

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 623 631**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

F03D 9/00 (2006.01)

H02J 3/38 (2006.01)

H02P 3/22 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.12.2010 E 15159313 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.03.2017 EP 2918826**

54 Título: **Método para hacer funcionar una unidad de disipación de potencia en una turbina eólica**

30 Prioridad:

04.01.2010 DK 201070004
07.01.2010 US 292995 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.07.2017

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

GUPTA, AMIT KUMAR y
SAHUKARI, SRIDHAR

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 623 631 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

Método para hacer funcionar una unidad de disipación de potencia en una turbina eólica

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere, en general, a una turbina eólica y, en particular, a un método para hacer funcionar una unidad de disipación de potencia en una turbina eólica.

Antecedentes de la invención

10 Una turbina eólica es un sistema de conversión de energía que convierte la energía cinética del viento en energía eléctrica para redes de suministro eléctrico generales. Específicamente, el viento se aplica a las palas de turbina eólica de la turbina eólica para hacer rotar un rotor. La energía mecánica del rotor en rotación se convierte a su vez en energía eléctrica mediante un generador eléctrico. Dado que la velocidad del viento fluctúa, la fuerza aplicada a las palas eólicas y por tanto la velocidad de rotación del rotor puede variar. Sin embargo, las redes de suministro eléctrico requieren que la turbina eólica proporcione una potencia eléctrica a frecuencia constante.

15 Un tipo de turbina eólica que proporciona potencia eléctrica a frecuencia constante es una turbina eólica de velocidad fija. Este tipo de turbina eólica requiere un rotor de generador que rota a una velocidad constante. Una desventaja de una turbina eólica de velocidad fija de este tipo es que no aprovecha toda la energía del viento a altas velocidades y debe desactivarse a bajas velocidades de viento. Otro tipo de turbina eólica es una turbina eólica de velocidad variable. Este tipo de turbina eólica permite que el generador rote a velocidades variables para adaptarse a las velocidades fluctuantes del viento. Al variar la velocidad de rotación del rotor de generador, la conversión de energía puede optimizarse a lo largo de una gama más amplia de velocidades de viento.

20 Una turbina eólica de velocidad variable incluye habitualmente un convertidor de potencia que tiene un convertidor de lado del generador acoplado a un convertidor de lado de la red de suministro a través de un enlace de corriente continua (CC). El convertidor de lado del generador regula la potencia del generador. Esta potencia pasa por el enlace de CC, y finalmente se alimenta a la red a través del convertidor de lado de la red de suministro. Lo mismo es válido para los sistemas de generador de inducción de doble alimentación (DFIG) en los que sólo una parte de la potencia del generador pasa a través del convertidor de potencia.

25 En condiciones normales, la energía o potencia eléctrica procedente del generador se suministra a la red a través del convertidor de potencia. Dicho de otro modo, la energía captada del viento por la turbina eólica se pasa a la red. Por tanto, puede decirse que hay un equilibrio de potencia en condiciones normales. Sin embargo, cuando hay una ráfaga de viento repentina y/o un fallo de la red, este equilibrio de potencia puede verse alterado, dando como resultado la generación de más potencia que potencia suministrada a la red. Tal desequilibrio de potencia podría llevar a oscilaciones no deseadas de la torre, a un daño del tren de accionamiento o a una desconexión de la turbina.

30 Específicamente, la salida de potencia del generador en respuesta a una ráfaga de viento repentina puede aproximarse como entrada en rampa al sistema de potencia en la turbina eólica con una pendiente pronunciada. Tal progresión en rampa de la carga es uno de los comportamientos de carga más difíciles para un sistema de control en la turbina eólica. Una turbina eólica normalmente se enfrenta a una ráfaga de viento ajustando el paso de las palas para reducir la velocidad del rotor tal como se da a conocer, por ejemplo, en los documentos US 2009/0224542 y EP 2107236. Sin embargo, debido a la dinámica de un controlador de paso, el ajuste de paso de la pala puede no ser lo suficientemente rápido para responder a la ráfaga de viento repentina. Por tanto, esto da como resultado el aumento repentino en la potencia generada por el generador, lo que lleva a las oscilaciones no deseadas de la torre, etc., tal como se mencionó anteriormente.

35 Cuando hay un fallo de la red, por ejemplo un evento de baja tensión, se produce una caída repentina en la demanda de potencia activa desde la red. Como el ajuste de paso de las palas no puede responder lo suficientemente rápido para reducir la generación de potencia, se produce un desequilibrio de potencia en la turbina eólica. El documento US 7.411.309 da a conocer el uso de un circuito de protección de palanca (*crowbar*) durante eventos de baja tensión en la red. El circuito de protección de palanca está acoplado al enlace de CC entre el convertidor de lado del generador y el convertidor de lado de la red de suministro. Cuando la tensión del enlace de CC supera un valor predeterminado (debido a un fallo de la red), el circuito en corto se activa para drenar el exceso de potencia de generador, reduciendo así la tensión del enlace de CC.

40 El uso de un circuito en corto o un circuito de carga de volcado puede proporcionar una buena manera para disipar el exceso de potencia durante un evento de desequilibrio de potencia. El circuito de carga de volcado se activa detectando un aumento anómalo en la tensión del enlace de CC o una caída repentina en la tensión de red. Sin embargo, puede que no sea el método más eficaz para enfrentarse a eventos de desequilibrio de potencia tales como una ráfaga de viento, o en condiciones extremas cuando una ráfaga de viento y un fallo de la red suceden al mismo tiempo. Además, en este método, el banco de resistencias en el circuito de carga de volcado está sometido a demasiados esfuerzos.

El documento WO 2008/104017 describe un método y un aparato para generación de potencia, y en particular un método y un aparato para el control de generación de potencia eléctrica para usar principalmente con turbinas eólicas. Se describe un método de generación de potencia eléctrica que incluye las etapas de recibir potencia en forma de corriente alterna, rectificar dicha potencia de corriente alterna para dar potencia de corriente continua, controlar dicha potencia de corriente continua para producir potencia de corriente continua controlada, e invertir dicha potencia de corriente continua casi constante para producir corriente alterna.

Es por tanto un objeto de la invención proporcionar una manera mejorada de gestionar el exceso de potencia generada en la turbina eólica en un evento de desequilibrio de potencia.

Sumario de la invención

- 10 Según un primer aspecto de la invención se proporciona una turbina eólica de velocidad variable. La turbina eólica comprende un generador, un convertidor de potencia para convertir al menos una parte de la potencia eléctrica generada por el generador, en la que el convertidor de potencia comprende un convertidor de lado del generador, un convertidor de lado de la red de suministro y un enlace de CC entre los mismos, una unidad de disipación de potencia acoplada de manera operativa al enlace de CC y un controlador. El controlador está adaptado para
- 15 determinar la potencia extraída del viento, la potencia suministrada por la turbina eólica y la pérdida de potencia en la unidad de disipación de potencia, determinar la diferencia entre la potencia extraída del viento y la suma de la potencia suministrada por la turbina eólica y la pérdida de potencia en la unidad de disipación de potencia y activar la unidad de disipación de potencia cuando la diferencia de potencia supera un umbral de diferencia de potencia predefinido.
- 20 Según una realización, el controlador está adaptado además para establecer un factor de trabajo para hacer funcionar la unidad de disipación de potencia a un valor diferente de cero cuando se supera el umbral de diferencia de potencia predefinido, activando así la unidad de disipación de potencia.

- Según un segundo aspecto de la invención se proporciona un método para hacer funcionar una unidad de disipación de potencia en 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. El convertidor de potencia comprende un convertidor de lado del generador, un convertidor de lado de la red de suministro y un enlace de CC entre los mismos. La unidad de disipación de potencia está acoplada de manera operativa al enlace de CC. El método comprende determinar la potencia extraída del viento, la potencia suministrada por la turbina eólica y la pérdida de potencia en la unidad de disipación de potencia, determinar la diferencia entre la potencia extraída del viento y la suma de la potencia suministrada por la turbina eólica y la pérdida de potencia en la unidad de disipación de potencia, y activar la unidad de disipación de potencia cuando la diferencia entre la potencia supera un umbral de diferencia predefinido.
- 25
- 30

Según una realización, el método comprende además establecer un factor de trabajo para hacer funcionar la unidad de disipación de potencia a un valor diferente de cero cuando se supera el umbral de diferencia de potencia predefinido, activando así la unidad de disipación de potencia.

- 35 Se describen realizaciones preferidas en las reivindicaciones dependientes.

Cabe destacar que un experto en la técnica reconocerá fácilmente que cualquier característica descrita en combinación con el primer aspecto de la invención también puede combinarse con el segundo aspecto de la invención, y viceversa.

Breve descripción de los dibujos

- 40 La invención se entenderá mejor con referencia a la descripción detallada cuando se considere 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 un diseño de sistema eléctrico de la turbina eólica con un circuito de unidad de disipación de potencia o troceador (*chopper*).

- 45 La figura 3 muestra un algoritmo de control para hacer funcionar el circuito troceador cuando hay un desequilibrio de potencia en la turbina eólica según una realización.

La figura 4 muestra un algoritmo de control para hacer funcionar el circuito troceador cuando hay un desequilibrio de potencia extremo en la turbina eólica según una realización.

La figura 5 muestra un algoritmo de control global para hacer funcionar el circuito troceador según una realización.

- 50 La figura 6 muestra un diagrama de flujo de un método para hacer funcionar el circuito troceador en la turbina eólica según una realización.

La figura 7 muestra un diagrama de flujo de un método para hacer funcionar el circuito troceador en la turbina eólica

cuando hay un desequilibrio de potencia extremo en la turbina eólica según una realización.

La figura 8 muestra un diagrama de flujo de un método para hacer funcionar el circuito troceador en la turbina eólica según una realización adicional.

Descripción detallada de la invención

5 La figura 1 muestra una configuración general de una turbina eólica 1. La turbina eólica 1 incluye una torre 2 que tiene varias secciones de torre, una góndola 3 colocada encima de la torre 2 y un rotor 4 que se extiende desde la góndola 3. La torre 2 se levanta sobre una cimentación 7 construida en el suelo. El rotor 4 puede rotar con respecto a la góndola 3 e incluye un buje 5 y una o más palas 6. El viento que incide sobre las palas 6 hace que el rotor 4 rote con respecto a la góndola 3. La energía mecánica procedente de la rotación del rotor 4 se convierte en energía eléctrica mediante un generador (no mostrado) en la góndola 3. La energía eléctrica se convierte posteriormente en una potencia eléctrica de frecuencia fija mediante un convertidor de potencia para su suministro a una red de suministro eléctrico. La turbina eólica también puede formar parte de un parque eólico o una central de energía eólica que comprende una pluralidad de turbinas eólicas. Toda la potencia eléctrica generada por las turbinas eólicas individuales en el parque eólico se combina y suministra a la red de suministro eléctrico a través de un punto de acoplamiento común (PCC).

Aunque la turbina eólica 1 mostrada en la figura 1 tiene tres palas 6, cabe destacar 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 1 mostrada en la figura 1 es una turbina eólica de eje horizontal (HAWT, *Horizontal Axis Wind Turbine*) puesto que el rotor 4 rota alrededor de un eje horizontal. Cabe destacar que el rotor 4 puede rotar alrededor de un eje vertical. Una turbina eólica de este tipo en la que el rotor rota alrededor del eje vertical se conoce como turbina eólica de eje vertical (VAWT, *Vertical Axis Wind Turbine*). Las realizaciones descritas en lo sucesivo no se limitan a HAWT con 3 palas. Pueden implementarse tanto en HAWT como en VAWT y tener cualquier número de palas 6 en el rotor 4.

La figura 2 muestra un sistema eléctrico de la turbina eólica que tiene una unidad de disipación de potencia o un circuito troceador 105 según una realización. El sistema eléctrico incluye un generador 101, un convertidor de potencia 102 y un transformador principal 103. El sistema eléctrico está conectado a una red de suministro eléctrico 107. El convertidor de potencia 102 incluye un convertidor de lado del generador 110 y un convertidor de lado de la red de suministro 111 conectados a través de un enlace de corriente continua (CC) 112. El enlace de CC 112 incluye un condensador de enlace de CC 113. El circuito troceador 105 está conectado al enlace de CC 112 e incluye un interruptor SW1 y una resistencia 114.

El generador 101 convierte la energía o potencia mecánica en energía o potencia eléctrica que tiene corriente y tensión de CA (corriente alterna) (denominadas conjuntamente "señales de CA"), y proporciona las señales de CA generadas al convertidor de lado del generador 110. Las señales de CA procedentes del generador tienen una frecuencia variable, debido al viento variable. El convertidor de lado del generador 110 convierte o rectifica las señales de CA para dar una tensión de CC (corriente continua) y una corriente de CC (conocidas conjuntamente como "señales de CC") que se aplican al enlace de CC 112. El convertidor de lado de la red de suministro 111 convierte las señales de CC en el enlace de CC 112 en señales de CA de frecuencia fija para la red de suministro eléctrico 107. La potencia que comprende las señales de CA de frecuencia fija en la salida del convertidor de lado de la red de suministro 111 se eleva por el transformador principal 103 a un nivel adecuado para su recepción y transmisión por la red de suministro eléctrico 107.

El funcionamiento del convertidor de lado del generador 110 se controla mediante un controlador de generador 121, y el funcionamiento del convertidor de lado de la red de suministro 111 se controla mediante un controlador de red de suministro 122. El controlador de generador 121 y el controlador de red de suministro 122 forman parte de un controlador de convertidor 120. Un controlador de turbina eólica 123 proporciona un control global del funcionamiento de la turbina eólica. Por ejemplo, el controlador de turbina eólica 123 puede recibir información (por ejemplo velocidad del viento) desde sensores externos (por ejemplo un anemómetro) y proporciona una señal de control a un control de paso (no mostrado) para ajustar el paso de las palas para obtener una velocidad del rotor deseada. El controlador de turbina eólica 123 también puede proporcionar señales de control al controlador de convertidor 120 para controlar los convertidores 110 y 111.

Durante el funcionamiento normal de la turbina eólica, la potencia eléctrica generada por el generador se convierte por el convertidor de potencia 102 en potencia que tiene señales de CA de frecuencia fija para su suministro a la red de suministro eléctrico 107. El interruptor SW1 está abierto, y por tanto no se disipa potencia en la resistencia 114. Dicho de otro modo, suponiendo que no se producen pérdidas, casi toda la potencia generada por el generador se suministra a la red de suministro eléctrico 107, y existe un "equilibrio de potencia" en la turbina eólica. Cuando se produce una caída de tensión en la red de suministro eléctrico 107 (evento de baja tensión) que da como resultado una disminución en la potencia activa transferida por el convertidor de lado de la red de suministro para su suministro a la red de suministro y/o cuando se produce una ráfaga de viento repentina que provoca un aumento repentino en la velocidad de rotación de las palas de la turbina eólica (evento de ráfaga de viento), la potencia generada por el generador supera la potencia suministrada a la red de suministro eléctrico 107. Dicho de otro modo,

existe un “desequilibrio de potencia” en la turbina eólica. Como se mencionó anteriormente, tal desequilibrio de potencia en la turbina eólica lleva a efectos no deseados tales como oscilaciones de la torre, daño en el tren de accionamiento o desconexión de la turbina.

5 Cuando hay un desequilibrio de potencia en la turbina eólica, cualquier exceso de potencia que no se suministra a la red 107 se disipa mediante la resistencia 114 en el circuito troceador 105 cerrando el interruptor SW1. Según una realización, el funcionamiento (apertura y cierre) del interruptor SW1 se controla de modo que la resistencia 114 en el circuito troceador 105 sólo disipa el exceso de potencia en la turbina eólica. Dicho de otro modo, el circuito troceador 105 sólo se activa cuando hay un desequilibrio de potencia en la turbina eólica, y sólo durante un periodo justo suficiente para disipar el exceso de potencia. El control del funcionamiento del interruptor SW1, y por tanto el funcionamiento del circuito troceador 105, se describirán más adelante con referencia a la figura 3.

10 Cabe destacar que el sistema eléctrico descrito con referencia a la figura 2 es sólo un ejemplo de la configuración eléctrica de la turbina eólica y sólo se muestran los componentes principales para ilustrar las realizaciones. La presente invención no estará limitada a la configuración exacta del sistema eléctrico mostrada en la figura 2. Son posibles otras configuraciones eléctricas. Por ejemplo, puede usarse una configuración de generador de inducción de doble alimentación (DFIG) en otras realizaciones. Además, muchos componentes en el sistema eléctrico de la turbina eólica no se muestran en la figura 2. Por ejemplo, el sistema eléctrico puede incluir filtros entre el generador 101 y el convertidor de potencia 102, y entre el convertidor de potencia 102 y el transformador principal 103. Además, puede haber interruptores dispuestos en diversas ubicaciones para conectar o desconectar determinados componentes de la turbina. La resistencia 114 en el circuito troceador 105 puede incluir una única resistencia o un banco de resistencias.

15 No es necesario que el sistema eléctrico mostrado en la figura 2 se conecte a la red de suministro eléctrico 107. Puede conectarse a una carga de CA o CC. Si se conecta a una carga de CC, el convertidor de lado de la red de suministro 111 y el transformador 103 pueden omitirse, y el enlace de CC 112 puede conectarse directamente a la carga de CC. Alternativamente, puede disponerse un convertidor CC-CC entre el enlace de CC 112 y la carga de CC para elevar o reducir la tensión de CC en el enlace de CC 112 hasta una tensión de CC adecuada para la carga de CC.

20 La figura 3 muestra un algoritmo de control para hacer funcionar el circuito troceador cuando hay un desequilibrio de potencia en la turbina eólica según una realización. La tensión en el enlace de CC 210 se usa como uno de los factores para decidir si el circuito troceador debe activarse. Esto se debe a que cualquier potencia eléctrica procedente del generador, si no se transfiere a la red de suministro o a la carga, lleva a un aumento en la tensión del enlace de CC. Por tanto, en este algoritmo de control, no es necesario detectar un desequilibrio de potencia por separado puesto que el circuito troceador se activa automáticamente en caso de desequilibrio de potencia como resultará evidente a partir de la siguiente descripción.

25 En el algoritmo de control de la figura 3, se obtienen una función de la tensión del enlace de CC de referencia predefinida 202 y una función de una tensión del enlace de CC real 203. Como se mencionó anteriormente, la función $f(X)$ de la tensión del enlace de CC real (y también la función de la tensión del enlace de CC de referencia predefinida) puede ser cualquier expresión matemática de la tensión del enlace de CC, tal como $f(X) = X$, $f(X) = aX + b$, o $f(X) = X^2$, o cualquier relación polinómica, donde a y b son constantes y X es la tensión del enlace de CC real. En esta realización, la función de la tensión del enlace de CC real es X^2 . La función de la tensión del enlace de CC de referencia predefinida también usa la misma función en esta realización.

30 La diferencia entre los cuadrados de la tensión del enlace de CC real 203 y la tensión del enlace de CC de referencia predefinida 202 se obtiene como tensión de error del enlace de CC 205. Un controlador PI (proporcional integral) 201 recibe la tensión de error del enlace de CC 205 como entrada y emite una potencia de error del enlace de CC 206. Según una realización, el algoritmo de control incluye además determinar una potencia de alimentación directa. La potencia de alimentación directa es la diferencia entre la potencia suministrada al convertidor de lado del generador 207 y la potencia transferida por el convertidor de lado de la red de suministro 208.

35 En condiciones normales cuando hay un equilibrio de potencia en la turbina eólica, la potencia de alimentación directa es aproximadamente cero, suponiendo que no hay pérdida de potencia. Sin embargo cuando se produce una ráfaga de viento y/o un fallo de la red que llevan a un desequilibrio de potencia, la potencia de alimentación directa pasa a ser diferente de cero. La adición de la potencia de alimentación directa a la potencia de error del enlace de CC 206 lleva a una activación rápida del circuito troceador.

La potencia suministrada al convertidor de lado del generador 207 puede expresarse como:

$$P_M = V_{am} I_{am} + V_{bm} I_{bm} + V_{cm} I_{cm} \quad (1)$$

40 donde P_M es la potencia suministrada al convertidor de lado del generador desde el generador, V_{am} , V_{bm} y V_{cm} son las tensiones de fase en los terminales del generador, e I_{am} , I_{bm} e I_{cm} son las corrientes a través de los terminales del generador. Las corrientes I_{am} , I_{bm} , I_{cm} pueden medirse entre el convertidor de potencia y el generador. Las tensiones V_{am} , V_{bm} , V_{cm} pueden medirse en los terminales del generador directamente. Si no es posible medir las tensiones

V_{am} , V_{bm} , V_{cm} en los terminales del generador, pueden usarse tensiones de referencia en los terminales del convertidor. Usando las tensiones de referencia en los terminales del convertidor y corrientes medidas en los terminales del generador, la potencia procedente del generador en el sistema de coordenadas $\alpha\beta$ puede proporcionarse como:

$$P_{Ma\beta} = 1,5 (v_{\alpha}i_{\alpha} + v_{\beta}i_{\beta}) \quad (2)$$

donde $P_{Ma\beta}$ es P_M en el sistema de coordenadas $\alpha\beta$, v_{α} , v_{β} e i_{α} , i_{β} son tensiones y corrientes en las coordenadas α y β , respectivamente.

En una realización alternativa, la potencia suministrada al convertidor de lado del generador desde el generador P_M se estima usando la siguiente expresión:

$$P_M = P_{Viento} - P_{L,Tren\ de\ acc.} - P_{L,Generador} \quad (3)$$

donde P_{viento} es la potencia extraída del viento, $P_{L,Tren\ de\ acc.}$ son las pérdidas en el tren de accionamiento y $P_{L,Generador}$ son las pérdidas en el generador. Para una velocidad y un par motor dados, $P_{L,Tren\ de\ acc.}$ y $P_{L,Generador}$ pueden obtenerse usando una tabla de consulta para una caja de engranajes y un generador dados. La ventaja de estimar P_M usando la ecuación (3) es que P_M puede obtenerse más rápido en comparación con usando la ecuación (1).

La potencia transferida por el convertidor de lado de la red de suministro 208 puede expresarse como:

$$P_G = V_{ag}I_{ag} + V_{bg}I_{bg} + V_{cg}I_{cg} \quad (4)$$

donde P_G es la potencia transferida por el convertidor de lado de la red de suministro, V_{ag} , V_{bg} y V_{cg} son las tensiones en los terminales del convertidor, e I_{ag} , I_{bg} e I_{cg} son las corrientes a través de los terminales del convertidor. Si las tensiones en los terminales del convertidor V_{ag} , V_{bg} , V_{cg} no pueden obtenerse, por ejemplo debido a una conmutación del convertidor, en su lugar pueden usarse tensiones de referencia para el convertidor. Usando las tensiones de referencia para el convertidor y corrientes medidas en los terminales del convertidor, la potencia transferida por el convertidor de lado de la red de suministro en el sistema de coordenadas $\alpha\beta$ puede proporcionarse como:

$$P_{Ga\beta} = 1,5 (v_{\alpha}i_{\alpha} + v_{\beta}i_{\beta}) \quad (6)$$

donde $P_{Ga\beta}$ es P_G en el sistema de coordenadas $\alpha\beta$, v_{α} , v_{β} e i_{α} , i_{β} son tensiones y corrientes en las coordenadas α y β , respectivamente.

La potencia total P_{total} que va a disiparse 209 es la suma de la potencia de error del enlace de CC 206 y la potencia de alimentación directa ($P_M - P_G$). La potencia máxima que puede disiparse por el circuito troceador puede determinarse de la siguiente manera:

$$P_{m\acute{a}x} = \frac{V_{cc}^2}{R_{troceador}} \quad (7)$$

donde $P_{m\acute{a}x}$ es la potencia máxima que puede disiparse por la resistencia o banco de resistencias en el circuito troceador, V_{cc} es la tensión del enlace de CC real y $R_{troceador}$ es la resistencia de la resistencia en el circuito troceador. El valor de resistencia $R_{troceador}$ de la resistencia se selecciona normalmente de modo que $P_{m\acute{a}x}$ es mayor que una potencia máxima anticipada que puede ser necesario disipar en un evento de ráfaga de viento y/o fallo de la red. En una realización, el valor de $R_{troceador}$ se elige de modo que $P_{m\acute{a}x}$ es de aproximadamente el 10-20% mayor que la potencia de salida nominal de la turbina.

El factor de trabajo para hacer funcionar el circuito troceador se determina como la razón entre la potencia total que va a disiparse P_{total} y la potencia máxima $P_{m\acute{a}x}$, es decir:

$$DR_1 = \frac{P_{total}}{P_{m\acute{a}x}} \quad (8)$$

donde DR_1 es el factor de trabajo. Como la potencia total P_{total} es siempre menor que la potencia máxima $P_{m\acute{a}x}$, el factor de trabajo tiene un valor de desde 0 hasta 1.

En condiciones normales, cuando no hay un desequilibrio de potencia en la turbina eólica, la tensión en el enlace de CC se regula mediante un controlador de enlace de CC a una tensión del enlace de CC preestablecida. La tensión del enlace de CC preestablecida es el nivel de tensión que se mantiene en el enlace de CC en condiciones normales. La tensión del enlace de CC de referencia V_{ccref} está predefinida o se establece a un valor que es superior

a esta tensión del enlace de CC preestablecida. Por tanto en condiciones normales, la potencia de error del enlace de CC 206 es negativa puesto que la tensión del enlace de CC (que se regula a la tensión del enlace de CC preestablecida) tiene un valor inferior a la tensión del enlace de CC de referencia. La potencia de alimentación directa ($P_M - P_G$) será aproximadamente cero, y por tanto P_{total} , es negativa. Por consiguiente, el factor de trabajo es cero. El interruptor SW1 no se enciende, y el circuito troceador no se activa.

Cuando hay un desequilibrio de potencia, tanto la potencia de error del enlace de CC 206 como la potencia de alimentación directa ($P_M - P_G$) pasan a ser diferentes de cero. Esto da como resultado que la potencia total pase a ser diferente de cero. Por tanto, el factor de trabajo tendrá ahora un valor diferente de cero de desde 0 hasta 1. Cuando el factor de trabajo tiene un valor de 0,5, el circuito troceador sólo se activa o enciende durante el 50% del tiempo en un ciclo de trabajo. De manera similar cuando el factor de trabajo tiene un valor de 0,3, el circuito troceador sólo se activa durante el 30% del tiempo en un ciclo de trabajo.

Por consiguiente, el circuito troceador no se activa todo el tiempo cuando hay un desequilibrio de potencia para disipar la potencia, sino sólo durante un periodo de tiempo apropiado dependiendo de la magnitud del desequilibrio de potencia en la turbina eólica controlada por el factor de trabajo. Por tanto, se garantiza la eficiencia y eficacia del circuito troceador puesto que sólo se disipa la potencia que no se suministra a la red de suministro. El uso de potencia de alimentación directa también garantiza una activación rápida del circuito troceador en caso de desequilibrio de potencia en la turbina eólica. Por tanto la oscilación de la torre de turbina eólica debido a una ráfaga de viento repentina y/o un fallo de la red puede evitarse puesto que ahora el circuito troceador puede activarse rápidamente.

El algoritmo de control de la figura 3 se ha descrito con referencia a la turbina basada en convertidor de escala completa mostrada en la figura 2. Cabe destacar que el algoritmo de control descrito con referencia a la figura 3 también puede aplicarse en un sistema DFIG. En la turbina basada en convertidor de escala completa mostrada en la figura 2, la potencia transferida por el convertidor de lado de la red de suministro 111 es aproximadamente igual a la potencia suministrada a la red 107 si se supone que cualquier pérdida de potencia entre la salida del convertidor de lado de la red de suministro 111 y la red de suministro 107 es despreciable. De manera similar, la potencia suministrada al convertidor de lado del generador 110 es aproximadamente igual a la potencia generada desde el generador 101, suponiendo pérdidas de potencia despreciables entre la salida del generador 101 y el convertidor de lado del generador 110.

En un sistema DFIG, la potencia suministrada a la red de suministro es la suma de la potencia transferida por el convertidor de lado de la red de suministro 111 y la potencia transferida a través de los devanados de estator. La potencia generada desde el generador 101 es la suma de la potencia suministrada al convertidor de lado del generador 110 y la potencia transferida a través de los devanados de estator.

La figura 4 muestra un algoritmo de control para hacer funcionar el circuito troceador cuando hay un desequilibrio de potencia extremo y repentino en la turbina eólica según una realización. Se obtienen la potencia extraída del viento P_{viento} , la potencia suministrada a la red o a la carga P_{red} y la pérdida de potencia en el circuito troceador $P_{L,troceador}$. Se determina la diferencia de potencia P_{dif} entre la potencia extraída del viento P_{viento} y la potencia suministrada a la red de suministro P_{red} y la pérdida de potencia en el circuito troceador $P_{L,troceador}$. Específicamente, se determina la diferencia de potencia usando la siguiente expresión:

$$P_{dif} = P_{viento} - P_{Red} - P_{L,troceador} \quad (9)$$

La diferencia de potencia P_{dif} se compara con un umbral de diferencia de potencia predefinido P_{umbral} . Si la diferencia de potencia P_{dif} supera el umbral de diferencia predefinido P_{umbral} , se enciende el circuito troceador, es decir el factor de trabajo DR_2 para hacer funcionar el circuito troceador se establece a 1. De lo contrario, DR_2 se establece a 0. El umbral P_{umbral} se establece a un valor de tal modo que sólo se supera cuando la diferencia P_{dif} es grande, por ejemplo durante condiciones de ráfagas de viento extremas y/o fallos extremos. P_{umbral} puede almacenarse en una tabla de consulta para diversas condiciones ráfagas de viento y/o fallos extremos.

La potencia procedente del viento puede determinarse usando la siguiente expresión:

$$P_{viento} = \frac{1}{2} \rho A V_{viento}^3 C_p(\theta, \lambda) \quad (10)$$

donde ρ es la densidad del aire, A es el área del rotor, V_{viento} es la velocidad del viento, C_p es el coeficiente de potencia del rotor, θ es el ángulo de paso y λ es la velocidad periférica. Suponiendo un área del rotor A y una densidad del aire ρ constantes, la potencia procedente del viento P_{viento} es proporcional a $V_{viento}^3 C_p(\theta, \lambda)$. El uso directo de la velocidad del viento V_{viento} proporciona un método muy rápido para determinar si hay un evento de ráfaga de viento.

Como se mencionó anteriormente, en el sistema de turbina eólica basada en convertidor de escala completa, la potencia suministrada a la red de suministro P_{red} es aproximadamente igual a la potencia transferida por el convertidor de lado de la red de suministro 111. Por tanto, la potencia suministrada a la red de suministro puede

determinarse usando la ecuación (4) como se comentó anteriormente. En el sistema DFIG, la potencia suministrada a la red de suministro P_{red} es la suma de la potencia transferida por el convertidor de lado de la red de suministro 111 y la potencia transferida a través de los devanados de estator puesto que el estator está directamente acoplado a la red de suministro.

5 La pérdida de potencia en el circuito troceador $P_{L,troceador}$ es:

$$P_{L,troceador} = V_{cc}^2 / R_{troceador} \times DR \quad (11)$$

10 donde V_{cc} es la tensión del enlace de CC y DR es el factor de trabajo del circuito troceador. Cabe destacar que DR puede ser igual al factor de trabajo DR_2 en la realización en la que sólo se utiliza el algoritmo de control en la figura 4 o se obtiene tomando un máximo (MÁX) de DR_1 y DR_2 en una realización en la que se usan los dos algoritmos de control en la figura 3 y la figura 4 (véase la figura 5). Cuando el circuito troceador no está activado, la pérdida de potencia en el circuito troceador $P_{L,troceador}$ es cero puesto que DR es cero.

15 Cuando no hay una ráfaga de viento o fallo de la red, la potencia suministrada a la red P_{red} es aproximadamente igual a la potencia extraída del viento P_{viento} , suponiendo pérdidas despreciables en el tren de accionamiento. La pérdida de potencia en el circuito troceador $P_{L,troceador}$ es cero si el circuito troceador no está activado. En cualquier momento dado, puede suponerse que la suma de la potencia suministrada a la red de suministro P_{red} y la pérdida de potencia en el circuito troceador $P_{L,troceador}$ es el consumo de potencial total en la turbina eólica (suponiendo que no hay otras pérdidas en el tren de accionamiento de la turbina eólica). Cuando se produce una ráfaga de viento y/o un fallo de la red extremo, la diferencia de potencia P_{dif} entre P_{viento} y la potencia total consumida, P_{red} y $P_{L,troceador}$ pueden pasar a ser significativamente grandes. Esto puede llevar a una velocidad excesiva del generador, vibración de la torre y/o desconexión de la turbina. La diferencia de potencia P_{dif} se compara con el umbral de diferencia P_{umbral} . Este umbral de diferencia P_{umbral} puede tabularse en una tabla de consulta, y es el límite en el cual empiezan a producirse problemas tales como vibración de la torre y desconexión de la turbina. Cuando el umbral de diferencia P_{dif} supera el umbral de diferencia P_{umbral} , el circuito troceador se activa para reducir la diferencia de potencia P_{dif} .

20 Por consiguiente, el uso del algoritmo de control en la figura 4 para controlar el funcionamiento del circuito troceador proporciona una manera rápida y eficaz de activar el circuito troceador en caso de condiciones de ráfagas de viento y/o fallos de la red extremos y repentinos.

25 En una realización, el algoritmo de control en la figura 4 se usa junto con el algoritmo de control mostrado en la figura 3 para hacer funcionar el circuito troceador en caso de desequilibrio de potencia en la turbina eólica. Cuando se produce una ráfaga de viento y/o un fallo de la red, el funcionamiento del circuito troceador se controla mediante el factor de trabajo obtenido usando el algoritmo de control de la figura 3. En condiciones de ráfagas de viento o fallos extremos y repentinos, el algoritmo de control de la figura 4 se usa para activar el circuito troceador. Tal disposición en la que se usan ambos algoritmos de control se muestra en la figura 5.

30 En la figura 5, el algoritmo de control descrito con referencia a la figura 3 se representa como bloque 300 y el algoritmo de control descrito con referencia a la figura 4 se representa como bloque 301. Las salidas del bloque 300 y el bloque 301 se proporcionan como entradas a un bloque de función MAX 302. La salida del bloque de función MAX 302 se proporciona como señal de control para controlar el funcionamiento del circuito troceador. Específicamente, la salida 303 del bloque de función MAX 302 es el factor de trabajo a partir del algoritmo de control de la figura 3 cuando hay un desequilibrio de potencia en la turbina eólica. En caso de desequilibrio de potencia extremo, el factor de trabajo en la salida 303 del bloque de función MAX 302 proporciona un valor de 1 debido a que la salida del bloque 301 es 1. Dicho de otro modo, siempre que uno de los algoritmos de control proporcione un factor de trabajo diferente de cero, se activa el circuito troceador.

35 Cabe destacar que la configuración en la figura 5 es meramente un ejemplo ilustrativo de cómo pueden usarse los algoritmos de control mostrados en la figura 3 y la figura 4 en combinación entre sí. En otras realizaciones son posibles otros tipos de configuraciones, por ejemplo aplicar una función O en las salidas de los bloques 300 y 301. Los algoritmos de control descritos anteriormente con referencia a la figura 3 y la figura 4 pueden implementarse en el controlador de convertidor 120 y/o el controlador de turbina eólica 123 de la figura 2. También es posible implementar los algoritmos de control usando un controlador independiente y/o separado (no mostrado en la figura 2). También cabe destacar que es posible usar sólo uno de los algoritmos de control descritos con referencia a la figura 3 o la figura 4 para controlar el circuito troceador en otras realizaciones.

40 La figura 6 muestra un diagrama de flujo de un método para hacer funcionar la unidad de disipación de potencia en la turbina eólica según una realización. La etapa 400 incluye obtener una señal de error de tensión del enlace de CC. La señal de error de tensión del enlace de CC es la diferencia entre una función de la tensión del enlace de CC real y una función de la tensión del enlace de CC de referencia predefinida. Como se mencionó anteriormente, la función de la tensión del enlace de CC real y de referencia predefinida puede incluir cualquier expresión matemática relativa a la tensión del enlace de CC. En una realización, la función es los cuadrados de la tensión del enlace de CC real y la tensión del enlace de CC de referencia predefinida.

45 La etapa 410 incluye determinar la potencia de error del enlace de CC y la potencia de alimentación directa. La

potencia de error del enlace de CC se determina basándose en la señal de error de tensión del enlace de CC. Como se mencionó anteriormente, la potencia de error del enlace de CC puede determinarse usando el controlador PI con la señal de error de tensión del enlace de CC como entrada. En una realización, la potencia de alimentación directa incluye la diferencia entre la potencia suministrada al convertidor de lado del generador y la potencia transferida por el convertidor de lado de la red de suministro. La etapa 420 incluye generar el factor de trabajo para hacer funcionar la unidad de disipación de potencia. En una realización, el factor de trabajo se usa para hacer funcionar la unidad de disipación de potencia. El circuito troceador tal como se ha descrito con referencia a la figura 2 anteriormente es un ejemplo de la unidad de disipación de potencia. El factor de trabajo se genera basándose en la potencia de error del enlace de CC y la potencia de alimentación directa. En una realización, el factor de trabajo es la razón entre la potencia que va a disiparse mediante la unidad de disipación de potencia y la potencia máxima que puede disipar la unidad de disipación de potencia. La potencia que va a disiparse es la suma de la potencia de error del enlace de CC y la potencia de alimentación directa en una realización. A continuación se repiten las etapas 400 a 420, de modo que el factor de trabajo se actualiza constantemente.

La figura 7 muestra un diagrama de flujo de un método para hacer funcionar el circuito troceador en la turbina eólica cuando hay un desequilibrio de potencia extremo en la turbina eólica según una realización. La etapa 500 incluye determinar la potencia extraída del viento, la potencia suministrada por la turbina eólica y la pérdida de potencia en la unidad de disipación de potencia. La unidad de disipación de potencia puede ser un circuito troceador en una realización. Como se describió anteriormente, la potencia procedente del viento puede determinarse usando la ecuación (10) en una realización. La pérdida de potencia en la unidad de disipación de potencia puede determinarse usando la ecuación (11). La pérdida de potencia en la unidad de disipación de potencia es cero si el circuito troceador no está activado.

La etapa 510 incluye determinar si la diferencia de potencia entre la potencia extraída del viento y la suma de la potencia suministrada a la red de suministro y la pérdida de potencia procedente del circuito troceador supera el umbral de diferencia de potencia. Si la diferencia de potencia supera el umbral de diferencia de potencia, el factor de trabajo se establece a 1 en la etapa 520. De lo contrario, el factor de trabajo se establece a 0 (también en la etapa 520). A continuación se repiten las etapas 500 a 520, de modo que el factor de trabajo se actualiza constantemente.

La figura 8 muestra un diagrama de flujo de un método para hacer funcionar la unidad de disipación de potencia en la turbina eólica según una realización adicional. En esta realización, los métodos tal como se definen en las etapas 400 a 420 y las etapas 500 a 520 se usan de manera concurrente para controlar el funcionamiento de la unidad de disipación de potencia. Las etapas 400 a 420 ya se han descrito con referencia a la figura 6 y las etapas 500 a 520 ya se han descrito con referencia a la figura 7. Las etapas 400 a 420 y las etapas 500 a 520 se repiten para actualizar constantemente el factor de trabajo.

La etapa 540 incluye determinar un máximo de los factores de trabajo de la etapa 420 y la etapa 520, y activar la unidad de disipación de potencia en la etapa 550 basándose en el máximo de los dos factores de trabajo. Cabe destacar que la unidad de disipación de potencia sólo se activa cuando el máximo de los factores de trabajo tiene un valor diferente de cero.

Se destacará que las realizaciones descritas anteriormente son posibles ejemplos de implementaciones que simplemente se exponen para entender mejor los principios de la invención. El experto en la técnica puede realizar muchas variaciones y modificaciones de la(s) realización/realizaciones descrita(s) anteriormente, estando previsto que dichas variaciones y modificaciones se incluyan en el presente documento dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Turbina eólica de velocidad variable (1) que comprende:

un generador (101);

5 un convertidor de potencia (102) para convertir al menos una parte de la potencia eléctrica generada por el generador (101), comprendiendo el convertidor de potencia (102) un convertidor de lado del generador (110), un convertidor de lado de la red de suministro (111) y un enlace de CC (112) entre los mismos; y

una unidad de disipación de potencia (105) acoplada de manera operativa al enlace de CC (112);

caracterizada porque

10 la turbina eólica de velocidad variable (1) comprende además un controlador (121), en la que el controlador (121) está adaptado para:

determinar la potencia extraída del viento, la potencia suministrada por la turbina eólica (1) y la pérdida de potencia en la unidad de disipación de potencia (105);

determinar la diferencia entre la potencia extraída del viento y la suma de la potencia suministrada por la turbina eólica (1) y la pérdida de potencia en la unidad de disipación de potencia (105); y

15 activar la unidad de disipación de potencia (105) cuando la diferencia entre la potencia supera un umbral de diferencia de potencia predefinido.

2. Turbina eólica de velocidad variable (1) según la reivindicación 1, en la que el controlador (121) está adaptado además para establecer un factor de trabajo para hacer funcionar la unidad de disipación de potencia (105) a un valor diferente de cero cuando se supera el umbral de diferencia de potencia predefinido, activando así la unidad de disipación de potencia (105).

20

3. Turbina eólica de velocidad variable (1) según la reivindicación 1, en la que el controlador (121) está adaptado para determinar la potencia extraída del viento según la siguiente expresión:

$$P_{viento} = \frac{1}{2} \rho A V_{viento}^3 C_p(\theta, \lambda)$$

25 donde ρ es la densidad del aire, A es el área de rotor del generador (101), V_{viento} es la velocidad del viento, C_p es un coeficiente de potencia del rotor, θ es el ángulo de paso y λ es la velocidad periférica del generador (101).

4. Turbina eólica de velocidad variable (1) según la reivindicación 1, en la que el controlador (121) está adaptado para determinar la potencia suministrada por la turbina eólica (1) según la siguiente expresión:

$$P_G = V_{ag} I_{ag} + V_{bg} I_{bg} + V_{cg} I_{cg}$$

30 donde P_G es la potencia transferida por el convertidor de lado de la red de suministro (111), V_{ag} , V_{bg} y V_{cg} son las tensiones en los terminales del convertidor de lado de la red de suministro (111), e I_{ag} , I_{bg} e I_{cg} son las corrientes a través de los terminales del convertidor de lado de red de suministro (111).

5. Turbina eólica de velocidad variable (1) según la reivindicación 1, en la que el controlador (121) está adaptado para determinar la pérdida de potencia en la unidad de disipación de potencia (105) según la siguiente expresión:

35

$$P_{L,troceador} = V_{cc}^2 / R_{troceador} \times DR$$

donde V_{cc} es la tensión del enlace de CC, $R_{troceador}$ es la resistencia de una resistencia en la unidad de disipación de potencia (105) y DR es el factor de trabajo de la unidad de disipación de potencia (105).

6. Turbina eólica de velocidad variable (1) según la reivindicación 1, en la que la unidad de disipación de potencia (105) comprende al menos un interruptor (SW1) y una resistencia (114).

40

7. Método para hacer funcionar una unidad de disipación de potencia (105) en una turbina eólica (1), comprendiendo la turbina eólica (1) un convertidor de potencia (102) para convertir al menos una parte de la potencia eléctrica generada por un generador (101), en el que el convertidor de potencia (102) comprende un convertidor de lado del generador (110), un convertidor de lado de la red de suministro (111) y un enlace de CC (112) entre los mismos, la unidad de disipación de potencia (105) está acoplada de

45

manera operativa al enlace de CC (112),

caracterizado porque el método comprende:

determinar la potencia extraída del viento, la potencia suministrada por la turbina eólica (1) y la pérdida de potencia en la unidad de disipación de potencia (105);

5 determinar la diferencia entre la potencia extraída del viento y la suma de la potencia suministrada por la turbina eólica (1) y la pérdida de potencia en la unidad de disipación de potencia (105); y

activar la unidad de disipación de potencia (105) cuando la diferencia entre la potencia supera un umbral de diferencia de potencia predefinido.

10 8. Método según la reivindicación 7, que comprende además establecer un factor de trabajo para hacer funcionar la unidad de disipación de potencia (105) a un valor diferente de cero cuando se supera el umbral de diferencia de potencia predefinido, activando así la unidad de disipación de potencia (105).

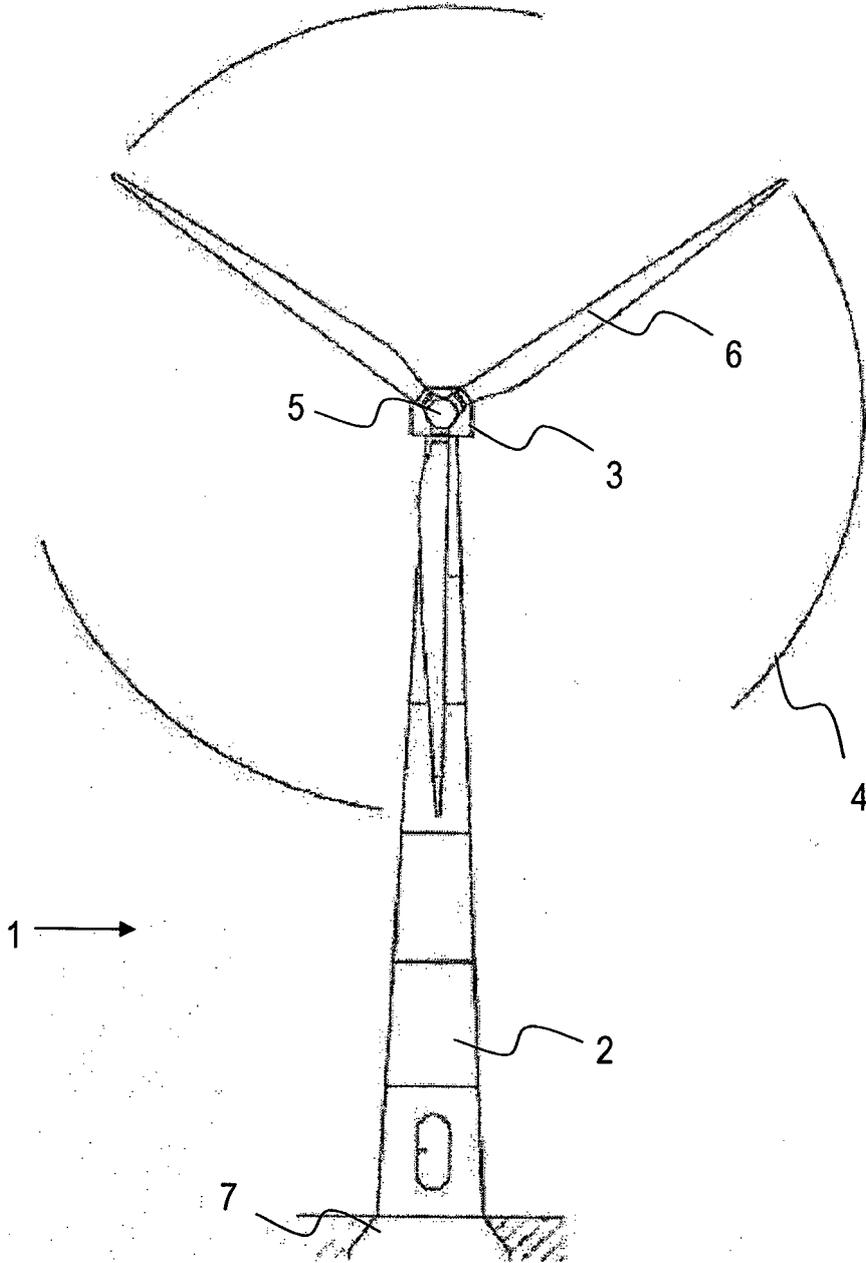


Fig. 1

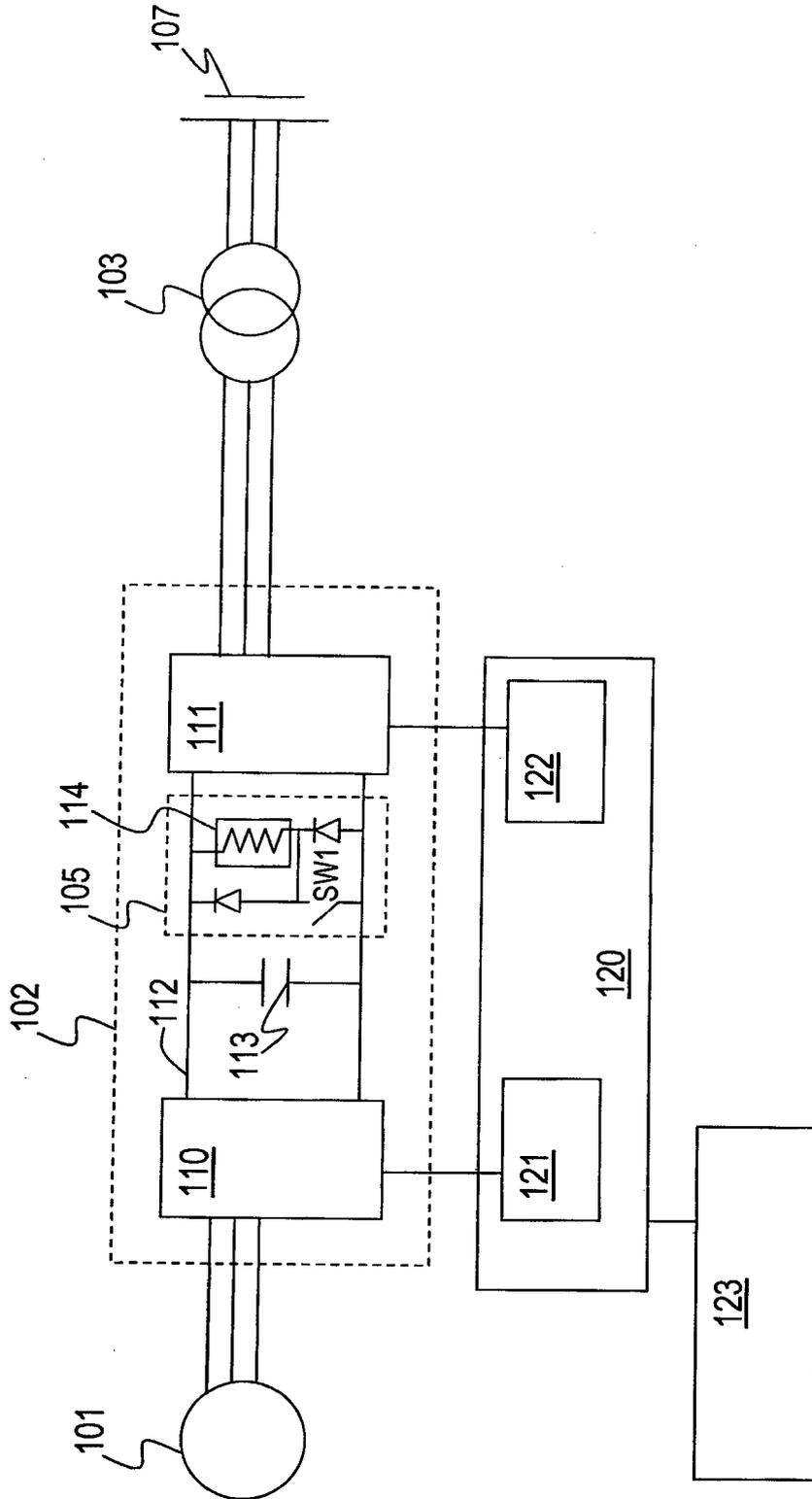


Fig. 2

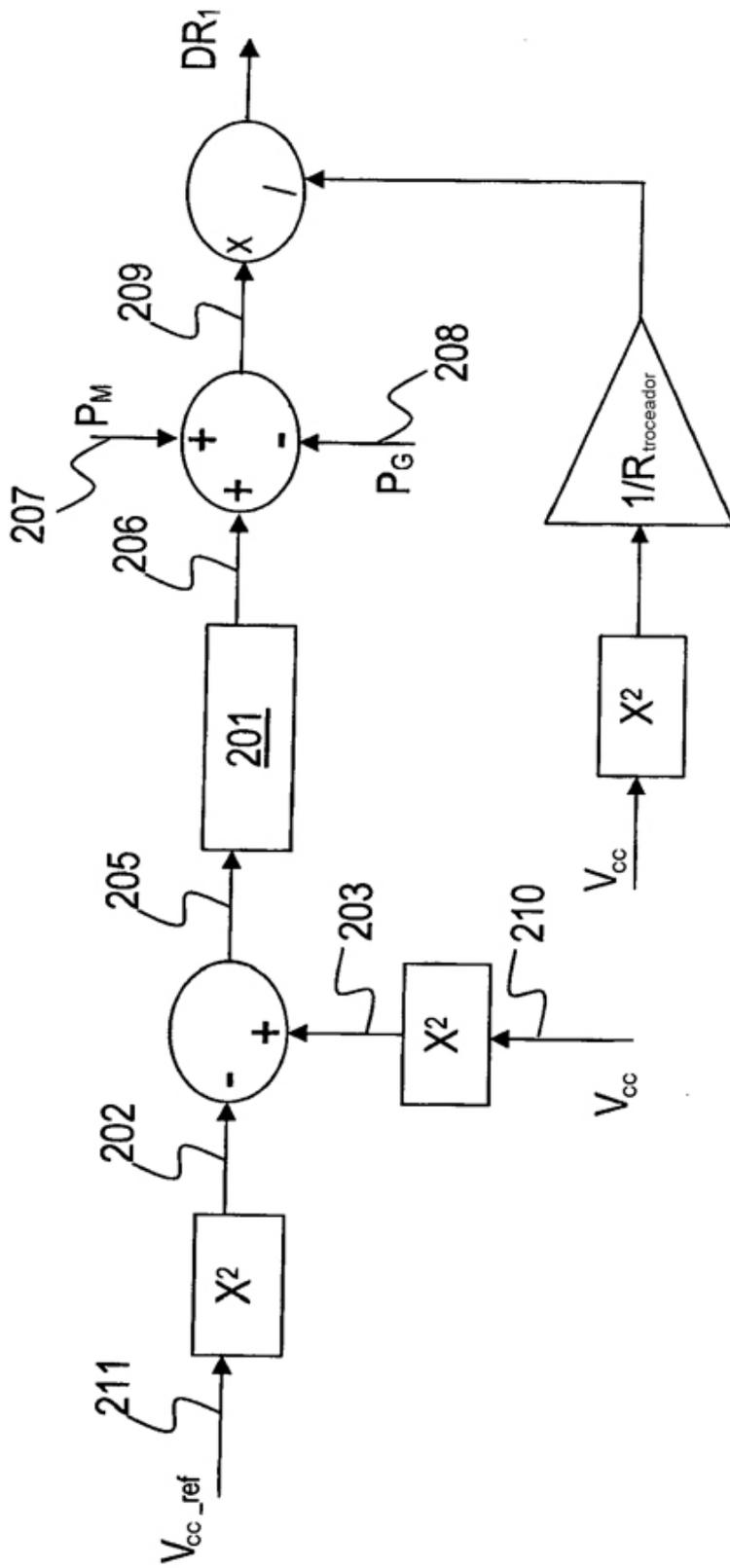


Fig. 3

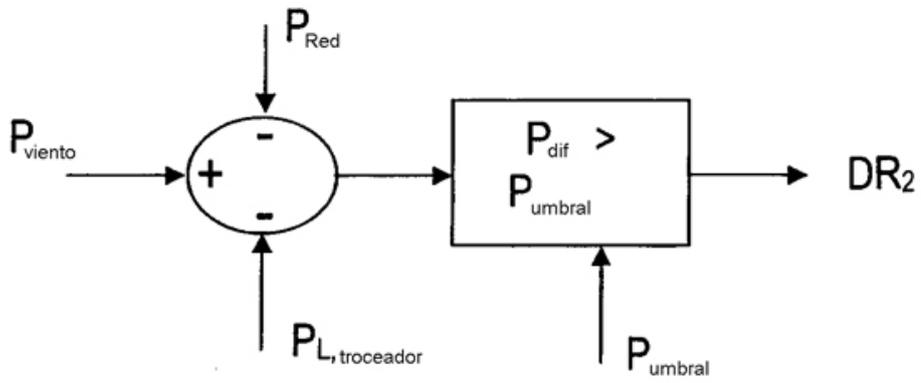


Fig. 4

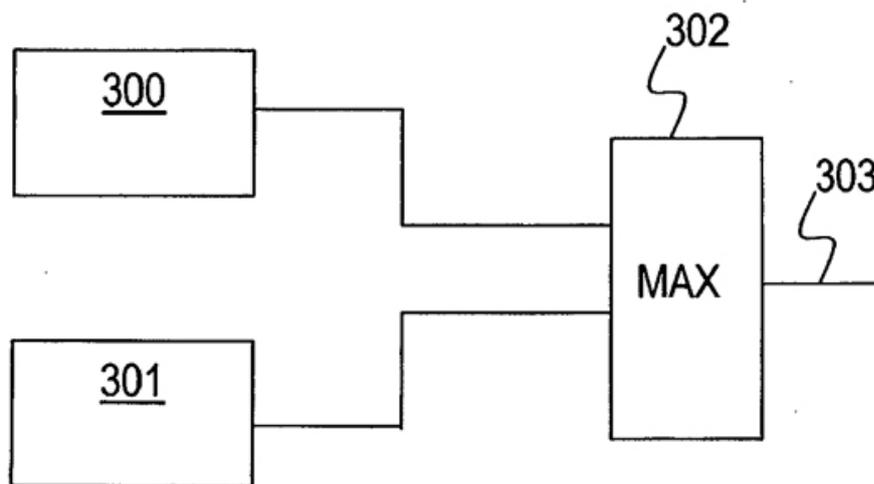


Fig. 5

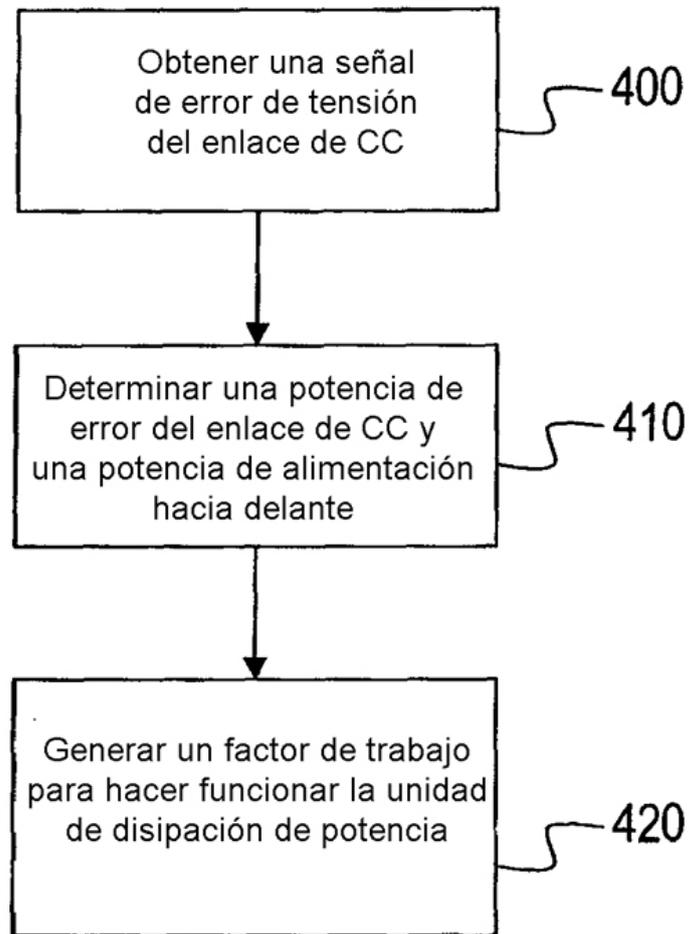


Fig. 6

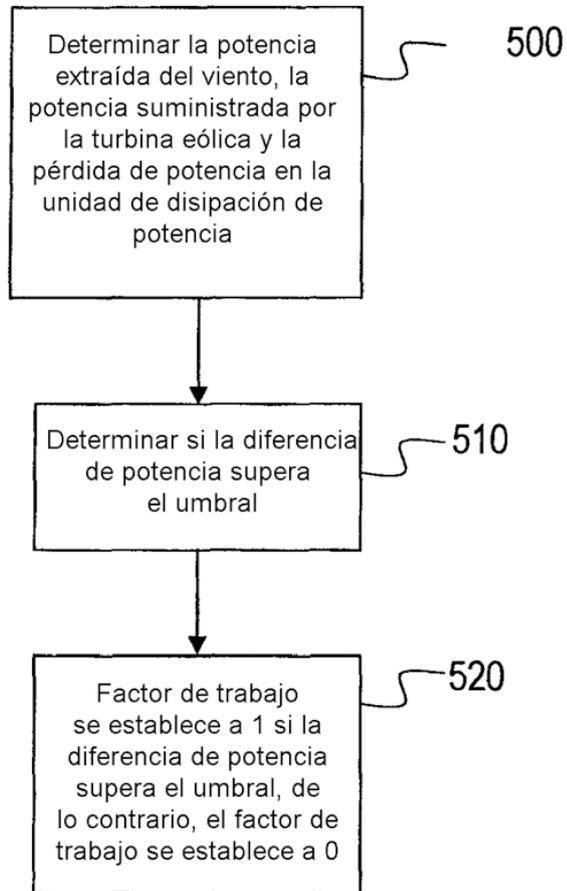


Fig. 7

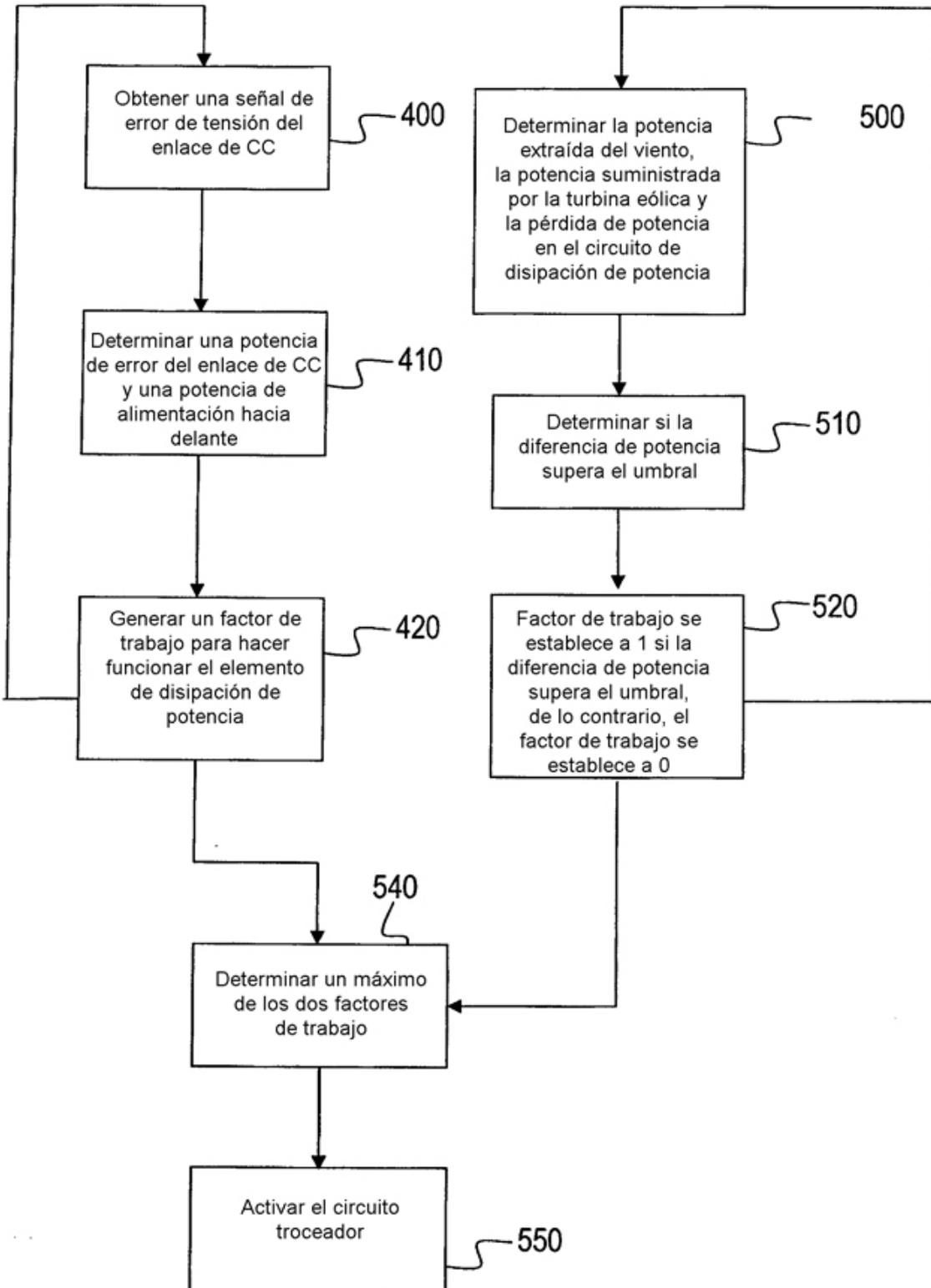


Fig. 8