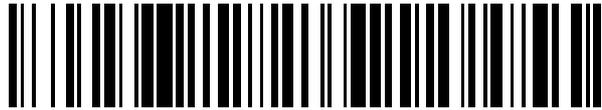


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 713 406**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 9/25 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.07.2013 PCT/DK2013/050237**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **23.01.2014 WO14012553**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.07.2013 E 13739350 (0)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.02.2019 EP 2875238**

54 Título: **Un método para operar una turbina eólica así como un sistema adecuado para la misma**

30 Prioridad:

19.07.2012 DK 201270440
19.07.2012 US 201261673256 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
21.05.2019

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

GUPTA, AMIT KUMAR y
PRATAMA, RYAN ARYA

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 713 406 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

Un método para operar una turbina eólica así como un sistema adecuado para la misma

5 Antecedentes

La presente invención se refiere a un método de operar una turbina eólica. Además, la presente invención se refiere a un sistema de controlador para controlar el funcionamiento de una turbina eólica. Finalmente, la presente invención se refiere a una turbina eólica.

10 Las sobretensiones (OV) están ganando atención desde los propietarios de parques eólicos y fabricantes de turbinas eólicas debido a la gran cantidad de electrónica de energía sensible en turbinas eólicas con convertidores de frecuencia. Los operarios de sistemas de transmisión también están interesados en este fenómeno, ya que las situaciones en el sistema de conexión de red de parques eólicos marinos han ocurrido donde los sistemas de aislamiento han sufrido tensiones en situaciones nunca antes experimentadas. Las sobretensiones tan altas como 15 2p.u. (por unidad) se han observado.

De acuerdo con los estudios del código de red, una tensión de hasta 2 veces la tensión de red nominal puede aplicarse en los terminales WTG. Por ejemplo, en Australia la OV temporal puede ser hasta 1.6 pu y en Canadá-Manitoba la OV temporal puede ser hasta 2.0 pu.

En el texto de W. Sweet, "Danish Wind Turbines Take Unfortunate Turn", IEEE Spectrum, vol. 41, n.º 11, páginas 30, 2004, se informó de que en la costa oeste de Dinamarca un parque eólico marino llamado Horns Rev 1 conectado mediante un cable submarino experimentó sobretensiones tan altas como 2 p.u. cuando el disyuntor principal se activó en el punto de conexión en tierra, dejando el parque eólico en funcionamiento aislado con el cable y el transformador de parque eólico.

Aunque tales eventos son raros, esto representa un riesgo de daños en el equipo de la turbina eólica. El operario del sistema de transmisión danés realizó así investigaciones de tal OV en conexión con el planteamiento de nuevos parques eólicos marinos. Estas investigaciones han mostrado que los niveles OV están influenciados por muchos parámetros, incluyendo características operativas de las turbinas eólicas antes de la desconexión, sistemas de protección, control y precisión de la representación del cable y los transformadores en el intervalo de frecuencia relevante.

35 El documento US2008277938 (A1) divulga un sistema de generación de energía eólica en el que el procedimiento para controlar el paso de pala se cambia de acuerdo con el índice de disminución en la amplitud de la tensión de red, y cuando ocurre un exceso de corriente en el convertidor de energía del lado de red, el convertidor de energía del lado de red se lleva a la condición de puerta bloqueada mientras que el convertidor de energía del lado de red continúa su funcionamiento.

40 El documento WO2012076015 divulga un método de operación de una turbina eólica que incluye un generador de energía, un generador/convertidor de lado de máquina conectado al generador de energía, una red/convertidor de lado de línea conectado a una red de energía a través de componentes de energía, un enlace de CC conectado entre el convertidor de lado de máquina y el convertidor de lado de línea, que comprende: supervisar la red de energía para eventos de sobretensión; si un evento de sobretensión se detecta desactivar la operación activa del convertidor del lado de máquina y el convertidor del lado de línea, permitir una descarga de carga de CA conectada entre el convertidor del lado de máquina y el generador de energía para disipar energía activa enviada por el generador de energía en la descarga de carga de CA, esperando durante un período de espera, y permitir la operación activa del convertidor del lado de línea y el convertidor del lado de máquina si la sobretensión termina dentro del período de espera.

Es aconsejable proporcionar un método para manejar sobretensión para turbinas eólicas que son altamente eficaces y fáciles de implementar.

55 Sumario de la invención

De acuerdo con un primer aspecto de la invención, un método de operar una turbina eólica se proporciona. La turbina eólica comprende un rotor de turbina con al menos una pala que tiene un ángulo de paso variable, un generador de energía y un convertidor de energía conectado al generador de energía mediante un primer disyuntor y a una red de energía mediante un segundo disyuntor. De acuerdo con el método, los eventos de sobretensión en la red de energía se supervisan. Si un evento de sobretensión se detecta, el método comprende abrir el primer disyuntor y el segundo disyuntor, desactivando la operación activa del convertidor de energía, conectando una unidad de disipación de energía al generador de energía para disipar la salida de energía desde el generador de energía, y mover el ángulo de paso de la al menos una pala hacia una posición de bandera.

65

El primer y segundo disyuntor conectan el convertidor de energía al generador de energía y a la red de energía, respectivamente, cuando se cierran. Cuando los conmutadores se abren, el convertidor de energía se desconecta del generador de energía y de la red de energía.

5 Desactivar la operación activa del convertidor de energía significa (o al menos incluye) que las señales PWM (modulación por ancho de pulsos) al convertidor de energía se inhiben. Viceversa, permitir la operación activa del convertidor de energía puede incluir que las señales PWM al convertidor ya no se inhiben.

10 La unidad de disipación de energía se conecta a la salida del generador de energía para disipar energía desde allí. La unidad de disipación de energía puede comprender un resistor o un banco resistor que tiene una pluralidad de resistores. La unidad de disipación de energía también puede comprender un conmutador conectado entre la salida del generador y el banco resistor o cualquier otra ubicación de situación. Durante las condiciones normales, el conmutador está "abierto", y el banco resistor no se conecta al generador de energía. Cuando un evento de sobretensión se detecta, el conmutador se "cierra" y el banco resistor se conecta por tanto a la salida del generador de energía para disipar energía desde allí.

15 La posición de bandera de la pala es el ángulo de paso en el que la pala no experimenta ninguna elevación generada por el viento. Cuando todas las palas de la turbina están en la posición de bandera, el rotor de la turbina detiene la rotación y por tanto la generación de energía se detiene. El ángulo de paso de la pala en la posición de bandera está normalmente aproximadamente a 90 grados, pero es posible que la posición de bandera esté en otros ángulos.

20 El primer aspecto de la invención permite que la turbina manipule varios eventos de sobretensión de la red (por ejemplo hasta 2 pu o más) sin daños en los componentes de energía en la turbina, y también permite una rápida reconexión de la turbina a la red de energía tan pronto como el evento de sobretensión se termina. Por consiguiente, la turbina puede iniciar la producción de energía de nuevo en un tiempo muy corto.

25 Otra ventaja de este aspecto es que los componentes de energía principales en el sistema de convertidor de energía permanecen sin cambios para asegurar un paso a través de sobretensión de término corto por la turbina. Además, solo unos pequeños cambios de software (referentes al software de control que controla el funcionamiento de la turbina eólica) necesitan realizarse. Unos mínimos cambios de hardware tal como sensores, simples conmutadores de electrónica de energía, obturadores y cableados pueden requerirse. El método es muy robusto, y puede manipular tanto sobretensiones simétricas como asimétricas.

30 Normalmente, una tensión de red sobre 1,1 pu se considera una sobretensión o aumento de tensión. Sin embargo, el intervalo de tensión nominal y el nivel de sobretensión cambian de un país a otro. Una pequeña cantidad de sobretensión puede manejarse absorbiendo energía reactiva mediante la conmutación activa de procesos del convertidor de energía. Pero tal absorción de energía reactiva a través del convertidor de energía puede no ser adecuada para manipular sobretensiones mayores.

35 El término "evento de sobretensión" significa la aparición de una sobretensión. El evento de sobretensión puede incluir sobretensión pequeña de aproximadamente 1,1-1,3 pu o una sobretensión grande de más de 1,3 pu. Aunque se menciona que una sobretensión pequeña de 1,1 pu puede manejarse por el convertidor de energía absorbiendo energía reactiva, también es posible que una pequeña sobretensión se maneje de acuerdo con la presente invención. El evento de sobretensión también puede incluir la aparición de una concatenación de varios eventos de sobretensión sucesivos.

40 De acuerdo con una realización, el método comprende además determinar si el ángulo de paso de la al menos una pala ha logrado una posición predefinida. Si el ángulo de paso de la al menos una pala ha alcanzado la posición predefinida, el método comprende además cerrar el primer disyuntor y el segundo disyuntor, desconectar la unidad de disipación de energía del generador de energía y activar la operación activa del convertidor de energía.

45 La posición predefinida para el ángulo de pala puede estar en la posición de bandera en una realización. La posición predefinida también puede estar en otra posición de ángulo de pala donde la rotación resultante del rotor de turbina, y por tanto la producción de energía, es suficientemente baja. Cuando el ángulo de paso de la pala ha alcanzado la posición predefinida, la turbina se reconecta a la red de energía cerrando los disyuntores, y la producción de energía se reinicia activando la operación activa del convertidor de energía.

50 Al reconectar la turbina a la red de energía solo cuando el ángulo de paso de la pala ha logrado la posición predefinida, se asegura que la turbina solo comience la producción de energía en una energía baja. Esto evita un gran par que actúa en el generador cuando la carga del generador se conmuta desde la unidad de disipación de energía a la red de energía, y por tanto unas grandes cargas u oscilaciones en el tren accionador en la turbina se evitan.

55 De acuerdo con una realización, el método comprende además aumentar la salida de energía del generador de energía. De acuerdo con una realización adicional, el aumento de la salida de energía del generador de energía

comprende mover el ángulo de paso de la al menos una pala lejos de la posición de bandera.

5 Después de que la turbina se reconecte a la red de energía, el generador de energía solo genera energía baja debido al rotor de turbina de rotación lenta o estacionario. La producción de energía se incrementa mediante el paso de la al menos una pala lejos de la posición de bandera, es decir, en el viento. Por consiguiente, el viento entrante hace que las palas, y por tanto el rotor de la turbina, roten. Cuando la velocidad de rotación del rotor de la turbina se incrementa, la producción de energía se incrementa o se redobla.

10 De acuerdo con una realización, el método comprende además determinar si es posible reconectar la turbina a la red de energía después de que el ángulo de paso de la al menos una pala ha alcanzado la posición predefinida. Si no es posible reconectar a la red de energía, el método comprende determinar si un período de descanso se ha superado, repitiendo la etapa de determinar si es posible reconectar la turbina a la red de energía si el período de descanso no se ha superado, y apagar la turbina si el periodo de descanso se ha superado.

15 En esta realización, si la turbina no es capaz de reconectar a la red de energía dentro del período, la turbina se apaga. Esto se debe a que cuando la turbina está en el estado operativo (es decir, no apagado) pero no puede suministrar ninguna energía a la red de energía, algunos componentes en la turbina pueden estar en un estado altamente tensado. Por ejemplo, la unidad de disipación de energía conectada a la salida del generador de energía puede solo ser capaz de disipar la energía del generador durante un cierto período de tiempo. Más allá de eso, la
20 unidad de disipación puede dañarse. Por consiguiente, la turbina se apaga si no puede reconectarse a la red de energía después del período de descanso.

De acuerdo con una realización, la duración del período de descanso se predefine basándose al menos en una
25 clasificación de componente de la turbina eólica o el código de red. Por ejemplo, el período de descanso puede predefinirse basándose en una clasificación de tensión de un componente. Este componente puede ser un componente que es más probable que se rompa.

De acuerdo con una realización, determinar si es posible reconectar la turbina a la red de energía comprende
30 determinar si el evento de sobretensión se termina. Esto asegura que la turbina solo se reconecte a la red de energía cuando el evento de sobretensión ha terminado. Normalmente, el evento de sobretensión termina antes de que el ángulo de paso de las palas alcance la posición predefinida. Sin embargo, pueden existir casos donde el evento de sobretensión dure un largo tiempo o donde exista un nuevo evento de sobretensión. Por tanto, en esta realización se asegura que la turbina no se reconecte a la red de energía cuando todavía existe un evento de
35 sobretensión en la red de energía.

De acuerdo con una realización, la abertura del primer disyuntor y/o el segundo disyuntor comprende crear una
condición de cortocircuito en los disyuntores. Un disyuntor incluye normalmente una protección de sobrecorriente. Cuando el disyuntor detecta un gran flujo de corriente, el disyuntor se abre para evitar el influjo de corriente. De acuerdo con la realización, una condición de cortocircuito se crea en uno o ambos de los disyuntores para generar
40 un gran influjo de corriente, activando así la abertura de los disyuntores. Este método provoca que los disyuntores se abran dentro de un tiempo muy corto.

De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, un sistema controlador para operar una turbina eólica se
45 proporciona. La turbina eólica comprende un rotor de turbina con al menos una pala que tiene un ángulo de paso variable, un generador de energía y un convertidor de energía conectado al generador de energía mediante el primer disyuntor y a la red de energía mediante el segundo disyuntor. El sistema controlador se adapta para supervisar la red de energía para eventos de sobretensión. Si un evento de sobretensión se detecta, el sistema controlador se adapta para abrir el primer disyuntor y el segundo disyuntor, desactivar la operación activa del convertidor de energía, conectar una unidad de disipación de energía al generador de energía para disipar salida de energía desde
50 el generador de energía, y mover el ángulo de paso de la al menos una pala hacia una posición de bandera.

De acuerdo con una realización, el sistema controlador se adapta además para determinar si el ángulo de paso de la
al menos una pala ha alcanzado la posición predefinida. Y si el ángulo de paso de la al menos una pala ha
55 alcanzado la posición predefinida, el sistema controlador se adapta para cerrar el primer disyuntor y el segundo disyuntor, desconectar la unidad de disipación de energía del generador de energía y permitir la operación activa del convertidor de energía.

De acuerdo con una realización, el sistema controlador se adapta además para aumentar la salida de energía del
60 generador de energía.

De acuerdo con una realización, el sistema controlador se adapta además para aumentar la salida de energía del
generador de energía moviendo el ángulo de paso de la al menos una pala lejos de la posición de bandera.

De acuerdo con una realización, el sistema controlador se adapta además para determinar si es posible reconectar
65 la turbina a la red de energía después de que el ángulo de paso de la al menos una pala ha alcanzado la posición predefinida. Y si no es posible reconectar a la red de energía, el sistema controlador se adapta para determinar si un

periodo de descanso se ha superado, y repetir la etapa de determinar si es posible reconectar la turbina a la red de energía si el período de descanso no se ha superado, y apagar la turbina si el período de descanso se ha superado.

5 De acuerdo con una realización, el sistema controlador se adapta además para determinar si es posible reconectar la turbina a la red de energía determinando si el evento de sobretensión ha terminado.

De acuerdo con una realización, el sistema controlador se adapta además para abrir al menos uno del primer disyuntor y el segundo disyuntor induciendo una condición de cortocircuito en uno o ambos de los disyuntores.

10 De acuerdo con un tercer aspecto de la invención, una turbina eólica que comprende un sistema controlador descrito en una cualquiera de las anteriores realizaciones se proporciona.

Breve descripción de los dibujos

15 La invención se entenderá mejor en referencia a la descripción detallada cuando se considere junto con los ejemplos no limitantes y los dibujos adjuntos.

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

La Figura 2 muestra un sistema eléctrico de la turbina eólica.

20 La Figura 3 muestra un diagrama de flujo de un método para operar la turbina eólica de acuerdo con una realización.

La Figura 4 muestra un diagrama de flujo de un método para operar la turbina eólica de acuerdo con otra realización.

25 La Figura 5 muestra un gráfico de tiempo que ilustra la secuencia de eventos durante un evento de sobretensión de acuerdo con una realización.

La Figura 6 muestra una implementación de hardware ejemplar para crear una condición de cortocircuito en un disyuntor de acuerdo con una realización.

Descripción

30 A continuación, se hace referencia a realizaciones de la invención. Sin embargo, se entenderá que la invención no se limita a realizaciones específicas descritas. En su lugar, cualquier combinación de los elementos y rasgos siguientes, ya sea en referencia a diferentes realizaciones o no, se contempla como implemento y práctica de la invención. Además, en diversas realizaciones la invención proporciona numerosas ventajas sobre la técnica anterior. Sin embargo, aunque las realizaciones de la invención pueden lograr ventajas sobre otras posibles soluciones y/o sobre la técnica anterior, ya se logre o no una ventaja particular mediante una realización determinada, esto no limita la invención. Así, los siguientes aspectos, características, realizaciones y ventajas son únicamente ilustrativos y no pretenden considerarse elementos o limitaciones de las reivindicaciones adjuntas excepto donde se menciona explícitamente en las reivindicaciones. De igual forma, la referencia a "la invención" no deberá interpretarse como generalización de ninguna materia objeto inventiva divulgada en este documento y no deberá considerarse como un elemento o limitación de las reivindicaciones adjuntas excepto cuando se mencione explícitamente en las reivindicaciones.

45 Lo siguiente es una descripción detallada de realizaciones de la invención representada en los dibujos adjuntos. Las realizaciones son ejemplos y están en tal detalle para comunicar claramente la invención. Sin embargo, la cantidad de detalle ofrecido no pretende limitar las variaciones anticipadas de realizaciones; al contrario, la invención quiere cubrir todas las modificaciones, equivalentes y alternativas que entran dentro del alcance de la presente invención como se define por las reivindicaciones adjuntas.

50 La Figura 1 ilustra una turbina eólica 100 ejemplar de acuerdo con una realización. Como se ilustra en la Figura 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 en tierra. Sin embargo, las realizaciones de la invención no se limitan solo a turbinas eólicas en tierra. En realizaciones alternativas, la turbina eólica 100 puede ser una turbina eólica marina ubicada sobre un cuerpo de agua tal como por ejemplo un lago, un océano o similar. La torre 110 de tal turbina eólica marina se instala en un suelo marino o en plataformas estabilizadas en o sobre el nivel del mar.

55 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 generalmente sin obstruir, menos turbulento y fuerte de aire puede recibirse por el rotor 130. La altura de la torre 110 puede ser cualquier altura razonable, y debería considerarse la longitud de las palas de turbina eólica que se extienden desde el rotor 130. La torre 110 puede realizarse de cualquier tipo de material por ejemplo acero, hormigón o similar. En algunas realizaciones, la torre 110 puede realizarse de material monolítico. Sin embargo, en realizaciones alternativas la torre 110 puede incluir una pluralidad de secciones, por ejemplo dos o más secciones de acero tubulares 111 y 112 como se ilustra en la Figura 1. En algunas realizaciones de la invención, la torre 110 puede ser una torre en celosía. Por consiguiente, la torre 110 puede incluir unos perfiles de acero soldados.

65

El rotor 130 puede incluir un buje del rotor (a continuación mencionado simplemente como "buje") 132 y al menos una pala 140 (tres de tales palas 140 se muestran en la Figura 1). El buje del rotor 132 puede configurarse para acoplar la al menos una pala 140 a un árbol (no se muestra). En una realización, las palas 140 pueden tener un perfil aerodinámico de manera que en velocidades del viento predefinidas las palas 140 experimentan elevación, provocando así que las palas roten radialmente alrededor del buje. El buje 140 comprende además mecanismos (no se muestran) para ajustar el paso de la pala 140 para incrementar o reducir la cantidad de energía eólica capturada por la pala 140. El ajuste de paso ajusta el ángulo en el que el viento incide en la pala 140. Es posible que el paso de las palas 140 no pueda ajustarse. En este caso, el perfil aerodinámico de las palas 140 se diseña de manera que la elevación experimentada por las palas se pierde cuando la velocidad del viento supera un umbral determinado, provocando que la turbina se pare.

El buje 132 rota normalmente alrededor de un eje sustancialmente horizontal a lo largo de un eje impulsor (no se muestra) que se extiende desde el buje 132 a la góndola 120. El eje impulsor normalmente se acopla a uno o más componentes en la góndola 120, que se configuran para convertir la energía rotativa del árbol en energía eléctrica.

Aunque la turbina eólica 100 mostrada en la Figura 1 tiene tres palas 140, debería apreciarse que una turbina eólica puede tener un número diferente de palas. Es común encontrar turbinas eólicas que tienen de dos a cuatro palas. La turbina eólica 100 mostrada en la Figura 1 es una Turbina Eólica de Eje Horizontal (HAWT) ya que el rotor 130 rota alrededor de un eje horizontal. Debería apreciarse que el rotor 130 puede rotar alrededor de un eje vertical. Tal turbina eólica que tiene su rotor que rota alrededor del eje vertical se conoce como Turbina Eólica de Eje Vertical (VAWT). Las realizaciones descritas hasta ahora no se limitan a HAWT con 3 palas. Estas pueden implementarse tanto en HAWT como VAWT y con cualquier número de palas 140 en el rotor 130.

La Figura 2 muestra un sistema eléctrico de la turbina eólica de acuerdo con una realización. El sistema eléctrico incluye un generador 201, un convertidor de energía 202 y un transformador principal 203. El sistema eléctrico se conecta a la red de energía 207. El convertidor de energía 202 incluye un convertidor del lado del generador 210 y un convertidor del lado de red 211 conectados por medio de un enlace de corriente continua (CC) 212. El enlace de CC 212 incluye un condensador de enlace de CC 213. El sistema eléctrico incluye un primer circuito de disipación de energía 220 conectado a la salida del generador 201 y un segundo circuito de disipación de energía 205 conectado al enlace de CC 212. La primera unidad de disipación 220 se conoce como la descarga de carga del generador y la segunda unidad de disipación 205 se conoce como la descarga de carga de CC o circuito de corte.

El sistema eléctrico también incluye filtros del lado de red 208 para filtrar armónicos de conmutación. El sistema eléctrico incluye un disyuntor del lado de generador 215 entre el generador 201 y el convertidor del lado de generador 210, y un disyuntor del lado de red 216 entre el filtro de armónicos de red 208 y el transformador 203. El disyuntor del lado de red 216 puede colocarse en otras ubicaciones, por ejemplo entre el convertidor del lado de 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 de CA (denominado colectivamente como "señales de CA"), y proporciona las señales de CA generadas al convertidor del lado de generador 210. Las señales de CA del generador 201 tienen una frecuencia variable, debido al viento variable. El convertidor del lado de generador 210 convierte o rectifica las señales de CA a tensión y corriente de CC (denominado colectivamente "señales de CC"). El convertidor del lado de red 211 convierte las señales de CC del enlace de CC 212 en señales de CA de frecuencia fija para la red de energía 207. La tensión de las señales de CA de frecuencia fija en la salida del convertidor del lado de red 211 se aumenta mediante el transformador principal 203 en un nivel adecuado para recibirse y transmitirse por la red de energía 207.

La descarga de carga del generador 220 se adapta para disipar energía del generador 201. La descarga de carga del generador incluye al menos un conmutador y una pluralidad de unidades de disipación tal como resistores (no se muestran). El funcionamiento de la descarga de carga del generador 220 se controla activando el al menos un conmutador. Cuando el conmutador se cierra, la energía del generador 201 se disipa por la descarga de carga del generador 220. De manera similar, la descarga de carga de CC 205 se adapta para disipar energía almacenada en el enlace de CC 212. El circuito de disipación de energía 205 también incluye al menos un conmutador y una pluralidad de unidades de disipación tal como resistores de corte (no se muestran). El funcionamiento del circuito de disipación de energía 205 se controla activando el al menos un conmutador. Cuando el conmutador se cierra, la energía almacenada en el enlace de CC 212 se disipa por los resistores de corte.

El convertidor del lado de generador 210 y el convertidor del lado de red 211 comprenden una pluralidad de conmutadores semiconductores de energía tal como IGBT (transistores bipolares de puerta aislada) y sus funcionamientos se controlan por señales moduladas por ancho de pulsos (también conocidas como señales PWM) en una frecuencia de conmutación específica. Al controlar las señales PWM, el funcionamiento del convertidor de energía y por tanto las señales de CA en la salida del convertidor del lado de red 211 pueden controlarse.

El funcionamiento de la descarga de carga de generador 220, la descarga de carga de CC 205 y el convertidor de energía 202 se controlan por uno o más controladores (no se muestran), específicamente para controlar los conmutadores de las descargas de carga 205 y 220 y generar la señal de conmutación para controlar el convertidor

de energía 202. En una realización, un único controlador se usa para controlar el funcionamiento de la descarga de carga de generador 220, la descarga de carga de CC 205 y el convertidor de energía 202. En otra realización, un controlador se usa para controlar el funcionamiento de la descarga de carga de generador 220, y otro controlador separado se usa para controlar el funcionamiento de la descarga de carga de CC 205 y el convertidor de energía 202. El uno o más controladores también controlan el funcionamiento de los disyuntores 215, 216.

Debería apreciarse que la Figura 2 solo es una ilustración de un sistema eléctrico en una turbina eólica donde solo unos componentes comunes se muestran. El sistema eléctrico puede incluir otros componentes tal como filtros del lado de generador, sensores, disposición de precarga etc. En otra realización, un generador de inducción doblemente alimentado (DFIG) puede usarse en el que los enrollamientos de estator del generador se conectan a la red mediante el transformador de turbina, y los enrollamientos de rotor del generador se conectan al transformador de turbina mediante el sistema de conversión de energía. Las unidades de disipación de energía 205, 220 pueden tener solo un resistor en lugar de una pluralidad de resistores. Las unidades de disipación de energía 205, 220 pueden incluir también otras unidades de disipación adecuadas para disipar energía.

Cuando un evento de sobretensión ocurre en la red 207, el convertidor de lado de red 211 actúa como un rectificador de puente de diodo y carga el enlace de CC 212. Como resultado, la tensión del enlace de CC aumenta. Esta tensión de enlace de CC alta puede dañar los IGBT en los convertidores 210, 211. Si la tensión de enlace de CC aumenta más allá de un cierto umbral, la turbina puede dispararse. Por tanto es aconsejable que el evento de sobretensión se detecte y sus efectos se mitiguen lo más pronto posible.

La Figura 3 muestra un diagrama de flujo de un método para manipular una sobretensión de acuerdo con una realización. La etapa 300 incluye supervisar la red de energía para eventos de sobretensión. Un evento de sobretensión incluye situaciones donde la tensión de red es mayor que la tensión de red nominal, por ejemplo cuando la tensión de red está entre 1,1 pu a 2,0 pu. La tensión de red puede supervisarse directamente usando sensores de tensión acoplados al lado de baja tensión o alta tensión del transformador de turbina 203. La tensión de red también puede determinarse en los terminales de salida del convertidor del lado de red 211.

La etapa 301 incluye determinar si un evento de sobretensión se ha detectado. Esta etapa incluye determinar si la tensión de red está en el intervalo de 1,1 pu a 2,0 pu con respecto a la tensión de red nominal en una realización. Otros intervalos de tensión de red para determinar si un evento de sobretensión se ha detectado son posibles en otras realizaciones. Si ningún evento de sobretensión se ha detectado, la turbina continúa supervisando la red para eventos de sobretensión. Si el evento de sobretensión se ha detectado, el disyuntor del lado de generador 215 y el disyuntor del lado de red 216 se abren en la etapa 302. La abertura de los disyuntores del lado de generador y lado de red 215, 216 desconecta el convertidor de energía 202 de la turbina del generador 201 y la red 207, respectivamente.

La etapa 303 incluye desactivar la operación activa del convertidor de energía. El convertidor de energía, por ejemplo los convertidores del lado de generador y lado de red, incluyen una pluralidad de conmutadores semiconductores tal como Transistores Bipolares de Puerta Aislada (IGBT). El funcionamiento (es decir, la conmutación) de estos IGBT se controla por una señal PWM (modulación por ancho de pulsos). En una realización, desactivar la operación activa del convertidor de energía incluye suspender o inhibir la señal PWM al convertidor de energía.

La etapa 304 incluye conectar la unidad de disipación de energía al generador de energía para disipar energía desde allí. En una realización, la energía del generador 201 se disipa en la descarga de carga del generador 220. Esto es para asegurar que una carga todavía se aplica al generador ya que el convertidor de energía se ha desconectado.

La etapa 305 incluye mover el ángulo de paso de la pala hacia la posición de bandera. En otras palabras, el ángulo de paso de las palas se ajusta de manera que la energía capturada desde el viento se reduce a cero o cerca de cero o a un límite que es seguro desde el punto de vista del tren de accionamiento mecánico. Por consiguiente, la energía desde el generador también es sustancialmente cero. El fin del ajuste de paso de las palas es que cuando la turbina se reconecta a la red mediante el cierre de los disyuntores, puede iniciarse con producción de energía baja. Esto evita un gran par que actúa en el generador cuando la carga se conmuta desde la descarga de carga del generador a la red.

Debería apreciarse que el evento de sobretensión normalmente es más corto que el tiempo que lleva que las palas se muevan a la posición de bandera. Entonces se asume que cuando el evento de sobretensión termina, las palas todavía están en el proceso de moverse hacia la posición de bandera.

La Figura 4 muestra un diagrama de flujo de un método para manejar un evento de sobretensión de acuerdo con una realización adicional. Las etapas 300 a 305 son idénticas a las etapas en la Figura 3, y no se describirán de nuevo. Después de que el ángulo de paso de las palas se mueva a la posición de bandera en la etapa 305, se comprueba en la etapa 306 si el ángulo de paso ha alcanzado la posición predefinida. En una realización, la posición predefinida es la posición de bandera donde las palas están totalmente fuera de paso. En otra realización, la

posición predefinida es el ángulo de paso que está cerca de la posición de bandera. Cuando el ángulo de paso de las palas no ha alcanzado la posición predefinida, las palas continúan moviéndose hacia la posición de bandera hasta que se alcanza la posición predefinida.

5 Cuando el ángulo de paso de las palas ha alcanzado la posición predefinida, entonces se determina si es posible reconectar a la red en la etapa 307. Determinar si es posible reconectar a la red incluye determinar si el evento de sobretensión ha terminado. Como se ha mencionado antes, el evento de sobretensión normalmente dura menos que el tiempo que lleva que el ángulo de paso de las palas alcance la posición de bandera (o predefinida). Por tanto en esta fase, el evento de sobretensión normalmente terminaría y es normalmente posible reconectar a la red. También es ventajoso tener en cuenta el cumplimiento del código de red y la salud del componente de energía y clasificaciones cuando se determina si es posible reconectar a la red.

15 Cuando no es posible reconectar a la red, se determina si un período de descanso ha expirado en la etapa 312. Si no es posible reconectar a la red después del período de descanso, la turbina se apaga en la etapa 313. El período de descanso es dependiente de una clasificación de componente de al menos un componente de la turbina. El periodo de descanso también puede depender del cumplimiento de red. Como se ha mencionado antes, algunos componentes pueden estar en un estado altamente estresado cuando la turbina está en el estado operativo (es decir no apagado) pero no puede suministrar ninguna energía a la red de energía. Por ejemplo, la unidad de disipación de energía conectada a la salida del generador de energía puede solo ser capaz de disipar la energía del generador durante un cierto período de tiempo. Más allá de eso, la unidad de disipación puede dañarse. Por consiguiente, el período de descanso se predefine en función de la clasificación de la unidad de disipación, de manera que la turbina se apague si no es posible reconectar a la red más allá del período de descanso. La salud de los componentes de turbina también debe tenerse en consideración.

25 La etapa 308 incluye cerrar los disyuntores del lado de generador y lado de red cuando se determina en la etapa 307 que es posible reconectar a la red. El cierre de los disyuntores reconecta la turbina a la red de energía. La etapa 309 incluye desconectar la unidad de disipación de energía del generador. Cuando la turbina se reconecta de nuevo a la red, la energía del generador puede suministrarse a la red. Por tanto, la unidad de disipación de energía se desconecta del generador de energía. En otras palabras, la carga del generador se conmuta desde la unidad de disipación de energía a la red.

35 La etapa 310 incluye activar la operación activa del convertidor de energía. En una realización, la señal PWM al convertidor de energía se reinicia. En esta fase, la turbina está lista para procesar la salida de energía del generador para la red, y la producción de energía puede incrementarse. La etapa 311 incluye mover el ángulo de paso de las palas lejos de la posición de bandera. En otras palabras, las palas tienen el paso ajustado hacia dentro para provocar que el rotor de la turbina inicie su giro para iniciar la producción de energía. Cuando las palas continúan ajustando su paso en el viento (es decir, lejos de la posición de bandera), la salida de energía generada del generador se incrementa.

40 De acuerdo con la realización, las palas reciben un ajuste de paso hacia fuera (en o cerca de la posición de bandera) antes de la reconexión a la red. Esto asegura que la turbina se inicia con una producción de energía baja en la reconexión a la red. Esto evita un gran par que actúa en el generador cuando la carga para el generador se conmuta desde la unidad de disipación de energía a la red. Por tanto, la producción de energía aumenta de nuevo mediante el ajuste de paso de las palas de nuevo en el viento.

45 La Figura 5 muestra un ejemplo de un diagrama de temporización de salida de energía desde el generador durante un evento de sobretensión de acuerdo con una realización. Antes del evento de sobretensión, la turbina opera normalmente en condiciones normales y la salida de energía es generalmente constante. El evento de sobretensión tiene lugar en $t = 2$ s. En este instante, los disyuntores se abren, la operación activa de los convertidores se desactiva, la unidad de disipación de energía se conecta al generador, y el ángulo de paso de las palas se mueve hacia la posición de bandera. Cuando las palas reciben el ajuste de paso hacia la posición de bandera, la energía capturada del viento disminuye. Por consiguiente, la salida de energía también disminuye como puede verse desde la pendiente 501. El evento de sobretensión normalmente solo dura un periodo de tiempo corto en comparación con el tiempo que lleva que las palas ajusten el paso a la posición de bandera. En este ejemplo, el evento de sobretensión está por encima de $t = 2,1$ s. Sin embargo, las palas todavía están recibiendo el ajuste de paso hasta que se logra la posición predefinida.

50 El ajuste de paso de las palas se completa en aproximadamente $t = 3$ s, y se comprueba si es posible reconectarse a la red. En aproximadamente $t = 4$ s, la turbina se reconecta a la red. Específicamente, los disyuntores se cierran, la unidad de disipación de energía se desconecta del generador, la operación activa de los convertidores se permite y las palas se mueven lejos de la posición de bandera. Cuando las palas reciben un ajuste de paso hacia dentro (es decir lejos de la posición de bandera), más energía se captura del viento, por consiguiente, la salida de energía también se incrementa como se ve desde la pendiente 502. En aproximadamente $t = 6$ s, el aumento de producción de energía se completa y la salida de energía está en su energía nominal. Debería apreciarse que las temporizaciones ilustradas en la Figura 5 son meramente ejemplares y pueden diferir en otros ejemplares.

Tal como puede verse de la descripción anterior, es ventajoso abrir rápidamente los disyuntores cuando un evento de sobretensión se detecta para evitar que los componentes en la turbina se dañen mediante un aumento brusco de tensión debido a la sobretensión. En una realización, los disyuntores se abren introduciendo un evento de sobrecorriente. Cuando existe una condición de cortocircuito en el disyuntor, por ejemplo en la salida del convertidor del lado de red, una gran corriente fluirá a través del disyuntor en un corto tiempo. Esta gran corriente provoca que el disyuntor abra su interruptor muy rápidamente. En esta realización, tal condición de cortocircuito se induce en la trayectoria del disyuntor.

En una realización, la condición de cortocircuito se induce activando todos los IGBT inferiores del convertidor de lado de red, y desactivando todos los IGBT superiores. Por consiguiente, una condición de cortocircuito con el rail de suelo inferior se induce sin usar ningún hardware o control nuevo. Sin embargo, debido a la gran corriente que fluye a través de los IGBT, la duración de la condición de cortocircuito debería controlarse para evitar daños en el IGBT. Los factores que afectan a la duración de la condición de cortocircuito incluyen cuánto tiempo pueden soportar los IGBT la corriente de cortocircuito, cuánto tiempo lleva que el interruptor se abra dada la corriente de cortocircuito esperada etc. El período de descanso (véase la etapa 312 de la Figura 4) puede determinarse al menos en función de la duración de la condición de cortocircuito.

En otra realización, la condición de cortocircuito se induce conectando un circuito tiristor al disyuntor como se muestra en la Figura 6. El circuito tiristor 601 se conecta a la salida de línea entre el convertidor del lado de red 211 y el disyuntor del lado de red 216. Cuando se detecta el evento de sobretensión, los tiristores se inician, creando así una condición de cortocircuito en el disyuntor 216. Debería apreciarse que en esta realización un nuevo hardware (tiristor) y sistema de control (para controlar el circuito tiristor) son necesarios. De manera similar, la duración de la condición de cortocircuito debería controlarse para evitar daños en los tiristores. Como alternativa, los tiristores pueden seleccionarse de manera que soporten una cierta duración de la condición de cortocircuito. El período de descanso (véase la etapa 312 de la Figura 4) puede determinarse al menos en función de la duración de la condición de cortocircuito. Debería apreciarse que en otras realizaciones el circuito tiristor puede sustituirse por otros circuitos semiconductores de energía que logran la misma funcionalidad.

En una realización adicional, el uno o más circuitos inductores 602 se conectan en serie con el circuito tiristor como se muestra en la Figura 6. El circuito inductor 602 limita la corriente de cortocircuito que fluye al circuito tiristor 601 y el convertidor del lado de red 211 y por tanto se mantiene a un nivel seguro. El valor de impedancia del circuito inductor 602 se elige para mantener un equilibrio entre la abertura rápida del disyuntor 216 y mantener la corriente de cortocircuito en un nivel seguro. Otros componentes de limitación de corriente pueden usarse en lugar del circuito inductor 602 para limitar la corriente de cortocircuito en otras realizaciones.

Algunos disyuntores disponibles comercialmente pueden soportar añadidos que les permitan abrirse basándose en lecturas de sensor tal como una sobretensión o tensión baja. En una realización, el disyuntor se abre basándose en lecturas de sensor que indican un evento de sobretensión. Específicamente, cuando una sobretensión se detecta por un sensor de tensión, un comando se envía al disyuntor para abrir el circuito. Este comando puede enviarse desde el controlador, tal como el controlador del convertidor. La ventaja de esta realización de abertura del disyuntor usando un sensor de tensión es que ninguna gran corriente se induce en la salida del convertidor del lado de red.

Aunque la invención se ha mostrado y descrito particularmente en referencia a realizaciones específicas, debería entenderse por los expertos en la materia que diversos cambios en la forma y detalle pueden realizarse en la misma sin apartarse del alcance de la invención como se define por las reivindicaciones adjuntas. El alcance de la invención se indica así por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método para operar una turbina eólica (100) que comprende un rotor de turbina (130) con al menos una pala (140) que tiene un ángulo de paso variable, un generador de energía (201) y un convertidor de energía (202) conectado al generador de energía (201) mediante un primer disyuntor (215) y a una red de energía (207) mediante un segundo disyuntor (216), comprendiendo el método:
- 10 - supervisar la red de energía para eventos de sobretensión; y
 - si se detecta un evento de sobretensión:
- 15 - abrir el primer disyuntor (215) y el segundo disyuntor (216), posteriormente;
 - desactivar la operación activa del convertidor de energía (202);
 - conectar una unidad de disipación de energía (220) al generador de energía (201) para disipar la salida de energía desde el generador de energía (201); y
 - mover el ángulo de paso de la al menos una pala (140) hacia una posición de bandera.
2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además:
- 20 - determinar si el ángulo de paso de la al menos una pala (140) ha alcanzado una posición predefinida; y
 - si el ángulo de paso de la al menos una pala (140) ha alcanzado la posición predefinida;
 - determinar si es posible reconectar la turbina a la red de energía; y
 - si es posible reconectar la turbina a la red de energía (207);
- 25 - cerrar el primer disyuntor (215) y el segundo disyuntor (216);
 - desconectar la unidad de disipación de energía (220) del generador de energía (201); y
 - permitir la operación activa del convertidor de energía (202).
3. El método de acuerdo con la reivindicación 2, que comprende además aumentar la salida de energía del generador de energía (201).
- 30 4. El método de acuerdo con la reivindicación 3, en el que el aumento de la salida de energía del generador de energía (201) comprende mover el ángulo de paso de la al menos una pala (140) lejos de la posición de bandera.
- 35 5. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, que comprende además:
- 40 - determinar si es posible reconectar la turbina a la red de energía (207) después de que el ángulo de paso de la al menos una pala (140) alcance la posición predefinida; y
 - si no es posible reconectar a la red de energía (207):
- 45 - determinar si un periodo de descanso se ha superado; y
 - repetir la etapa de determinar si es posible reconectar la turbina a la red de energía (207) si el periodo de descanso no se ha superado, y apagar la turbina si el período de descanso se ha superado.
6. El método de acuerdo con la reivindicación 5, en el que la duración del período de descanso se predefine basándose en al menos una clasificación de componente de la turbina eólica (100) o un requisito de código de red.
7. El método de acuerdo con la reivindicación 5 o 6, en el que determinar si es posible reconectar la turbina (100) a la red de energía (207) comprende determinar si el evento de sobretensión ha terminado.
- 50 8. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que abrir el primer disyuntor (215) y el segundo disyuntor (216) comprende crear una condición de cortocircuito en al menos uno de los disyuntores.
9. Un sistema controlador para operar una turbina eólica (100) que comprende un rotor de turbina (130) con al menos una pala (140) que tiene un ángulo de paso variable, un generador de energía (201) y un convertidor de energía (202) conectado al generador de energía (201) por un primer disyuntor (215) y a una red de energía mediante un segundo disyuntor (216), el sistema controlador se adapta para:
- 55 - supervisar la red de energía (207) para eventos de sobretensión; y
 - si un evento de sobretensión se detecta:
- 60 - abrir el primer disyuntor (215) y el segundo disyuntor (216), posteriormente;
 - desactivar la operación activa del convertidor de energía (202);
 - conectar una unidad de disipación de energía (220) al generador de energía (201) para disipar la salida de energía desde el generador de energía (201); y
 65 - mover el ángulo de paso de la al menos una pala (140) hacia una posición de bandera.

10. El sistema controlador de acuerdo con la reivindicación 9, en el que el sistema controlador se adapta además para:
- 5 - determinar si el ángulo de paso de la al menos una pala (140) ha alcanzado una posición predefinida; y
 - si el ángulo de paso de la al menos una pala (140) ha alcanzado la posición predefinida;
 - determinar si es posible reconectar la turbina a la red de energía (207); y
 - si es posible reconectar la turbina a la red de energía (207);
- 10
- cerrar el primer disyuntor (215) y el segundo disyuntor (216);
 - desconectar la unidad de disipación de energía (220) del generador de energía (201); y
 - permitir la operación activa del convertidor de energía (202).
11. El sistema controlador de acuerdo con la reivindicación 10, en el que el sistema controlador se adapta además para aumentar la salida de energía del generador de energía (201).
- 15
12. El sistema controlador de acuerdo con la reivindicación 11, en el que el sistema controlador se adapta además para aumentar la salida energía del generador de energía (201) moviendo el ángulo de paso de la al menos una pala (140) lejos de la posición de bandera.
- 20
13. El sistema controlador de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, en el que el sistema controlador se adapta además para:
- 25 - determinar si es posible reconectar la turbina (100) a la red de energía (207) después de que el ángulo de paso de la al menos una pala (140) ha alcanzado la posición predefinida; y
 - si no es posible reconectar a la red de energía (207):
- determinar si un periodo de descanso se ha superado; y
 - repetir la etapa de determinar si es posible reconectar la turbina (100) a la red de energía (207) y si el periodo de descanso no se ha superado, y apagar la turbina (100) si el período de descanso se ha superado.
- 30
14. El sistema controlador de acuerdo con la reivindicación 13, en el que el sistema controlador se adapta además para determinar si es posible reconectar la turbina (100) a la red de energía (207) determinando si el evento de sobretensión ha terminado.
- 35
15. El sistema controlador de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 14, en el que el sistema controlador se adapta además para abrir al menos uno del primer disyuntor (215) y el segundo disyuntor (216) induciendo una condición de cortocircuito en al menos uno de los disyuntores.
- 40
16. Una turbina eólica (100), que comprende un sistema controlador de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 15.

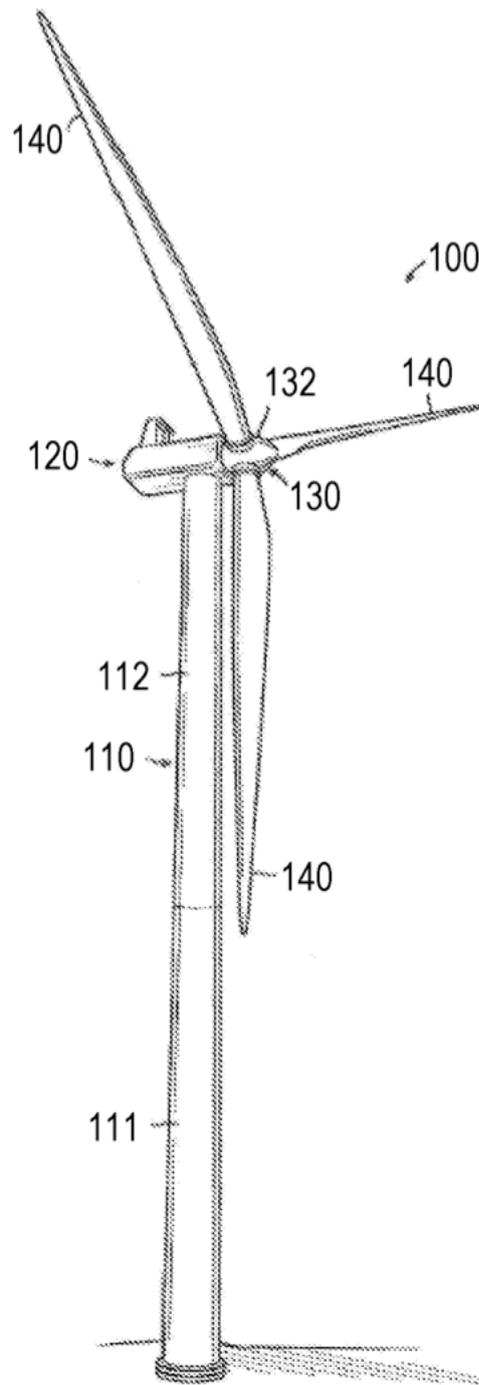


Fig. 1

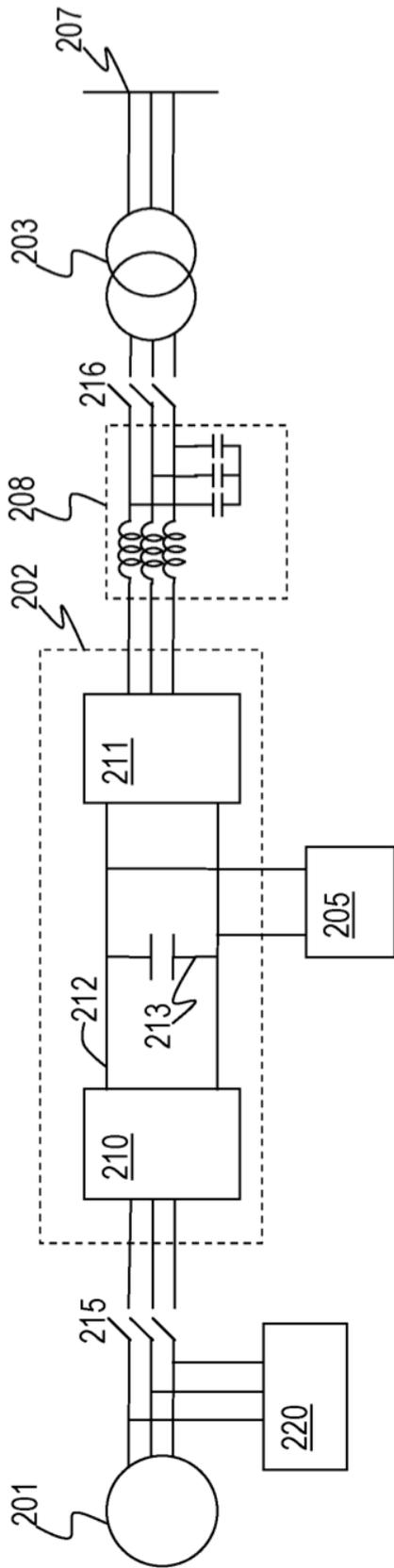


Fig. 2

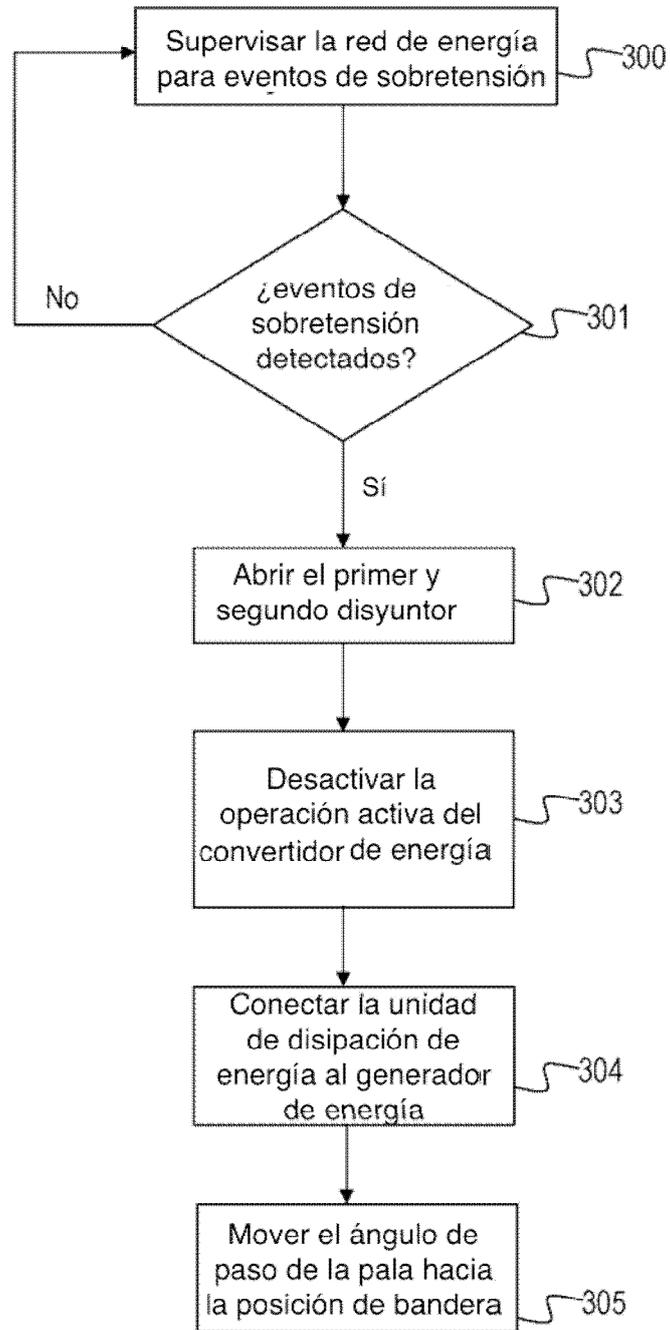


Fig. 3

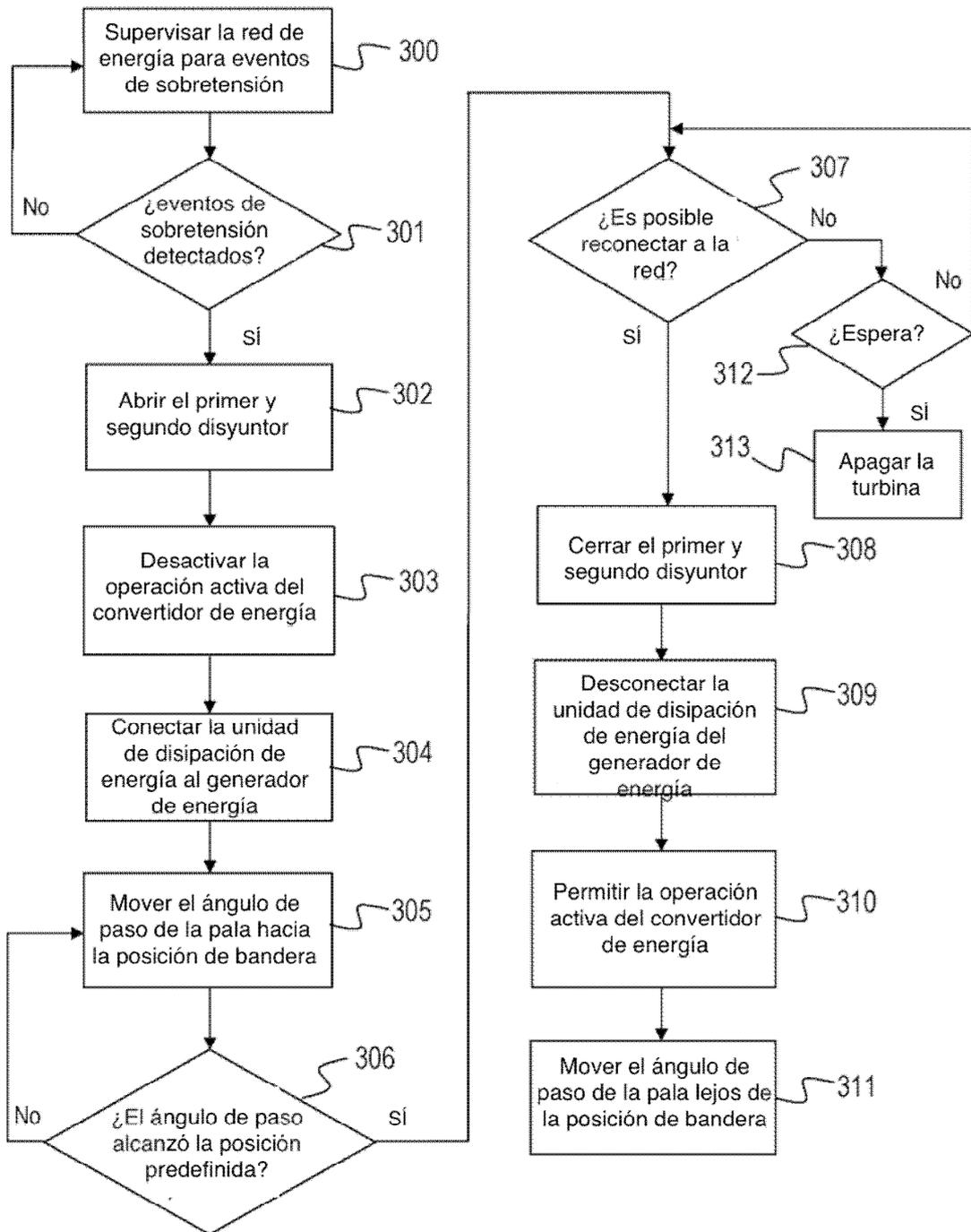
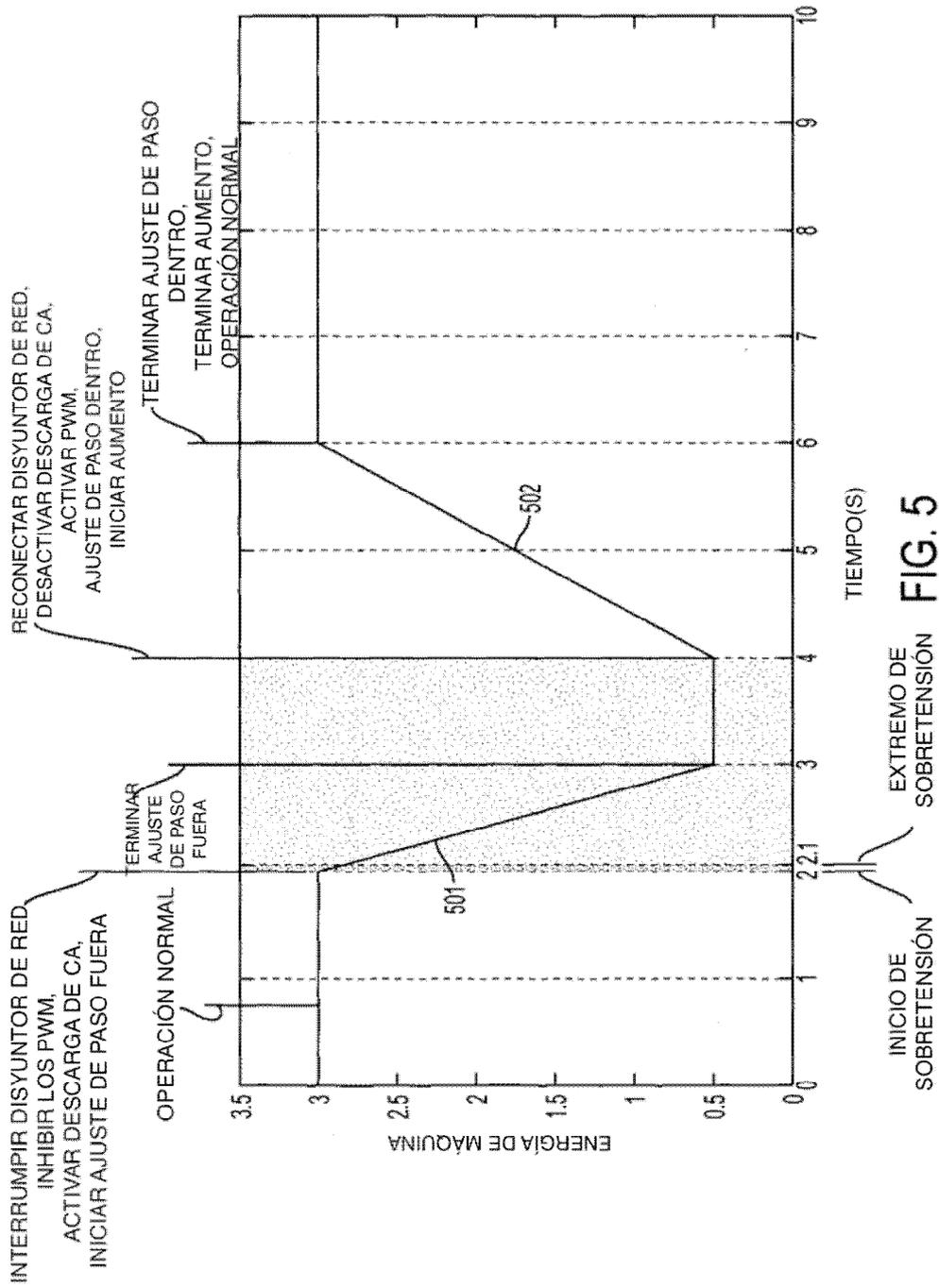


Fig. 4



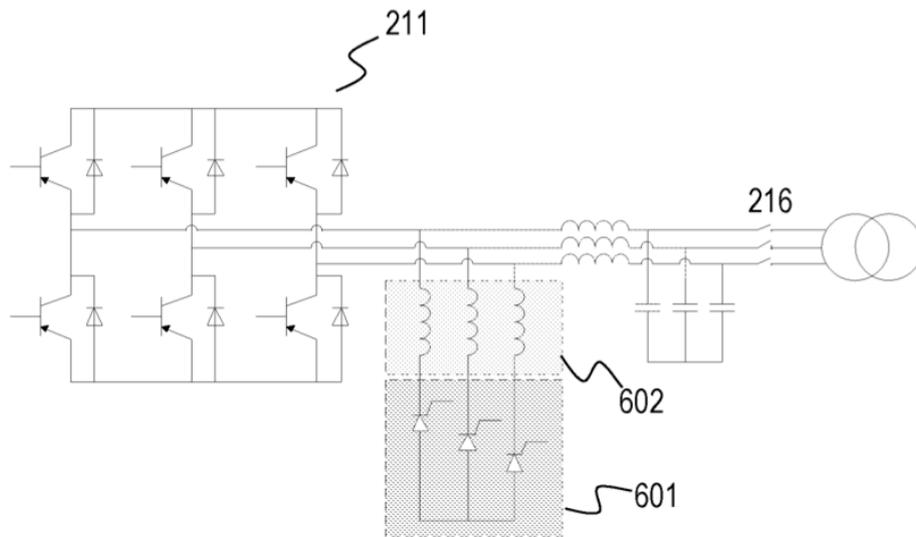


Fig. 6