 20 **[0031]** La condición operativa puede ser una condición de red, que puede ser una condición de red anormal. La condición de red puede ser una frecuencia de red por encima de un umbral predefinido. La frecuencia de la red puede estar controlada por la cantidad de potencia activa suministrada a la red. En respuesta a una frecuencia elevada, la turbina eólica puede verse obligada a reducir la potencia activa suministrada a la red. Dicha respuesta puede definirse en un código de red. De acuerdo con el funcionamiento en la materia, puede reducirse el par del generador. Si se reduce el par del generador, la velocidad del rotor 5 tenderá a aumentar. Esto podría contrarrestarse mediante un sistema de frenado y/o mediante el pitch de las palas para reducir la energía aerodinámica convertida. Dependiendo de la turbina eólica, estas acciones pueden no ser suficientes para reducir la potencia activa de salida de acuerdo con la perturbación de la red y el código de red.
- 25 **[0032]** De acuerdo con el ejemplo aquí divulgado, se envía una primera consigna de potencia nominal 94 al convertidor del lado de la línea 66. El convertidor del lado de la línea 66 recibe la primera consigna e inyecta electricidad 104 a la red de acuerdo con esta consigna (reducida) 94. El convertidor del lado de la línea 66 recibe la primera consigna e inyecta electricidad 104 a la red de acuerdo con esta consigna 94 (reducida). Al mismo tiempo, se envía una segunda consigna 92 al convertidor 62 del lado de la máquina. En algunos ejemplos, la segunda consigna de potencia reducida 92 se reduce de acuerdo con una tasa de reducción máxima. En algunos ejemplos, la tasa de reducción máxima puede determinarse para evitar un exceso de velocidad de un rotor 5 de la turbina eólica. En otros ejemplos, la tasa de reducción máxima puede determinarse de manera que se eviten cargas por encima de un nivel aceptable.
- 30 **[0033]** El controlador 90 puede medir las variables eléctricas en la red (por ejemplo, la tensión, la frecuencia, el ángulo de fase, etc.) y determinar una condición o anomalía de la red de forma autónoma. El controlador de la turbina eólica puede calcular o determinar de otro modo una señal adecuada de reducción de la consigna. En otro caso, el controlador 90 puede recibir una señal de reducción de la consigna 98 de la red. La condición de la red puede ser una frecuencia particularmente alta de la red. Otra condición puede ser una anomalía de la tensión.
- 35 **[0034]** Al aplicar este control, una turbina eólica puede ser capaz de cumplir los requisitos del código de red. En otros casos, el control puede servir para reducir las cargas de la turbina eólica.
- 40 **[0035]** En algunos ejemplos, la primera consigna de potencia reducida puede ser recibida por la turbina eólica de un operador de red. En otros ejemplos, la primera consigna de potencia reducida puede ser determinada por la turbina eólica, o por el controlador de la turbina eólica. En concreto, la turbina eólica puede medir una frecuencia de red y determinar una respuesta adecuada. En otros ejemplos, la turbina eólica puede recibir una frecuencia de red medida de otra entidad, por ejemplo, un operador de red o el controlador de un parque eólico.
- 45 **[0036]** En otro ejemplo, la condición o anomalía de la red puede ser una caída de tensión. Una caída de tensión o "bajada de tensión" es un aumento repentino de la tensión de la red eléctrica. En un hueco de tensión de este tipo, la tensión puede reducirse hasta, por ejemplo, el 90% o menos de la tensión nominal. En particular, en un hueco de tensión, la tensión de la red puede reducirse al 30, 20 o 10 % de la tensión nominal e incluso llegar a 0 V. La duración de una caída de tensión puede ser muy corta, pero puede alcanzar unos pocos segundos.
- 50 **[0037]** Los códigos de red pueden prescribir que, en estas condiciones, la turbina eólica debe permanecer conectada a la red. Al igual que antes, pueden generarse consignas de primera y segunda potencia para los convertidores del lado de la máquina y del lado de la línea. Y un excedente de potencia puede quemarse en elementos resistivos, por ejemplo, un troceador en el enlace de CC.
- 55 **[0038]** En otro ejemplo, la condición de funcionamiento puede ser la interrupción necesaria o prevista de la turbina eólica. Cuando se va a interrumpir el funcionamiento, de manera similar a la anterior, se pueden generar unas

consignas de potencia primero y segundo. En este caso, la consigna para el convertidor del lado de la línea no está necesariamente prescrito por un código de red.

5 **[0039]** En algunos ejemplos, mientras se reduce el par del generador, el método puede comprender además el pitch de las palas del rotor de una turbina eólica para reducir la velocidad de rotación del rotor de la turbina eólica. De acuerdo con la reducción de la velocidad de rotación del rotor de la turbina eólica, la segunda consigna de potencia reducida 92 puede reducirse aún más. Un excedente de energía eléctrica podría seguir disipándose en los elementos resistivos. La segunda consigna de potencia reducida 92 puede reducirse en función de las circunstancias hasta que la potencia activa producida por el generador 100 pueda alimentar la red 80. Hasta que se alcance dicha situación, el excedente de energía eléctrica puede quemarse en resistencias.

10 **[0040]** En algunos ejemplos, el método puede comprender además la supervisión de un funcionamiento de los elementos resistivos para evitar que éstos alcancen un límite operativo. Por ejemplo, el método puede comprender la medición de una temperatura de uno o más elementos resistivos, por ejemplo, en el troceador de CC 68. La temperatura de los elementos resistivos puede medirse para asegurarse de que no alcanzan una temperatura crítica en la que puedan fallar. Alternativamente, puede controlarse o calcularse la cantidad acumulada de energía disipada en los elementos resistivos. Basándose en la cantidad de energía que se ha disipado, se puede calcular o estimar que los elementos resistivos están cerca de sus límites operativos.

15 **[0041]** En algunos ejemplos, el método puede comprender además disipar menos energía si uno o más de los elementos resistivos alcanzan uno de sus límites operativos. Por ejemplo, se puede disipar menos energía en los elementos resistivos si la temperatura de los elementos resistivos supera un umbral, si el tiempo de actuación de los elementos resistivos supera un umbral de tiempo, o si la cantidad de energía que se ha disipado alcanza un nivel predeterminado. En algunas circunstancias, esto puede significar que es necesario suministrar a la red más potencia activa de la deseable o de la prescrita por un código de red. Esto puede hacerse para evitar la desconexión del convertidor o de la turbina eólica.

20 **[0042]** En algunos ejemplos, el método puede comprender además el aumento de la potencia de salida una vez que se ha resuelto la condición de la red. Una vez resuelto el problema, la turbina eólica puede volver a funcionar para optimizar la potencia. En estas condiciones, el control del convertidor de potencia puede conmutar de nuevo al funcionamiento normal en el que se envía una única consigna al convertidor de potencia para determinar el par del generador.

25 **[0043]** En algunos ejemplos, el método puede comprender además la garantía de que la velocidad del rotor de la turbina eólica no disminuye por debajo de un umbral en el que la turbina eólica se vuelve difícil de controlar. Si es necesario, puede aumentarse la potencia de salida para garantizar una velocidad mínima del rotor.

30 **[0044]** En este ejemplo concreto, el generador es un generador de imanes permanentes y el convertidor de potencia es un convertidor de potencia total. En este ejemplo concreto, la turbina eólica puede ser una turbina eólica de accionamiento directo en alta mar. En otro ejemplo (figura 6), el generador puede ser un generador de inducción de doble alimentación (DFIG), y el tren de transmisión puede incluir una caja de engranajes.

35 **[0045]** La figura 5 ilustra esquemáticamente un método de funcionamiento de un convertidor de potencia en caso de perturbación de la red de acuerdo con un ejemplo de la presente divulgación. En particular, el convertidor de potencia puede estar conectado a una turbina accionada por un generador, concretamente a un generador accionado por una turbina eólica.

40 **[0046]** Se ilustra un método de funcionamiento de un convertidor de potencia conectado a una red eléctrica. El convertidor de potencia comprende un convertidor del lado de la máquina, un enlace en corriente continua y un convertidor del lado de la línea. El método comprende la determinación de una anomalía de la red; la determinación de una primera consigna para la potencia activa de salida del convertidor del lado de la línea de acuerdo con la anomalía de la red; la determinación de una segunda consigna para la potencia activa de salida del convertidor del lado del rotor, en la que la segunda consigna es diferente de la primera consigna.

45 **[0047]** Durante una primera parte (lado izquierdo del gráfico), el convertidor funciona con normalidad. No hay ninguna anomalía específica en la red ni ninguna condición de la red que requiera una reducción de la potencia activa. En estas circunstancias, la única orden que recibe el convertidor de potencia es una orden relativa al convertidor del lado de la máquina. En este ejemplo concreto, se puede generar una potencia nominal P_{nom} . En el caso de una turbina eólica marina, P_{nom} puede ser, por ejemplo, de 6 MW, 10 MW o 12 MW.

50 **[0048]** Cuando se produce un aumento de frecuencia en la red en t_0 , pueden enviarse dos consignas en su lugar P_1 , P_2 . Puede activarse el "modo de control de frecuencia". En este modo de control de frecuencia, se determinan (por ejemplo, se calculan) por separado una primera consigna P_1 para el convertidor del lado de la red y una segunda consigna P_2 para el convertidor del lado de la máquina. Puede observarse en el gráfico que la consigna P_1 para el convertidor del lado de la red puede reducirse rápidamente para ajustarse a las condiciones de la red. La segunda consigna P_2 no puede reducirse rápidamente ya que podría dar lugar a condiciones inseguras para la turbina eólica, o a cargas elevadas debido a un exceso de velocidad del rotor de la turbina eólica. La rampa de la

segunda consigna puede ser lo más alta posible para evitar esos problemas. En un ejemplo, la rampa puede ser, por ejemplo, de 0,4 MW/s. En comparación, la rampa para la reducción de P_1 puede ser, por ejemplo, de dos a cuatro veces mayor y la potencia reducida puede alcanzarse en t_1 .

5 **[0049]** Puede verse en el gráfico que, mientras la segunda consigna de potencia P_2 sea superior a la primera consigna P_1 (hasta t_2), es necesario disipar energía. Esto puede hacerse pasando corriente eléctrica a través de una o más resistencias en el enlace de CC.

10 **[0050]** En t_2 , la segunda consigna es igual a la primera consigna. Esto significa que la potencia producida por el generador se inyecta en la red y no es necesario disipar más energía eléctrica. La potencia producida por el generador P_{red} puede ser menor que en el funcionamiento normal antes de la anomalía en la red.

15 **[0051]** En $t = t_3$, sigue habiendo una condición de red, pero el aumento de frecuencia es menor que al principio de la condición de red. Por lo tanto, la primera consigna del convertidor del lado de la máquina P_1 puede aumentarse y, al mismo tiempo, la segunda consigna P_2 también puede aumentarse. De este modo, se puede aumentar la potencia sin necesidad de disipar energía en las resistencias.

20 **[0052]** En $t = t_4$, la red vuelve a las condiciones normales. El modo de control de frecuencia puede desactivarse y reanudarse el funcionamiento normal. La primera consigna para el convertidor del lado de la red ya no se envía al convertidor. El convertidor del lado de la máquina se controla para aumentar gradualmente la potencia de salida para volver a las condiciones normales en t_5 .

25 **[0053]** La figura 6 ilustra esquemáticamente un método de funcionamiento de un convertidor de potencia 60 según otro ejemplo.

30 **[0054]** En este ejemplo particular (de forma similar a la disposición de la figura 4), la turbina eólica comprende un rotor de turbina eólica 5 con una pluralidad de palas, y un generador 10 conectado operativamente con el rotor de turbina eólica 5, y un convertidor de potencia 60 que conecta eléctricamente el generador 10 a una red eléctrica 80, en la que el convertidor de potencia 60 incluye un convertidor del lado de la línea 66, un convertidor del lado de la máquina 62 y un enlace de CC 64. La turbina eólica de este ejemplo comprende además un controlador 90. El controlador puede estar configurado para determinar una primera consigna de potencia 94 en respuesta a una condición de red y enviar la primera consigna de potencia 94 al convertidor del lado de la línea 66 y para determinar una segunda consigna de potencia 92 en respuesta a la condición de red y enviar la segunda consigna de potencia 92 al convertidor del lado de la máquina 62, en el que la segunda consigna de potencia 92 es superior a la primera consigna de potencia 94.

40 **[0055]** En este ejemplo concreto de la figura 6, el generador 10 puede ser un generador de inducción doblemente alimentado (DFIG). El generador 10 puede estar accionado por una caja de engranajes 9. Con esta topología específica del generador, el convertidor del lado de la máquina 62 está conectado eléctricamente con el rotor del generador. El estator del generador está acoplado directamente a la red eléctrica. "Directamente", tal como se utiliza aquí, significa que no hay ningún convertidor entre el estator y la red eléctrica. Según las circunstancias, puede disponerse un transformador entre la red 80 y el estator.

45 **[0056]** El funcionamiento de la turbina eólica y del convertidor puede ser, en general, el mismo que se ha descrito anteriormente con referencia a las figuras 4 y 5. Los métodos de funcionamiento pueden ser más eficaces en la configuración con un generador de imanes permanentes y un convertidor de plena potencia ("*full converter*") porque toda la potencia eléctrica pasa por el convertidor, a diferencia de la configuración DFIG de la figura 6.

50 **[0057]** Esta descripción escrita utiliza ejemplos para divulgar la invención, incluidas las realizaciones preferidas, y también para permitir a cualquier experto en la materia poner en práctica la invención. El alcance de la invención está definido por las reivindicaciones, y puede incluir otros ejemplos que se les ocurran a los expertos en la materia. Tales otros ejemplos se incluyen en el ámbito de las reivindicaciones si tienen elementos estructurales que no difieran del lenguaje literal de las reivindicaciones.

55

REIVINDICACIONES

1. Método de funcionamiento de una turbina eólica (1) que tiene un generador (10) y un convertidor de potencia (60) acoplado eléctricamente al generador (10), en el que el convertidor de potencia (60) comprende un convertidor del lado de la máquina (62) conectado al generador (10), un convertidor del lado de la línea (66) conectado a una red eléctrica (80), y un enlace de CC (64) a través del cual el convertidor del lado de la máquina (62) está conectado al convertidor del lado de la línea (66), comprendiendo el método:
- 5 determinar una primera consigna de potencia activa reducida (94) en respuesta a una condición operativa;
- 10 reducir la potencia activa del convertidor del lado de la línea (66) a la red eléctrica (80) en función de la primera consigna de potencia activa reducida (94);
- determinar una segunda consigna de potencia activa reducida (92) para el convertidor del lado de la máquina (62), siendo la segunda consigna de potencia reducida (92) superior a la primera consigna de potencia activa reducida (94);
- 15 reducir un par aplicado al generador (10) por el convertidor del lado de la máquina (62) de forma que el generador (10) produzca una potencia activa acorde con la segunda consigna de potencia activa reducida (92); y
- disipar un excedente de potencia activa del generador (10) en uno o varios elementos resistivos (68) en el enlace de CC (64) mientras la segunda consigna de potencia activa reducida sea superior a la primera consigna de potencia activa reducida.
- 20
2. El método según la reivindicación 1, en el que la condición operativa es una condición de la red eléctrica.
3. El método según la reivindicación 2, en el que la condición operativa de la red eléctrica es un aumento de la frecuencia de la red.
- 25
4. El método según la reivindicación 2, en el que la condición operativa de la red eléctrica es una caída de tensión.
5. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 4, en el que la segunda consigna de potencia activa reducida (92) se reduce según una tasa de reducción máxima.
- 30
6. El método según la reivindicación 5, en el que la tasa de reducción máxima se determina para evitar un exceso de velocidad de un rotor (5) de la turbina eólica (1).
- 35
7. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 6, en el que la primera consigna de potencia activa reducida (92) es recibida por la turbina eólica (1) desde un operador de red.
8. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 6, en el que la primera consigna de potencia activa reducida (92) es determinada por la turbina eólica (1) en respuesta a una variable medida de la red eléctrica.
- 40
9. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 8, que comprende además pitchear las palas (7) del rotor de una turbina eólica (5) para reducir la velocidad de rotación del rotor de la turbina eólica (5).
10. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 9, que comprende además supervisar un funcionamiento de los elementos resistivos (68) para evitar que los elementos resistivos (68) alcancen un límite operativo, y disipar menos energía en los elementos resistivos (68) si uno o más de los elementos resistivos (68) alcanzan un límite operativo.
- 45
11. El método según cualquiera de las reivindicaciones 2 - 10, que comprende además aumentar la potencia de salida del generador (10) una vez resuelta la condición de la red eléctrica (80).
- 50
12. Una turbina eólica (1) que comprende:
- un rotor de turbina eólica (5) con una pluralidad de palas (7),
- un generador (10) conectado operativamente con el rotor de la turbina eólica (5),
- 55 un convertidor de potencia (60) que conecta eléctricamente el generador (10) a una red eléctrica (80), en el que el convertidor de potencia (60) incluye un convertidor del lado de la línea (66) conectado a la red eléctrica (80), un convertidor del lado de la máquina (62) conectado al generador (10) y un enlace de CC (64) a través del cual el convertidor del lado de la máquina (62) está conectado al convertidor del lado de la línea (66), y
- 60 un controlador (90), en el que
- el controlador (90) está configurado para determinar una primera consigna de potencia activa reducida (94) en respuesta a una condición de red y enviar la primera consigna de potencia activa reducida (94) al convertidor del lado de la línea (66) y para determinar una segunda consigna de potencia activa reducida (92) en respuesta a la condición de red y enviar la segunda consigna de potencia activa reducida (92) al convertidor del lado de la máquina (62), en el que
- 65

ES 2 974 275 T3

- 5 la segunda consigna de potencia reducida (92) es superior a la primera consigna de potencia activa reducida (94), y en el que, el enlace de CC comprende uno o más elementos resistivos (68), y el convertidor de potencia (60) está configurado para disipar un excedente de potencia del generador (10) en los elementos resistivos (68) mientras la segunda consigna de potencia activa reducida sea superior a la primera consigna de potencia activa reducida.
- 10 13. La turbina eólica según la reivindicación 12, en la que el regulador está configurado para reducir la segunda consigna de potencia activa (92) a 0,4 MW/s.
- 15 14. La turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 12 - 13, en la que el generador (10) es un generador de imanes permanentes, y el convertidor de potencia es un convertidor de plena potencia.

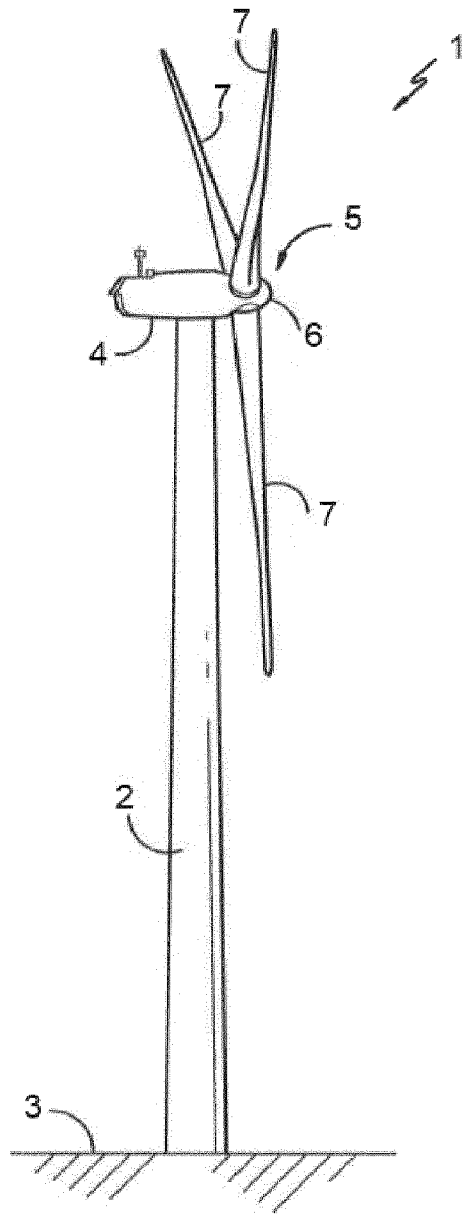


Figura 1

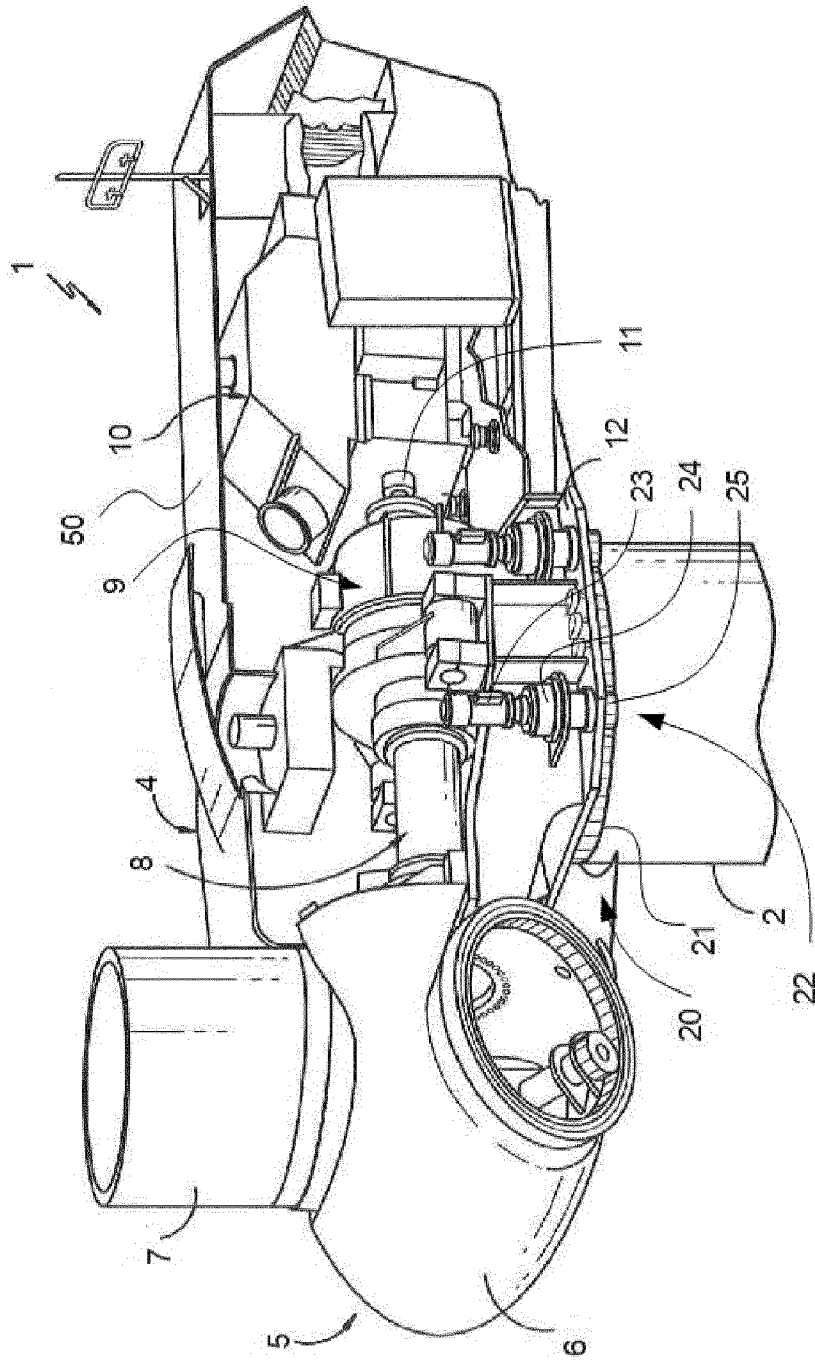


Figura 2

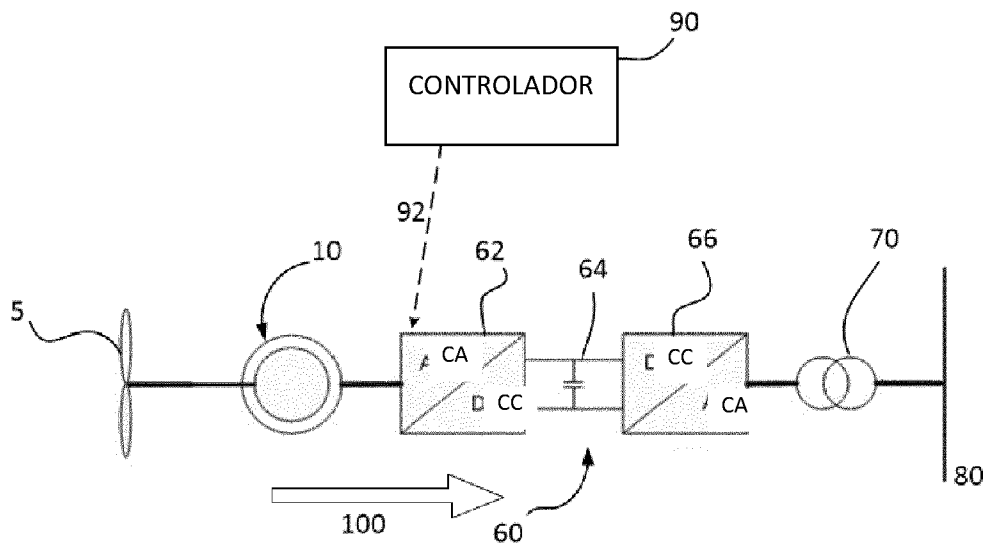


Figura 3

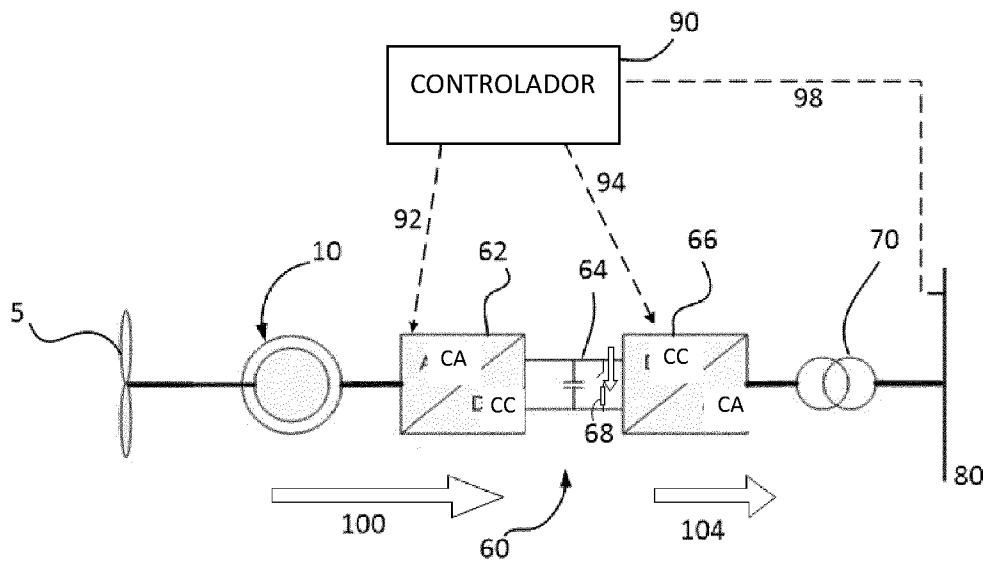


Figura 4

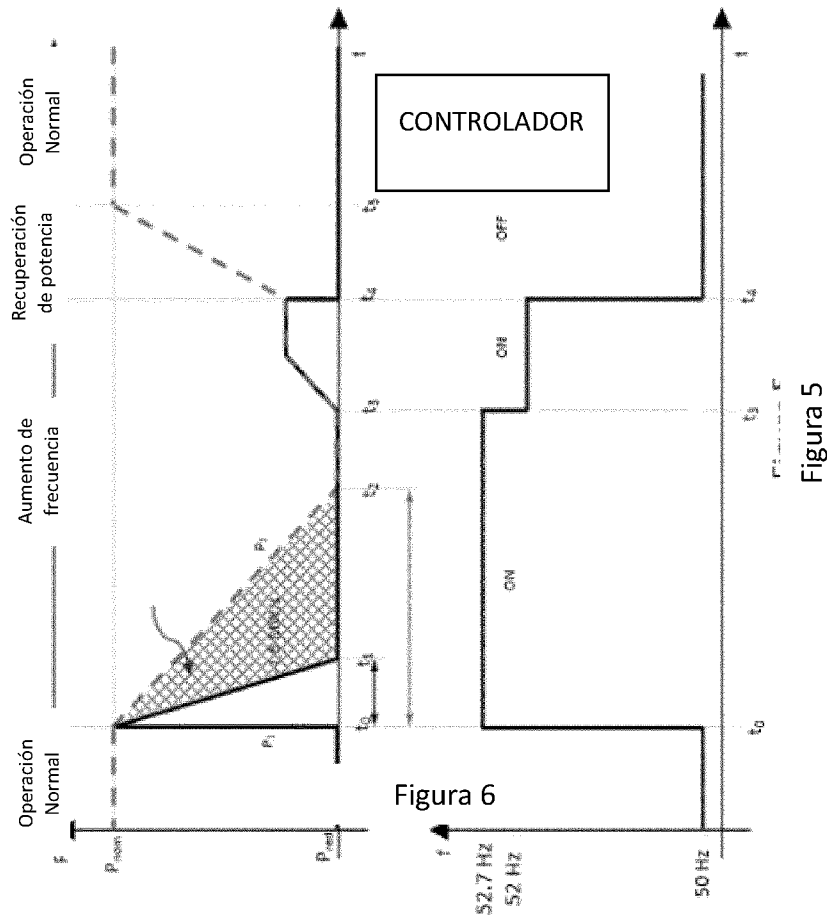


Figura 6

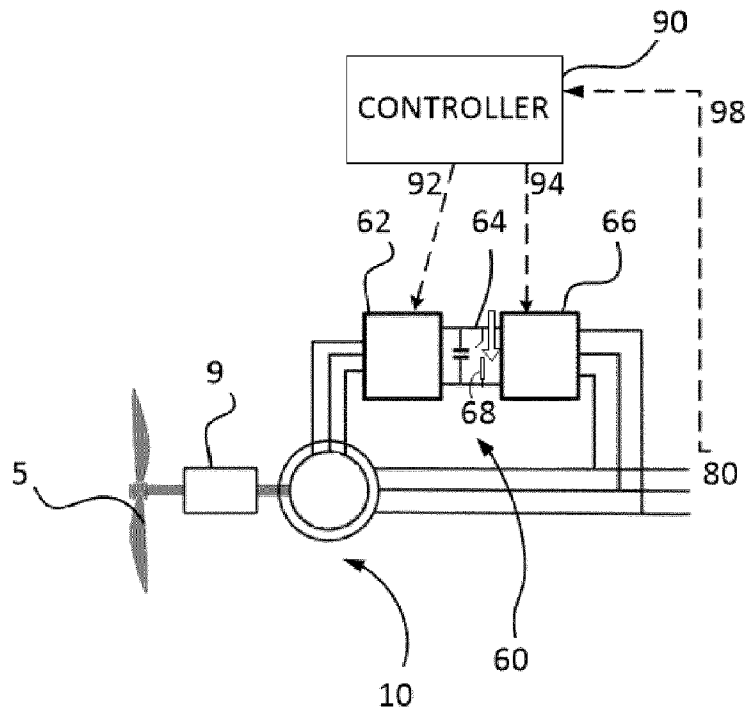


Figure 6