

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 780 183**

51 Int. Cl.:

H02J 3/38	(2006.01)
F03D 7/02	(2006.01)
F03D 7/04	(2006.01)
H02P 9/08	(2006.01)
F03D 9/25	(2006.01)
H02P 29/024	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.12.2012 PCT/DK2012/050503**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.07.2013 WO13097867**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.12.2012 E 12810064 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.03.2020 EP 2798201**

54 Título: **Una turbina eólica y un método de funcionamiento de la misma**

30 Prioridad:

29.12.2011 DK 201170766
30.12.2011 US 201161581656 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
24.08.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

GUPTA, AMIT KUMAR;
THIA, HOCK HENG;
DOAN, DUY DUC y
ANDERSEN, GERT KARMISHOLT

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 780 183 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Una turbina eólica y un método de funcionamiento de la misma

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere en general a una turbina eólica y, en particular, a un método de funcionamiento de una turbina eólica cuando se recibe una solicitud de parada.

10 **Antecedentes de la invención**

Una turbina eólica es un sistema de conversión de energía que convierte la energía cinética del viento en energía eléctrica para redes eléctricas. Concretamente, el viento incidente sobre las palas del generador de la turbina eólica (WTG) hace que un rotor de la WTG gire. La energía mecánica del rotor en rotación se convierte a su vez en energía eléctrica mediante un generador eléctrico. Cuando fluctúa la velocidad del viento, varía la frecuencia de la tensión/corriente de CA (corriente alterna) generada por el generador. Por lo tanto, es común que una turbina eólica tenga un convertidor de potencia para convertir la tensión/corriente de CA de frecuencia variable del generador en una tensión/corriente de CA de frecuencia fija adecuada para conectarse/transmitirse a redes de transmisión/distribución de CA o redes eléctricas a través de un transformador.

Un convertidor de potencia de plena capacidad basado en una turbina eólica incluye normalmente un convertidor de potencia que tiene un convertidor del lado del generador acoplado a un convertidor del lado de la red a través de un enlace en corriente continua (CC). El convertidor del lado del generador regula la potencia del generador. Esta potencia pasa a través del enlace de CC y finalmente se suministra a la red a través del convertidor del lado de la red. El convertidor del lado de la red regula la potencia en el lado de la red. El enlace de CC es una etapa intermedia en el convertidor de potencia y se mantiene con una tensión de referencia del enlace de CC constante durante el funcionamiento de la turbina eólica. Esta tensión de referencia puede ser 1100 voltios, por ejemplo. Normalmente la tensión del enlace de CC de referencia se permite que varíe en un intervalo de tensión dado por ejemplo 1050 a 1150 V. Esto mismo es verdad para sistemas de generador de inducción de doble alimentación (DFIG) en los que solo una parte de la potencia del generador pasa través del convertidor de potencia.

Puede solicitarse la parada de una turbina eólica, por ejemplo debido a una falta la red, fallo de un componente en la turbina/granja eólica o ser solicitado por el operador de la red. Durante una parada de turbina, los controles del convertidor del lado del generador y del convertidor del lado de la red se inhabilitan y los interruptores respectivos entre el generador y el convertidor de potencia y entre el convertidor de potencia y la red se abren. En este momento, la tensión en el enlace de CC se deja decaer naturalmente. El tiempo en el que decae la tensión del enlace de CC depende de la capacidad y resistencia del enlace de CC. Solo es seguro que un técnico trabaje (por ejemplo repare el convertidor defectuoso o realice el mantenimiento) en el convertidor de potencia/turbina cuando la tensión en el enlace de CC ha decaído a 50 voltios o por debajo. Normalmente, la resistencia por omisión proporcionada a través del enlace de CC es significativamente alta, por ejemplo en el intervalo de 10 k ohmios y por ello el tiempo necesario para que la tensión del enlace de CC decaiga a 50 voltios puede llevar unos pocos minutos. Con la tendencia de incrementar el tamaño de turbina, el tiempo tomado por la tensión del enlace de CC en decaer a 50 voltios también se incrementa en consecuencia.

Incluso si se permite que la tensión del enlace de CC decaiga naturalmente (por ejemplo después de 5 minutos), no hay garantía de que la tensión haya alcanzado un nivel que sea seguro para que trabaje el técnico.

Por lo tanto es deseable proporcionar una rampa de descenso rápido de la tensión del enlace de CC durante la parada de una turbina eólica.

Un planteamiento a esto se divulga en el documento US2008/0150282 en el que en una desconexión de la turbina eólica, la potencia generada puede cortocircuitarse a través de tres impedancias mediante interruptores que comprenden dos tiristores antiparalelo por fase.

55 **Sumario de la invención**

Según un primer aspecto de la invención, se proporciona una turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1.

De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, se proporciona un método de funcionamiento de una turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 4.

Breve descripción de los dibujos

La invención se entenderá mejor con referencia a la descripción detallada cuando se toma en consideración junto con los ejemplos no limitativos y los dibujos adjuntos.

La Figura 1 muestra una estructura general de una turbina eólica.

La Figura 2 muestra una disposición de sistema eléctrico de la turbina eólica con una unidad de disipación de energía.

La Figura 3 muestra un diagrama de flujo de un método para el funcionamiento de la turbina eólica durante la parada de acuerdo con una realización.

5 La Figura 4 muestra un gráfico que ilustra el decaimiento de la tensión del enlace de CC respecto al tiempo cuando la turbina está en un proceso de parada de acuerdo con el método de la Fig. 3.

La Figura 5 es una comparación del tiempo de decaimiento de la tensión del enlace de CC de acuerdo con una realización y de acuerdo con la técnica anterior.

10 Descripción detallada de la invención

A continuación, se hace referencia a realizaciones de la invención. Sin embargo, se debe entender que la invención no está limitada a las realizaciones específicas descritas. Por el contrario, cualquier combinación de las siguientes características y elementos, ya sea relacionada con diferentes realizaciones o no, se contempla para implementar y practicar la invención.

15

Asimismo, en diversas realizaciones la invención proporciona numerosas ventajas con respecto a la técnica anterior. Sin embargo, si bien las realizaciones de la invención pueden lograr ventajas frente a otras posibles soluciones y/o frente a la técnica anterior, se alcance o no una ventaja particular mediante una realización dada, esta no constituye una limitación de la invención. Por tanto, los siguientes aspectos, características, realizaciones y ventajas son meramente ilustrativos y no deben considerarse elementos o limitaciones de las reivindicaciones adjuntas salvo cuando así se indique explícitamente en una reivindicación o reivindicaciones. Asimismo, la referencia a "la invención" no deberá interpretarse como una generalización de ninguna materia objeto inventiva divulgada en el presente documento y no deberá considerarse como un elemento o limitación de las reivindicaciones adjuntas, salvo cuando así se indique explícitamente en una reivindicación o reivindicaciones.

20
25

De acuerdo con el primer aspecto de la invención, se proporciona una turbina eólica. La turbina eólica comprende un generador, un convertidor de potencia para convertir al menos una parte de la potencia eléctrica generada por el generador, una unidad de disipación de energía y un controlador. El convertidor de potencia comprende un convertidor del lado del generador, un convertidor del lado de la red y un enlace de CC (corriente continua) entre ellos. La unidad de disipación de energía se acopla funcionalmente al enlace de CC. El controlador está adaptado para activar la unidad de disipación de energía para disipar la energía del enlace de CC en respuesta a una solicitud de parada.

30

Un generador es una máquina electromecánica capaz de convertir la energía mecánica en energía eléctrica. El generador usado en una turbina eólica podría ser cualquier tipo de generador incluyendo, pero sin limitación, un generador de imanes permanentes, un generador de inducción de doble alimentación y un generador de inducción de jaula de ardilla. La potencia eléctrica del generador tiene una frecuencia variable debido a la velocidad de rotación variable del rotor. Una parte o toda la energía eléctrica o potencia generada por el generador se convierte por el convertidor de potencia en una potencia eléctrica de frecuencia fija adecuada para transmitirse o conectarse a una red eléctrica o a una carga.

35
40

La unidad de disipación de energía se acopla al enlace de CC del convertidor de potencia. La unidad de disipación de energía puede conocerse también como un circuito chopper de CC y puede disipar la energía en el enlace de CC.

45 Un controlador está adaptado para activar la unidad de disipación de energía para disipar la energía del enlace de CC en respuesta a la solicitud de parada. La solicitud o comando de parada puede generarse por, por ejemplo, un controlador de seguridad debido a eventos que requieran que se pare la turbina. Estos eventos incluyen, pero sin limitación, un fallo de un componente en la turbina o una falta de red. Puede solicitarse también la parada de la turbina por una persona tal como un técnico un operador de la red. La activación de la unidad de disipación de energía incluye el establecimiento de una conexión eléctrica entre la unidad de disipación de energía y el enlace de CC, permitiendo de ese modo que la energía almacenada en el enlace de CC circule a la unidad de disipación de energía para ser disipada.

50

Mediante la activación de la unidad de disipación de energía durante la parada de la turbina, se reduce activamente la tensión en el enlace de CC en lugar de dejarlo decaer o descargar naturalmente. Por consiguiente, el nivel de tensión en el enlace de CC se desciende a un valor cerca de cero con una tasa muy rápida. Esto reduce grandemente el tiempo de espera antes de que un técnico pueda trabajar en la turbina y mejora también la seguridad del técnico.

55

En ciertas configuraciones de la turbina eólica, puede haber una pluralidad de convertidores de potencia conectados en paralelo. En dichas configuraciones, los enlaces de CC de cada convertidor de potencia pueden conectarse en paralelo entre sí. La tasa de decaimiento de la tensión en cada enlace de CC puede variar y puede haber tensiones residuales en uno de los enlaces de CC si la tensión de ese enlace de CC no decae a un nivel suficientemente bajo. Cuando los enlaces de CC se conectan de nuevo después de la descarga, puede haber extracorrientes entre los enlaces de CC debido a la tensión residual y esto puede conducir a daños en los componentes del convertidor de potencia especialmente los componentes usados para conectar los enlaces de CC de los convertidores de potencia en paralelo.

60
65

De acuerdo con el primer aspecto de la invención, este problema se elimina cuando la tensión en cada enlace de CC se desciende a cerca de cero por la unidad de disipación de energía. Por consiguiente, no hay tensión residual en ninguno de los enlaces de CC y por ello no hay extracorrientes entre los enlaces de CC cuando los enlaces de CC se conectan de nuevo.

De acuerdo con una realización, la turbina eólica comprende además un interruptor para desconectar la turbina eólica de una red eléctrica y el controlador está adaptado para abrir el interruptor antes de activar la unidad de disipación de energía en respuesta a la solicitud de parada.

La apertura del interruptor introduce un circuito abierto entre la turbina eólica y la red eléctrica, desconectando de ese modo la turbina eólica de la red eléctrica. Al desconectar la turbina eólica de la red, no se extrae potencia de la red eléctrica cuando la unidad de disipación de energía está disipando energía del enlace de CC.

De acuerdo con una realización, el controlador está adaptado para controlar el convertidor del lado de la red para determinar el funcionamiento del convertidor del lado de la red previamente a la apertura del interruptor en respuesta a la solicitud de parada. El convertidor del lado de la red se controla mediante señales de PWM (modulación del ancho de pulsos). Concretamente, las señales de PWM controlan la conmutación de los interruptores de semiconductor (por ejemplo transistores) del convertidor del lado de la red y por ello el funcionamiento del convertidor del lado de la red. En una realización adicional, el controlador detiene el funcionamiento del convertidor del lado de la red mediante la inhibición de las señales de PWM.

De acuerdo con una realización, el controlador está adaptado para disminuir una tensión en el enlace de CC a un valor predeterminado previamente a detener el funcionamiento del convertidor del lado de la red. Cuando se detiene el funcionamiento del convertidor del lado de la red a un valor predeterminado (que es más bajo que el nivel de tensión del enlace de CC original), se reducen los transitorios de conmutación.

De acuerdo con una realización, la unidad de disipación de energía comprende al menos un interruptor y al menos una resistencia. La unidad de disipación de energía se activa mediante el cierre del interruptor. El interruptor puede ser un dispositivo semiconductor de potencia tal como un Transistor bipolar de puerta integrada (IGBT) que puede encenderse o apagarse mediante una tensión de puerta adecuada a través de un controlador de puerta. Son posibles otros dispositivos o interruptores semiconductores de potencia. En realizaciones alternativas, la unidad de disipación de energía incluye al menos un interruptor y al menos una de entre una resistencia, un inductor o un condensador.

De acuerdo con una realización adicional, la al menos una resistencia comprende un banco de resistencias.

De acuerdo con el segundo aspecto de la invención, se proporciona un método de funcionamiento de una turbina eólica. La turbina eólica comprende un convertidor de potencia para convertir al menos una parte de la potencia eléctrica generada por un generador y una unidad de disipación de energía que se acopla funcionalmente a un enlace de CC (corriente continua) del convertidor de potencia. El método comprende recibir una solicitud para detener la turbina eólica y activar la unidad de disipación de energía para disipar energía del enlace de CC en respuesta a la solicitud de parada.

De acuerdo con una realización, el método comprende además abrir un interruptor dispuesto entre la turbina eólica y una red eléctrica antes de activar la unidad de disipación de energía en respuesta a la solicitud de parada.

De acuerdo con una realización, el método comprende además controlar el convertidor de potencia para detener el funcionamiento del convertidor de potencia previamente a la apertura del interruptor en respuesta a la solicitud de parada.

De acuerdo con una realización, el método comprende además controlar el convertidor de potencia para disminuir una tensión en el enlace de CC a un valor predeterminado previamente a detener el funcionamiento del convertidor de potencia.

Lo que sigue es una descripción detallada de las realizaciones de la invención descritas en los dibujos adjuntos. Las realizaciones son ejemplos y contienen detalles suficientes como para comunicar claramente la invención. Sin embargo, no se pretende que la cantidad de detalles ofrecidos limiten las variaciones anticipadas de las realizaciones; sino que por el contrario, la intención es cubrir todas las modificaciones, equivalentes, y alternativas sin desviarse del ámbito de la invención tal y como está definida por las reivindicaciones adjuntas.

La Fig. 1 ilustra una turbina eólica 100 de ejemplo de acuerdo con una realización. Como se ilustra en la Fig.1, la turbina eólica 100 incluye una torre 110, una góndola 120 y un rotor 130. En una realización, la turbina eólica 100 puede ser una turbina eólica terrestre. Sin embargo, las realizaciones de la invención no están limitadas únicamente a las turbinas eólicas terrestres. En realizaciones alternativas, la turbina eólica 100 puede ser una turbina eólica no terrestre situada sobre un cuerpo de agua, tal como, por ejemplo, un lago, un mar o similares. La torre 110 de dicha turbina eólica no terrestre está instalada bien sobre el lecho marino o bien sobre plataformas estabilizadas sobre o por

encima del nivel del mar.

La torre 110 de la turbina eólica 100 puede configurarse para elevar la góndola 120 y el rotor 130 a una altura donde un flujo de aire fuerte, menos turbulento y generalmente sin obstrucciones pueda ser recibido por el rotor 130. La altura de la torre 110 puede tener cualquier altura razonable y debería tener en consideración la longitud de las palas de la turbina eólica que se extienden desde el rotor 130. La torre 110 puede fabricarse con cualquier tipo de material, por ejemplo, acero, hormigón o similares. En algunas realizaciones, la torre 110 puede estar hecha de cualquier material monolítico. Sin embargo, en realizaciones alternativas, la torre 110 puede incluir una pluralidad de secciones, por ejemplo, dos o más secciones tubulares de acero 111 y 112, como se ilustra en la Fig. 1. En algunas realizaciones de la invención, la torre 110 puede ser una torre en celosía. Por consiguiente, la torre 110 puede incluir perfiles de acero soldados.

El rotor 130 puede incluir un buje de rotor (en adelante denominado simplemente "bujes") 132 y al menos una pala 140 (tres de tales palas 140 se muestran en la Fig. 1). El buje de rotor 132 puede estar configurado para acoplar la al menos una pala 140 a un árbol (no mostrado). En una realización, las palas 140 pueden tener un perfil aerodinámico de modo que, a velocidades de viento predefinidas, las palas 140 experimenten una elevación, haciendo así que las palas roten radialmente en torno al buje. El buje 140 comprende además mecanismos (no mostrados) para ajustar el paso de la pala 140 para aumentar o reducir la cantidad de energía eólica capturada por la pala 140. El paso ajusta el ángulo al que el viento golpea la pala 140. Es posible también que el paso de las palas 140 no pueda ajustarse. En este caso, el perfil aerodinámico de las palas 140 se diseña de tal manera que el empuje experimentado por las palas se pierde cuando la velocidad del viento excede un cierto umbral, provocando que la turbina entre en pérdida.

El buje 132 normalmente rota alrededor de un eje sustancialmente horizontal a lo largo de un árbol de accionamiento (no mostrado) que se extiende desde el buje 132 hasta la góndola 120. El árbol de accionamiento habitualmente está acoplado a uno o más componentes de la góndola 120, que están configurados para convertir la energía de rotación del árbol en energía eléctrica.

Aunque la turbina eólica 100 mostrada en la Fig. 1 tiene tres palas 140, debería observarse que una turbina eólica puede tener diferente número de palas. Es común encontrar turbinas eólicas que tengan dos a cuatro palas. La turbina eólica 100 mostrada en la Fig. 1 es una Turbina eólica de eje horizontal (HAWT, por sus siglas en inglés) dado que el rotor 130 rota alrededor de un eje horizontal. Cabe destacar que el rotor 130 puede rotar alrededor de un eje vertical. Dicha turbina eólica cuyo rotor rota alrededor de un eje vertical se conoce como Turbina eólica de eje vertical (VAWT, por sus siglas en inglés). Las realizaciones descritas en lo sucesivo no se limitan a HAWT de 3 palas. Pueden implementarse tanto en HAWT como en VAWT y teniendo cualquier número de palas 140 en el rotor 130.

La Fig. 2 muestra un sistema eléctrico de la turbina eólica que tiene una unidad de disipación de energía o un circuito chopper 205 de acuerdo con una realización. El sistema eléctrico incluye un generador 201, un convertidor de potencia 202 y un transformador principal 203. El sistema eléctrico se conecta a una red eléctrica 207. El convertidor de potencia 202 incluye un convertidor del lado del generador 210 y un convertidor del lado de la red 211 conectados a través de un enlace en corriente continua (CC) 212. El enlace en CC 212 incluye un condensador 213 del enlace de CC. El circuito de disipación de energía 205 se conecta al enlace de CC 212. El sistema eléctrico incluye filtros del lado de la red 208 para filtrar armónicos de conmutación. El sistema eléctrico incluye un interruptor del lado del generador 215 entre el generador 201 y el convertidor del lado del generador 210 y un interruptor del lado de red 216 entre el filtro de armónicos de la red 208 y el transformador 203. El interruptor del lado de red 216 puede colocarse en otras localizaciones, por ejemplo entre el convertidor del lado de la red 211 y el filtro de armónicos de red 208.

El generador 201 convierte la energía o potencia mecánica en energía o potencia eléctrica que tiene una tensión y corriente en CA (colectivamente denominadas como "señales de CA") y proporciona las señales de CA generadas al convertidor del lado del generador 210. Las señales de CA desde el generador 201 tienen una frecuencia variable, debido a un viento variable. El convertidor del lado del generador 210 convierte o rectifica las señales de CA en tensión y corriente de CC (colectivamente denominadas como "señales de CC"). El convertidor del lado de la red 211 convierte las señales de CC desde el enlace de CC 212 en señales de CA de frecuencia fija para la red eléctrica 207. La tensión de las señales de CA de frecuencia fija a la salida del convertidor del lado de la red 211 se eleva por el transformador principal 203 a un nivel adecuado para ser recibido y transmitido a la red eléctrica 207. El funcionamiento del convertidor del lado del generador 210 y del convertidor del lado de la red 211 es controlado por un controlador 220.

El circuito de disipación de energía 205 se conecta al enlace de CC 212 y está adaptado para disipar la energía almacenada en el enlace de CC 212. El circuito de disipación de energía 205 incluye al menos un interruptor y una pluralidad de resistencias del chopper (no mostradas). El funcionamiento del circuito de disipación de energía 205 se controla mediante la activación del interruptor. Cuando se cierra el interruptor, la energía almacenada en el enlace de CC 212 es disipada por la resistencia del chopper. La activación del interruptor y por ello el funcionamiento del circuito de disipación de energía 205 está controlado por el controlador 220.

El convertidor del lado del generador 210 y el convertidor del lado de la red 211 comprende una pluralidad de interruptores de semiconductor de potencia tales como IGBT (Transistores bipolares de puerta aislada) y sus funcionamientos son controlados por señales de conmutación (también conocidas como señales de PWM) a una

frecuencia de conmutación específica. Las señales de conmutación para el control del funcionamiento de los convertidores 210, 211 son generadas por el controlador 220. Mediante el control de las señales de conmutación, el controlador 220 es por ello capaz de controlar el funcionamiento del convertidor de potencia y regular las señales de CA a la salida del convertidor del lado de la red 211.

5 Debería observarse que la Fig. 2 es solamente una ilustración de un sistema eléctrico en una turbina eólica en la que solo se muestran componentes comunes. El sistema eléctrico puede incluir otros componentes tales como filtros del lado del generador, sensores, disposición de precarga, etc. En otra realización, puede usarse un generador de inducción de doble alimentación (DFIG) en el que los devanados del estator del generador se conectan a la red a través del transformador de turbina y los devanados del rotor del generador se conectan al transformador de turbina a través del sistema de convertidor de potencia. El circuito de disipación de energía 205 puede tener solamente una resistencia en lugar de una pluralidad de resistencias. El circuito de disipación de energía 205 puede incluir también otras unidades de disipación adecuadas para disipar potencia.

15 La Fig. 3 muestra un diagrama de flujo de un método para el funcionamiento de la turbina eólica durante la parada de acuerdo con una realización. La etapa 300 incluye recibir una solicitud para detener la turbina. Puede solicitarse la parada de la turbina, por ejemplo debido a un fallo en un componente de la turbina, una falta en la red o ser solicitada por un propietario de la turbina. Esta solicitud de parada es recibida por el controlador y el controlador inicia el procedimiento de parada de acuerdo con la realización.

20 La etapa 310 incluye la disminución de la tensión en el enlace de CC a un nivel predeterminado. La tensión en el enlace de CC puede estar, por ejemplo, en aproximadamente 1100 V lo que puede ser inseguro para inhabilitar los convertidores. La disminución de la tensión del enlace de CC al nivel predeterminado es para facilitar una inhabilitación segura del convertidor del lado de la red evitando transitorios de conmutación.

25 El nivel de tensión del enlace de CC, $V_{L_inhabilitación_PWM}$, puede determinarse como $\sqrt{2} * V_{Línea}$, en el que $V_{Línea}$ es la tensión de línea real/nominal (es decir la tensión a la salida del convertidor del lado de la red 211 o en el terminal de baja tensión de la turbina). El nivel de tensión del enlace de CC, $V_{L_inhabilitación_PWM}$, puede representarse más precisamente como $k * \sqrt{2} * V_{Línea}$ en la que $k = 1,00 - 1,05$ por ejemplo. El valor de k podría cambiar en otras situaciones.

30 La etapa 320 incluye la parada del funcionamiento del convertidor de potencia después de que haya disminuido la tensión en el enlace de CC al nivel predeterminado. El funcionamiento del convertidor del lado de la red 211 se detiene por el controlador 220 mediante la inhabilitación de la señal de PWM. La etapa 330 incluye la apertura del interruptor del lado de red entre el convertidor de potencia y la red eléctrica después de que se haya detenido el funcionamiento del convertidor del lado de la red, es decir la señal de PWM para el convertidor del lado de la red 211 se ha inhabilitado.

35 La etapa 340 incluye activar la unidad de disipación de energía para disipar la energía del enlace de CC. En una realización, el interruptor de la unidad de disipación de energía se cierra y se disipa la energía a través de las resistencias de la unidad de disipación de energía. En una realización adicional, el interruptor de la unidad de disipación de energía se conecta totalmente (es decir para todo el periodo) para disipar la energía almacenada en el enlace de CC. En una realización alternativa, el funcionamiento del interruptor de la unidad de disipación de energía se controla para disipar una cantidad predefinida de energía del enlace de CC. El interruptor puede conectarse y desconectarse basándose en una señal que tenga una relación de trabajo predeterminada.

40 La Fig. 4 es un gráfico 400 que ilustra el decaimiento de la tensión del enlace de CC respecto al tiempo cuando la turbina está en el proceso de parada de acuerdo con el procedimiento de la Fig. 3. En aproximadamente $t = 4,05$ s, se recibe una solicitud de parada y la tensión en el enlace de CC se disminuye al valor predeterminado en aproximadamente $t = 4,45$ s como se muestra en la zona 401. En aproximadamente $t = 4,45$ s, el interruptor del lado de la red se abre y la unidad de disipación de energía se activa para disipar la energía del enlace de CC en aproximadamente $t = 4,65$ s. Durante el tiempo en el que el interruptor de red está abierto y antes de que se active la unidad de disipación de energía, la tensión del enlace de CC permanece sustancialmente constante como se muestra en la zona 402. Una vez se activa la unidad de disipación de energía, la tensión en el enlace de CC cae a cerca de un valor cero en aproximadamente $t = 4,7$ s como se muestra en la zona 403.

45 Puede verse en la Fig. 4 que de acuerdo con el método de la realización, la tensión del enlace de CC disminuye en rampa desde aproximadamente 950 V a cerca de 0 V en aproximadamente 0,05 s. Este valor cercano a 0 V va por debajo de 50 V que se considera es seguro para que un técnico trabaje. El tiempo total tomado para la disminución de la tensión en el enlace de CC al nivel predeterminado, abriendo el interruptor del lado de red y reduciendo adicionalmente la tensión en el enlace de CC al nivel predeterminado de cerca de cero es de aproximadamente 0,65 s. Esto es mucho más rápido comparado con los pocos minutos necesarios para que la tensión del enlace de CC decaiga naturalmente de acuerdo con la técnica anterior. Adicionalmente sin control activo del decaimiento o disminución de la tensión en el enlace de CC como se proporciona en la presente realización, el técnico no sabrá si la tensión del enlace de CC ha decaído realmente a un nivel seguro para trabajar. Por lo tanto las realizaciones de la invención proporcionan una forma rápida y segura para asegurar que la tensión del enlace de CC ha disminuido al nivel seguro.

La Fig. 5 es una comparación del tiempo de decaimiento de la tensión del enlace de CC de acuerdo con una realización y de acuerdo con la técnica anterior. El gráfico 501 muestra la tensión del enlace de CC de acuerdo con la realización. El gráfico 502 muestra la tensión del enlace de CC de acuerdo con la técnica anterior. En aproximadamente $t = 15$ s, se da una solicitud de parada. Puede verse que la tensión del enlace de CC de acuerdo con la realización ha disminuido a cerca de 0 V en aproximadamente $t = 15,5$ s, mientras que la tensión del enlace de CC de acuerdo con la técnica anterior solo ha disminuido a cerca de 0 V después de $t = 130$ s.

- 5
- 10
- Cabe destacar que las realizaciones descritas anteriormente son posibles ejemplos de implementación, expuestos meramente para una clara comprensión de los principios de la invención. El experto en la materia puede hacer muchas variaciones y modificaciones en la realización o realizaciones descritas anteriormente, dichas variaciones y modificaciones se pretende estén incluidas en el presente documento en tanto caen dentro del ámbito de las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Una turbina eólica (100) que comprende:
un generador (201);
- 5 un convertidor de potencia (202) para convertir al menos una parte de la potencia eléctrica generada por el generador (201), comprendiendo el convertidor de potencia (202) un convertidor del lado del generador (210), un convertidor del lado de la red (211) y un enlace de corriente continua, CC (212) entre ellos;
una unidad de disipación de energía (205) funcionalmente acoplada al enlace de CC (212);
un controlador (220); y
- 10 un interruptor (216) para desconectar la turbina eólica (100) de una red eléctrica (207) y dispuesto entre la turbina eólica (100) y la red eléctrica (207),
en el que en respuesta a una solicitud de parada, el controlador (220) está adaptado para:
reducir una tensión del enlace de CC (212) a un valor predeterminado;
detener el funcionamiento del convertidor del lado de la red (211) cuando la tensión en el enlace de CC (212) ha
- 15 alcanzado al valor predeterminado y previamente a la apertura del interruptor (216);
abrir el interruptor (216) antes de activar la unidad de disipación de energía (205); y
activar la unidad de disipación de energía (205) para disipar la energía del enlace de CC (212).
- 20 2. La turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la unidad de disipación de energía (205) comprende al menos un interruptor y al menos una resistencia.
3. La turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 2, en el que la unidad de disipación de energía (205) comprende un banco de resistencias.
- 25 4. Un método de funcionamiento de una turbina eólica (100), comprendiendo la turbina eólica un convertidor de potencia (202) para convertir al menos una parte de la potencia eléctrica generada por un generador (201), comprendiendo el convertidor de potencia (202) un convertidor del lado del generador (210), un convertidor del lado de la red (211) y un enlace de corriente continua, CC (212) entre ellos; comprendiendo adicionalmente la turbina eólica una unidad de disipación de energía (205) que se acopla operativamente al enlace de CC (212) del convertidor
- 30 de potencia (202) y un interruptor (216) para desconectar la turbina eólica de una red eléctrica (207) y dispuesto entre la turbina eólica (100) y la red eléctrica (207), comprendiendo el método:
recibir (300) una solicitud para parar la turbina eólica y, en respuesta a la recepción de la solicitud de parada, realizar las siguientes etapas:
controlar (310) el convertidor de potencia (202) para reducir una tensión en el enlace de CC (212) a un valor
- 35 predeterminado;
controlar (320) el convertidor de potencia (202) para detener el funcionamiento del convertidor del lado de la red (211) cuando la tensión en el enlace de CC (212) ha alcanzado el valor predeterminado y previamente a la apertura del interruptor (216);
abrir (330) el interruptor (216) antes de activar la unidad de disipación de energía (205); y
- 40 activar (340) la unidad de disipación de energía (205) para disipar la energía del enlace de CC (212).

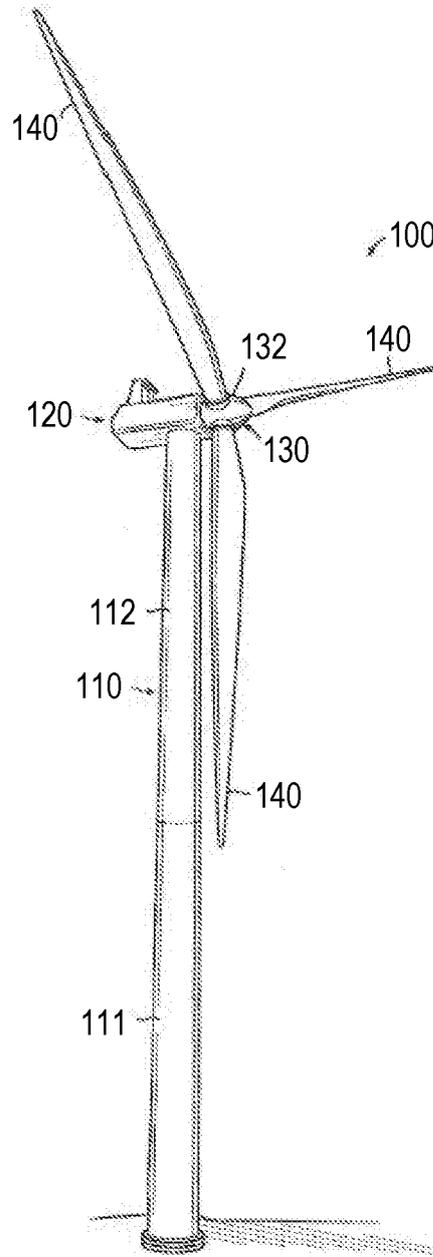


Fig. 1

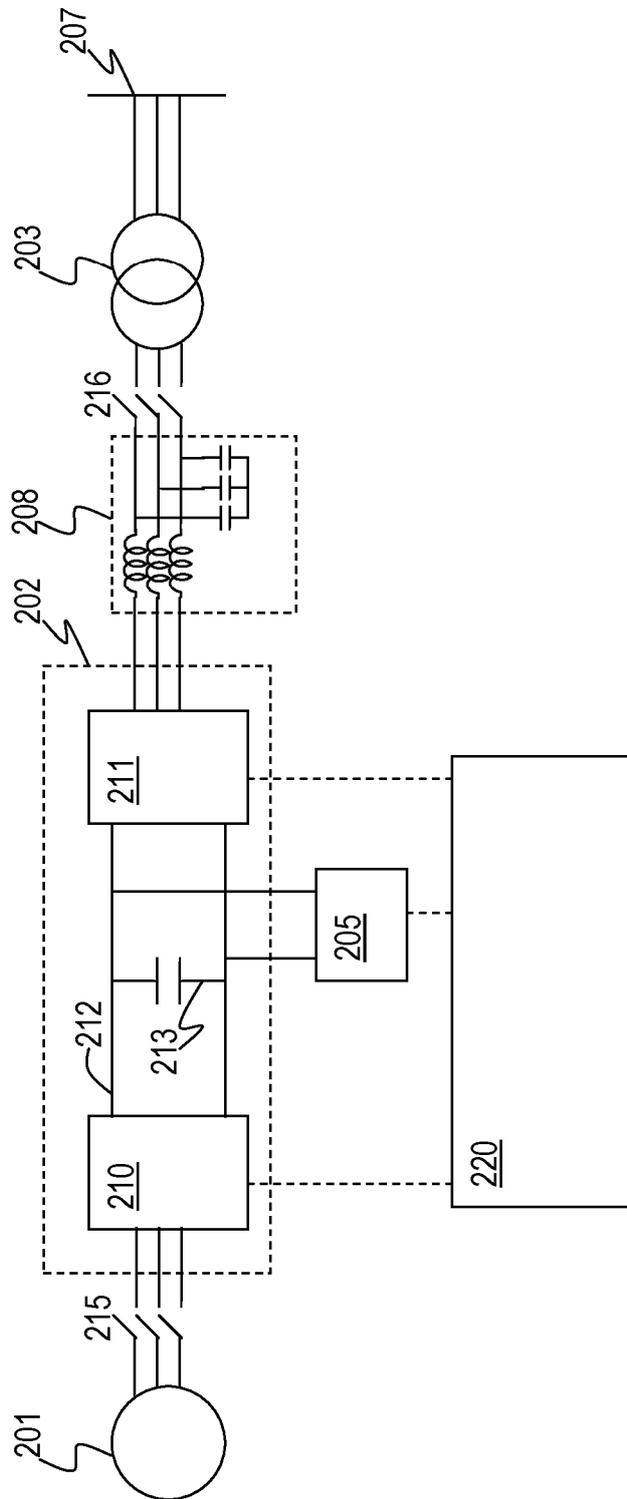


Fig. 2

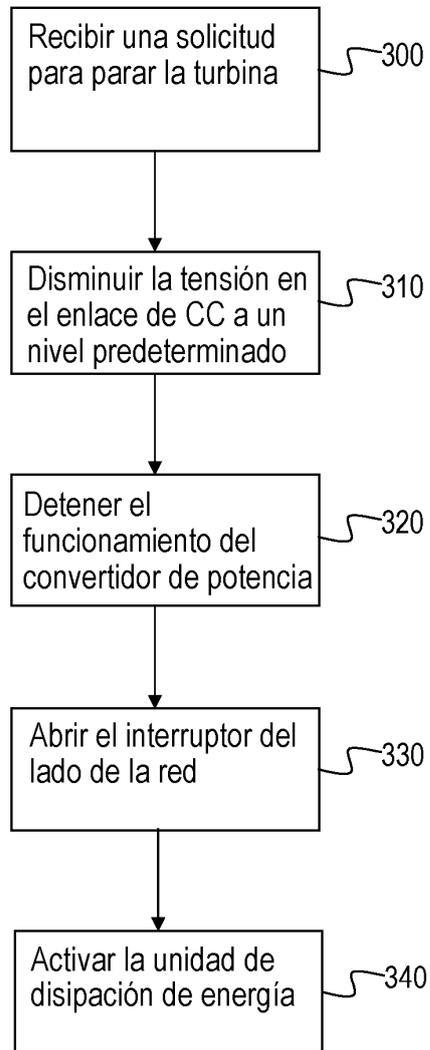


Fig. 3

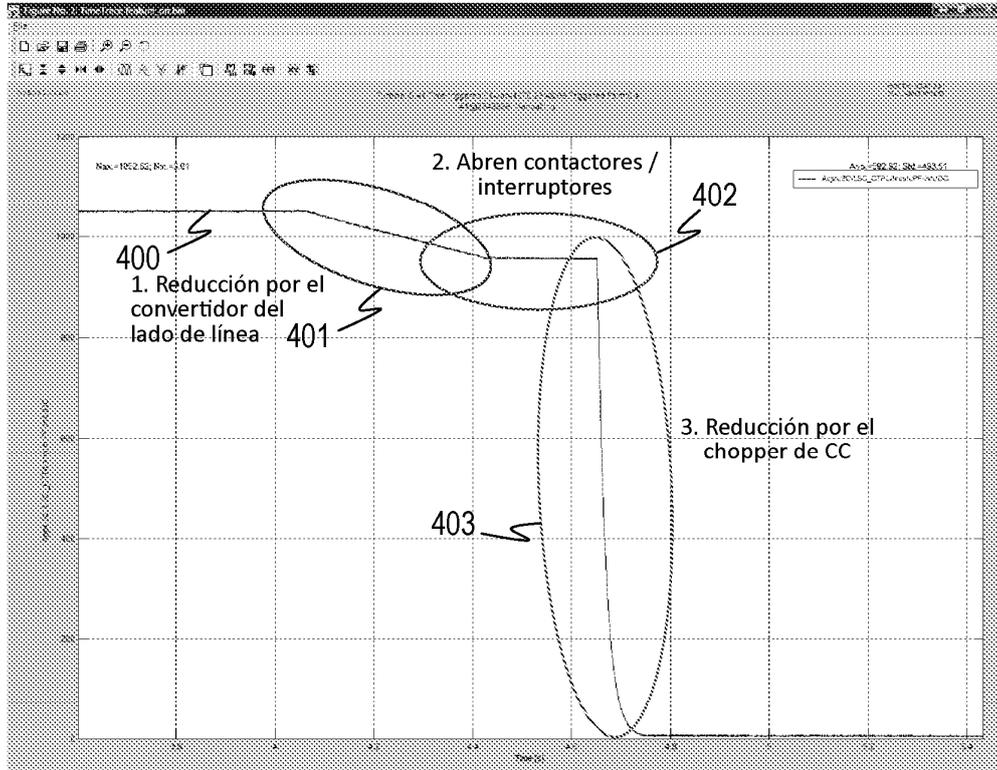


Fig. 4

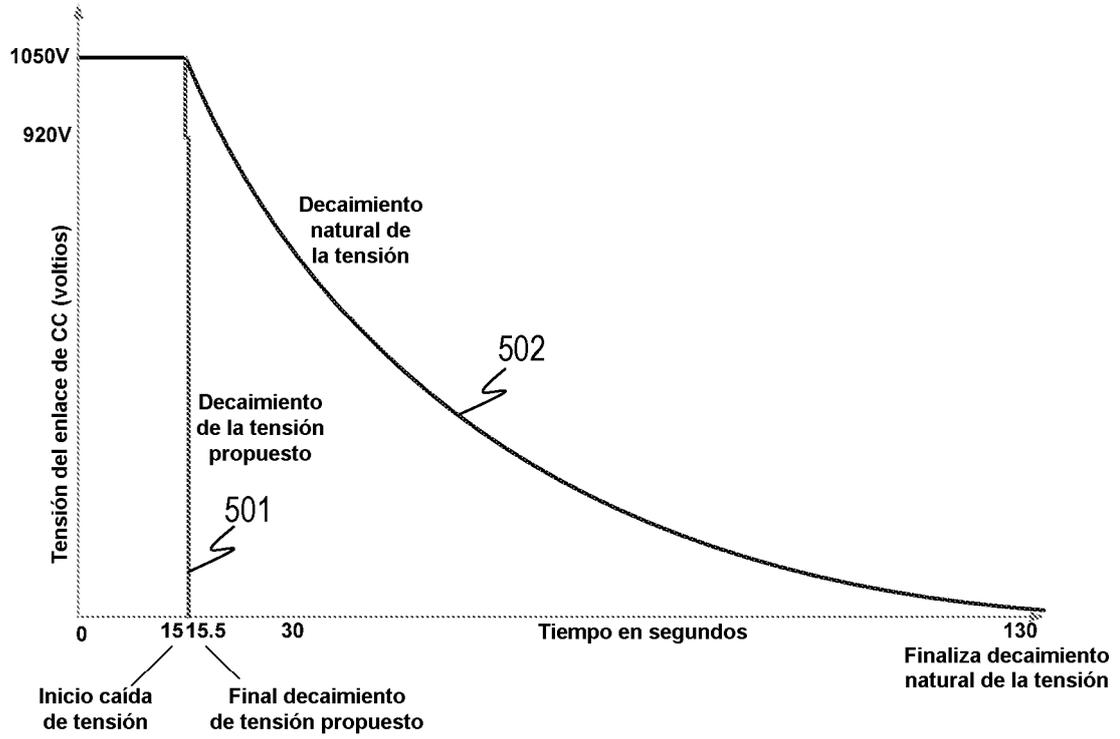


Fig. 5