

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 547 637**

51 Int. Cl.:

H02P 9/00 (2006.01)

H02P 9/10 (2006.01)

F03D 9/00 (2006.01)

H02P 3/22 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.04.2012 E 12718587 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.08.2015 EP 2702684**

54 Título: **Turbina eólica variable con unidad de disipación de potencia; método para hacer funcionar una unidad de disipación de potencia en una turbina eólica**

30 Prioridad:

28.04.2011 US 201161479853 P

28.04.2011 DK 201170202

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

07.10.2015

73 Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)

Hedeager 42

8200 Aarhus N, DK

72 Inventor/es:

GUPTA, AMIT KUMAR;

ANDERSEN, GERT KARMISHOLT;

FONN, SWEE YEE y

LI, BING

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 547 637 T3

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

DESCRIPCIÓN

Turbina eólica variable con unidad de disipación de potencia; método para hacer funcionar una unidad de disipación de potencia en una turbina eólica

Campo de la invención

- 5 La presente invención se refiere de manera 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 eólica cinética en energía eléctrica para redes eléctricas de distribución. Específicamente, el viento que incide sobre las palas del generador de turbina eólica (WTG) hace girar un rotor del WTG. La energía mecánica del rotor que gira se convierte a su vez en energía eléctrica mediante un generador eléctrico. Debido a que la velocidad del viento fluctúa, la fuerza aplicada a las palas del WTG y por tanto la velocidad de rotación del rotor/generador puede variar. Sin embargo, las redes eléctricas requieren que la turbina eólica genere una potencia eléctrica de frecuencia constante.

- 15 Un tipo de turbina eólica que proporciona potencia eléctrica de frecuencia constante es una turbina eólica de velocidad fija. Este tipo de turbina eólica requiere un rotor de generador que gira a una velocidad constante. Una desventaja de tal turbina eólica de velocidad fija es que no capta toda la energía del viento a diferentes velocidades y debe desactivarse a velocidades del viento bajas. Otro tipo de turbina eólica es una turbina eólica de velocidad variable. Este tipo de turbina eólica permite al generador girar a velocidades variables para admitir velocidades del viento que fluctúan. Al variar la velocidad de giro del rotor de generador, la conversión de energía puede optimizarse a lo largo de un intervalo más amplio de velocidades del viento.

- 20 Las turbinas eólicas basadas en convertidor de potencia de escala completa (que es un tipo de turbina eólica de velocidad variable) incluyen habitualmente un convertidor de potencia que tiene un convertidor de lado de generador acoplado a un convertidor de lado de red a través de un enlace de corriente continua (CC). El convertidor de lado de generador regula la potencia del generador. Esta potencia pasa a través del enlace de CC y se alimenta finalmente a la red a través del convertidor de lado de red. El convertidor de lado de red regula la potencia de lado de red. Lo mismo se aplica a los sistemas de generador de inducción doblemente alimentado (DFIG) en los que sólo una parte de la potencia procedente del generador pasa a través del convertidor de potencia.

- 25 Puede solicitarse detener una turbina eólica, por ejemplo debido a un fallo en la red, fallo de componente en la turbina/parque eólico o solicitarlo el operador de la red. Cuando la turbina eólica reduce su potencia durante la detención, la potencia producida por la turbina eólica disminuye a cero a una velocidad específica. La velocidad de disminución de la potencia, denominada comúnmente la velocidad de disminución gradual de la potencia, depende de la velocidad de disminución gradual de la potencia del generador. Lo rápido que puede disminuir la potencia de la turbina durante una detención viene limitado normalmente por la velocidad de disminución gradual máxima del generador por ejemplo de 0,2 pu/s.

- 35 Sin embargo, determinados reglamentos de red eléctrica/empresas distribuidoras pueden requerir que la turbina disminuya gradualmente a una velocidad más rápida que la velocidad de disminución gradual máxima de la turbina/generador, por ejemplo de 0,4 pu/s. También se prevé que algunos países pueden especificar en los requisitos de su reglamento de red eléctrica una velocidad de disminución gradual mínima de las turbinas durante su detención.

- 40 Por tanto, es deseable proporcionar un método para hacer funcionar una turbina eólica para proporcionar una velocidad de disminución gradual que sea superior a la velocidad de disminución gradual máxima de la turbina o generador.

- 45 El documento EP1863162A2 describe un aparato para frenado eléctrico y protección del sistema para un generador eléctrico. El aparato incluye un freno dinámico y un circuito de protección contra sobretensiones diseñado para actuar conjuntamente con convertidores de potencia para desechar potencia en respuesta a una orden.

El documento US201002475A1 describe un sistema para conectar un generador de turbina eólica a una red eléctrica de distribución, incluyendo el sistema un elemento de disipación de potencia acoplado a convertidores de potencia primero y segundo para disipar potencia del primer convertidor de potencia.

- 50 El documento US2010138058A1 describe un sistema de control para una instalación de producción de energía que comprende un controlador de planta configurado para crear una señal de salida que hace que un dispositivo de almacenamiento de energía se descargue en caso de que las reservas de potencia de los generadores de potencia no puedan satisfacer una velocidad de disminución gradual solicitada; y crear una señal de salida que hace que el dispositivo de almacenamiento de energía se cargue en caso de que la capacidad de potencia de los generadores de potencia pueda satisfacer la velocidad de disminución gradual solicitada.

Los documentos EP1672779A2 y EP2096299A2 describen sistemas y métodos para controlar la velocidad de variación gradual de potencia colectiva de una pluralidad de turbinas eólicas en un parque eólico.

Sumario de la invención

5 Según un primer aspecto de la invención, se proporciona una turbina eólica de velocidad variable. La turbina eólica de velocidad variable comprende un generador, un convertidor de potencia para convertir al menos una parte de la potencia eléctrica generada por el generador, comprendiendo el convertidor de potencia un convertidor de lado de generador, un convertidor de lado de red y un enlace de CC (corriente continua) 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 recibir una solicitud para reducir la potencia de salida de la turbina eólica, determinar una señal de potencia de control anticipativo a partir de la diferencia entre una potencia de referencia y una potencia de turbina deseada, incluyendo la potencia de generador de referencia un perfil de potencia de disminución gradual del generador, e incluyendo la potencia de turbina deseada un perfil de potencia de disminución gradual deseado; y hacer funcionar la unidad de disipación de potencia basándose en la señal de potencia de control anticipativo de manera que la potencia de salida de la turbina eólica se disminuye a una velocidad deseada.

10 Según un segundo aspecto de la invención, se proporciona un método para hacer funcionar una turbina eólica que tiene un generador, un convertidor de potencia y una unidad de disipación de potencia. La unidad de disipación de potencia está acoplada de manera operativa a un convertidor de potencia para convertir al menos una parte de la potencia eléctrica generada por un generador. El método comprende recibir una solicitud para reducir la potencia de salida de la turbina eólica, determinar una señal de potencia de control anticipativo a partir de la diferencia entre una potencia de generador de referencia y una potencia de turbina deseada, incluyendo la potencia de generador de referencia un perfil de potencia de disminución gradual del generador, e incluyendo la potencia de turbina deseada un perfil de potencia de disminución gradual deseado; y hacer funcionar la unidad de disipación de potencia basándose en la señal de potencia de control anticipativo de manera que la potencia de salida de la turbina eólica se disminuye a una velocidad deseada.

25 Breve descripción de los dibujos

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.

30 La figura 2 muestra una disposición de sistema eléctrico de la turbina eólica con una unidad de disipación de potencia.

La figura 3 muestra un algoritmo de control para hacer funcionar la unidad de disipación de potencia según una realización.

La figura 4 ilustra diversos parámetros de la turbina eólica durante el funcionamiento de la unidad de disipación de potencia según una realización.

35 La figura 5 muestra un algoritmo de control para hacer funcionar la unidad de disipación de potencia según una realización.

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.

Descripción detallada de la invención

40 Un generador es una máquina electromecánica que puede convertir energía mecánica en energía eléctrica. El generador usado en una turbina eólica puede ser cualquier tipo de generador incluyendo, pero sin limitarse a, un generador de imanes permanentes, un generador de inducción doblemente alimentado y un generador de inducción de jaula de ardilla. La potencia eléctrica procedente del generador tiene una frecuencia variable debido a la velocidad de rotación variable del rotor. Una parte o toda la energía eléctrica o potencia generada por el generador se convierte mediante un convertidor de potencia en una potencia eléctrica de frecuencia fija adecuada para suministrarse a una red eléctrica o una carga.

45 La carga puede ser una carga de CC (corriente continua) o de CA (corriente alterna). Para suministrar potencia a la red, el convertidor de potencia convierte la potencia eléctrica con frecuencia variable en potencia eléctrica que tiene una frecuencia fija requerida por la red. Específicamente, un convertidor de lado de generador convierte al menos una parte de la potencia procedente del generador y la pasa a la red a través del convertidor de lado de red. Cuando se suministra potencia a una carga, por ejemplo una carga de CC, la potencia de CC puede obtenerse de un enlace de CC entre el convertidor de lado de generador y el convertidor de lado de red. La unidad de disipación de potencia está acoplada al enlace de CC del convertidor de potencia. La unidad de disipación de potencia también puede conocerse como circuito troceador, y puede disipar potencia en el enlace de CC.

Un controlador está adaptado para recibir una solicitud para reducir o disminuir gradualmente la potencia de salida de la turbina eólica, determinar una señal de potencia de control anticipativo y hacer funcionar la unidad de disipación de potencia basándose en la señal de potencia de control anticipativo. Esta solicitud para reducir o disminuir gradualmente la potencia de salida puede ser una señal de detención para detener la turbina eólica.

5 La señal de potencia de control anticipativo se determina basándose en una potencia de generador de referencia y una potencia de turbina deseada. La potencia de generador de referencia puede estar basada en un perfil de potencia del generador e incluye un perfil de potencia de disminución gradual del generador. Este perfil de potencia puede proporcionarlo el fabricante del generador. También puede obtenerse a partir de experimentos tales como
10 hacer funcionar el generador y realizar un seguimiento de las potencias de salida del generador en diversas condiciones. La potencia de generador de referencia puede ser una potencia del generador instantánea del perfil de potencia del generador.

La potencia de turbina deseada puede estar basada en un perfil de potencia deseado de la salida de la turbina eólica. El perfil de potencia deseado incluye un perfil de potencia de disminución gradual en la salida de la turbina a una velocidad de disminución gradual requerida/deseada. Esta velocidad de disminución gradual requerida de la
15 potencia en la salida de la turbina puede estar basada en requisitos de reglamentos de red eléctrica. También puede definirla o especificarla un usuario u operador. Por ejemplo, un reglamento de red eléctrica puede requerir que una turbina pueda disminuir gradualmente su potencia a 0,4 pu/s. La potencia de turbina deseada puede ser una potencia de salida de la turbina instantánea del perfil de potencia deseado de la turbina.

La señal de potencia de control anticipativo determinada basándose en la potencia de generador de referencia y la potencia de turbina deseada se usa para controlar el funcionamiento de la unidad de disipación de potencia. Ha de observarse que en una condición de funcionamiento normal de la turbina eólica, la potencia de salida de la turbina eólica es casi la misma que la potencia de salida del generador. Por tanto, el perfil de potencia de la salida de la turbina también puede tomarse como la potencia de generador de referencia según una realización.

Según una realización, la unidad de disipación de potencia comprende al menos un conmutador y una resistencia. La unidad de disipación de potencia se enciende cerrando el conmutador. El conmutador puede ser un dispositivo semiconductor eléctrico tal como un transistor bipolar de puerta integrada (IGBT) que puede encenderse o apagarse mediante una tensión en puerta adecuada a través de un circuito de control de puerta. Otros dispositivos semiconductores eléctricos o conmutadores son posibles. En realizaciones alternativas, la unidad de disipación de potencia puede incluir al menos un conmutador y al menos uno de una resistencia, una bobina o un condensador.

Según una realización, la señal de potencia de control anticipativo es la diferencia entre la potencia de generador de referencia y la potencia de turbina deseada. Específicamente, en un tiempo t dado, el valor instantáneo de la potencia de turbina deseada se resta del valor instantáneo real de la potencia de generador para generar la señal de potencia de control anticipativo. Como se mencionó anteriormente, puesto que la potencia de salida de la turbina es similar a la potencia de salida del generador, la señal de potencia de control anticipativo puede generarse restando
30 la potencia de turbina deseada de la potencia de turbina real.

Según una realización, el controlador está adaptado para hacer funcionar la unidad de disipación de potencia determinando una relación de trabajo para activar la unidad de disipación de potencia. La relación de trabajo se refiere al porcentaje del periodo de tiempo durante el cual la unidad de disipación de potencia está activa o encendida en un ciclo. La relación de trabajo tiene un valor de desde 0 hasta 1. Cuando la relación de trabajo es de 0, la unidad de disipación de potencia está apagada por completo, y cuando la relación de trabajo es de 1, la unidad de disipación de potencia está encendida durante todo el ciclo de trabajo. Cuando la relación de trabajo es de 0,7, la unidad de disipación de potencia está encendida durante el 70% del ciclo de trabajo (está apagada durante el 30% del ciclo de trabajo restante).

Según una realización, el controlador está adaptado para generar la relación de trabajo mediante determinar la potencia que ha de disiparse mediante la unidad de disipación de potencia, determinar una potencia máxima que puede disiparse mediante la unidad de disipación de potencia, y determinar la relación de la potencia que ha de disiparse y la potencia máxima, obteniendo de ese modo la relación de trabajo. La potencia que ha de disiparse mediante la unidad de disipación de potencia se determina basándose en la señal de potencia de control anticipativo. Si la potencia que ha de disiparse supera la cantidad máxima de potencia que puede disiparse mediante
45 la unidad de disipación de potencia, la relación de trabajo será de 1. En una realización adicional, la unidad de disipación de potencia se diseña de manera que la cantidad máxima de potencia que puede disiparse mediante la unidad de disipación de potencia es siempre mayor que la potencia que es necesario disipar.

Ha de observarse que un experto en la técnica reconocerá fácilmente que cualquier característica descrita anteriormente también podrá usarse en relación con el método para hacer funcionar una unidad de disipación de potencia según el segundo aspecto de la invención, y el método para hacer funcionar una turbina eólica según el tercer aspecto de la invención.

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 está erigida sobre una cimentación 7 construida en el terreno. El rotor 4 puede girar 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 gire 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 suministrarse a una red eléctrica. La turbina eólica también puede formar parte de un parque eólico o una central eléctrica eólica que comprende una pluralidad de turbinas eólicas. Toda la potencia eléctrica generada por las turbinas eólicas individuales en el parque eólico se consolida y suministra a la red eléctrica a través de un punto de acoplamiento común (PCC).

Aunque la turbina eólica 1 mostrada en la figura 1 tiene tres palas 6, ha de observarse 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) ya que el rotor 4 gira alrededor de un eje horizontal. Ha de observarse que el rotor 4 puede girar alrededor de un eje vertical. Una turbina eólica de este tipo que tiene su rotor que gira alrededor del eje vertical se conoce como turbina eólica de eje vertical (VAWT). Las realizaciones descritas a continuación en el presente documento no se limitan a HAWT que tiene 3 palas. Pueden implementarse tanto en HAWT como en VAWT, y que tienen 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 eléctrica 107. El convertidor de potencia 102 incluye un convertidor de lado de generador 110 y un convertidor de lado de red 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 de disipación de potencia 105 está conectado al enlace de CC 112. El sistema eléctrico también incluye filtros de lado de red 108 para filtrar armónicos de conmutación.

El generador 101 convierte energía o potencia mecánica en energía o potencia eléctrica que tiene tensión y corriente de CA (denominadas de manera colectiva como "señales de CA"), y proporciona las señales de CA generadas al convertidor de lado de generador 110. Las señales de CA procedentes del generador tienen una frecuencia variable, debido al viento variable. El convertidor de lado de generador 110 convierte o rectifica las señales de CA en tensión y corriente de CC (denominadas de manera colectiva como "señales de CC") que se ubican en el enlace de CC 112. El convertidor de lado de red 111 convierte las señales de CC en el enlace de CC 112 en señales de CA de frecuencia fija para la red eléctrica 107. La potencia que comprende las señales de CA de frecuencia fija en la salida del convertidor de lado de red 111 se eleva mediante el transformador principal 103 a un nivel adecuado para que la reciba y transmita la red eléctrica 107. El funcionamiento del convertidor de lado de generador 110 y el convertidor de lado de red 111 se controla mediante un controlador 120.

El circuito de disipación de potencia 105 está conectado al enlace de CC 112 y está adaptado para disipar potencia en el enlace de CC 112. El circuito de disipación de potencia 105 incluye al menos un conmutador y una pluralidad de resistencias de troceado (no mostradas). El funcionamiento del circuito de disipación de potencia 105 se controla activando el conmutador. Cuando el conmutador se cierra, la potencia en el enlace de CC 112 se disipa mediante las resistencias de troceado. La activación del conmutador y por tanto el funcionamiento del circuito de disipación de potencia 105 se controla mediante el controlador 120.

Ha de observarse que la figura 2 es sólo una ilustración de un sistema eléctrico en una turbina eólica en el que sólo se muestran componentes comunes. El sistema eléctrico puede incluir otros componentes tales como filtros de lado de generador, sensores, disyuntores/contactores de red y generador, disposición de carga previa, etc. En otra realización, puede usarse un generador de inducción doblemente alimentado (DFIG) en el que los devanados del estator del generador están conectados a la red a través del transformador de turbina, y los devanados del rotor del generador están conectados al transformador de turbina a través de un sistema convertidor de potencia. El circuito de disipación de potencia 105 puede tener sólo una resistencia en lugar de una pluralidad de resistencias. El circuito de disipación de potencia 105 también puede incluir otras unidades de disipación adecuadas para disipar potencia.

La figura 3 muestra un algoritmo de control para hacer funcionar el circuito de disipación de potencia 105 según una realización. Este algoritmo de control puede implementarse en el controlador 120 de la turbina eólica. La salida de este algoritmo de control es una relación de trabajo para activar el conmutador, y por tanto controlar el funcionamiento del circuito de disipación de potencia 105. El algoritmo de control puede activarse para controlar el circuito de disipación de potencia 105 cuando hay una solicitud para detener la turbina.

En el algoritmo de control de la figura 3, la diferencia entre la potencia de generador de referencia $P_{\text{generador}}$ y la potencia de turbina deseada P_{red} se obtiene como la señal de potencia de control anticipativo. Específicamente, la potencia de turbina deseada se resta de la potencia de generador de referencia tal como se ilustra a continuación:

$$P_{FF} = P_{\text{generador}} - P_{\text{red}}$$

donde P_{FF} es la señal de potencia de control anticipativo, $P_{\text{generador}}$ es la potencia de generador de referencia y P_{red}

es la potencia de turbina deseada.

La potencia de generador de referencia $P_{\text{generador}}$ es la potencia instantánea de la salida de generador cuando el generador está deteniéndose. Puede determinarse a partir de la velocidad de disminución gradual de referencia de la potencia del generador o medirse directamente la potencia de salida instantánea de la turbina. La potencia de turbina deseada es la potencia instantánea de la salida de la turbina basada en una velocidad de disminución gradual deseada de la turbina durante una detención. La señal de potencia de control anticipativo P_{FF} es la cantidad de potencia que ha de disipar el circuito de disipación de potencia 105 con el fin de conseguir la velocidad de disminución gradual deseada de la potencia de la turbina.

La potencia máxima que puede disiparse mediante el circuito de disipación de potencia 105 se determine de la siguiente manera:

$$P_{\text{máx}} = \frac{V_{\text{cc}}^2}{R_{\text{ch}}}$$

donde $P_{\text{máx}}$ es la potencia máxima que puede disiparse mediante la resistencia o banco de resistencias en el circuito de disipación de potencia 105 a la tensión del enlace de CC V_{cc} , y R_{ch} es la magnitud de la resistencia de la resistencia en el circuito de disipación de potencia 105. El valor de la magnitud R_{ch} de la resistencia se selecciona normalmente de manera que la $P_{\text{máx}}$ es mayor que la potencia máxima prevista que puede necesitarse disipar. En una realización, el valor de R_{ch} se elige de manera que $P_{\text{máx}}$ es aproximadamente el 10-20% mayor que la potencia de régimen nominal de la turbina. La potencia máxima $P_{\text{máx}}$ también puede cambiarse cambiando el valor de la tensión del enlace de CC V_{cc} .

A una tensión V_{cc} dada, la relación de trabajo para hacer funcionar el circuito de disipación de potencia 105 se determina como la relación entre la potencia que ha de disiparse P_{FF} y la potencia máxima $P_{\text{máx}}$, es decir:

$$DR = \frac{P_{\text{FF}}}{P_{\text{máx}}}$$

donde DR es la relación de trabajo. Puesto que la potencia que ha de disiparse P_{FF} con el fin de obtener la velocidad de disminución gradual deseada de la turbina es siempre inferior a la potencia máxima $P_{\text{máx}}$, la relación de trabajo tiene un valor de desde 0 hasta 1.

La figura 4 muestra ilustra los diferentes parámetros de la turbina eólica durante el funcionamiento de la unidad de disipación de potencia según una realización. El primer gráfico 201 muestra el valor de la potencia de generador de referencia desde el tiempo $t = 0$ segundos hasta $t = 15$ segundos. El segundo gráfico 202 muestra el valor de la potencia de turbina deseada con una velocidad de disminución gradual deseada de la potencia. El tercer gráfico 203 muestra el valor de la relación de trabajo. Los gráficos primero, segundo y tercero 201, 202, 203 están todos a la misma escala de tiempo.

En el primer gráfico 201 puede observarse que el generador sólo puede disminuir gradualmente la potencia desde 1 pu (por unidad) hasta 0 pu en 5 s (desde $t = 5$ s hasta $t = 10$ s). Antes de $t = 5$ s la relación de trabajo es de 0, y el circuito de disipación de potencia 105 no está activado para disipar ninguna potencia. En $t = 5$ s, hay una solicitud para detener la turbina con una disminución gradual de potencia dentro del plazo de 2,5 s (similar al perfil mostrado en el segundo gráfico 202). Por tanto en $t = 5$ s, el cálculo de la señal de potencia de control anticipativo P_{FF} empieza restando la potencia de turbina deseada P_{red} (gráfico 202) de la potencia de generador de referencia $P_{\text{generador}}$ (gráfico 201).

En $5 \text{ s} < t < 7,5 \text{ s}$, puede observarse que la potencia de turbina deseada P_{red} disminuye a una velocidad más rápida que la potencia de generador de referencia $P_{\text{generador}}$, dando como resultado un aumento de la diferencia entre los dos valores de potencia. Por consiguiente, la señal de potencia de control anticipativo P_{FF} aumenta. Esto da como resultado que aumente la relación de trabajo para hacer funcionar el circuito de disipación de potencia 105. En $7,5 \text{ s} < t < 10 \text{ s}$, la potencia de turbina deseada ya ha disminuido hasta cero pero el valor de la potencia de generador $P_{\text{generador}}$ aún está disminuyendo. Por tanto, la señal de potencia de control anticipativo P_{FF} también disminuye, dando como resultado que disminuya la relación de trabajo. Sin embargo durante este periodo, la unidad de disipación de potencia 105 aún está funcionando para disipar potencia para garantizar que la potencia de salida de la turbina permanece a cero ya que aún hay potencia procedente del generador. En $t = 10$ s, la relación de trabajo es de cero ya que tanto la potencia de generador como la potencia de turbina han llegado a cero y no hay necesidad de disipar ninguna potencia para llevar la potencia de turbina deseada a cero.

Por consiguiente, puede observarse que el algoritmo de control para el circuito de disipación de potencia 105 según la realización ha permitido a la turbina conseguir una rápida velocidad de disminución gradual tal como se muestra en el gráfico 202, que es más rápida que la velocidad de disminución gradual del generador. En la figura 4, la potencia de turbina deseada se disminuyó gradualmente desde 1 pu hasta 0 pu. Sin embargo, ha de observarse que

la invención no se limita a reducir o disminuir gradualmente la potencia de salida de la turbina desde 1 pu hasta 0 pu. Según una realización, la potencia de turbina puede disminuirse gradualmente desde X pu hasta Y pu, donde Y tiene un valor inferior a X. También ha de observarse que no es necesario que la velocidad de disminución gradual de la potencia de turbina (es decir el gráfico 202) sea dos veces más rápida que la potencia de salida de generador de referencia (es decir el gráfico 201). La potencia de turbina puede reducirse hasta 0 pu en el plazo de 1 segundo o en el plazo de otros periodos de tiempo en otras realizaciones, dependiendo de los requisitos del sistema o la red.

La figura 5 muestra un algoritmo de control para controlar el funcionamiento del circuito de disipación de potencia 105 según otra realización. En el algoritmo de control de la figura 5, se obtienen una tensión del enlace de CC de referencia V_{cc_ref} 211 y una tensión del enlace de CC real V_{cc} 210. Tanto la tensión del enlace de CC de referencia V_{cc_ref} como la tensión del enlace de CC real V_{cc} se elevan posteriormente al cuadrado en esta realización. La diferencia entre los cuadrados de la tensión del enlace de CC real 203 y la tensión del enlace de CC de referencia 202 se obtiene como una tensión de error del enlace de CC al cuadrado 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. Se usa un limitador 212 para limitar el valor de la potencia de error del enlace de CC 206 a cero si la potencia de error del enlace de CC 206 tiene un valor negativo. Según una realización, el algoritmo de control incluye además determinar la señal de potencia de control anticipativo P_{FF} 207. Tal como se describió anteriormente, la potencia de control anticipativo P_{FF} es la diferencia entre la potencia de generador de referencia y la potencia de turbina deseada.

La potencia total P_{total} que ha de disiparse 209 es la suma de la potencia de error del enlace de CC 206 y la potencia de control anticipativo P_{FF} . De manera similar al algoritmo de control descrito en la figura 3, la potencia máxima que puede disiparse mediante el circuito de disipación de potencia puede determinarse usando la ecuación (2).

La relación de trabajo para hacer funcionar el circuito de disipación de potencia se determina como la relación entre la potencia total que ha de disiparse P_{total} y la potencia máxima $P_{máx}$, es decir:

$$DR = \frac{P_{total}}{P_{máx}}$$

donde DR es la relación de trabajo. Puesto que la potencia total P_{total} siempre es inferior a la potencia máxima $P_{máx}$, la relación de trabajo tiene un valor de desde 0 hasta 1.

En condiciones normales, 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_{cc_ref} 211 está predefinida o establecida 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 ya que la tensión del enlace de CC 210 (que se regula a la tensión del enlace de CC preestablecida) tiene un valor inferior a la tensión del enlace de CC de referencia 211. Este valor negativo de la potencia de error del enlace de CC 206 se limita entonces a cero mediante el limitador 212. Puesto que la potencia de control anticipativo será aproximadamente de cero (a menos que se le haya ordenado a la turbina que se detenga), P_{total} también es de cero. Por consiguiente, la relación de trabajo es de cero y el circuito troceador 105 no se activa.

Cuando se ordena a la turbina que se detenga, la potencia de control anticipativo P_{FF} pasa a ser distinta de cero. Esto da como resultado que la potencia total P_{total} pase a ser distinta de cero. Por tanto, la relación de trabajo tendrá ahora un valor distinto de cero entre 0 y 1. Dependiendo de la potencia de generador de referencia y la potencia de turbina deseada, la relación de trabajo puede seguir el perfil mostrado en el tercer gráfico 203 de la figura 4. Un valor distinto de cero de la relación de trabajo hace que se active el circuito de disipación de potencia, disipando de ese modo potencia a través del enlace de CC. Por ejemplo cuando la relación de trabajo tiene un valor de 0,5, el circuito troceador se activa o enciende durante el 50% del tiempo en un ciclo de trabajo. Por consiguiente, la salida de la potencia de turbina puede disminuirse gradualmente a una velocidad deseada.

También es posible tener una señal de autorización que autoriza al algoritmo de control a tener en cuenta la señal de potencia de control anticipativo sólo cuando se ha detectado la señal de autorización. Esta señal de autorización puede generarse sólo tras la detección de una señal de detención de turbina. Cuando el algoritmo de control no detecta esta señal de autorización, el algoritmo de control ignora la señal de potencia de control anticipativo y la unidad de disipación de potencia sólo se activa basándose en la tensión del enlace de CC V_{cc} . Esto aumenta la robustez del algoritmo de control.

El algoritmo de control de la figura 5 se ha descrito con referencia a la turbina basada en convertidor de escala completa mostrada en la figura 2. Ha de observarse que el algoritmo de control descrito con referencia a la figura 5 también es aplicable en un sistema de DFIG. En la turbina basada en convertidor de escala completa mostrada en la figura 2, la potencia transferida por el convertidor de lado de red 111 es aproximadamente la misma que la potencia suministrada a la red 107 si se supone que cualquier pérdida de potencia entre la salida del convertidor de lado de red 111 y la red 107 es despreciable. De manera similar, la potencia suministrada al convertidor de lado de

5 generador 110 es aproximadamente la misma que la potencia generada desde el generador 101, suponiendo pérdidas de potencia despreciables entre la salida del generador 101 y el convertidor de lado de generador 110. En un sistema de DFIG, la potencia suministrada a la red es la suma de la potencia transferida por el convertidor de lado de red 111 y la potencia transferida a través de los devanados del estator. También ha de observarse que el controlador PI 201 también puede sustituirse por un controlador P (proporcional) o un controlador PID (proporcional-integral-derivativo) en otras realizaciones.

10 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 300 incluye recibir una solicitud para reducir o disminuir gradualmente la potencia de salida de una turbina eólica. La solicitud para reducir la potencia de salida puede ser una solicitud para detener la turbina eólica.

15 La etapa 310 incluye determinar la potencia de control anticipativo basándose en la potencia de generador de referencia y la potencia de turbina deseada. En una realización, la señal de potencia de control anticipativo se determina basándose en la diferencia entre la potencia de generador de referencia y la potencia de turbina deseada. La etapa 320 incluye hacer funcionar la unidad de disipación de potencia basándose en la señal de potencia de control anticipativo. En una realización, la relación de trabajo se usa para hacer funcionar la unidad de disipación de potencia. El circuito troceador según se describió con referencia a la figura 2 anteriormente es un ejemplo de la unidad de disipación de potencia. En una realización, la relación de trabajo es la relación entre la potencia que ha de disiparse mediante la unidad de disipación de potencia y la potencia máxima que puede disipar la unidad de disipación de potencia. La potencia que ha de disiparse es la suma de la potencia de error del enlace de CC y la señal de potencia de control anticipativo en una realización. Entonces se repiten las etapas 300 a 320, de modo que la relación de trabajo está actualizándose constantemente.

20 Ha de hacerse énfasis en que las realizaciones descritas anteriormente son posibles ejemplos de implementaciones que se exponen meramente para una comprensión clara de los principios de la invención. El experto en la técnica puede realizar muchas variaciones y modificaciones a la(s) realización/realizaciones descrita(s) anteriormente, pretendiéndose que dichas variaciones y modificaciones estén incluidas en el presente documento dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Una turbina eólica de velocidad variable (1) que comprende:
 - un generador (101);
 - 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 de generador (110), un convertidor de lado de red (111) y un enlace de CC (corriente continua) (112) entre los mismos;
 - una unidad de disipación de potencia (105) acoplada de manera operativa al enlace de CC (112); y
 - un controlador (120), en la que el controlador (120) está adaptado para:
 - recibir una solicitud para reducir la potencia de salida de la turbina eólica (1);
 - determinar una señal de potencia de control anticipativo (P_{FF}) a partir de la diferencia entre una potencia de generador de referencia ($P_{\text{generador}}$) y una potencia de turbina deseada (P_{red}), incluyendo la potencia de generador de referencia ($P_{\text{generador}}$) un perfil de potencia de disminución gradual del generador (101), e incluyendo la potencia de turbina deseada (P_{red}) un perfil de potencia de disminución gradual deseado; y
 - hacer funcionar la unidad de disipación de potencia (105) basándose en la señal de potencia de control anticipativo (P_{FF}) de manera que la potencia de salida de la turbina eólica (1) se disminuye a una velocidad deseada.
2. Turbina eólica de velocidad variable (1) según la reivindicación 1, en la que la unidad de disipación de potencia (105) comprende al menos un conmutador y una resistencia.
3. Turbina eólica de velocidad variable (1) según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en la que el controlador (120) está adaptado para hacer funcionar la unidad de disipación de potencia (105) determinando una relación de trabajo (DR) para activar la unidad de disipación de potencia (105).
4. Turbina eólica de velocidad variable (1) según la reivindicación 3, en la que el controlador (120) está adaptado para generar la relación de trabajo (DR) mediante:
 - determinar una potencia que ha de disiparse (P_{FF}) mediante la unidad de disipación de potencia (105);
 - determinar una potencia máxima ($P_{\text{máx}}$) que puede disiparse mediante la unidad de disipación de potencia (105); y
 - determinar la relación de la potencia que ha de disiparse y la potencia máxima, obteniendo de ese modo la relación de trabajo (DR).
5. Método para hacer funcionar una turbina eólica (1) que tiene un generador (101), un convertidor de potencia (102) y una unidad de disipación de potencia (105), estando acoplada la unidad de disipación de potencia (105) de manera operativa al convertidor de potencia (102) para convertir al menos una parte de la potencia eléctrica generada por el generador (101), y comprendiendo el método:
 - recibir una solicitud (300) para reducir la potencia de salida de la turbina eólica (1);
 - determinar (310) una señal de potencia de control anticipativo (P_{FF}) a partir de la diferencia entre una potencia de generador de referencia ($P_{\text{generador}}$) y una potencia de turbina deseada (P_{red}), incluyendo la potencia de generador de referencia ($P_{\text{generador}}$) un perfil de potencia de disminución gradual del generador (101), e incluyendo la potencia de turbina deseada (P_{red}) un perfil de potencia de disminución gradual deseado; y
 - hacer funcionar la unidad de disipación de potencia (105) basándose en la señal de potencia de control anticipativo (P_{FF}) de manera que la potencia de salida de la turbina eólica (1) se disminuye a una velocidad deseada.
6. Método según la reivindicación 5, que comprende además generar una relación de trabajo (DR) para hacer funcionar la unidad de disipación de potencia (105).
7. Método según la reivindicación 6, en el que además generar la relación de trabajo (DR) comprende:
 - determinar una potencia que ha de disiparse (P_{FF}) mediante la unidad de disipación de potencia (105);
 - determinar una potencia máxima ($P_{\text{máx}}$) que puede disiparse mediante la unidad de disipación de potencia (105); y

determinar la relación de la potencia que ha de disiparse y la potencia máxima, obteniendo de ese modo la relación de trabajo (DR).

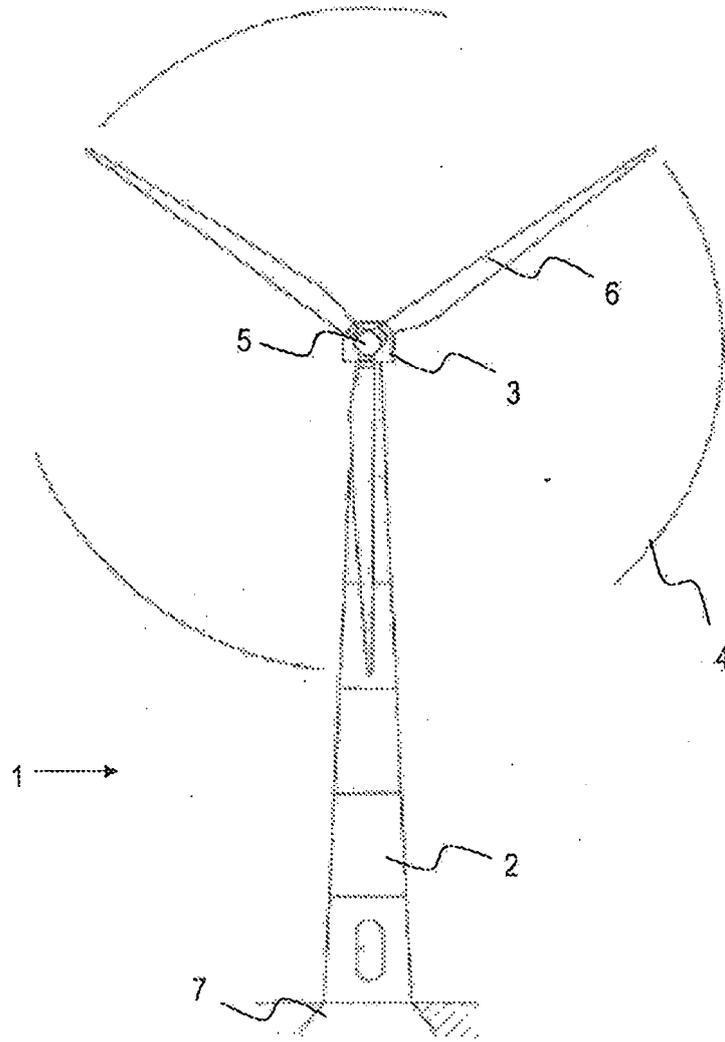


Fig. 1

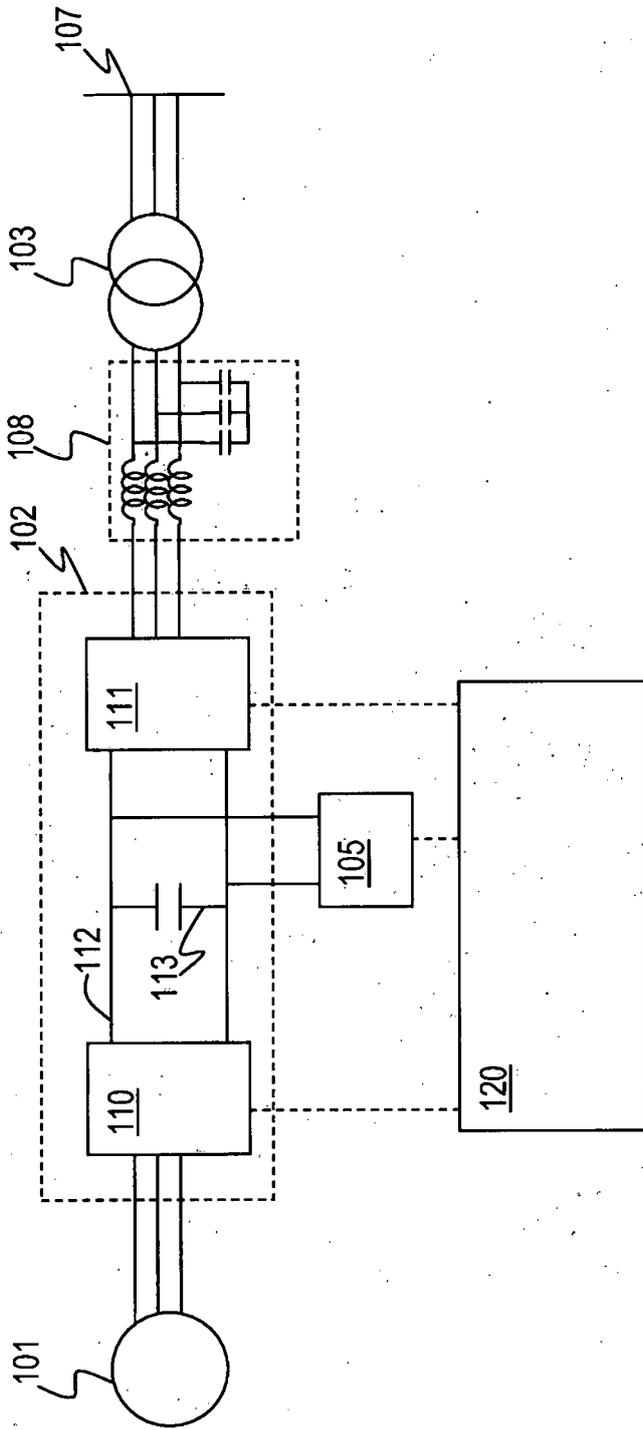


Fig. 2

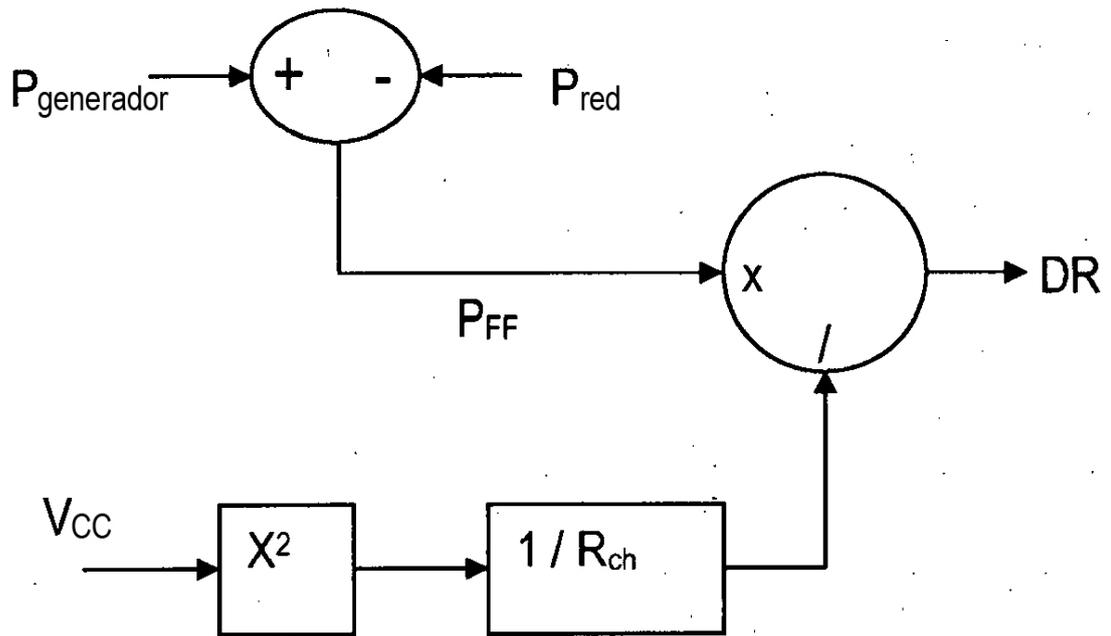


Fig. 3

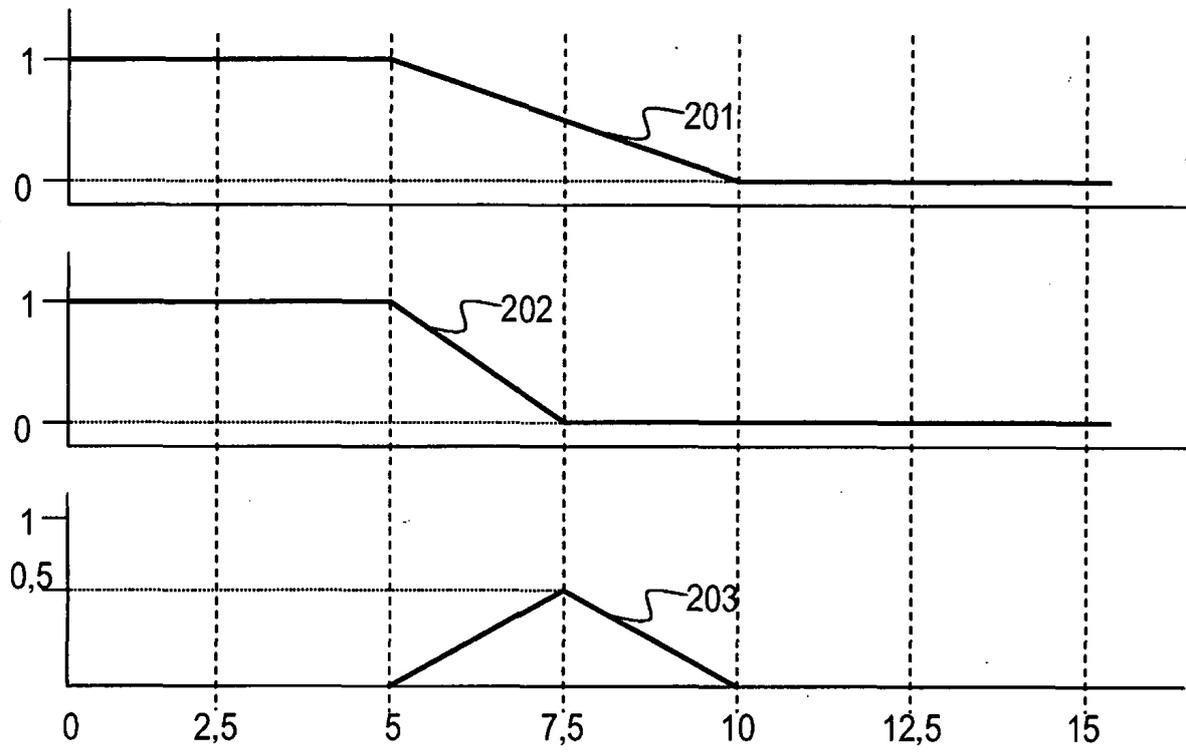


Fig. 4

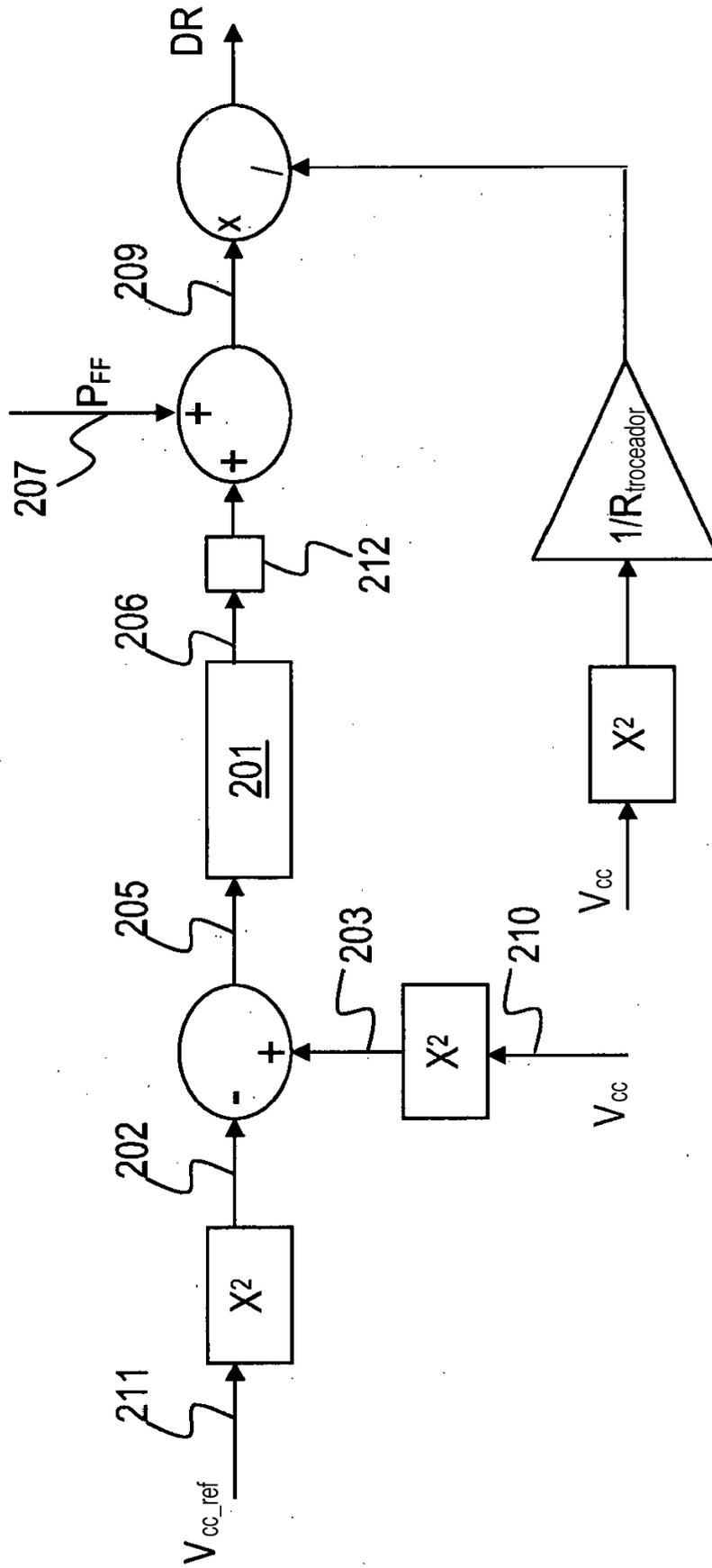


Fig. 5

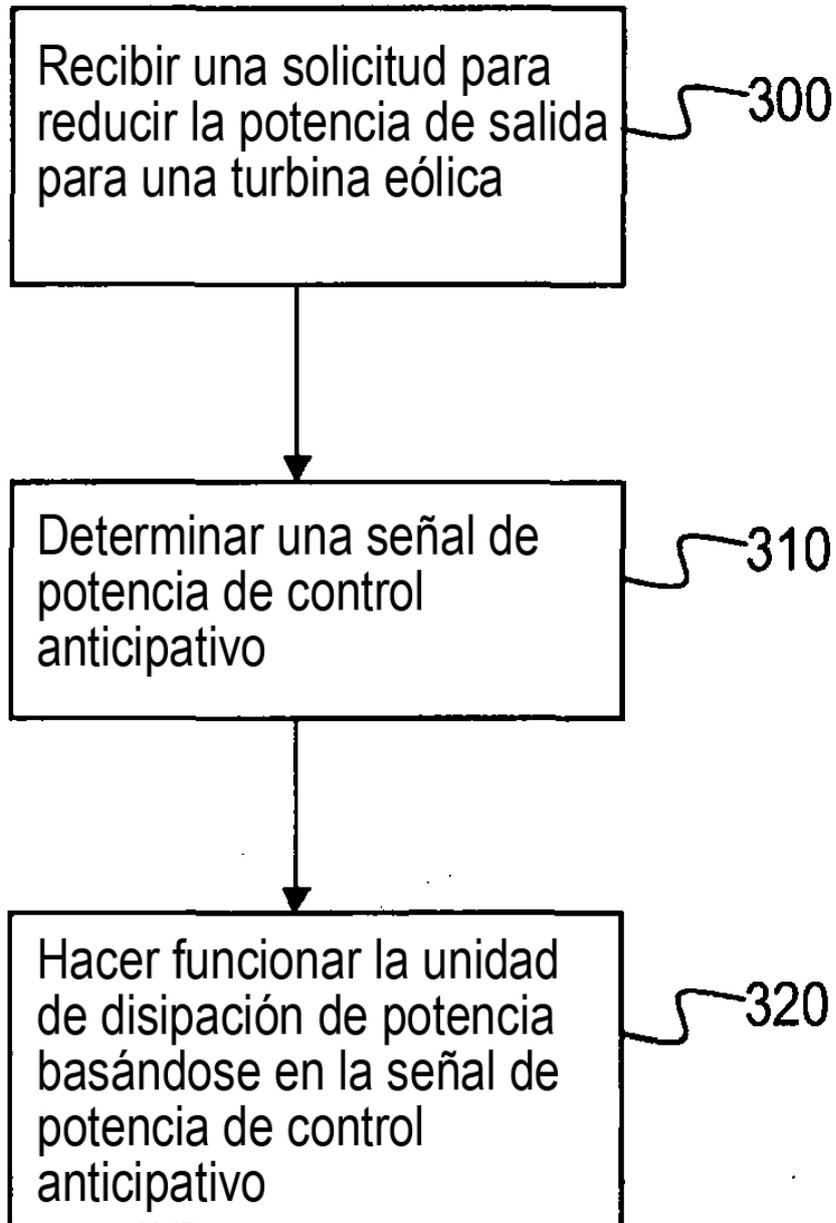


Fig. 6