

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 807 885**

51 Int. Cl.:

**H02J 3/38** (2006.01)

**H02J 3/18** (2006.01)

**H02J 3/50** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.12.2012 E 12198021 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.05.2020 EP 2610988**

54 Título: **Controlador de potencia reactiva para controlar una potencia reactiva en un parque eólico**

30 Prioridad:

**28.12.2011 US 201113338506**

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

**24.02.2021**

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)  
1 River Road  
Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**KIRCHNER, ANDREAS;  
UBBEN, ENNO y  
BRAAM, THOMAS**

74 Agente/Representante:

**CONTRERAS PÉREZ, Yahel**

**ES 2 807 885 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**

Controlador de potencia reactiva para controlar una potencia reactiva en un parque eólico

5 La materia que se describe en este documento se refiere en general a sistemas para operar una pluralidad de turbinas eólicas en un parque eólico y, más en particular, a sistemas para controlar una potencia reactiva generada en el parque eólico.

10 En general, una turbina eólica incluye una turbina que tiene un rotor que incluye una unidad de buje rotatorio que tiene múltiples palas. Las palas transforman la energía eólica en un par de rotación mecánico que acciona uno o más generadores a través del rotor. Los generadores están a veces, pero no siempre, acoplados de forma rotatoria al rotor a través de una multiplicadora. La multiplicadora aumenta la inherente baja velocidad de rotación del rotor para que el generador convierta eficientemente la energía mecánica de rotación en energía eléctrica, la cual es suministrada a una red de suministro de energía a través de al menos una conexión eléctrica. También existen turbinas eólicas de transmisión directa sin multiplicadora. El rotor, el generador, la multiplicadora y otros componentes suelen estar montados dentro de una carcasa, o góndola, que está ubicada en la parte superior de una base que puede ser una estructura o torre tubular.

20 Algunas configuraciones de turbina eólica incluyen generadores de inducción de doble alimentación (DFIG: double-fed induction generators). Dichas configuraciones también pueden incluir convertidores de potencia que se utilizan para convertir una frecuencia de la energía eléctrica generada en una frecuencia sustancialmente similar a la frecuencia de la red eléctrica. Además, dichos convertidores, junto con los generadores DFIG, también transmiten energía eléctrica entre la red de suministro de energía y el generador, así como transmiten una energía de excitación del generador a un rotor de generador bobinado desde una de las conexiones a la conexión de la red de suministro de energía. Por otra parte, algunas configuraciones de turbinas eólicas incluyen, entre otras cosas, tipos alternativos de generadores de inducción, generadores síncronos de imanes permanentes (PM: permanent magnet) y generadores síncronos con excitación eléctrica y generadores de reluctancia conmutada. Estas configuraciones alternativas también pueden incluir convertidores de potencia que se utilizan para convertir las frecuencias según se han descrito anteriormente y transmitir energía eléctrica entre la red de suministro y el generador.

35 Turbinas eólicas conocidas tienen una pluralidad de componentes mecánicos y eléctricos. Cada componente eléctrico y/o mecánico puede tener limitaciones de operación independientes o diferentes, tales como la corriente, el voltaje, la potencia y/o los límites de temperatura, que otros componentes. Además, las turbinas eólicas conocidas suelen estar diseñadas y/o ensambladas con unos límites de potencia nominal predefinidos. Para funcionar dentro de dichos límites de potencia nominal, los componentes eléctricos y/o mecánicos pueden ser operados con grandes márgenes para las limitaciones de operación. Dicha operación puede dar lugar a una operación ineficiente de la turbina eólica, y una capacidad de generación de energía de la turbina eólica puede ser infrutilizada.

40 Cuando se dispone una pluralidad de turbinas eólicas en un parque eólico, la potencia reactiva generada por las turbinas eólicas individuales puede ser diferente. En particular, un tamaño creciente de los parques eólicos da lugar a un aumento de la superficie del parque eólico, de modo que la diferencia en la producción de potencia reactiva, por ejemplo a causa de la diferencia en la topología, también aumenta. Dado que se desea un factor de potencia (PF: power factor) ajustable, tal como un factor de potencia igual a uno (PF = 1), el control de un gran número de turbinas eólicas con comandos idénticos o casi idénticos para compensar la potencia reactiva no es eficiente. Cuanto más grande es el parque eólico, más amplia es el área para la instalación de turbinas eólicas individuales. Por lo tanto, las largas conexiones eléctricas entre turbinas eólicas individuales y una barra colectora eléctrica para recoger la energía proporcionada por las turbinas eólicas individuales es un problema. Por lo tanto, se desea un control de la energía eficiente y rentable para las turbinas eólicas dispuestas en un parque eólico.

55 El documento DE 10 2004 048 341 se refiere a un parque eólico con al menos dos turbinas que están conectadas a través de líneas de conexión a una línea principal, un punto de acoplamiento que conecta la línea principal con una red de transmisión de energía, y un maestro del parque.

60 El documento DE 10 2009 030725 se refiere a un parque eólico que tiene un punto de transferencia en el que se miden valores eléctricos. Un regulador maestro proporciona un nivel de control inferior a una pluralidad de reguladores sub-maestros.

El documento EP 1 512 869 se refiere al control de voltaje en un parque eólico. Una potencia reactiva medida es comparada con un comando Q a nivel de operador o de parque para determinar un comando de corriente de rotor.

65 La presente invención está definida por las reivindicaciones adjuntas.

Diversos aspectos, ventajas y características de la presente invención son evidentes en las reivindicaciones dependientes, la descripción y los dibujos adjuntos, en los cuales:

- 5 La Figura 1 es una vista en perspectiva de una parte de una turbina eólica de ejemplo;
- La Figura 2 es una vista esquemática de un sistema eléctrico y de control de ejemplo adecuado para su uso con la turbina eólica que se muestra en la Figura 1;
- 10 La Figura 3 es un diagrama de circuito esquemático de una conexión de diferentes sub-estaciones con una red de suministro de energía;
- La Figura 4 es un diagrama detallado que muestra una configuración para un esquema de control en un parque eólico que incluye tres sub-redes diferentes, de acuerdo con una forma de realización típica;
- 15 La Figura 5 es un esquema detallado de un parque eólico que tiene tres sub-redes individuales, en el que cada sub-red incluye un controlador de sub-red asociado y un dispositivo de medición de sub-red, según otra forma de realización típica;
- 20 La Figura 6 es un esquema detallado de un parque eólico con tres sub-redes individuales, en el que se proporcionan unos controladores primarios y secundarios en cada sub-red, de acuerdo con otra forma de realización típica;
- La Figura 7 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento de control de un parque eólico de acuerdo con una forma de realización típica; y
- 25 La Figura 8 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento de control de un parque eólico según otra forma de realización típica.
- A continuación se hará referencia en detalle a las diversas formas de realización, uno o más ejemplos de las cuales se ilustran en cada Figura. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación y no tiene por objeto ser una limitación. Por ejemplo, características ilustradas o descritas como parte de una forma de realización se pueden utilizar en o junto con otras formas de realización para obtener otras formas de realización adicionales. Se pretende que la presente divulgación incluya dichas modificaciones y variaciones.
- 30
- 35 Las formas de realización que se describen en este documento incluyen un controlador de potencia reactiva para un parque eólico que tiene una red de parque eólico que incluye al menos dos sub-redes conectadas eléctricamente entre sí. El controlador de potencia reactiva incluye un dispositivo de determinación, tal como un dispositivo de medición de red, que está diseñado para medir un componente de potencia reactiva de la energía eléctrica generada por al menos una turbina eólica en la sub-red. Además, el controlador de potencia reactiva incluye un controlador de parque eólico para controlar una generación de energía en al menos una sub-red en base al componente de potencia reactiva medido. De este modo, el componente de potencia reactiva puede ser controlado con respecto a al menos otra sub-red.
- 40
- 45 En el presente documento, la expresión "red de parque eólico" tiene por objeto ser representativa de una red eléctrica para una conexión eléctrica de dispositivos utilizados en un parque eólico. Según se utiliza en el presente documento, el término "sub-red" está destinado a ser representativo de una red eléctrica proporcionada para una conexión eléctrica de un número específico de turbinas eólicas en un parque eólico, tal como un grupo o serie de turbinas eólicas que pueden estar conectadas al mismo cable de salida de energía, o de un grupo virtual de turbinas eólicas que son controladas. Dicho grupo se puede considerar también como un "grupo lógico" o un "grupo virtual" de turbinas eólicas individuales. Según se utiliza en el presente documento, el término "topología de parque eólico" tiene por objeto ser representativo de una disposición topográfica específica de turbinas eólicas, por ejemplo, una disposición en sub-redes o series. Según se utiliza en el presente documento, el término "pala" tiene por objeto ser representativo de cualquier dispositivo que proporciona una fuerza reactiva cuando está en movimiento en relación con un fluido circundante. Según se utiliza en el presente documento, el término "turbina eólica" tiene por objeto ser representativo de cualquier dispositivo que genera energía de rotación a partir de energía eólica y, más en concreto, que convierte energía cinética del viento en energía mecánica. Según se utiliza en el presente documento, el término "generador eólico" tiene por objeto ser representativo de cualquier turbina eólica que genera energía eléctrica a partir de energía de rotación generada a partir de energía eólica y, más en concreto, convierte energía mecánica convertida a partir de energía cinética del viento en energía eléctrica. Según se utiliza en este documento, el término "factor de potencia" tiene por objeto ser representativo de un coseno de un ángulo  $\varphi$  de modo que  $\cos(\varphi)$  es una relación de una potencia efectiva  $P$  y un valor absoluto de la potencia compleja  $|S|$ .
- 50
- 55
- 60
- 65 La Figura 1 es una vista en perspectiva de una parte de una turbina eólica de ejemplo 100. La turbina eólica 100 incluye una góndola 102 que aloja un generador (que no se muestra en la Figura 1). La góndola 102

está montada sobre una torre 104 (se muestra una parte de la torre 104 en la Figura 1). La torre 104 puede tener cualquier altura adecuada que facilita la operación de la turbina eólica 100 según se describe en el presente documento. La turbina eólica 100 también incluye un rotor 106 que incluye tres palas 108 acopladas a un buje rotatorio 110. Alternativamente, la turbina eólica 100 incluye cualquier número de palas 108 que facilitan la operación de la turbina eólica 100 según se describe en este documento. En la forma de realización de ejemplo, la turbina eólica 100 incluye una multiplicadora (que no se muestra en la Figura 1) acoplada operativamente con el rotor 106 y un generador (que no se muestra en la Figura 1).

La Figura 2 es una vista esquemática de un sistema eléctrico y de control de ejemplo 200 que puede ser utilizado con la turbina eólica 100. El rotor 106 incluye unas palas 108 acopladas a un buje 110. El rotor 106 también incluye un eje de baja velocidad 112 acoplado de forma rotatoria al buje 110. El eje de baja velocidad 112 está acoplado con una multiplicadora elevadora 114 que está configurada para aumentar la velocidad de rotación del eje de baja velocidad 112 y transferir esa velocidad a un eje de alta velocidad 116. En la forma de realización de ejemplo, la multiplicadora 114 tiene una relación de elevación o incremento de aproximadamente 70:1. Por ejemplo, el eje de baja velocidad 112 que rota a aproximadamente 20 revoluciones por minuto (rpm) acoplado con la multiplicadora 114 con una relación de elevación o aumento de aproximadamente 70:1 genera una velocidad del eje de alta velocidad 116 igual a aproximadamente 1400 rpm. Alternativamente, la multiplicadora 114 tiene cualquier relación de elevación o incremento adecuada que facilita la operación de la turbina eólica 100 según se describe en este documento. Como alternativa adicional, la turbina eólica 100 incluye un generador de accionamiento directo que está acoplado de forma rotatoria al rotor 106 sin que intervenga ninguna multiplicadora.

El eje de alta velocidad 116 está acoplado de forma rotatoria al generador 118. En la forma de realización de ejemplo, el generador 118 es un generador (asíncrono) de inducción de doble alimentación (DFIG) trifásico de rotor bobinado que incluye un estator de generador 120 acoplado magnéticamente a un rotor de generador 122. En una forma de realización alternativa, el rotor del generador 122 incluye una pluralidad de imanes permanentes en lugar de las bobinas del rotor.

El sistema eléctrico y de control 200 incluye un controlador de turbina 202. El controlador de turbina 202 incluye al menos un procesador y una memoria, al menos un canal de entrada del procesador, al menos un canal de salida del procesador, y puede incluir al menos un dispositivo informático (ninguno se muestra en la Figura 2). Según se utiliza en este documento, el término dispositivo informático no se limita a circuitos integrados que en la técnica se denominan dispositivo informático, sino que en general se refiere a un procesador, un micro-controlador, un micro-dispositivo informático, un controlador lógico programable (PLC: programmable logic controller), un circuito integrado específico de aplicación y otros circuitos programables (ninguno se muestra en la Figura 2), y estos términos se utilizan indistintamente en este documento. En la forma de realización de ejemplo, la memoria puede incluir, pero no se limita a, un medio legible por dispositivo informático, tal como una memoria de acceso aleatorio (RAM: random access memory) (que no se muestra en la Figura 2). Alternativamente, también se puede utilizar uno o más dispositivos de almacenamiento, tal como un disquete, un disco compacto de sólo lectura (CD-ROM: compact disc read only memory), un disco magneto-óptico (MOD: magneto optical disk), y/o un disco versátil digital (DVD: digital versatile disc) (ninguno se muestra en la Figura 2). Asimismo, en la forma de realización de ejemplo, canales de entrada adicionales (que no se muestran en la Figura 2) pueden ser, pero no se limitan a, periféricos informáticos asociados con una interfaz de operador tal como un ratón y un teclado (que no se muestran en la Figura 2). Además, en la forma de realización de ejemplo, canales de salida adicionales pueden incluir, pero no se limitan a, un monitor de interfaz de operador (que no se muestra en la Figura 2).

Los procesadores para un controlador de turbina 202 procesan información transmitida por una pluralidad de dispositivos eléctricos y electrónicos que pueden incluir, pero no se limitan a, transductores de voltaje y corriente. La memoria RAM y/o dispositivos de almacenamiento almacenan y transfieren información e instrucciones para su ejecución por el procesador. La memoria RAM y/o dispositivos de almacenamiento también se pueden utilizar para almacenar y proporcionar variables temporales, información e instrucciones estáticas (es decir, no cambiantes) u otra información intermedia a los procesadores durante la ejecución de las instrucciones por parte de los procesadores. Las instrucciones que se ejecutan incluyen, pero no se limitan a, algoritmos residentes de conversión y/o comparación. La ejecución de secuencias de instrucciones no se limita a ninguna combinación específica de circuitos hardware e instrucciones software.

El estator del generador 120 está acoplado eléctricamente con un conmutador de sincronización del estator 206 a través de un bus de estator 208. En una forma de realización de ejemplo, para facilitar la configuración del generador DFIG, el rotor del generador 122 está acoplado eléctricamente con una unidad de conversión de energía bidireccional 210 a través de un bus de rotor 212. Alternativamente, el rotor del generador 122 está acoplado eléctricamente con el bus del rotor 212 a través de cualquier otro dispositivo que facilita la operación del sistema eléctrico y de control 200 según se describe en el presente documento. Como otra alternativa, el sistema eléctrico y de control 200 está configurado como un sistema de conversión de plena potencia (que no se muestra) que incluye una unidad de conversión de plena potencia (que no se muestra en la Figura 2) similar en diseño y operación a la unidad de conversión de energía 210 y acoplado eléctricamente con el estator del generador 120. La unidad de conversión de plena potencia facilita la

conducción de la energía eléctrica entre el estator del generador 120 y una red de transmisión y distribución de energía eléctrica (que no se muestra). En la forma de realización de ejemplo, el bus del estator 208 transmite energía trifásica desde el estator del generador 120 hacia el conmutador de sincronización del estator 206. El bus del rotor 212 transmite energía trifásica desde el rotor del generador 122 hacia la unidad de conversión de energía 210. En la forma de realización de ejemplo, el conmutador de sincronización del estator 206 está acoplado eléctricamente con un disyuntor de circuito de transformador principal 214 a través de un bus de sistema 216. En una forma de realización alternativa, se utilizan uno o más fusibles (que no se muestran) en lugar del disyuntor de circuito del transformador principal 214. En otra forma de realización, no se utilizan ni fusibles ni el disyuntor de circuito del transformador principal 214.

La unidad de conversión de energía 210 incluye un filtro de rotor 218 que está acoplado eléctricamente con el rotor del generador 122 a través del bus del rotor 212. Un bus de filtro de rotor 219 acopla eléctricamente el filtro de rotor 218 con un convertidor de energía en el lado del rotor 220, y el convertidor de energía en el lado del rotor 220 está acoplado eléctricamente con un convertidor de energía en el lado de la línea 222. El convertidor de energía en el lado del rotor 220 y el convertidor de energía en el lado de la línea 222 son puentes convertidores de potencia que incluyen semiconductores de energía (que no se muestran). En la forma de realización de ejemplo, el convertidor de energía en el lado del rotor 220 y el convertidor de energía en el lado de la línea 222 están configurados en una configuración trifásica de modulación de ancho de pulso (PWM: pulse width modulation) que incluye dispositivos de conmutación de transistores bipolares de puerta aislada (IGBT: insulated gate bipolar transistor) (que no se muestran en la Figura 2) que funcionan según se conoce en la técnica. Alternativamente, el convertidor de energía en el lado del rotor 220 y el convertidor de energía en el lado de la línea 222 tienen cualquier configuración que utilice cualquier dispositivo de conmutación que facilite la operación del sistema eléctrico y de control 200 según se describe en este documento. La unidad de conversión de energía 210 está acoplada en comunicación de datos electrónicos con el controlador de turbina 202 para controlar la operación del convertidor de energía en el lado del rotor 220 y del convertidor de energía en el lado de la línea 222.

En la forma de realización de ejemplo, un bus convertidor de energía en el lado de la línea 223 acopla eléctricamente el convertidor de energía en el lado de la línea 222 con un filtro de línea 224. También, un bus de línea 225 acopla eléctricamente el filtro de línea 224 con un contactor de línea 226. Además, el contactor de línea 226 está acoplado eléctricamente con un disyuntor de circuito de conversión 228 a través de un bus de disyuntor de circuito de conversión 230. Además, el disyuntor de circuito de conversión 228 está acoplado eléctricamente con el disyuntor de circuito del transformador principal 214 a través del bus del sistema 216 y un bus de conexión 232. Alternativamente, el filtro de línea 224 está acoplado eléctricamente con el bus del sistema 216 directamente a través del bus de conexión 232 e incluye cualquier esquema de protección adecuado (que no se muestra) configurado para tener en cuenta la eliminación del contactor de línea 226 y del disyuntor de circuito de conversión 228 con respecto al sistema eléctrico y de control 200. El disyuntor de circuito del transformador principal 214 está acoplado eléctricamente con un transformador principal de potencia eléctrica 234 a través de un bus en el lado del generador 236. El transformador principal 234 está acoplado eléctricamente con un disyuntor de circuito de red 238 a través de un bus en el lado del disyuntor 240. El disyuntor de circuito de la red 238 está conectado a la red de transmisión y distribución de energía eléctrica a través de un bus de red 242. En una forma de realización alternativa, el transformador principal 234 está acoplado eléctricamente con uno o más fusibles (que no se muestran), en lugar de con el disyuntor de circuito de la red 238, a través del bus en el lado del disyuntor 240. En otra forma de realización, no se utilizan ni fusibles ni el disyuntor de circuito de la red 238, sino que el transformador principal 234 está acoplado con la red de transmisión y distribución de energía eléctrica a través del bus en el lado del disyuntor 240 y del bus de la red 242.

En la forma de realización de ejemplo, el convertidor de energía en el lado del rotor 220 está acoplado en comunicación eléctrica con el convertidor de energía en el lado de la línea 222 a través de un único enlace de corriente continua CC (DC: direct current) 244. Alternativamente, el convertidor de energía en el lado del rotor 220 y el convertidor de energía en el lado de la línea 222 están acoplados eléctricamente a través de enlaces de CC individuales y separados (que no se muestran en la Figura 2). El enlace de CC 244 incluye un riel positivo 246, un riel negativo 248 y al menos un condensador 250 acoplado entre el riel positivo 246 y el riel negativo 248. Alternativamente, el condensador 250 incluye uno o más condensadores configurados en serie y/o en paralelo entre el riel positivo 246 y el riel negativo 248.

El controlador de turbina 202 está configurado para recibir una pluralidad de señales de medición de voltaje y de corriente eléctrica procedentes de un primer conjunto de sensores de voltaje y de corriente eléctrica 252. Además, el controlador de turbina 202 está configurado para monitorizar y controlar al menos algunas de las variables operativas asociadas con la turbina eólica 100. En la forma de realización de ejemplo, cada uno de los tres sensores de voltaje y de corriente eléctrica 252 está acoplado eléctricamente con cada una de las tres fases del bus de la red 242. Alternativamente, los sensores de voltaje y de corriente eléctrica 252 están acoplados eléctricamente con el bus del sistema 216. Como alternativa adicional, los sensores de voltaje y de corriente eléctrica 252 están acoplados eléctricamente con cualquier parte del sistema eléctrico y de control 200 que facilite la operación del sistema eléctrico y de control 200 según se describe en el presente documento. Como alternativa más adicional, el controlador de turbina 202 está configurado

para recibir cualquier número de señales de medición de voltaje y de corriente eléctrica procedentes de cualquier número de sensores de voltaje y de corriente eléctrica 252 que incluyen, pero no se limitan a, una señal de medición de voltaje y de corriente eléctrica procedente de un transductor.

5 Según se muestra en la Figura 2, el sistema eléctrico y de control 200 también incluye un controlador de convertidor 262 que está configurado para recibir una pluralidad de señales de medición de voltaje y de corriente eléctrica. Por ejemplo, en una configuración, el controlador de convertidor 262 recibe señales de medición de voltaje y de corriente eléctrica procedentes de un segundo conjunto de sensores de voltaje y de corriente eléctrica 254 acoplados en comunicación electrónica de datos con el bus del estator 208. El controlador de convertidor 262 recibe un tercer conjunto de señales de medición de voltaje y de corriente eléctrica procedentes de un tercer conjunto de sensores de voltaje y de corriente eléctrica 256 acoplados en comunicación electrónica de datos con el bus del rotor 212. El controlador de convertidor 262 también recibe un cuarto conjunto de señales de medición de voltaje y de corriente eléctrica procedentes de un cuarto conjunto de sensores de voltaje y de corriente eléctrica 264 acoplados en comunicación electrónica de datos con el bus de disyuntor de circuito de conversión 230. El segundo conjunto de sensores de voltaje y de corriente eléctrica 254 es sustancialmente similar al primer conjunto de sensores de voltaje y de corriente eléctrica 252, y el cuarto conjunto de sensores de voltaje y de corriente eléctrica 264 es sustancialmente similar al tercer conjunto de sensores de voltaje y de corriente eléctrica 256. El controlador de convertidor 262 es sustancialmente similar al controlador de turbina 202 y está acoplado en comunicación electrónica de datos con el controlador de turbina 202. Además, en la forma de realización de ejemplo, el controlador de convertidor 262 está integrado físicamente en la unidad de conversión de energía 210. Alternativamente, el controlador de convertidor 262 tiene cualquier configuración que facilite la operación del sistema eléctrico y de control 200 según se describe en el presente documento.

25 Durante la operación, el viento impacta en las palas 108 y las palas 108 transforman la energía del viento en un par de rotación mecánico que acciona de forma rotatoria el eje de baja velocidad 112 a través del buje 110. El eje de baja velocidad 112 acciona la multiplicadora 114 que posteriormente aumenta la baja velocidad de rotación del eje de baja velocidad 112 para accionar el eje de alta velocidad 116 a una mayor velocidad de rotación. El eje de alta velocidad 116 acciona de forma rotatoria el rotor del generador 122. El rotor del generador 122 induce un campo magnético rotatorio y se induce un voltaje dentro del estator del generador 120 que está acoplado magnéticamente con el rotor del generador 122. El generador 118 convierte la energía mecánica de rotación en una señal de energía eléctrica de corriente alterna CA (AC: alternating current) sinusoidal y trifásica en el estator del generador 120. La energía eléctrica asociada es transmitida al transformador principal 234 a través del bus del estator 208, del conmutador de sincronización del estator 206, del bus del sistema 216, del disyuntor de circuito del transformador principal 214 y del bus en el lado del generador 236. El transformador principal 234 aumenta la amplitud del voltaje de la energía eléctrica y la energía eléctrica transformada es transmitida además a una red a través del bus en el lado del disyuntor 240, del disyuntor de circuito de la red 238 y del bus de la red 242.

40 En la forma de realización de ejemplo, se proporciona una segunda vía de transmisión de energía eléctrica. Se genera energía eléctrica de corriente alterna trifásica sinusoidal dentro del rotor del generador 122 y es transmitida a la unidad de conversión de energía 210 a través del bus del rotor 212.

45 Dentro de la unidad de conversión de energía 210, la energía eléctrica es transmitida al filtro del rotor 218 y se modifica la potencia eléctrica para la velocidad de cambio de las señales de PWM asociadas con el convertidor de energía en el lado del rotor 220. El convertidor de energía en el lado del rotor 220 actúa como un rectificador y rectifica la energía de corriente alterna sinusoidal y trifásica en una energía de CC. La energía de CC es transmitida al enlace de CC 244. El condensador 250 facilita la mitigación de variaciones de la amplitud del voltaje en el enlace de CC 244 facilitando la mitigación de una ondulación de CC asociada con la rectificación de la CA.

55 La energía de CC es transmitida posteriormente desde el enlace de CC 244 al convertidor de energía en el lado de la línea 222 y el convertidor de energía en el lado de la línea 222 actúa como un inversor configurado para convertir la energía eléctrica de CC procedente del enlace de CC 244 en energía eléctrica de CA sinusoidal y trifásica con voltajes, corrientes y frecuencias predeterminados. Esta conversión es monitorizada y controlada a través del controlador de convertidor 262. La energía de CA convertida es transmitida desde el convertidor de energía en el lado de la línea 222 al bus de sistema 216 a través del bus del convertidor de energía en el lado de la línea 223 y del bus de línea 225, del contactor de línea 226, del bus del disyuntor de circuito de conversión 230, del disyuntor de circuito de conversión 228 y del bus de conexión 232. El filtro de línea 224 compensa o ajusta las corrientes armónicas en la energía eléctrica transmitida desde el convertidor de energía en el lado de la línea 222. El conmutador de sincronización del estator 206 está configurado para cerrarse para facilitar la conexión de la energía trifásica procedente del estator del generador 120 con la energía trifásica procedente de la unidad de conversión de energía 210.

65 El disyuntor de circuito de conversión 228, el disyuntor de circuito del transformador principal 214 y el disyuntor de circuito de la red 238 están configurados para desconectar los correspondientes buses, por ejemplo, cuando un flujo excesivo de corriente puede dañar los componentes del sistema eléctrico y de

## ES 2 807 885 T3

control 200. También se proporcionan componentes de protección adicionales que incluyen el contactor de línea 226, que pueden ser controlados para formar una desconexión abriendo un conmutador (que no se muestra en la Figura 2) correspondiente a cada línea del bus de línea 225.

5 La unidad de conversión de energía 210 compensa o ajusta la frecuencia de la energía trifásica procedente del rotor del generador 122 para cambios, por ejemplo, en la velocidad del viento en el buje 110 y las palas 108. Por lo tanto, de este modo, se desacoplan las frecuencias mecánicas y eléctricas del rotor con respecto a la frecuencia del estator.

10 En algunas condiciones, las características bidireccionales de la unidad de conversión de energía 210, y en concreto las características bidireccionales del convertidor de energía en el lado del rotor 220 y del convertidor de energía en el lado de la línea 222, facilitan la retroalimentación de al menos parte de la energía eléctrica generada en el rotor del generador 122. Más en concreto, se transmite energía eléctrica desde el bus del sistema 216 hacia el bus de conexión 232 y, posteriormente, a través del disyuntor de  
15 circuito de conversión 228 y desde el bus del disyuntor de circuito de conversión 230 hacia la unidad de conversión de energía 210. Dentro de la unidad de conversión de energía 210, se transmite la energía eléctrica a través del contactor de línea 226, del bus de línea 225 y del bus del convertidor de energía en el lado de la línea 223 hacia el convertidor de energía en el lado de la línea 222. El convertidor de energía en el lado de la línea 222 actúa como un rectificador y rectifica la energía de corriente alterna sinusoidal y trifásica en forma de energía de CC. La energía de CC se transmite al enlace de CC 244. El condensador 250 facilita la mitigación de variaciones de amplitud de voltaje en el enlace de CC 244 facilitando la mitigación de una ondulación de CC asociada a veces con la rectificación de CA trifásica.

25 La energía de CC se transmite posteriormente desde el enlace de CC 244 hacia el convertidor de energía en el lado del rotor 220 y el convertidor de energía en el lado del rotor 220 actúa como un inversor configurado para convertir la energía eléctrica de CC transmitida desde el enlace de CC 244 en energía eléctrica de CA sinusoidal y trifásica con voltajes, corrientes y frecuencias predeterminados. Esta conversión es monitorizada y controlada por el controlador de convertidor 262. La energía de CA convertida es transmitida desde el convertidor de energía en el lado del rotor 220 hacia el filtro del rotor 218 a través del  
30 bus del filtro del rotor 219 y posteriormente es transmitida al rotor del generador 122 a través del bus del rotor 212, facilitando de este modo una operación sub-síncrona.

La unidad de conversión de energía 210 está configurada para recibir señales de control procedentes del controlador de turbina 202. Las señales de control se basan en condiciones detectadas o en características  
35 de operación de la turbina eólica 100 y del sistema eléctrico y de control 200. Las señales de control son recibidas por el controlador de turbina 202 y se utilizan para controlar la operación de la unidad de conversión de energía 210. El sistema eléctrico y de control 200 puede utilizar una retroalimentación procedente de uno o más sensores para controlar la unidad de conversión de energía 210 a través del controlador de convertidor 262, incluyendo, por ejemplo, el bus de disyuntor de circuito de conversión 230, retroalimentaciones de voltaje o de corriente del bus del estator y del bus del rotor a través del segundo  
40 conjunto de sensores de voltaje y de corriente eléctrica 254, del tercer conjunto de sensores de voltaje y de corriente eléctrica 256, y del cuarto conjunto de sensores de voltaje y de corriente eléctrica 264. Utilizando esta información de retroalimentación y, por ejemplo, se pueden generar de cualquier manera conocida señales de control de conmutación, señales de control del conmutador de sincronización del estator y señales de control (activación) del disyuntor de circuito del sistema. Por ejemplo, para un transitorio de voltaje de red con características predeterminadas, el controlador de convertidor 262 suspenderá, al menos temporalmente sustancialmente, que los transistores IGBT conduzcan dentro del convertidor de energía en el lado de la línea 222. Dicha suspensión de la operación del convertidor de energía en el lado de la línea 222 mitigará sustancialmente la conducción de energía eléctrica a través de la unidad de conversión de  
45 energía 210 hasta cero aproximadamente.

La Figura 3 es un diagrama esquemático que ilustra un esquema de conexión para sub-estaciones individuales 606, 607 y 608 con una línea eléctrica común 612. Las sub-estaciones 606, 607 y 608 pueden  
55 formar sub-redes asociadas, en las que cada sub-red incluye un transformador de sub-red asociado (según se ilustra en las Figuras 4 y 5). El número de referencia 605 indica una región de compensación de potencia reactiva. Se proporciona una primera sub-estación 606, una segunda sub-estación 607 y una tercera sub-estación 608. La potencia S suministrada por las sub-estaciones individuales incluye, respectivamente, unos componentes de potencia efectiva P y unos componentes de potencia reactiva Q. Se indica en este caso que, si bien en el presente documento se describe la determinación de componentes de potencia reactiva, los componentes de potencia efectiva P y/o potencia S se pueden determinar de manera que se  
60 pueden evaluar los componentes de potencia reactiva utilizando  $\underline{S}$  y P.

Con el fin de reducir componentes no deseados de potencia reactiva Q, o para controlar la potencia reactiva de manera que se obtiene un valor de potencia reactiva deseado y/o un factor de potencia deseado, se  
65 puede proporcionar una primera compensación de potencia reactiva 610 transfiriendo potencia reactiva Q entre la sub-estación 608 y la sub-estación 607. Además, se puede proporcionar una segunda compensación de potencia reactiva 611 mediante una transferencia desde la sub-estación 608 hasta la sub-

estación 606 (según muestran las flechas 610, 611 en la Figura 3). Se observa en este caso que, según se utiliza en el presente documento, la expresión "compensación de potencia reactiva" tiene por objeto ser representativa de un control de potencia reactiva que puede dar lugar a una compensación total o parcial de la potencia reactiva, por ejemplo, de acuerdo con unos requisitos de una red de suministro de energía externa y/u otras cargas conectadas a la red de parque eólico.

Como ejemplo, cada una de las tres sub-estaciones 606, 607 y 608 pueden incluir 20 turbinas eólicas. Además, según el presente ejemplo, una carga de carga de cable en la sub-estación 606 es igual a 10 MVAR capacitivos, una carga de carga de cable en la sub-estación 607 es igual a 20 MVAR capacitivos y una carga de carga de cable en la sub-estación 608 es igual a 30 MVAR capacitivos. Por lo tanto, según el ejemplo descrito en este caso, la suma de las cargas de carga de cable asciende a 10 MVAR + 20 MVAR + 30 MVAR = 60 MVAR. Un sistema de gestión de parque eólico sin control individual de sub-redes proporcionará unos comandos idénticos o casi idénticos para cada turbina eólica. Estos comandos se estiman de la siguiente manera:  $60 \text{ MVAR}/60 = 1,0 \text{ MVAR}$  inductivos. Teniendo en cuenta que las sub-redes individuales tienen diferentes longitudes y que el número de turbinas eólicas conectadas a una sub-red puede ser diferente, la potencia reactiva Q generada por la reactancia e inductancia de cable y transformadores puede ser diferente. En el caso de un voltaje de parque, un regulador de voltio amperios reactivos (VAR: volt amps reactive) o de factor de potencia (PF: power-factor) regula un valor de consigna del parque y ajusta todas las turbinas eólicas utilizando el mismo comando de VAR, la potencia reactiva Q generada en las sub-redes será diferente. Se pueden producir situaciones en las que en una sub-red la potencia reactiva Q puede ser positiva, mientras que en otra sub-red la potencia reactiva Q puede ser negativa. Entonces, se puede producir un flujo de potencia reactiva compensatoria entre las sub-redes que puede tensionar uno o más de los transformadores de sub-red y/o la barra colectora. Como resultado, se puede producir una operación ineficiente de todo el parque eólico.

La energía eléctrica suministrada por las sub-estaciones individuales es proporcionada a transformadores eléctricos asociados, por ejemplo, un primer transformador de alta tensión 602, un segundo transformador de alta tensión 603 y un tercer transformador de alta tensión 604. Cada uno de estos transformadores puede proporcionar la transformación de 110 kV a 400 kV, es decir, de la región de alta tensión a la región de ultra alta tensión (de 3 x 110 kV a 3 x 400 kV).

La primera compensación de potencia reactiva 610 puede ser proporcionada desde la sub-estación 608 a la sub-estación 607. Además, la segunda compensación de potencia reactiva 611 puede ser proporcionada desde la sub-estación 608 a la sub-estación 606. De este modo, la sub-estación 608 incluye turbinas que producen menos potencia reactiva Q que la solicitada a través de la línea eléctrica, mientras que las sub-estaciones 606 y 607 incluyen turbinas eólicas que producen más potencia reactiva Q que la solicitada a través de la línea eléctrica. En este caso, se puede producir una compensación no deseada de la potencia reactiva a través de la barra colectora de 110 kV. Se observa en este caso que las líneas de conexión eléctrica dentro del parque eólico contribuyen normalmente a la parte capacitiva de la potencia reactiva, mientras que al menos una turbina eólica conectada a una sub-red asociada contribuye normalmente a la parte inductiva de la potencia reactiva. La parte capacitiva de la potencia reactiva es más o menos constante a causa del cableado fijo y, por lo tanto, de las líneas de conexión eléctrica inalteradas durante la operación de la al menos una turbina eólica. Sin embargo, se puede ajustar la parte inductiva de la potencia reactiva en una turbina eólica individual de tal manera que se pueden proporcionar la una o más compensaciones de potencia reactiva 610, 611 mencionadas anteriormente. El control de partes inductivas de la potencia reactiva en turbinas eólicas individuales permite por lo tanto compensar las partes capacitivas de la potencia reactiva resultantes de las líneas de conexión eléctrica dentro del parque eólico. Los parques eólicos de mayor tamaño ocupan una mayor superficie para la instalación de turbinas eólicas. Este hecho da lugar a largos cables de transferencia de energía para recoger energía procedente de turbinas eólicas individuales. Con el fin de reducir el coste del cableado, se limita el número de turbinas eólicas conectadas a un cable. Todos los cables de sub-red están conectados a una barra colectora común en la sub-estación. En este caso, podría aparecer el flujo de compensación de potencia reactiva y aumentar las pérdidas de todo el parque eólico.

Según una forma de realización típica de la presente invención, las sub-estaciones individuales 606, 607 y 608 pueden ser controladas de tal manera que la potencia reactiva de las sub-estaciones es compensada individualmente. En este caso no se realiza ninguna compensación a través de la barra de bus de 110 kV. De este modo, cada línea de energía hacia las sub-estaciones individuales 606, 607 y 608 es compensada por separado para proporcionar un factor de potencia PF deseado, por ejemplo, un factor de potencia PF igual a uno ( $PF = 1$ ). De este modo, el coseno del ángulo  $\varphi$  entre la potencia efectiva P y la potencia de salida  $|S|$  se puede establecer en  $\cos(\varphi) = 1$  con  $\cos(\varphi) = P/|S|$ . Por lo tanto, la relación  $PF = 1$  corresponde a  $\varphi = 0^\circ$  o  $Q = 0$ .

La Figura 4 es un diagrama esquemático que muestra una configuración de un parque eólico según una forma de realización típica. La topología de parque eólico que se ilustra en la Figura 4 incluye una disposición de turbinas eólicas, por ejemplo, una disposición de turbinas eólicas en sub-redes o series. Dicha disposición de topología puede ser almacenada en una memoria de manera que los componentes

de potencia reactiva y/o factores de potencia resultantes de, o que están influenciados por, la topología de una sub-red específica o de una serie de sub-redes se pueden evaluar en base a la topología conocida y almacenada. Una red de parque eólico está conectada a una red de suministro de energía 900 e incluye al menos dos sub-redes 300, 400, 500 y una parte colectora 905. Las al menos dos turbinas eólicas están conectadas a cada una de las sub-redes 300, 400, 500, en que las al menos dos sub-redes 300, 400, 500 están conectadas a la parte colectora 905 y en que la parte colectora 905 establece la conexión con la red de suministro 900. Un controlador de potencia reactiva está conectado operativamente a la red de parque eólico, en el que el controlador de potencia reactiva incluye un dispositivo de determinación para determinar un valor de potencia reactiva real en la parte colectora 905 y un controlador de parque eólico 800 conectado operativamente con el dispositivo de determinación 700 para controlar al menos dos de dichas turbinas eólicas en base al valor de potencia reactiva real determinado, de manera que se alcanza un valor de potencia reactiva deseado.

De este modo, el parque eólico que se muestra en la Figura 4 incluye tres sub-redes, es decir, una primera sub-red 300, una segunda sub-red 400 y una tercera sub-red 500. Se observa en este caso, aunque no se muestra en los dibujos, que se pueden proporcionar más de tres sub-redes o menos de tres sub-redes. La parte colectora 905 (línea discontinua en la Figura 4) puede incluir una barra colectora 600, un transformador de sub-estación 601 y un dispositivo de determinación 700, y puede representar una conexión a la red de suministro de energía 900 a través de un punto de regulación de red 707. Según una forma de realización típica que puede ser combinada con otras formas de realización que se describen en este documento, se puede medir un valor de potencia reactiva real  $Q$  en el punto de regulación de red 707. De este modo, se puede proporcionar a una red de suministro de energía conectada a la red de parque eólico un factor de potencia de salida deseado - o un valor de potencia reactiva deseado en la salida - de la red de parque eólico en la parte colectora 905 - y, a su vez, un valor de potencia reactiva deseado de la red de parque eólico. En otras palabras, para alcanzar un valor de potencia reactiva deseado se pueden controlar al menos dos de dichas turbinas eólicas en base al valor de potencia reactiva real determinado. Además, determinando un valor de potencia real de la salida de energía eléctrica generada por la red de parque eólico, hacia una red de suministro de energía externa, puede incluir evaluar o medir unos componentes de potencia reactiva en una o todas las sub-redes en base a la topología de al menos una sub-red. Se observa en este caso que se puede ajustar un valor de potencia reactiva deseado y/o un factor de potencia PF deseado en la barra colectora 600. El factor de potencia PF ajustado en un punto de toma 706 (línea discontinua en la Figura 4) es una base para facturar la energía eléctrica generada. Por lo tanto, un factor de potencia PF = 1 en la barra colectora puede ser ventajoso aunque el factor de potencia en el punto de regulación de red 707 sea inferior a 1. En otras palabras, puede ser deseable que el operador del parque eólico proporcione un factor de potencia PF cercano a uno en una ubicación (por ejemplo, en la barra colectora 600 de la Figura 4) dentro de la red de parque eólico en el que este factor de potencia representa la base para facturación. Utilizando el procedimiento según una o más formas de realización típicas que se describen en este documento, es por lo tanto posible ajustar este factor de potencia en base a mediciones de la sub-red.

Cada sub-red 300, 400, 500 incluye al menos dos turbinas eólicas 301 – 303, 401, 402, y 501 – 504. La energía eléctrica es generada con al menos dos de dichas turbinas eólicas y es suministrada a la sub-red con la que están conectadas las al menos dos turbinas eólicas. Se observa en este caso que la topología puede influir en los componentes de potencia reactiva en una sub-red. De este modo, la potencia reactiva en una sub-red puede ser diferente de la potencia reactiva en otra sub-red, por ejemplo, a causa de diferentes longitudes de cables, diferente número de turbinas eólicas conectadas a una sub-red, etc. De este modo, la topología es un factor que se puede considerar cuando se controlan componentes de potencia reactiva. En la forma de realización que se muestra en la Figura 4, la primera sub-red 300 incluye tres turbinas eólicas 301, 302, 303, la segunda sub-red 400 incluye dos turbinas eólicas 401 y 402, y la tercera sub-red 500 incluye cuatro turbinas eólicas 501, 502, 503 y 504. El valor de potencia reactiva real se puede determinar en la parte colectora 905.

Cada turbina eólica individual 301 – 303, 401 – 402, 501 – 503 incluye un controlador de turbina eólica asociado. Además, para cada sub-red 300, 400 y 500 se puede proporcionar un transformador de sub-red asociado para conectar la respectiva sub-red 300, 400 y 500 a la barra colectora común 600. Dicho transformador de sub-red puede estar adaptado para transferir energía eléctrica en un rango de 150 MW a 250 MW. La barra colectora común se utiliza para recoger la energía eléctrica generada por las turbinas eólicas individuales. La energía eléctrica resultante  $S_{\text{park}}$  es transferida al transformador de sub-estación 601, que transforma la energía eléctrica  $S_{\text{park}}$  de una región de alta tensión HV a una región de ultra alta tensión (región UHV). El transformador de sub-estación 601 se puede considerar como un transformador principal en el parque eólico. En el lado de ultra alta tensión del transformador de sub-estación 601, se puede conectar una red de suministro 900. De este modo, la red de parque eólico conectada eléctricamente a al menos dos sub-redes puede ser conectada a la red de suministro de energía y se puede transferir la potencia generada desde el parque eólico que tiene al menos dos sub-redes hacia la red de suministro de energía. Se indica un punto de regulación de red con el número de referencia 707. En el punto de regulación de red 707, se pueden medir voltajes y corrientes mediante un dispositivo de medición de red 700, de manera que es posible el control de la potencia reactiva.

Según una forma de realización típica que se puede combinar con otras formas de realización que se describen en este documento, el dispositivo de medición de red 700 incluye un sensor de voltaje 704 y un sensor de potencia reactiva Q en el lado secundario del transformador de sub-estación 601. Una señal de medición 903 producida por el dispositivo de medición de red 700 es utilizada para controlar un controlador de parque eólico 800 conectado con el dispositivo de medición de red 700. Además, el controlador de parque eólico 800 está conectado a un dispositivo de entrada de la red 901 para suministrar un estado de control deseado para las turbinas eólicas individuales y a una interfaz hombre-máquina 902 para suministrar comandos de usuario. Una señal de control de parque eólico 804 es emitida por el controlador de parque eólico 800 y se puede utilizar para controlar turbinas eólicas individuales a través de sus controladores de turbina eólica asociados. Con el fin de proporcionar un control de turbina eólica, el controlador de parque eólico 800 está conectado a las turbinas eólicas individuales 301 – 303; 401 – 402; 501 – 503 a través de un dispositivo de comunicación de datos 904 tal como una línea de comunicación (líneas discontinuas en la Figura 4). La línea de comunicación 904 se utiliza para comunicar señales de datos entre el controlador de parque eólico 800 y las turbinas eólicas / controladores de turbina eólica individuales.

Según otra forma de realización típica que se puede combinar con otras formas de realización que se describen en este documento, el dispositivo de comunicación de datos puede servir para comunicar señales de datos entre el controlador de parque eólico y al menos una turbina eólica, en el que el dispositivo de comunicación de datos se puede seleccionar de entre un grupo que consiste en una red de área local, una red LAN inalámbrica, Internet, una guía de ondas ópticas y cualquier combinación de las mismas.

El dispositivo de medición de red 700 para medir un componente de potencia reactiva  $Q_{\text{park}}$  de la energía eléctrica  $\underline{S}_{\text{park}}$  generada por las turbinas eólicas puede incluir al menos un sensor seleccionado de entre el grupo formado por un sensor de voltaje 704, un sensor de corriente 705, un medidor de potencia, un sensor de VAR y cualquier combinación de los mismos. Utilizando el dispositivo de medición de red 700 según una forma de realización típica que se describe en este documento con respecto a la Figura 4, se puede determinar el componente de potencia reactiva  $Q_{\text{park}}$  contenido en la potencia generada  $\underline{S}_{\text{park}}$  (que incluye componentes de potencia efectiva y potencia reactiva).

Cada sub-red 300, 400 y 500 incluye un grupo de turbinas eólicas 301 – 303; 401 – 402; 501 – 503 que están conectadas al mismo cable de salida de energía, de manera que un grupo de turbinas eólicas puede ser controlado con respecto a su potencia de salida. La potencia de salida en la sub-red individual 300, 400 y 500 es de acuerdo con las siguientes ecuaciones (1), (2) y (3), respectivamente:

$$\underline{S}_1 = P_1 + jQ_1 \quad (1)$$

$$\underline{S}_2 = P_2 + jQ_2 \quad (2)$$

$$\underline{S}_3 = P_3 + jQ_3 \quad (3)$$

De este modo, la cantidad resultante de energía eléctrica  $\underline{S}_{\text{park}}$  generada por las turbinas eólicas dispuestas dentro del parque eólico se evalúa utilizando la compleja formulación de energía definida por las ecuaciones (1), (2) y (3) anteriores:

$$\underline{S}_{\text{park}} = \underline{S}_1 + \underline{S}_2 + \underline{S}_3 \quad (4)$$

De este modo, la potencia generada por el parque eólico  $\underline{S}_{\text{park}}$  incluye componentes de potencia efectiva  $P_{\text{park}}$  y componentes de potencia reactiva  $Q_{\text{park}}$ , según se indica en la siguiente ecuación (5):

$$\underline{S}_{\text{park}} = P_{\text{park}} + jQ_{\text{park}} \quad (5)$$

Utilizando la ecuación (5) anterior se puede determinar la suma de componentes de potencia reactiva  $Q_{\text{park}}$  dentro del parque eólico utilizando la siguiente ecuación (6):

$$Q_{\text{park}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (6)$$

Se observa en este caso que los componentes de potencia reactiva individuales proporcionados por las sub-redes individuales 300, 400 y 500 se pueden expresar como la suma de los respectivos componentes de potencia reactiva establecidos por un comando Q y los respectivos componentes de potencia reactiva a causa de una transmisión por cable  $Q_{\text{cabletrans}}$ . De este modo, se pueden utilizar las siguientes ecuaciones (7) a (8):

$$Q_1 = Q_{1\_command} + Q_{1\_cabletrans} \quad (7)$$

$$Q_2 = Q_{2\_command} + Q_{2\_cabletrans} \quad (8)$$

$$Q_3 = Q_{3\_command} + Q_{3\_cabletrans} \quad (9)$$

Como las sub-redes individuales 300, 400 y 500 son diferentes entre sí, por ejemplo, con respecto a la topología, al número de turbinas eólicas conectadas, a la longitud de los cables, al área de instalación, etc., los componentes de potencia reactiva a causa de la transmisión por cable  $Q_{\text{cabletrans}}$  también son diferentes entre sí:

$$Q_{1\_cabletrans} \neq Q_{2\_cabletrans} \neq Q_{3\_cabletrans} \quad (10)$$

Por lo tanto, si los componentes de potencia reactiva establecidos por un comando  $Q$  se corresponden entre sí, según se indica en la siguiente ecuación (11), todas las turbinas eólicas conectadas a las respectivas sub-redes 300, 400 y 500 se controlarían de la misma manera.

$$Q_{1\_command} = Q_{2\_command} = Q_{3\_command} \quad (11)$$

Entonces,  $Q_{\text{park}}$  se establece de acuerdo con la siguiente ecuación (12):

$$\text{IF:} \quad Q_2 < 0$$

$$\text{AND:} \quad Q_1 > 0; Q_3 > 0 \quad (12)$$

THEN:  $Q_2$  compensated by  $Q_1, Q_3$

$$Q_{\text{park}} = |Q_1| + |Q_3| - |Q_2|$$

Sin embargo, según una forma de realización típica, se proporciona un control individual de los componentes de potencia reactiva. Se calculan los componentes de potencia reactiva individuales proporcionados por la transmisión por cable y se genera un comando  $Q_{\text{park}}$  por parte de un dispositivo de control.

De este modo, los componentes de potencia reactiva pueden ser controlados o establecidos por los comandos  $Q_{\text{command}}$  que se proporcionan individualmente para las tres sub-redes 300, 400 y 500. Además, los componentes de potencia reactiva pueden ser anulados de tal manera que, por ejemplo, la potencia reactiva de al menos dos sub-redes se puede compensar entre sí. De este modo, el comando  $Q_{\text{command}}$  puede ser ponderado de acuerdo con una transmisión por cable efectiva en la respectiva sub-red y puede ser calculado según se indica en la siguiente ecuación (13) para la primera sub-red 300, en la siguiente ecuación (14) para la segunda sub-red 400 y en la siguiente ecuación (15) para la tercera sub-red 500:

$$Q_{1\_command} = \frac{Q_{\text{park\_command}} \cdot Q_{1\_cabletrans}}{Q_{1\_cabletrans} + Q_{2\_cabletrans} + Q_{3\_cabletrans}} \quad (13)$$

$$Q_{2\_command} = \frac{Q_{\text{park\_command}} \cdot Q_{2\_cabletrans}}{Q_{1\_cabletrans} + Q_{2\_cabletrans} + Q_{3\_cabletrans}} \quad (14)$$

$$Q_{3\_command} = \frac{Q_{\text{park\_command}} \cdot Q_{3\_cabletrans}}{Q_{1\_cabletrans} + Q_{2\_cabletrans} + Q_{3\_cabletrans}} \quad (15)$$

Se observa en este caso que la ponderación según las ecuaciones anteriores se puede proporcionar como una ponderación dinámica, por ejemplo, una ponderación cuando cambian una o más transmisiones por cable  $Q_{\text{cabletrans}}$ . De este modo, se pueden establecer los componentes de potencia reactiva en las sub-redes individuales 300, 400 y 500, y se puede conseguir un ajuste de un valor de potencia reactiva deseado de la red de parque eólico.

Además, se proporciona una compensación completa o parcial  $Q_{\text{comp}}$  de componentes de potencia reactiva  $Q$  cerca de un punto de toma 706 en la barra colectora 600. De este modo, se pueden utilizar grupos o series o sub-redes virtuales para controlar la potencia reactiva  $Q$  en estos grupos sin medir una potencia reactiva en cada grupo. De este modo, se puede proporcionar un control segmentado de potencia reactiva. Según se utiliza en el presente documento, el término "valor de potencia reactiva" tiene por objeto ser representativo de un valor de potencia reactiva que se proporciona a una red de suministro de energía conectada a la red de parque eólico. Se observa en este documento, aunque no se muestra en los dibujos, que se pueden proporcionar más de tres sub-redes o menos de tres sub-redes.

De este modo, un controlador de potencia reactiva para un parque eólico que tiene al menos dos sub-redes incluye un dispositivo de determinación de red 700, tal como el dispositivo de medición de red para medir un componente de potencia reactiva Q de la energía eléctrica generada por las respectivas turbinas eólicas, y el controlador de parque eólico 800 para controlar la generación de energía en al menos una sub-red en base al componente medido de potencia reactiva Q, de manera que el componente de potencia reactiva Q es controlado con respecto a al menos otra sub-red.

Se observa en este caso que cada sub-red 300, 400 y 500 incluye dos turbinas eólicas o más de dos turbinas eólicas. El controlador de parque eólico 800 puede incluir una CPU que coopera con el dispositivo de medición de red 700.

La Figura 5 es un diagrama esquemático de una configuración de parque eólico según otra forma de realización típica. Se observa en este caso que los componentes que se han descrito con respecto a la Figura 4 no se describen en este caso para evitar una descripción redundante. Se proporciona una red de parque eólico conectada a la red de suministro 900 e incluye al menos dos sub-redes 300, 400, 500 y la parte colectora 905. Al menos una turbina eólica está conectada a cada sub-red 300, 400, 500, en que las al menos dos sub-redes 300, 400, 500 están conectadas a la parte colectora 905 y en que la parte colectora 905 establece la conexión con la red de suministro 900.

Según se indica en la Figura 5, cada sub-red 300, 400 y 500 incluye un respectivo dispositivo de medición de sub-red, es decir, la primera sub-red 300 incluye un primer dispositivo de medición de sub-red 701, la segunda sub-red 400 incluye un segundo dispositivo de medición de sub-red 702, y la tercera sub-red 500 incluye un tercer dispositivo de medición de sub-red 703. De este modo, los componentes de potencia reactiva Q se pueden medir directamente en las líneas de energía de las respectivas sub-redes 300, 400 y 500. De este modo, según la forma de realización típica que se muestra en la Figura 5, se puede determinar un componente de potencia reactiva en cada sub-red 300, 400, 500. De este modo, al menos dos de dichas turbinas eólicas son controladas en base a los componentes de potencia reactiva determinados, de tal manera que se alcanza un valor de potencia reactiva deseado. El valor de potencia real deseado es proporcionado en la parte colectora 905.

Además de eso, o alternativamente, se pueden proporcionar controladores de sub-red individuales. Según se muestra en la Figura 5, la primera sub-red 300 incluye un primer controlador de sub-red 801 conectado con el primer dispositivo de medición de sub-red 701, la segunda sub-red 400 incluye un segundo controlador de sub-red 802 conectado con el segundo dispositivo de medición de sub-red 702, y la tercera sub-red 500 incluye un tercer controlador de sub-red 803 conectado con el tercer dispositivo de medición de sub-red 703. Los controladores de sub-red 801, 802 y 803 están conectados a los controladores individuales de turbina eólica a través de dispositivos de comunicación de datos de sub-red tal como líneas de comunicación (líneas discontinuas en la Figura 5), es decir, el primer controlador de sub-red 801 está conectado a los controladores de turbina eólica 311, 312 y 313, el segundo controlador de sub-red 802 está conectado a los controladores de turbina eólica 411 y 412, y el tercer controlador de sub-red 803 está conectado a los controladores de turbina eólica 511, 512, 513 y 514. Los controladores de sub-red individuales 801, 802 y 803 están respectivamente conectados al controlador de parque eólico 800.

La parte colectora 905 (línea discontinua en la Figura 5) incluye la barra colectora 600, el transformador de sub-estación 601 y el dispositivo de determinación 700, y puede representar una conexión a la red de suministro 900 a través del punto de regulación de red 707. Según una forma de realización típica que se puede combinar con otras formas de realización que se describen en este documento, el componente de potencia reactiva Q se puede medir en el punto de regulación de red 707. De este modo, además de o alternativamente a la medición de los componentes de potencia reactiva Q en las líneas eléctricas de las respectivas sub-redes 300, 400 y 500 mediante el primer dispositivo de medición de sub-red 701, el segundo dispositivo de medición de sub-red 702 y el tercer dispositivo de medición de sub-red 703, respectivamente, se puede medir el componente de potencia reactiva Q en el punto de regulación de red 707.

De este modo, el controlador de parque eólico 800 se utiliza para controlar los controladores de sub-red individuales 801, 802 y 803 que a su vez controlan las respectivas turbinas eólicas en la sub-red asociada 300, 400 y 500. Se observa en este caso que las mediciones de corriente y voltaje proporcionadas por los dispositivos de medición de sub-red se realizan en un lado secundario de los respectivos transformadores de sub-red 321, 421 y 521. Los transformadores de sub-red 321, 421 y 521 se utilizan para transformar la energía generada por las sub-redes individuales 300, 400 y 500 desde el rango de media tensión MV hacia el rango de alta tensión HV. Por lo tanto, la medición de voltaje y corriente se realiza en el lado de alto voltaje (HV) de los transformadores de sub-red 321, 421 y 521.

Uno o más de los controladores de sub-red 801, 802 y 803 para controlar la generación de energía en al menos una de las sub-redes 300, 400 y 500 en base a un componente de potencia reactiva Q medido por el respectivo dispositivo de medición de red 701, 702 y 703 se utilizan para controlar el componente de potencia reactiva Q con respecto a al menos una otra sub-red. De este modo, después de generar energía

eléctrica con al menos una de dichas turbinas eólicas y de suministrar la energía eléctrica generada a la sub-red con la que está conectada la al menos una turbina eólica, se puede determinar un componente de potencia reactiva en cada sub-red y se pueden controlar al menos dos de dichas turbinas eólicas en base a los componentes de potencia reactiva determinados, de modo que se alcanza un valor de potencia reactiva deseado. El valor de potencia reactiva deseado se puede proporcionar en la parte colectora 905.

Se observa en este caso que el primer dispositivo de medición de sub-red 701 y/o el segundo dispositivo de medición de sub-red 702 y/o el tercer dispositivo de medición de sub-red 703 pueden incluir al menos un sensor seleccionado de entre el grupo que consiste en un sensor de voltaje, un sensor de corriente, un medidor de potencia, y un sensor de VAR, y cualquier combinación de los mismos. Las líneas de comunicación de datos entre las turbinas eólicas individuales y el controlador de sub-red asociado dentro de una sub-red (líneas discontinuas en la Figura 5) pueden ser sustituidas por otros dispositivos de comunicación tales como, por ejemplo, una red de área local, una LAN inalámbrica, Internet, una guía de ondas ópticas y cualquier combinación de las mismas.

La Figura 6 es un esquema detallado de un parque eólico que tiene tres sub-redes individuales, en el que se proporcionan controladores primarios y secundarios en cada sub-red, de acuerdo con otra forma de realización típica. Se observa en este caso que los componentes que se han descrito con respecto a las Figuras 4 y 5 no se describen en este caso para evitar una descripción redundante. Se proporciona una red de parque eólico conectada a la red de suministro 900 e incluye al menos dos sub-redes 300, 400, 500 y la parte colectora 905. Al menos dos turbinas eólicas están conectadas a cada sub-red 300, 400, 500, en que las dos sub-redes 300, 400, 500 están conectadas a la parte colectora 905 y en que la parte colectora 905 establece la conexión con la red de suministro 900.

Cada sub-red 300, 400 y 500 incluye un respectivo dispositivo de medición de sub-red, es decir, la primera sub-red 300 incluye un primer dispositivo de medición de sub-red 701, la segunda sub-red 400 incluye un segundo dispositivo de medición de sub-red 702, y la tercera sub-red 500 incluye un tercer dispositivo de medición de sub-red 703. Utilizando estos dispositivos de medición de sub-red, los componentes de potencia reactiva Q se pueden determinar directamente en las líneas de energía de las respectivas sub-redes 300, 400 y 500. De este modo, al menos dos de dichas turbinas eólicas pueden ser controladas en base a los componentes de potencia reactiva determinados, de tal manera que se alcanza un valor de potencia reactiva deseado. El valor de potencia real deseado se puede proporcionar en la parte colectora 905.

De acuerdo con una forma de realización típica que se puede combinar con otras formas de realización que se describen en este documento, se proporcionan unos controladores de sub-red 801a, 802a, y 803a en las sub-redes individuales 300, 400, 500. En la forma de realización que se ilustra en la Figura 6, un primer controlador de sub-red 801a puede actuar como controlador de sub-red primario, mientras que el segundo y el tercer controlador de sub-red 802a, 803a se pueden proporcionar como controladores de sub-red secundarios. Según se muestra en la Figura 6, la primera sub-red 300 incluye el primer controlador de sub-red 801a conectado con el primer dispositivo de medición de sub-red 701, la segunda sub-red 400 incluye el segundo controlador de sub-red 802a conectado con el segundo dispositivo de medición de sub-red 702, y la tercera sub-red 500 incluye el tercer controlador de sub-red 803a conectado con el tercer dispositivo de medición de sub-red 703. Los controladores de sub-red 801a, 802a y 803a están conectados a los controladores individuales de turbina eólica a través de dispositivos de comunicación de datos de sub-red tales como líneas de comunicación (líneas discontinuas en la Figura 6), es decir, el primer controlador de sub-red 801a está conectado a los controladores de turbina eólica 311, 312 y 313, el segundo controlador de sub-red 802a está conectado a los controladores de turbina eólica 411 y 412, y el tercer controlador de sub-red 803a está conectado a los controladores de turbina eólica 511, 512, 513 y 514. De este modo, el primer controlador de sub-red 801a que actúa como el controlador de sub-red primario y está conectado operativamente a los controladores de sub-red secundarios 802a y 803a se puede utilizar para controlar los controladores de sub-red secundarios 802a y 803a que, a su vez, pueden controlar las respectivas turbinas eólicas en las sub-redes asociadas 400 y 500. De este modo, la generación de energía en al menos una sub-red 300, 400, 500 en base al componente de potencia reactiva Q medido se puede proporcionar de manera que el componente de potencia reactiva Q es controlado con respecto a al menos una otra sub-red. La generación de energía eléctrica con al menos dos de dichas turbinas eólicas puede ser controlada y la energía eléctrica generada puede ser suministrada a la sub-red con la que están conectadas las al menos dos turbinas eólicas, de manera que se puede determinar un componente de potencia reactiva en cada sub-red. De este modo, al menos dos de dichas turbinas eólicas se controlan en base al componente de potencia reactiva determinado, de modo que se alcanza un valor de potencia reactiva deseado. El valor de potencia reactiva deseado se proporciona en la parte colectora 905. Se observa en este caso que el primer dispositivo de medición de sub-red 701 y/o el segundo dispositivo de medición de sub-red 702 y/o el tercer dispositivo de medición de sub-red 703 pueden incluir al menos un sensor seleccionado de entre el grupo que consiste en un sensor de voltaje, un sensor de corriente, un medidor de potencia y un sensor de VAR, y cualquier combinación de los mismos. Las líneas de comunicación de datos entre las turbinas eólicas individuales y el controlador de sub-red asociado 801a, 802a, 803a dentro de una sub-red (líneas discontinuas en la Figura 6) se pueden sustituir por otros dispositivos de comunicación tales como, pero sin

limitarse a, una red de área local, una LAN inalámbrica, Internet, una guía de onda óptica, y cualquier combinación de las mismas. Según otra forma de realización alternativa que se puede combinar con otras formas de realización que se describen en este documento, una señal de medición 903 y/o señales de medición de red de parque generadas por el dispositivo de determinación 700 se pueden utilizar para controlar el controlador de sub-red primario 801a conectado con el dispositivo de determinación 700 (línea discontinua en la Figura 6). Además, el controlador de sub-red primario 801a puede estar conectado a un dispositivo de entrada de suministro de energía 901 para suministrar un estado de control deseado y/o comandos de suministro de energía para turbinas eólicas individuales, y a una interfaz hombre-máquina 902 para suministrar comandos de usuario. De este modo, el primer controlador de sub-red 801a que actúa como un controlador de sub-red primario puede asumir un control principal del parque eólico que se muestra en la Figura 6.

La Figura 7 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento de control de un parque eólico de acuerdo con una forma de realización típica. En un bloque 1000, se inicia el procedimiento. Se proporciona una red de parque eólico conectada a una red de suministro de energía 900 y que incluye al menos dos sub-redes y una parte colectora. Al menos dos turbinas eólicas están conectadas a cada sub-red, en que las al menos dos sub-redes están conectadas a la parte colectora y en que la parte colectora establece la conexión con la red de suministro 900 (bloque 1001). Luego, la energía eléctrica es generada con al menos dos de las turbinas eólicas (bloque 1002). La energía eléctrica generada es suministrada a la sub-red con la que están conectadas las al menos dos turbinas eólicas (bloque 1003). Luego, en el bloque 1004, se determina un valor de potencia reactiva real en la parte colectora. En un bloque 1005, al menos dos de dichas turbinas eólicas son controladas en base al valor de potencia reactiva real determinado, de tal manera que se alcanza un valor de potencia reactiva deseado. El procedimiento termina en un bloque 1006.

Determinar el valor de potencia reactiva real de la energía eléctrica generada S en el bloque 1003 puede incluir medir una corriente y un voltaje en el lado de alta tensión de al menos un transformador de sub-red 321, 421, 521. El procedimiento de control del componente de potencia reactiva Q (bloque 1004 de la Figura 7) puede incluir cancelar la potencia reactiva Q de al menos dos sub-redes adyacentes 300, 400, 500.

Controlar la generación de energía en al menos una sub-red en base al componente de potencia reactiva Q medida, de manera que el componente de potencia reactiva Q ajustado de acuerdo con el bloque 1004 puede incluir la comunicación de señales de datos entre el controlador de parque eólico 800 y al menos dos turbinas eólicas, entre el controlador de parque eólico 800, al menos un controlador de sub-red 801, 802, 803 y turbinas eólicas individuales. Por lo tanto, el control de la generación de energía en al menos una sub-red en base al componente de potencia reactiva Q medida puede incluir comunicar señales de datos entre un controlador de sub-red 801, 802, 803 asociado con al menos una sub-red 300, 400, 500 y al menos dos turbinas eólicas de dicha sub-red 300, 400, 500.

El procedimiento de transferencia de energía eléctrica desde un parque eólico que tiene al menos dos sub-redes y el controlador de potencia reactiva para un parque eólico dispuesto en al menos dos sub-redes de acuerdo con formas de realización típicas que se describen en el presente documento, proporciona una reducción del flujo de compensación de corriente a través de uno o más transformadores. De este modo, por ejemplo, se puede evitar un sobrecalentamiento de turbinas eólicas a causa de una excesiva transferencia de potencia reactiva. Además, se pueden utilizar recursos disponibles de Q de turbinas eólicas que no se sobrecalientan para reducir los componentes de Q en turbinas eólicas sobrecalentadas. Además de esto, el procedimiento de transferencia de energía eléctrica y el controlador de potencia reactiva según formas de realización típicas que se describen en este documento pueden ayudar a evitar el pago de multas por compensación insuficiente de Q en el punto de interconexión (POI: point of interconnection).

La Figura 8 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento de control de un parque eólico de acuerdo con una forma de realización típica adicional. En el bloque 1100, se inicia el procedimiento. Se proporciona una red de parque eólico conectada a una red de suministro de energía 900 y que incluye al menos dos sub-redes y una parte colectora. Al menos dos turbinas eólicas están conectadas a cada sub-red, en que las al menos dos sub-redes están conectadas a la parte colectora y en que la parte colectora establece la conexión con la red de suministro 900 (bloque 1101). Luego, se genera energía eléctrica con al menos dos de las turbinas eólicas (bloque 1102). La energía eléctrica generada es suministrada a la sub-red con la que están reconectadas las al menos dos turbinas eólicas (bloque 1103). Luego, en el bloque 1104, se determina un componente de potencia reactiva en cada sub-red. En un bloque 1105, al menos dos de dichas turbinas eólicas son controladas en base a los componentes de potencia reactiva determinados, de tal manera que se alcanza un valor de potencia reactiva deseado. El procedimiento termina en un bloque 1106.

Anteriormente se han descrito en detalle ejemplos de formas de realización de sistemas y procedimientos para transferir energía eléctrica desde un parque eólico que tiene al menos dos sub-redes, hacia una red de suministro de energía. Los sistemas y procedimientos no se limitan a las formas de realización específicas que se describen en el presente documento, sino que los componentes de los sistemas y/o las etapas de los procedimientos se pueden utilizar de forma independiente y por separado con respecto a

otros componentes y/o etapas que se describen en el presente documento. Por ejemplo, un controlador de potencia reactiva para un parque eólico dispuesto en al menos dos sub-redes no se limita a la práctica con sólo los sistemas de turbina eólica según se describe en este documento. Sino que la forma de realización de ejemplo puede ser implementada y utilizada en conexión con muchas otras aplicaciones de turbinas eólicas.

5

Aunque se pueden mostrar características específicas de diversas formas de realización de la invención en algunos dibujos y no en otros, esto es sólo por conveniencia. De acuerdo con los principios de la invención, cualquier característica de un dibujo puede ser referenciada y/o reivindicada en combinación con cualquier característica de cualquier otro dibujo.

10

Esta descripción escrita utiliza ejemplos para divulgar la invención, que incluyen la modalidad preferida, y también para permitir a cualquier persona experta en la materia poner en práctica la invención, incluyendo la fabricación y el uso de cualesquiera dispositivos o sistemas y la realización de cualesquiera procedimientos incorporados. Aunque se han divulgado diversas formas de realización específicas anteriormente, los expertos en la materia reconocerán que el alcance de las reivindicaciones permite modificaciones igualmente efectivas. En especial, características no exclusivas entre sí de las formas de realización que se han descrito anteriormente pueden ser combinadas entre sí. El alcance patentable de la invención está definido por las reivindicaciones, y puede incluir otros ejemplos que se les ocurran a los expertos en la materia. Dichos otros ejemplos tienen por objeto caer dentro del alcance de las reivindicaciones si tienen elementos estructurales que no difieren del lenguaje literal de las reivindicaciones, o si incluyen elementos estructurales equivalentes con diferencias insustanciales con respecto al lenguaje literal de las reivindicaciones.

15

20

## REIVINDICACIONES

1. Un controlador de potencia reactiva para controlar una potencia reactiva en una red de parque eólico conectada a una red de suministro de energía y que comprende al menos dos sub-redes (300, 400, 500) y una parte colectora (905), en que al menos dos turbinas eólicas (301, 401, 501) están conectadas a cada sub-red de las al menos dos sub-redes, en que las al menos dos sub-redes están conectadas a la parte colectora (905) y en que la parte colectora establece la conexión con la red de suministro de energía, comprendiendo el controlador de potencia reactiva:
- al menos un dispositivo de medición de sub-red (701, 702, 703) dispuesto en cada sub-red, para medir un componente de potencia reactiva en cada sub-red (300, 400, 500);
- al menos un controlador de sub-red (801, 802, 803) conectado operativamente con el al menos un dispositivo de medición de sub-red (701, 702, 703) para controlar dichas al menos dos turbinas eólicas (301, 401, 501) conectadas a la sub-red en base al componente de potencia reactiva medido en cada sub-red (300, 400, 500) de tal manera que se alcanza un valor de potencia reactiva deseado en cada sub-red;
- en el que al menos un controlador de sub-red (801, 802, 803) está conectado a controladores individuales de turbina eólica de las turbinas eólicas (301, 302, 303) conectadas a la sub-red;
- un dispositivo de determinación (700) para determinar un valor de potencia reactiva real en la parte colectora (905); y
- un controlador de parque eólico (800) conectado operativamente con el dispositivo de determinación (700) para controlar al menos uno del al menos un controlador de sub-red (801, 802, 803) en base al valor de potencia reactiva real determinado en la parte colectora (905), de tal manera que se alcanza un valor de potencia reactiva deseado en la parte colectora (905);
- y en el que cada sub-red (300, 400, 500) incluye un transformador de sub-red asociado (321, 421, 521) utilizado para transformar la energía generada por las sub-redes individuales (300, 400, 500) de media tensión a un rango de alta tensión; y en el que el controlador de parque eólico (800) se utiliza para controlar controladores de sub-red individuales (801, 802, 803) que controlan respectivas turbinas eólicas en la sub-red asociada (300, 400, 500), y en el que unas mediciones de corriente y voltaje son realizadas por los dispositivos de medición de sub-red para medir componentes de potencia reactiva en cada lado de sub-red de los respectivos transformadores de sub-red (321, 421, 521)
- y en que la parte colectora (905) comprende una barra colectora (600) y se proporciona un punto de toma (706) entre dichas al menos dos sub-redes (300, 400, 500) y dicha barra colectora (600) y se proporciona una compensación completa o parcial ( $Q_{comp}$ ) de componentes de potencia reactiva ( $Q$ ) cerca del punto de toma (706) en la barra colectora (600) por medio de los valores de potencia reactiva alcanzados en cada sub-red.
2. El controlador de potencia reactiva según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un compensador de potencia reactiva para proporcionar un factor de potencia de salida cercano a uno.
3. El controlador de potencia reactiva según la reivindicación 2, en el que el factor de potencia de salida cercano a uno es proporcionado en una barra colectora (600).
4. El controlador de potencia reactiva según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que una pluralidad de turbinas eólicas (401, 402) están conectadas con al menos una sub-red (400).
5. El controlador de potencia reactiva según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además en al menos una de dichas sub-redes (300, 400, 500): la alta tensión
- al menos un controlador de sub-red (801, 802, 803) para controlar la generación de energía en al menos dos turbinas eólicas (301, 401, 501) en base al valor de potencia reactiva real determinado, de tal manera que se establece un valor de potencia reactiva con respecto a al menos una otra sub-red (300, 400, 500).
6. El controlador de potencia reactiva según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además en al menos una de dichas sub-redes (300, 400, 500):
- un dispositivo de medición de sub-red (701, 702, 703) para medir un valor de potencia reactiva de la energía eléctrica generada en al menos una de dichas turbinas eólicas (301, 401, 501) conectada con al menos una de dichas sub-redes (300, 400, 500).
7. El controlador de potencia reactiva según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el dispositivo comprende al menos un sensor (252, 254, 256, 264) seleccionado de entre el grupo que consiste en un sensor de voltaje, un sensor de corriente, un medidor de potencia, un sensor de voltio amperios reactivos, VAR, y cualquier combinación de los mismos.
8. El controlador de potencia reactiva según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el dispositivo de medición de sub-red (701, 702, 703) comprende al menos un sensor (252, 254, 256, 264) seleccionado de entre el grupo que consiste en un sensor de voltaje, un sensor de corriente, un medidor de potencia, un sensor de voltio amperios reactivos, VAR, y cualquier combinación de los mismos.

- 5 9. El controlador de potencia reactiva según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además al menos un dispositivo de comunicación de datos (904) para comunicar señales de datos entre el controlador de parque eólico (800) y al menos dos turbinas eólicas (301, 401, 501), en el que el dispositivo de comunicación de datos (904) se selecciona de entre un grupo que consiste en una red de área local, una red LAN inalámbrica, Internet, una guía de ondas ópticas y cualquier combinación de las mismas.
- 10 10. El controlador de potencia reactiva según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además al menos un dispositivo de comunicación de datos de sub-red para comunicar señales de datos entre al menos uno de dichos controladores de sub-red (801, 802, 803) y al menos dos turbinas eólicas (301, 401, 501) dispuestas en dicha sub-red (300, 400, 500), en el que el dispositivo de comunicación de datos de sub-red se selecciona de entre un grupo que consiste en una red de área local, una red LAN inalámbrica, Internet, una guía de onda óptica y cualquier combinación de las mismas.
- 15 11. El controlador de potencia reactiva según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que se proporciona el al menos un controlador de sub-red (801, 802, 803) como un controlador de sub-red primario en una sub-red y se proporciona al menos un controlador adicional de sub-red como un controlador secundario de sub-red en al menos una segunda sub-red, siendo proporcionada la sub-red primaria para controlar el al menos un controlador de sub-red secundario.
- 20 12. Un parque eólico, que comprende:  
una red de parque eólico conectada a una red de suministro de energía (900) y que comprende al menos dos sub-redes (300, 400, 500) y una parte colectora (905), en el que al menos dos turbinas eólicas (301, 401, 501) están conectadas a cada sub-red (300, 400, 500), en que las al menos dos sub-redes (300, 400, 500) están conectadas a la parte colectora (905) y en que la parte colectora (905) establece la conexión con la red de suministro de energía (900); y
- 25 un controlador de potencia reactiva según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

FIG. 1

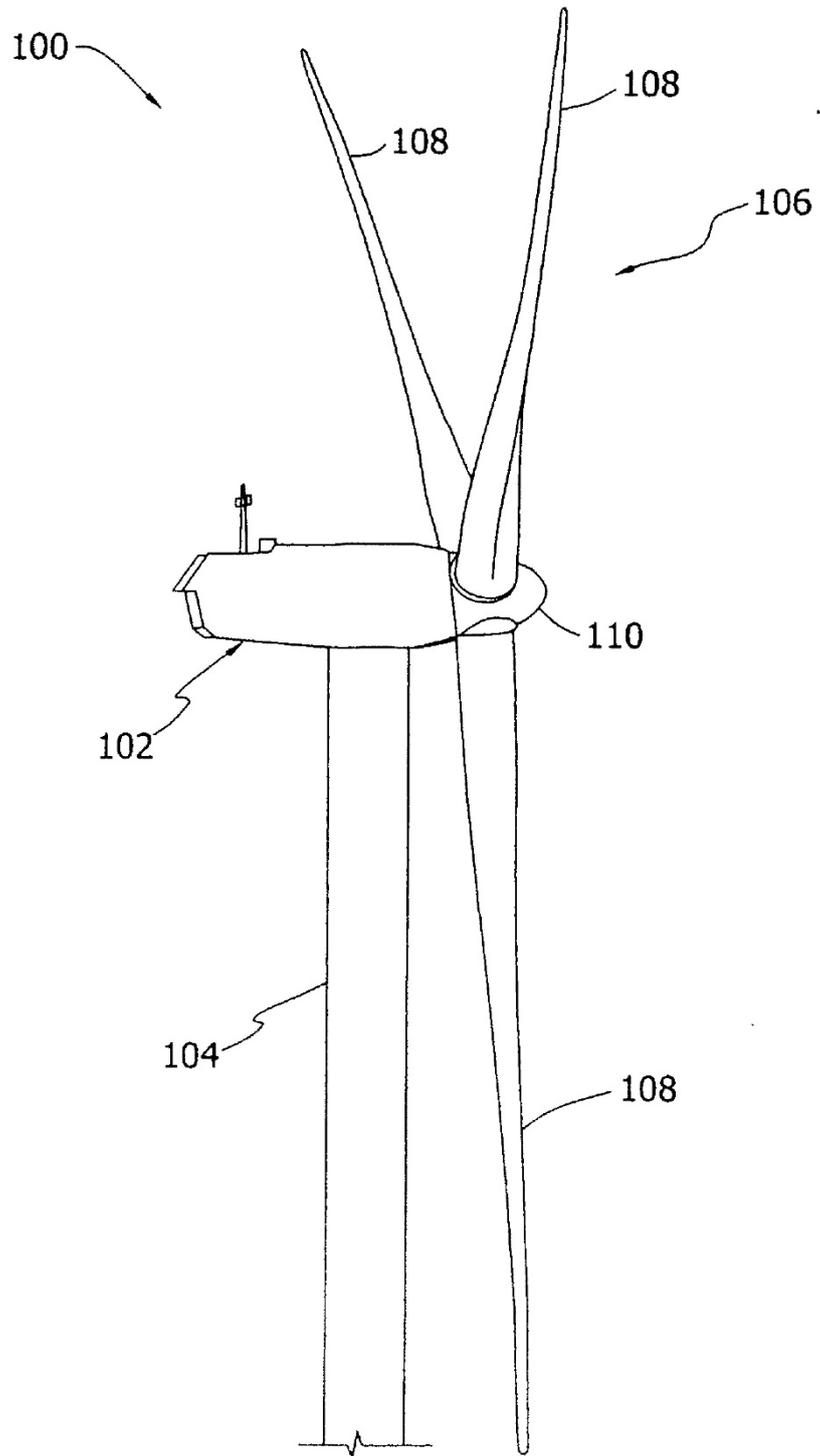


FIG. 2

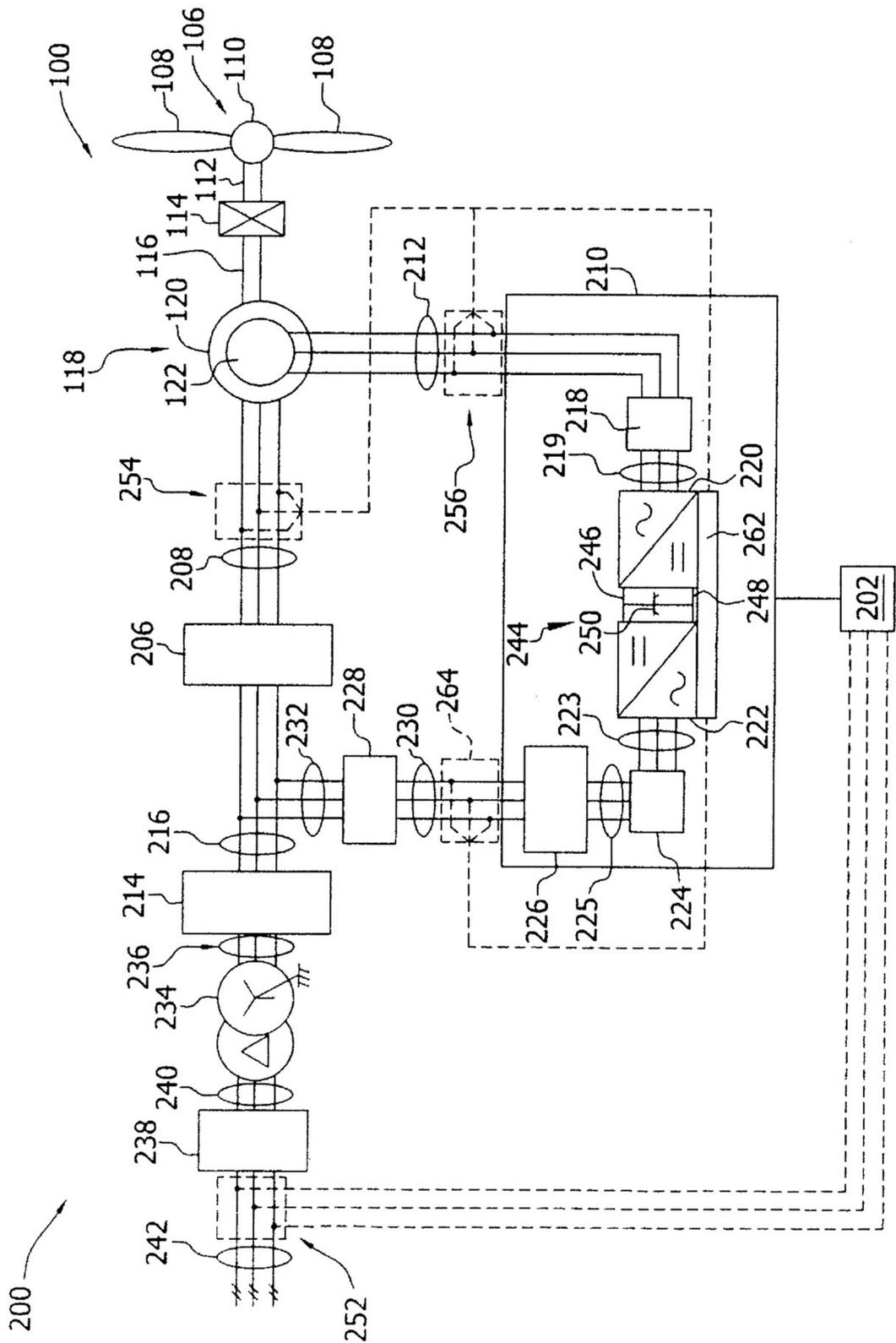


FIG. 3

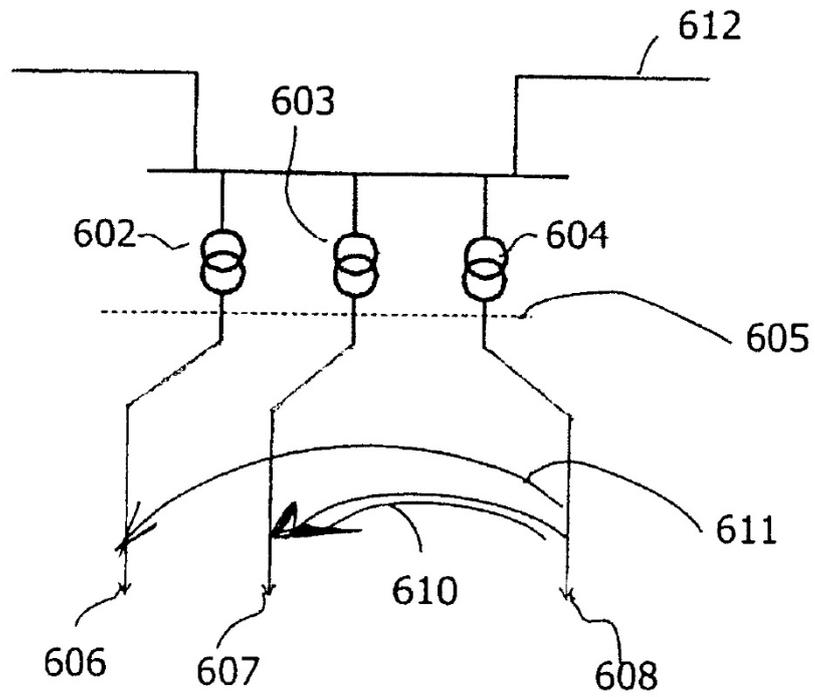


FIG. 4

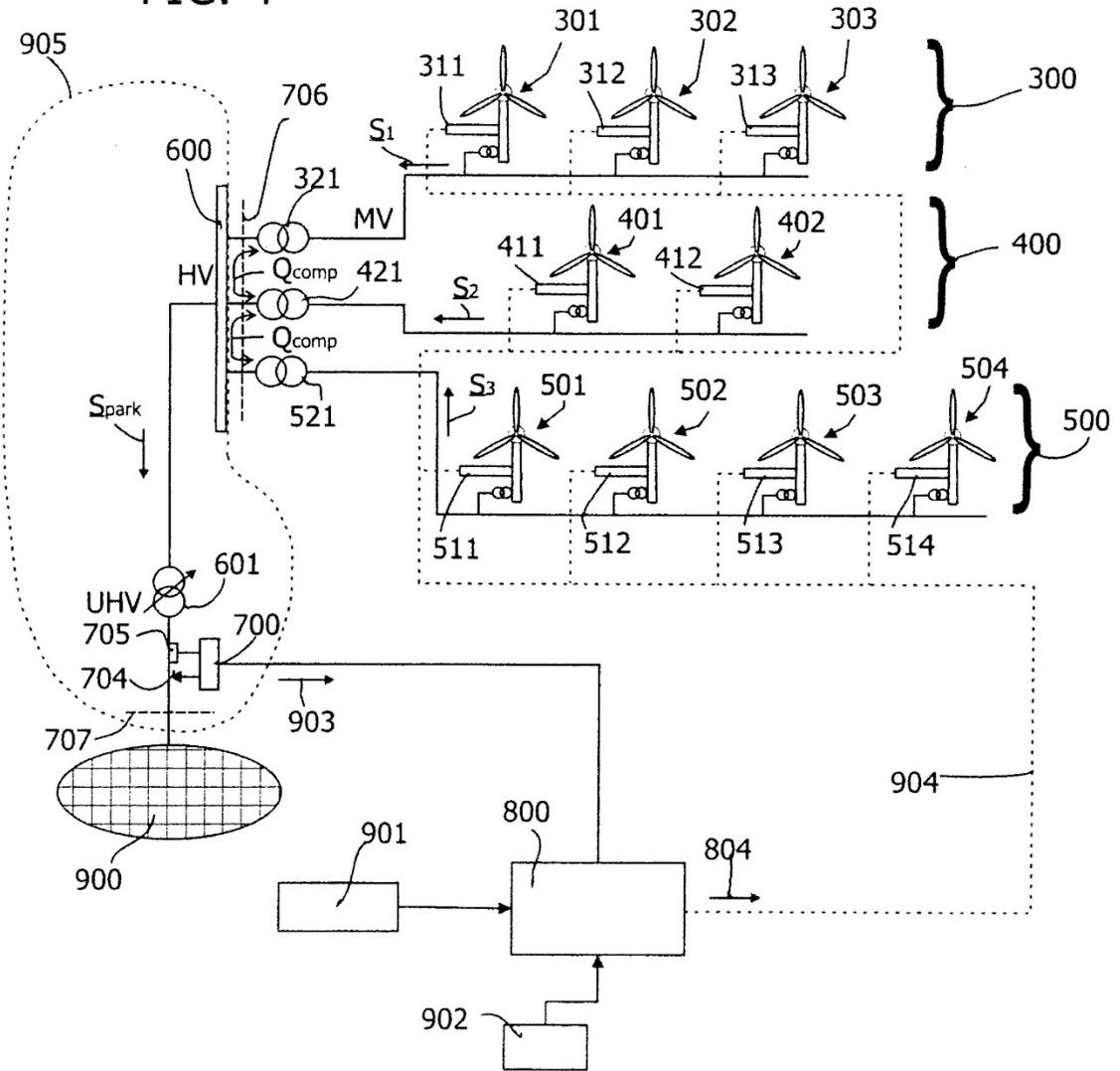




FIG. 6

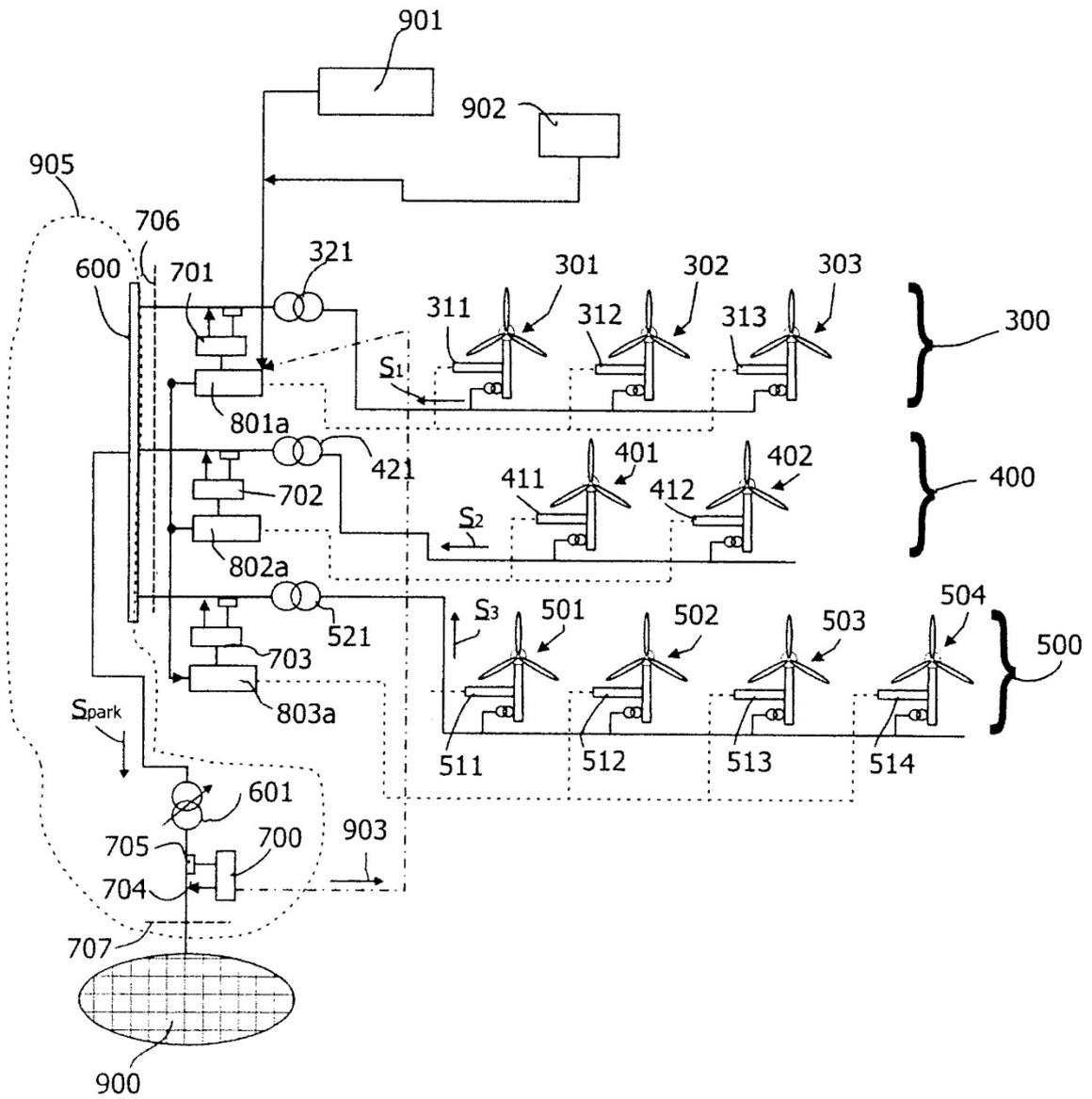


FIG. 7

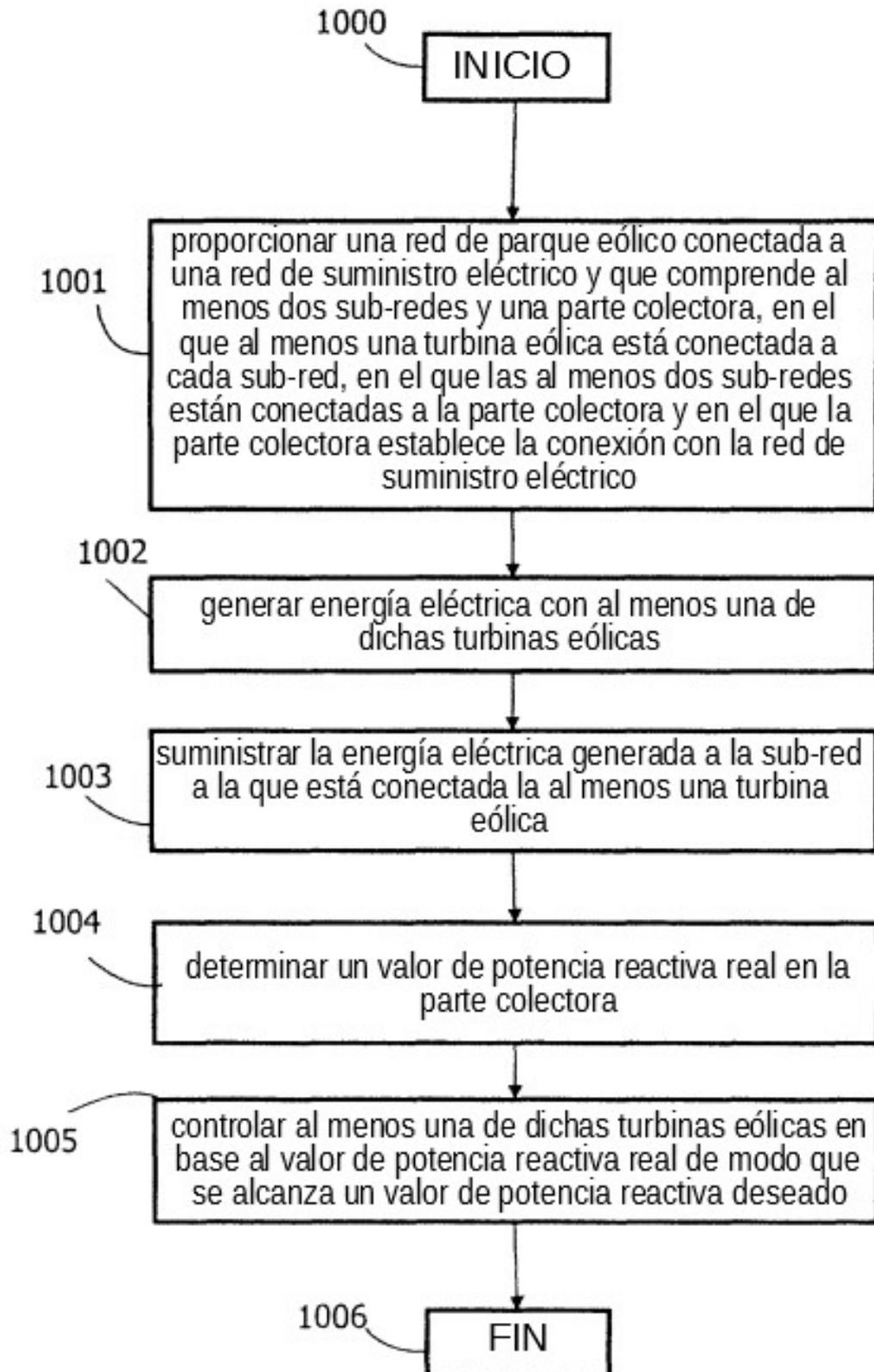


FIG. 8

