(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 710 387**

(51) Int. CI.:

H02J 3/38 (2006.01)
F03D 7/04 (2006.01)
F03D 7/02 (2006.01)
H02J 3/18 (2006.01)
H02J 3/46 (2006.01)
H02P 9/14 (2006.01)
F03D 9/25 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.11.2014 PCT/DK2014/050358**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **04.06.2015 WO15078471**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.11.2014 E 14795546 (2)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.01.2019 EP 3075054**

(54) Título: **Reconfiguración del bucle de potencia reactiva de una instalación de energía eólica**

(30) Prioridad:

28.11.2013 DK 201370729

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
24.04.2019

(73) Titular/es:

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

(72) Inventor/es:

GARCIA, JORGE MARTINEZ;
ROKOFYLLOS, ATHANASIOS y
NAYEBI, KOUROUSH

(74) Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

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

Reconfiguración del bucle de potencia reactiva de una instalación de energía eólica

La presente invención se refiere a un método para controlar una instalación de energía eólica conectada a una red eléctrica, comprendiendo la instalación de energía eólica un controlador de la instalación de energía, una pluralidad de generadores de turbina eólica y un STATCOM que tiene un controlador del STATCOM. Además, la presente invención se refiere a un STATCOM y a una instalación de energía eólica del tipo anteriormente mencionado.

Antecedentes de la invención

Una instalación de energía eólica suele tener una pluralidad de turbinas eólicas para convertir la energía del viento en electricidad. Adicionalmente, la instalación de energía eólica puede comprender un controlador de la instalación de energía (PPC, por sus siglas en inglés) y/o algún tipo de equipo de compensación de potencia reactiva, tal como compensadores estáticos síncronos (STATCOM, por su acrónimo en inglés) o condensadores de conmutación/conmutados, u otros.

Para suministrar electricidad a los usuarios finales de electricidad, la instalación de energía eólica se conecta a una red eléctrica. Sin embargo, antes de que la instalación de energía eólica pueda conectarse a una red eléctrica, la instalación de energía eólica tiene que cumplir los requisitos de rendimiento eléctrico de la instalación de energía eólica especificados por los códigos de la red. Un requisito es un tiempo de respuesta inicial de la instalación de energía eólica. Por lo general, la instalación de energía eólica tiene un controlador de la instalación de energía eólica que supervisa una tensión de la red eléctrica y compara la tensión de la red eléctrica con un valor de consigna externo. Una diferencia entre la tensión de la red eléctrica real y el valor de consigna externo (por ejemplo, una señal de error) se usa para calcular un comando para la producción de potencia reactiva para la instalación de energía eólica. Este comando se envía desde el controlador de la instalación de energía eólica a las turbinas eólicas individuales que, a su vez, responderán (por ejemplo, producirán más o menos potencia con el fin de ajustar la tensión de la red eléctrica) tras recibir el comando.

La señal de error puede provocarla un cambio en la tensión de la red eléctrica real o un cambio en el valor de consigna externo.

El documento de la técnica anterior WO 2013/044923 A1 divulga un método para controlar el nivel de tensión de una instalación de energía eólica. Un documento adicional de la técnica anterior relacionado es: German Claudio Tarnowski y col.: "regulating and frequency response service capability of modern wind power plant" 2010 IEEE Power and energy society general meeting: [IEEE PES-GM 2010]; Mineápolis, Minnesota, EE. UU., 25-29 de julio de 2010, IEEE, Piscataway, NJ (Nueva Jersey), EE. UU., 25 de julio de 2010, páginas 1-8.

Un objeto de la presente invención consiste en mejorar el control de la tensión de una instalación de energía eólica.

Sumario

Este objeto se resuelve proporcionando un método para controlar una instalación de energía eólica de acuerdo con la reivindicación 1 y un producto o productos de programa informático de acuerdo con la reivindicación 10 y una instalación de energía eólica de acuerdo con la reivindicación 11. Las realizaciones de la invención se especifican en las reivindicaciones dependientes.

Este sumario se proporciona para introducir una selección de conceptos de una forma simplificada que se describirán, además, más adelante en la descripción detallada. Este sumario no está concebido para identificar características fundamentales o características esenciales de la materia objeto reivindicada, ni está concebido tampoco para usarse como una ayuda a la hora de determinar el alcance de la materia objeto reivindicada.

De este modo, el objeto anteriormente descrito y otros diversos objetos están concebidos para obtenerse en un primer aspecto de la invención proporcionando un método para controlar una instalación de energía eólica conectada a una red eléctrica, comprendiendo la instalación de energía eólica un controlador de la instalación de energía, una pluralidad de generadores de turbina eólica y un STATCOM, teniendo el STATCOM un controlador del STATCOM, comprendiendo el método:

- controlar la pluralidad de generadores de turbina eólica en un primer modo de control, controlando el controlador de la instalación de energía una producción de potencia reactiva de cada uno de la pluralidad de generadores de turbina eólica de acuerdo con un esquema de control de bucle cerrado,
- controlar en el primer modo de control con un esquema de control de bucle cerrado una producción de potencia reactiva del STATCOM de acuerdo con un primer valor de consigna emitido desde el controlador de la instalación de energía,
- controlar la producción de potencia reactiva del STATCOM en un segundo modo de control desde el controlador del STATCOM de acuerdo con una medición eléctrica en la red,

- controlar la pluralidad de generadores de turbina eólica en el segundo modo de control, controlando el controlador de la instalación de energía una producción de potencia reactiva de la pluralidad de generadores de turbina eólica, de acuerdo con un control de prealimentación o un control de bucle cerrado, basado en un segundo valor de consigna emitido desde el controlador del STATCOM,
- conmutar entre el primer modo de control y el segundo modo de control cuando se reciba al menos una señal disparadora.

La invención resulta particularmente, pero no exclusivamente, ventajosa, ya que el método permite conmutar de un modo de control a otro modo de control para controlar la potencia reactiva, la tensión o el factor de potencia en una instalación de energía eólica. Las tres mediciones controlan lo mismo, concretamente el nivel de tensión de la instalación de energía eólica. En un sistema de energía eólica con una necesidad de un rápido control de potencia reactiva, puede ser ventajoso cambiar el control del STATCOM de esclavo a maestro, ya que a menudo el STATCOM tiene un bucle de control de la potencia reactiva más rápido y, de este modo, la instalación de energía eólica puede actuar más rápido. Otra ventaja del primer aspecto es que, aunque la responsabilidad del maestro del control se pasa al STATCOM, puede conmutarse de vuelta al controlador de la instalación de energía, siempre que la red eléctrica esté en una operación de estado más estable.

De acuerdo con una realización de la invención, cada uno de los valores de consigna primero y segundo es un valor de consigna de potencia reactiva, un valor de consigna de tensión o un valor de consigna de factor de potencia.

De acuerdo con una realización de la invención, el controlador de la instalación de energía conmuta del primer modo de control al segundo modo de control. Una ventaja de esta realización es que la instalación de energía eólica puede disminuir su tiempo de respuesta cuando se necesita un rápido control de la tensión, cuando se cambia del esclavo al maestro del STATCOM.

De acuerdo con una realización de la invención, el controlador de la instalación de energía conmuta del segundo modo de control al primer modo de control. Una ventaja de esta realización es que, aunque a menudo se desea un control rápido, también tiene ventajas para operar el controlador de la instalación de energía en modo maestro, para que, después de un evento transitorio, pueda tener lugar un cambio del modo de control.

De acuerdo con una realización de la invención, la al menos una señal disparadora se dispara debido a un evento de baja tensión en la red eléctrica. Una ventaja de esta realización es que la situación en la que una instalación de energía eólica a menudo necesita la potencia más reactiva y la respuesta más rápida se da durante un evento de baja tensión y, de este modo, detectar esto es importante.

De acuerdo con una realización de la invención, el método comprende, además

- sincronizar los modos de control primero y segundo del controlador de la instalación de energía y los modos de control primero y segundo del controlador del STATCOM y
- comunicar una alarma al controlador del STATCOM y al controlador de la instalación de energía si los modos de control primero y segundo del controlador de la instalación de energía y los modos de control primero y segundo del controlador del STATCOM no se sincronizan.

Una ventaja de esta realización consiste en evitar situaciones en las que tanto el controlador de la instalación de energía como el controlador del STATCOM operen como controlador maestro, ya que podrían terminar oscilando entre sí o algo parecido. Por otro lado, tampoco se prefiere tener ambos controladores en modo esclavo, ya que ambos estarán esperando valores de consigna de control.

De acuerdo con una realización de la invención, el método comprende, además, emitir el valor de consigna de prealimentación a la pluralidad de generadores de turbina a través del controlador de la instalación de energía. Una ventaja de esta realización es que, incluso cuando el controlador del STATCOM opera como maestro, el controlador de la instalación de energía puede tener una ruta de emisión más rápida para emitir el valor de consigna de referencia a los generadores de turbina eólica.

De acuerdo con una realización de la invención, el método comprende, además, medir un parámetro eléctrico a través de un punto de medición del controlador de la instalación de energía y calcular la al menos una señal disparadora basándose en el parámetro eléctrico. Una ventaja de esta realización es que el controlador de la instalación de energía puede supervisar la red y detectar una necesidad de cambiar el modo de control.

De acuerdo con una realización de la invención, el método comprende, además, medir una variable eléctrica a través de un punto de medición del STATCOM y calcular la al menos una señal disparadora basándose en la variable eléctrica. Una ventaja de esta realización es que el STATCOM puede supervisar la red y detectar una necesidad de cambiar el modo de control.

En un segundo aspecto, la presente invención se refiere a una instalación de energía eólica que puede conectarse a una red eléctrica, comprendiendo la instalación de energía eólica una pluralidad de generadores de turbina eólica, un

controlador de la instalación de energía y un STATCOM, teniendo el STATCOM un controlador del STATCOM, en donde

el controlador de la instalación de energía se dispone para controlar la pluralidad de generadores de turbina eólica en un primer modo de control, en el que el controlador de la instalación de energía controla una producción de potencia reactiva de cada uno de la pluralidad de generadores de turbina eólica de acuerdo con un esquema de control de bucle cerrado;
el controlador del STATCOM se dispone para controlar, en el primer modo de control con un esquema de control de bucle cerrado, una producción de potencia reactiva del STATCOM de acuerdo con un primer valor de consigna emitido desde el controlador de la instalación de energía;
el controlador del STATCOM se dispone para controlar la producción de potencia reactiva del STATCOM en un segundo modo de control de acuerdo con una medición eléctrica en la red; y
el controlador de la instalación de energía se dispone para controlar la pluralidad de generadores de turbina eólica en el segundo modo de control, en el que el controlador de la instalación de energía controla una producción de potencia reactiva de la pluralidad de generadores de turbina eólica, de acuerdo con un control de prealimentación o un control de bucle cerrado, basado en un segundo valor de consigna emitido desde el controlador del STATCOM, en donde

la instalación de energía eólica comprende, además, un disparador dispuesto para conmutar entre el primer modo de control y el segundo modo de control cuando se recibe al menos una señal disparadora.

En un cuarto aspecto, la presente invención se refiere a al menos un producto de programa informático que puede cargarse directamente en la memoria interna de al menos un ordenador digital, que comprende porciones de código de *software* para realizar las etapas del método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9 cuando dicho al menos un producto se pone en funcionamiento en dicho al menos un ordenador.

El primer, el segundo, el tercer y el cuarto aspecto de la presente invención puede combinarse, cada uno, con cualquiera de los otros aspectos. Estos y otros aspectos de la invención se pondrán de manifiesto y se elucidarán con referencia a las realizaciones que se describen de aquí en adelante.

Muchas de las características asociadas se apreciarán más fácilmente a medida que las mismas se vayan entendiendo mejor con referencia a la siguiente descripción detallada considerada en conjunto con los dibujos adjuntos. Las características preferentes pueden combinarse según resulte apropiado, como le resultaría evidente a un experto en la materia, y pueden combinarse con cualquiera de los aspectos de la invención.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 muestra una estructura general de una turbina eólica,
la Figura 2 muestra una instalación de energía eólica de acuerdo con la presente invención,
la Figura 3 muestra una composición global de una instalación de energía eólica,
la Figura 4 muestra los controladores de tensión en una instalación de energía eólica con un STATCOM y
la Figura 5 muestra un diagrama de flujo de un método de acuerdo con la invención. DESCRIPCIÓN DETALLADA

A continuación, se explicará la presente invención con detalles adicionales. Aunque la invención es susceptible de varias modificaciones y formas alternativas, se han divulgado realizaciones específicas a modo de ejemplos. Se debe entender, sin embargo, que la invención no está concebida para limitarse a las formas particulares divulgadas. En vez de esto, la invención ha de cubrir todas las modificaciones, los equivalentes y las alternativas que se encuentren dentro del espíritu y del alcance de la invención, tal y como se define en las reivindicaciones adjuntas.

Habitualmente, en algunos países el controlador maestro de la instalación de energía eólica es el controlador de la instalación de energía (PPC), y en otros países el STATCOM es el controlador maestro de la instalación de energía eólica.

La idea de la presente invención es que determinadas condiciones pueden disparar un cambio de manera dinámica entre el STATCOM y el PPC como maestro de la instalación. Al hacer esto, el controlador de la instalación de energía se reconfigurará en consecuencia.

La presente invención incluye, entre otras cosas, una instalación de energía eólica con un STATCOM, en la que el controlador maestro de la instalación puede alternarse entre el STATCOM y el PPC bajo algunos escenarios o mediante la selección del usuario.

La Figura 1 muestra un generador 1 de turbina eólica (WTG, WT por sus siglas en inglés) de velocidad variable ejemplar, que es uno de una pluralidad de generadores de turbina eólica de una instalación 2 de energía eólica (WPP, por sus siglas en inglés). Cada generador de turbina eólica tiene un rotor 3 con un buje al que se montan, por ejemplo, tres palas 4. El ángulo de cabeceo de las palas 4 del rotor es variable por medio de accionadores de cabeceo. El rotor 3 está soportado por una góndola 5 y acciona un generador 12 a través de un eje principal 8, una caja de engranajes

10 y un eje 11 de alta velocidad. Esta estructura es ejemplar; otras realizaciones, por ejemplo, usan un generador de accionamiento directo.

El generador 12 (por ejemplo, un generador de inducción o síncrono) produce una potencia de salida eléctrica de una frecuencia en relación con la velocidad de rotación del rotor 3, que se convierte a la frecuencia de la red (por ejemplo, aproximadamente 50 o 60 Hz) mediante un convertidor 19. La tensión de la potencia eléctrica producida de este modo es transformada por un transformador 9. La salida del transformador 9 son los terminales 9a del generador de turbina eólica. La potencia eléctrica del generador 1 de turbina eólica y de los otros generadores de turbina eólica de la instalación 2 de energía eólica se introduce a una red 18 de la instalación de energía eólica (simbolizada mediante "a" en la Fig. 1). La red 18 de la instalación de energía eólica se conecta a un punto de acoplamiento común 21 y a través un transformador de aumento 22 adicional opcional a una red 20 de distribución de energía eléctrica externa de la instalación de energía eólica. La red 20 está equipada con capacidad de regulación contra las fluctuaciones de frecuencia de red, por ejemplo, en la forma de productores convencionales que pueden aumentar y rebajar la producción en una corta escala de tiempo para controlar la frecuencia.

Un sistema de control incluye un controlador 13 de turbina eólica (WTC, por sus siglas en inglés) y un controlador 23 de instalación de energía eólica (WPC, por sus siglas en inglés). El controlador 13 de turbina eólica controla la operación del generador 1 de turbina eólica individual, por ejemplo, selecciona el modo de operación de carga completa o de carga parcial, según, entre otros, la velocidad del viento actual, provoca, en el modo de carga parcial, la operación del generador de turbina eólica en el punto de trabajo óptimo ajustando el ángulo de la pala y controlando la relación de la velocidad periférica al óptimo aerodinámico a la velocidad del viento actual, y controla el convertidor 19 para producir electricidad de acuerdo con las prescripciones del controlador del parque eólico, por ejemplo, una instrucción para proporcionar una cierta cantidad de potencia reactiva además de la potencia activa, etc. El controlador 13 de la turbina eólica usa diferentes señales de entrada para realizar sus tareas de control, por ejemplo, señales que representen condiciones del viento actual (por ejemplo, a partir de un anemómetro 14 y una veleta 15), señales de realimentación que representen un ángulo de cabeceo, una posición del rotor, amplitudes y fases de la tensión y la corriente en el generador 12 y los terminales 9a, etc., y señales de comando desde el controlador 23 de la instalación de energía eólica. El controlador 23 de la instalación de energía eólica recibe señales representativas de la tensión, la corriente y la frecuencia en el punto de acoplamiento común 21 (parámetros de los que puede considerarse que representan la tensión, la corriente y la frecuencia en la red 20 de distribución de energía eléctrica) y, opcionalmente, recibe información o señales de comando de un proveedor de red de distribución de energía eléctrica (en "c" en la Fig. 1). Basándose en algunos de estos parámetros de entrada (y, opcionalmente, otros adicionales), el controlador 23 de la instalación de energía eólica supervisa la estabilidad de la red y, tras detectar una reducción de la estabilidad de la red, ordena a los controladores 13 de turbina eólica del generador 1 de turbina eólica y los otros generadores de turbina eólica de la instalación 2 de energía eólica (en "b" en la Fig. 1) cambiar la operación limitando las fluctuaciones de la potencia de salida suministrada. Tras recibir tal comando, el controlador 13 de la turbina eólica, tras el aumento de la velocidad del viento, corta el pico de salida alta que se produciría entonces en una operación de carga parcial normal con una eficiencia máxima, por ejemplo, ajustando el ángulo de cabeceo de la pala hacia la posición de bandera, para acatar el comando de fluctuación límite del controlador del parque eólico. De este modo, en la realización ejemplar de la Fig. 1 la tarea de control del sistema de control de limitar las fluctuaciones de salida la comparte con el controlador 23 de la instalación de energía eólica y el controlador 13 de la turbina eólica. En otras realizaciones, esta tarea de control se realiza solo por el controlador 13 de la turbina eólica; en esas realizaciones, el "sistema de control" está representado tan solo por el controlador 13 de la turbina eólica, sin un controlador de la instalación de energía eólica. Toda la potencia eléctrica generada por los generadores de turbinas eólicas individuales en la central eólica se consolida y se suministra a la red de potencia a través un punto de acoplamiento común (PCC, por sus siglas en inglés).

La Figura 2 muestra una instalación 200 de energía eólica, con dos generadores 201a, 201 b de turbina eólica. El número dos se da solo para mayor simplicidad; la instalación 200 de energía eólica podría incluir cualquier número apropiado más alto que dos. El generador 201a de turbina eólica tiene una señal de salida 204a, en este ejemplo es la tensión, (pero también podría entenderse como un vector de salida con información sobre la tensión, frecuencia, potencia reactiva y activa o similares).

La señal de salida 204a, 204b, respectivamente, se mide 205a, 205b, respectivamente, mediante un sensor de tensión (no mostrado) y se introduce en un controlador 202a, 202b de la tensión, respectivamente, del generador de turbina eólica. El controlador 202a, 202b, respectivamente, genera un valor de consigna 206a, 206b de tensión, respectivamente, que se compara con una referencia de tensión V_{ref} 203a, 203b, respectivamente, del controlador 213 de la instalación de energía en un bloque de suma 207a, 207b, respectivamente.

El error 208a, 208b del controlador se usa como un parámetro del controlador en los generadores 201a de turbina eólica. El controlador 210 de la instalación de energía recibe mediciones 214 de la tensión en el punto de acoplamiento común (PCC) 220, obtenido por otro sensor de tensión (no mostrado). La medición 214 se compara con una referencia de tensión 212 en el bloque de suma 211, esta referencia 212 puede haberse generado dentro del controlador 210 de la instalación de energía (PPC) o puede haberse suministrado externamente. La salida del bloque de suma 211 se introduce en un controlador 213 de la tensión PPC, que emite referencias de tensión 203a, 203b individuales a los generadores 201 de turbina eólica.

Aunque la Figura 2 muestra que los generadores 201a, 201b de turbina eólica reciben una V_{ref} 203a, 203b, algunas referencias pueden no tener la señal V_{ref} 203a, 203b, es decir, si no hay ninguna señal del PPC 210 al controlador 202, 207 de la turbina, el controlador de la tensión en el nivel 202 de turbina controla el nivel de tensión en sus propios terminales eléctricos 204.

Cada una de las referencias de tensión 203a, 203b pueden, en una realización, ser en su lugar una referencia de potencia reactiva. Incluso si la señal de referencia es una referencia de potencia reactiva, la señal de salida que ha de medirse puede ser una señal de tensión. En otras realizaciones, puede ser una señal de potencia reactiva. Tal y como se ha mencionado en relación con los vectores de salida 204a, 204b, observaciones similares son válidas para las referencias 203a, 203b emitidas a la instalación de energía, en que estos solo pueden ser vectores con información sobre la referencia de tensión, referencia de frecuencia, referencia de potencia reactiva y activa. La señal emitida puede ser solo un valor o una selección de las referencias anteriormente mencionadas. Cuando la referencia es un vector con n valores, el controlador 202 debería entenderse como *n* controladores, cada uno un bucle de realimentación para su respectiva señal de referencia.

Un equipo adicional de compensación de potencia reactiva se coloca en una WPP cuando la potencia reactiva de las turbinas es insuficiente para cubrir lo que exige el requisito de código de la red en el PCC.

El STATCOM y las unidades conmutadas mecánicamente (MSU, por sus siglas en inglés) pueden instalarse como equipo de compensación adicional para un equilibrio reactivo de la WPP. Normalmente, se recomienda instalar el equipo de compensación adicional en el bus colector en media tensión en la subestación. Como el propio equipo de compensación adicional es modular, resulta ventajoso dividir el equipo entre submódulos de WPP. La distribución uniforme de la potencia de compensación implica una respuesta regular de la tensión y un control de la potencia reactiva, y da la posibilidad de operar con una capacidad reducida en caso de que uno de los módulos de la instalación de energía se saque de la operación.

Normalmente, el uso de un equipo de compensación adicional se acciona por un requisito de código de la red con respecto al comportamiento Q-V en el PCC, cuando las turbinas no son capaces de satisfacer tales requisitos por sí mismas. La selección del tipo de equipo de compensación adicional de potencia reactiva que ha de usarse se basará en el análisis de los requisitos del código de la red existentes sobre el rendimiento dinámico, calidad de potencia, etc.

En la Figura 3 se muestra una configuración de una instalación de energía eólica habitual. Las turbinas eólicas 1 se colocan a lo largo de líneas radiales, se conectan, además, al bus colector en media tensión 370, que oscila normalmente entre 11 kV y 35 kV. El equipo de compensación conectado al bus colector puede consistir en un STATCOM 230 y en unas MSU 250a, 250b. La potencia activa y reactiva producida en el bus en media tensión se transporta al PCC a través del transformador principal 320.

La Figura 3 muestra los enlaces de comunicación/control 302 relevantes y las señales de medición 303. El objetivo del PPC 350 consiste en satisfacer el requisito del código de la red en el PCC 310 con respecto al rendimiento eléctrico de la instalación. Por lo tanto, el punto de medición (PoM, por sus siglas en inglés) 311 para corrientes y tensiones de tres fases coincide, en la mayoría de los casos, con el PCC 310, a no ser que existan distancias muy largas entre el PCC y la ubicación del PPC 350. La colocación del PCC 350 también puede variar de acuerdo con los requisitos del proyecto específico.

El PPC, como el controlador principal de la WPP, se encarga de los bucles de control de potencia, tales como controles de la tensión, la potencia reactiva y la frecuencia usando los objetivos de referencia enviados, por ejemplo, por el operario de la red. El PPC 350 emite, además, las referencias de la potencia activa y la potencia reactiva a las turbinas y las referencias de la potencia reactiva a las turbinas y al equipo de compensación adicional de potencia reactiva.

El PPC 350 y el sistema SCADA 360 incluyen diversas posibilidades para la integración de datos para propietarios y empresas eléctricas. A través de estas interfaces de datos 302, los clientes y las empresas eléctricas pueden recibir información en línea con respecto al estado de operación de la instalación de energía eólica, por ejemplo:

- Potencia activa producida
- Potencia activa disponible
- Velocidad del viento
- Dirección del viento
- Posible capacidad inductiva
- Posible capacidad capacitiva
- Número de turbinas de operación.

De manera similar, es posible enviar valores de consigna para todos los bucles de control de la instalación de energía eólica, incluyéndose:

- Valor de consigna de la potencia activa de la instalación de energía eólica
- Valor de consigna de la frecuencia de la instalación de energía eólica

- Valor de consigna de la potencia reactiva de la instalación de energía eólica
- Valor de consigna de la tensión de la instalación de energía eólica
- Valor de consigna del factor de potencia de la instalación de energía eólica

La Figura 3 muestra un ejemplo de la arquitectura de una WPP, las MSU 250 se controlan solamente mediante el STATCOM 230. Como alternativa, el PPC puede controlar las MSU si la instalación de energía no incluye un STATCOM. Otros equipos varios, tales como instrumentación, interruptores, medidores de la potencia y un relé de protección, no se muestran en este ejemplo por motivos de simplicidad.

El controlador de la instalación de energía (PPC) 350 se basa en un controlador de automatización programable. Esta plataforma permite que el PPC se comunique con los módulos remotos, incluyendo múltiples módulos de comunicación para una rápida comunicación paralela con las turbinas y el equipo de la subestación comunicándose de ese modo con dispositivos adicionales que tienen un enlace de comunicación de Ethernet. Un protocolo de comunicación se integra con el PLC, el cual se dirige a los WTG dentro de la instalación de energía. Las señales de control principal transmitidas a través del protocolo son los valores de consigna de la potencia activa y reactiva, la potencia activa y reactiva disponible y las señales del estado de las turbinas.

Un medidor de la potencia (no mostrado en las Figuras) suele ubicarse en el PPC o puede conectarse remotamente por un canal de comunicación de fibra óptica rápida. A parte de algunas fluctuaciones de filtrado, el medidor de la potencia calcula los valores eficaces de las señales de realimentación recibidas desde los sensores (PoM) 311. Asimismo, el medidor de la potencia puede registrar eventos de la red, tales como fallos. El equipo de compensación de la potencia reactiva puede instalarse en la barra colectora en media tensión 370 de la subestación para aumentar la potencia reactiva disponible en la instalación de energía. La solución de la compensación de la potencia reactiva utilizando equipo adicional depende del análisis de los requisitos existentes del proyecto específico. Por ejemplo, el STATCOM se usará cuando los requisitos Q-V en el PCC impliquen un alto rendimiento dinámico, de lo contrario pueden usarse las MSU. En la mayoría de los casos, el STATCOM está complementado por dispositivos de MSU, en cuyo caso el STATCOM debe configurarse para controlarlos.

Un compensador síncrono estático (STATCOM), también conocido como "condensador síncrono estático" ("STATCON"), es un dispositivo de regulación usado en redes de transmisión de electricidad de corriente alterna. Se basa en un convertidor de fuente de tensión de electrónica de potencia y puede actuar o bien como un suministro o bien como un drenaje de potencia de CA reactiva a/de una red de potencia eléctrica.

Un STATCOM suele instalarse para soportar redes de potencia eléctrica que tienen un factor de potencia pobre o una red débil en el punto de acoplamiento común. Por ende, como las instalaciones de energía eólica a menudo se conectan a la red en puntos de conexión débiles en la red, es importante utilizar las habilidades de control del STATCOM completamente, cuando la instalación de energía eólica está equipada con un STATCOM.

Existen, sin embargo, otros usos, siendo el uso más común para la estabilidad de la tensión. Un STATCOM es un dispositivo basado en un convertidor de fuente de tensión (VSC), con una fuente de tensión detrás de un reactor. La fuente de tensión se crea a partir de un condensador de CC y, por lo tanto, un STATCOM tiene muy poca capacidad de potencia activa. Sin embargo, su capacidad de potencia activa puede aumentarse si se conecta un dispositivo de almacenamiento de energía adecuado a lo largo del condensador de CC.

En algunas realizaciones, la expresión STATCON se expande para incluir también un sistema de almacenamiento de energía para potencia activa, ya que el convertidor VSC en el STATCOM también puede operar como una fuente de potencia activa, si el condensador de CC se conecta a un sistema de almacenamiento de energía, con una capacidad de almacenamiento mucho mayor en comparación con la que se usa normalmente en un STATCOM, es decir, si se conecta a una fuente de potencia también puede proporcionar potencia de CA activa.

La potencia reactiva en los terminales del STATCOM depende de la amplitud de la fuente de tensión. Por ejemplo, si la tensión del terminal del VSC es más alta que la tensión de CA en el punto de conexión, el STATCOM genera corriente reactiva; por otro lado, cuando la amplitud de la fuente de tensión es más baja que la tensión de CA, este absorbe potencia reactiva. El tiempo de respuesta de un STATCOM es más corto que el de un SVC, debido principalmente a los rápidos tiempos de conmutación proporcionados por los IGBT (un tipo de transistores de alta potencia) del convertidor de la fuente de tensión. El STATCOM también proporciona un mejor soporte de la potencia reactiva en tensiones de CA bajas con respecto a un SVC, puesto que la potencia reactiva de un STATCOM disminuye linealmente con la tensión de CA (ya que la corriente puede mantenerse en el valor nominal incluso por debajo de una tensión de CA baja).

Un compensador VAR estático (SVC, por sus siglas en inglés) también puede usarse para la estabilidad de la tensión. Sin embargo, un STATCOM tiene mejores características que un SVC. Cuando la tensión del sistema cae lo suficiente para forzar la corriente de salida del STATCOM hasta su techo, su corriente de salida reactiva máxima no se verá afectada por la magnitud de la tensión. Por lo tanto, exhibe características de corriente constante cuando la tensión está por debajo de su límite. Por contra, la salida reactiva del SVC es proporcional al cuadrado de la magnitud de la tensión. Esto hace que la potencia reactiva proporcionada disminuya rápidamente cuando disminuye la tensión, lo que

reduce, de este modo, su estabilidad. Asimismo, la velocidad de respuesta de un STATCOM es más rápida que la de un SVC y la emisión del armónico es más baja. Por otro lado, habitualmente los STATCOM exhiben pérdidas más altas y pueden ser más caros que los SVC, así que la tecnología SVC (más antigua) sigue estando bastante extendida.

En esta presente invención, pueden usarse los STATCOM y los SVC, aunque la ventaja completa de la presente invención se consigue con el STATCOM, así como un rápido tiempo de respuesta.

La Figura 4 muestra una instalación de energía eólica con un STATCOM 230 para proporcionar un soporte de potencia reactiva adicional. El WTG 209 tiene un bucle de control de realimentación 240, tal y como se ha descrito en la Fig. 2. El STATCOM 230 también tiene un bucle de realimentación 245. Los bucles de realimentación 240 y 245 tienen altos anchos de banda, en los que el ancho de banda 245 es más alto que el ancho de banda 240. El controlador 210 de la instalación de energía proporciona el bucle de realimentación 250 externo, con el ancho de banda más bajo.

En una realización, el STATCOM 230 opera como el controlador maestro por sí mismo y el PPC 210, lo que permite que el STATCOM 230 efectúe el control, dentro de un controlador del STATCOM basándose en la capacidad de los STATCOM en vez de que el PPC 210 controle el nivel de tensión del STATCOM. El PPC 210 sigue controlando las turbinas para un objetivo de potencia reactiva Qturbinas = (Qtotal requerido - Q entregado por STATCOM).

En una realización, el usuario tiene la opción de habilitar la reconfiguración automática del bucle de potencia reactiva, en caso de que el STATCOM maestro/esclavo controle los cambios de modo.

El cambio del modo de control para el STATCOM que va de esclavo a maestro o de maestro a esclavo está controlado por un disparador. El disparador puede implementarse en el controlador del STATCOM y usando mediciones obtenidas a partir del STATCOM. En una realización, el disparador se implementa en el PPC y/o en el controlador del STATCOM.

El evento que dispara un cambio del modo de control pueden ser niveles de la tensión, cambios de la tensión, una necesidad de potencia reactiva.

En las realizaciones en las que el STATCOM se dispone para proporcionar igualmente una potencia activa, también puede usarse una señal de frecuencia como entrada para la señal disparadora. Al habilitar esta característica, cuando el modo de control del STATCOM se conmuta a maestro, el bucle de potencia reactiva conmutará al modo de prealimentación y recibirá valores de consigna de potencia reactiva desde el STATCOM. El STATCOM se considera maestro si opera en modo Qctrl, Vctrl y PFctrl y esclavo cuando opera en modo Qesclavo. En modo Qctrl, Vctrl y PFctrl, el controlador del STATCOM intenta controlar el STATCOM para seguir un valor de consigna generado por el controlador del STATCOM, mientras que en el modo Qesclavo el controlador del STATCOM sigue una referencia de potencia reactiva dictada.

De manera similar, cuando el modo de control del STATCOM se conmuta de maestro a esclavo, el bucle de potencia reactiva conmuta de vuelta al modo normal (no prealimentación) y el STATCOM recibirá valores de consigna de potencia reactiva del PPC.

La siguiente tabla presenta las diferentes variaciones entre los modos de control requerido y real

Estado	Modo de control requerido del STATCOM	Modo de control real del STATCOM
1	Maestro	Esclavo
2	Maestro	Maestro
3	Esclavo	Esclavo
4	Esclavo	Maestro

La lógica de cómo reconfigurar el bucle de potencia reactiva para cada uno de los estados es:

Estado 1:

- El bucle de potencia reactiva está en el modo de prealimentación
- El STATCOM no está incluido en el bucle de potencia reactiva
- Una alarma de desajuste del modo se activa en el bus de comunicación del STATCOM, es decir, una interfaz de control del modbus o similar
- Se produce y se deja registrada una alarma de *software* del PPC

Estado 2:

- El bucle de potencia reactiva está en el modo de prealimentación

- El STATCOM no está incluido en el bucle de potencia reactiva
- El bucle de potencia reactiva del PPC (en modo de prealimentación) recibe y emite a los WTG el valor de consigna que se pasa desde el STATCOM

Estado 3:

- El bucle de potencia reactiva está en modo de bucle cerrado
- El STATCOM está incluido en el bucle de potencia reactiva

Estado 4:

- El bucle de potencia reactiva está en modo de bucle cerrado
- El STATCOM no está incluido en el bucle de potencia reactiva
- Una alarma de desajuste del modo se activa en el bus de comunicación del STATCOM, es decir, la interfaz de control del modbus o similar
- Se produce y se deja registrada una alarma de *software* del PPC

Para que el PPC y el STATCOM controlen el rendimiento de la red eléctrica de una manera estable, es importante garantizar que ambas unidades coincidan en el modo de control. De este modo, el Estado 1 y el Estado 4 tienen una alarma de desajuste que comunicará al PPC y al STATCOM que existe una discordancia de los modos de control.

La Figura 5 muestra un diagrama de flujo de un método de acuerdo con la invención para controlar una instalación de energía eólica conectada a una red eléctrica, comprendiendo la instalación de energía eólica un controlador de la instalación de energía, una pluralidad de generadores de turbina eólica y un STATCOM, teniendo el STATCOM un controlador del STATCOM, La etapa 501 es el control de la pluralidad de los generadores de turbina eólica en un primer modo de control, controlando el controlador de la instalación de energía una producción de potencia reactiva de cada uno de la pluralidad de generadores de turbina eólica de acuerdo con un esquema de control de bucle cerrado, la etapa 502 es el control del primer modo de control con un esquema de control de bucle cerrado de una producción de potencia reactiva del STATCOM de acuerdo con un primer valor de consigna emitido desde el controlador de la instalación de energía, la etapa 503 es el control de la producción de potencia reactiva del STATCOM en un segundo modo de control desde el controlador del STATCOM de acuerdo con una medición eléctrica en la red, la etapa 504 es el control de la pluralidad de generadores de turbina eólica en el segundo modo de control, controlando el controlador de la instalación de energía una producción de potencia reactiva de la pluralidad de generadores de turbina eólica, de acuerdo con un control de prealimentación o un control de bucle cerrado, basándose en un segundo valor de consigna emitido desde el controlador del STATCOM y la etapa 505 es la conmutación entre el primer modo de control y el segundo modo de control cuando se recibe al menos una señal disparadora.

El método mostrado en la figura 5 puede llevarse a cabo combinado en un controlador 350 de la instalación de energía y en un controlador 230 del STATCOM.

El controlador 350 de la instalación de energía o las partes del controlador de la instalación de energía pueden implementarse como productos de programa informático, como circuitos analógicos o digitales, o como una combinación de los mismos. Un programa informático que puede cargarse en la memoria interna de al menos un ordenador digital puede ejecutarlo el ordenador, en donde la ejecución/puesta en funcionamiento del programa da como resultado que se lleven a cabo funciones del controlador 350 de la instalación de energía, o que se realicen las etapas de un método de una realización de la invención.

En resumen, la invención se refiere a un método para controlar una instalación de energía eólica conectada a una red eléctrica, la instalación de energía eólica comprende un controlador de la instalación de energía, una pluralidad de generadores de turbina eólica y un STATCOM, con un controlador del STATCOM, comprendiendo este: controlar la pluralidad de generadores de turbina eólica en un primer modo de control, controlando el controlador de la instalación de energía una producción de potencia reactiva de cada uno de la pluralidad de generadores de turbina eólica de acuerdo con un esquema de control de bucle cerrado, y controlar en un primer modo de control con un esquema de control de bucle cerrado una producción de potencia reactiva desde el STATCOM de acuerdo con un primer valor de consigna emitido desde el controlador de la instalación de energía, y controlar la producción de potencia reactiva desde el STATCOM en un segundo modo de control desde el controlador del STATCOM de acuerdo con una medición eléctrica en la red y controlar la pluralidad de generadores de turbina eólica en un segundo modo de control, controlando el controlador de la instalación de energía una producción de potencia reactiva de la pluralidad de generadores de turbina eólica, de acuerdo con un control de prealimentación o un control de bucle cerrado, basándose en un segundo valor de consigna del controlador del STATCOM, y conmutando entre el primer modo de control y el segundo modo de control cuando se recibe al menos una señal disparadora. La invención también se refiere a una instalación de energía eólica de acuerdo con el método.

Cualquier intervalo o valor del dispositivo dado en el presente documento puede extenderse o alterarse sin perder el efecto buscado, tal y como le resultará evidente al experto en la materia.

Se entenderá que los beneficios y ventajas descritos/as anteriormente pueden referirse a una realización o pueden referirse a diversas realizaciones. Se entenderá, además, que la referencia a 'un' artículo se refiere a uno o más de esos artículos.

Se entenderá que la descripción anterior de una realización preferente se da únicamente a modo de ejemplo y que los expertos en la materia pueden hacer varias modificaciones. La memoria descriptiva, ejemplos y datos anteriores proporcionan una descripción completa de la estructura y el uso de las realizaciones ejemplares de la invención. Aunque anteriormente se han descrito varias realizaciones de la invención con un cierto grado de particularidad, o con referencia a una o más realizaciones individuales, los expertos en la materia podrían hacer numerosas alteraciones a las realizaciones divulgadas sin alejarse del alcance de esta invención.

REIVINDICACIONES

1. Un método para controlar una instalación de energía eólica conectada a una red eléctrica, comprendiendo la instalación de energía eólica un controlador de la instalación de energía, una pluralidad de generadores de turbina eólica y un STATCOM, teniendo el STATCOM un controlador del STATCOM, comprendiendo el método:

- controlar la pluralidad de generadores de turbina eólica en un primer modo de control, controlando el controlador de la instalación de energía una producción de potencia reactiva de cada uno de la pluralidad de generadores de turbina eólica de acuerdo con un esquema de control de bucle cerrado,
- controlar en el primer modo de control con un esquema de control de bucle cerrado una producción de potencia reactiva del STATCOM de acuerdo con un primer valor de consigna emitido desde el controlador de la instalación de energía,
- controlar la producción de potencia reactiva del STATCOM en un segundo modo de control desde el controlador del STATCOM de acuerdo con una medición eléctrica en la red,
- controlar la pluralidad de generadores de turbina eólica en el segundo modo de control, controlando el controlador de la instalación de energía una producción de potencia reactiva de la pluralidad de generadores de turbina eólica, de acuerdo con un control de prealimentación o un control de bucle cerrado, basado en un segundo valor de consigna emitido desde el controlador del STATCOM,
- conmutar entre el primer modo de control y el segundo modo de control cuando se reciba al menos una señal disparadora.

2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde cada uno de los valores de consigna primero y segundo es un valor de consigna de potencia reactiva, un valor de consigna de tensión o un valor de consigna de factor de potencia.

3. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el controlador de la instalación de energía conmuta del primer modo de control al segundo modo de control.

4. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el controlador de la instalación de energía conmuta del segundo modo de control al primer modo de control.

5. El método de acuerdo con la reivindicación 4, en donde la al menos una señal disparadora se dispara debido a un evento de baja tensión en la red eléctrica.

6. El método de acuerdo con la reivindicación 3 o 4, en donde el método comprende, además

- sincronizar los modos de control primero y segundo del controlador de la instalación de energía y los modos de control primero y segundo del controlador del STATCOM y
- comunicar una alarma al controlador del STATCOM y al controlador de la instalación de energía si los modos de control primero y segundo del controlador de la instalación de energía y los modos de control primero y segundo del controlador del STATCOM no se sincronizan.

7. El método de acuerdo con las reivindicaciones 1 a 6, en donde el método comprende, además:

- emitir el valor de consigna de realimentación a la pluralidad de generadores de turbina eólica a través del controlador de la instalación de energía.

8. El método de acuerdo con la reivindicación 1 a 7, en donde el método comprende, además:

- medir un parámetro eléctrico a través de un punto de medición del controlador de la instalación de energía y
- calcular la al menos una señal disparadora basándose en el parámetro eléctrico.

9. El método de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende, además:

- medir una variable eléctrica a través de un punto de medición del STATCOM y
- calcular la al menos una señal disparadora basándose en el parámetro eléctrico.

10. Al menos un producto de programa informático que puede cargarse directamente en la memoria interna de al menos un ordenador digital, que comprende porciones de código de *software* para realizar las etapas del método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9 cuando dicho al menos un producto se pone en funcionamiento en dicho al menos un ordenador.

11. Una instalación de energía eólica que puede conectarse a una red eléctrica, comprendiendo la instalación de energía eólica una pluralidad de generadores de turbina eólica, un controlador de la instalación de energía y un STATCOM, teniendo el STATCOM un controlador del STATCOM, en donde
el controlador de la instalación de energía se dispone para controlar la pluralidad de generadores de turbina eólica en un primer modo de control, en el que el controlador de la instalación de energía controla una producción de potencia

reactiva de cada uno de la pluralidad de generadores de turbina eólica de acuerdo con un esquema de control de bucle cerrado;

el controlador del STATCOM se dispone para controlar, en el primer modo de control con un esquema de control de bucle cerrado, una producción de potencia reactiva del STATCOM de acuerdo con un primer valor de consigna emitido desde el controlador de la instalación de energía;

el controlador del STATCOM se dispone para controlar la producción de potencia reactiva del STATCOM en un segundo modo de control de acuerdo con una medición eléctrica en la red; y

el controlador de la instalación de energía se dispone para controlar la pluralidad de generadores de turbina eólica en el segundo modo de control, en el que el controlador de la instalación de energía controla una producción de potencia reactiva de la pluralidad de generadores de turbina eólica, de acuerdo con un control de prealimentación o un control de bucle cerrado, basado en un segundo valor de consigna emitido desde el controlador del STATCOM, en donde

la instalación de energía eólica comprende, además, un disparador dispuesto para conmutar entre el primer modo de control y el segundo modo de control cuando se recibe al menos una señal disparadora.

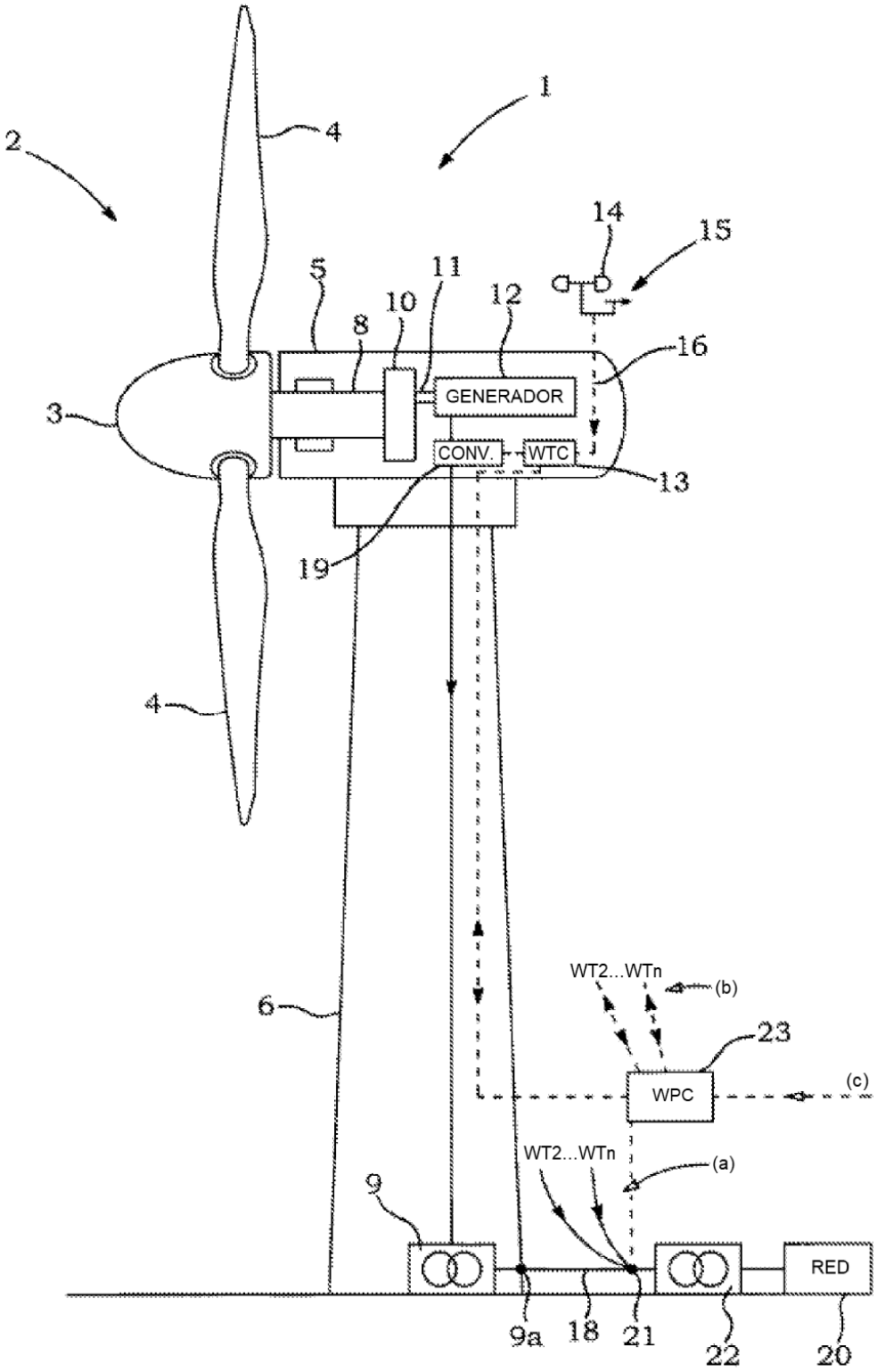

1
2
4
14
15
5
11
12
10
8
16
GENERADOR
3
CONV.
WTC
13
19
4
6
WT2...WTn
(b)
23
WPC
(c)
WT2...WTn
(a)
9
RED
9a
18
21
22
20

Figura 1

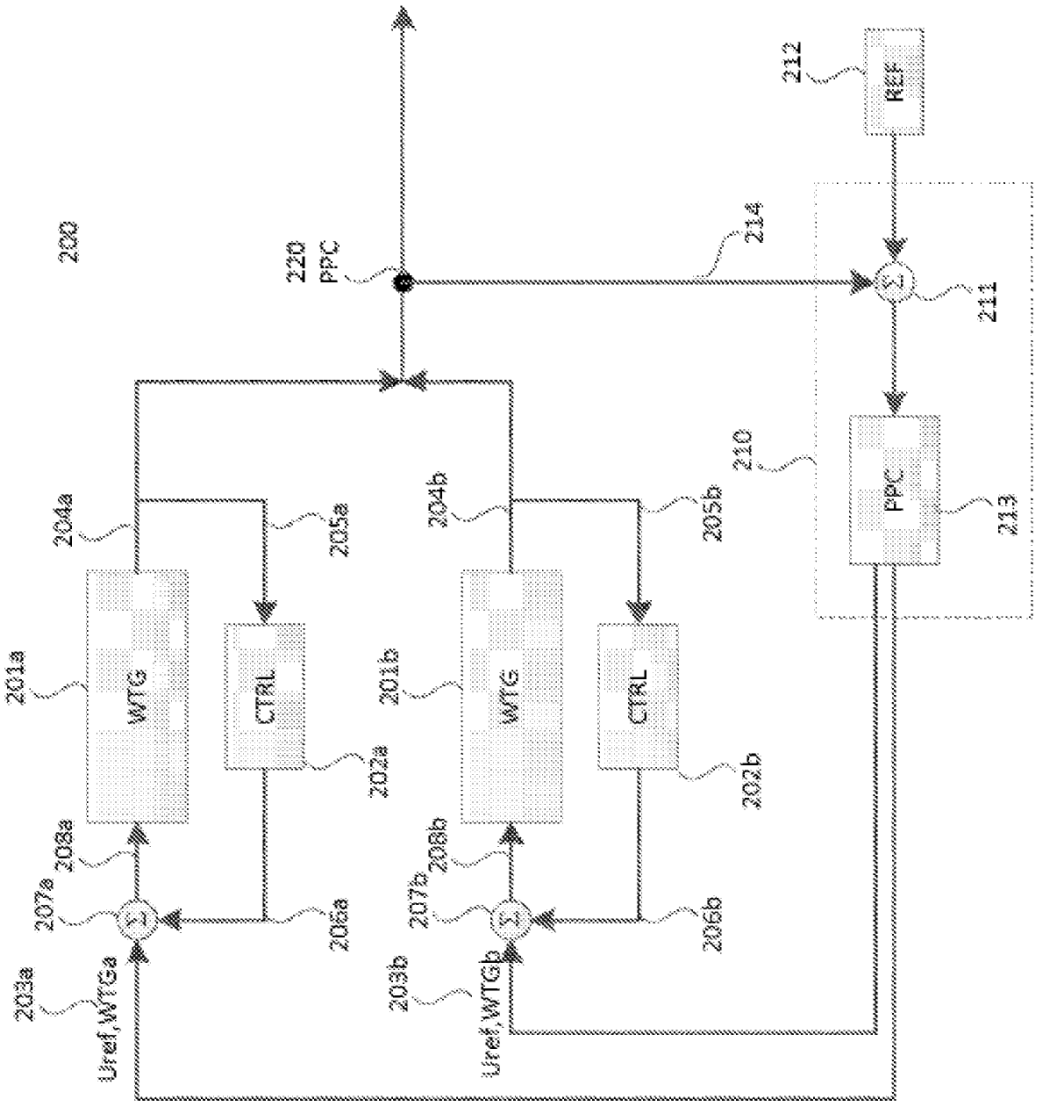

200
220
PPC
214
212
REF
211
210
PPC
213
204a
205a
204b
205b
201a
WTG
CTRL
202a
201b
WTG
CTRL
202b
208a
207a
206a
208b
207b
206b
203a
Uref,WTGa
203b
Uref,WTGb

Figura 2

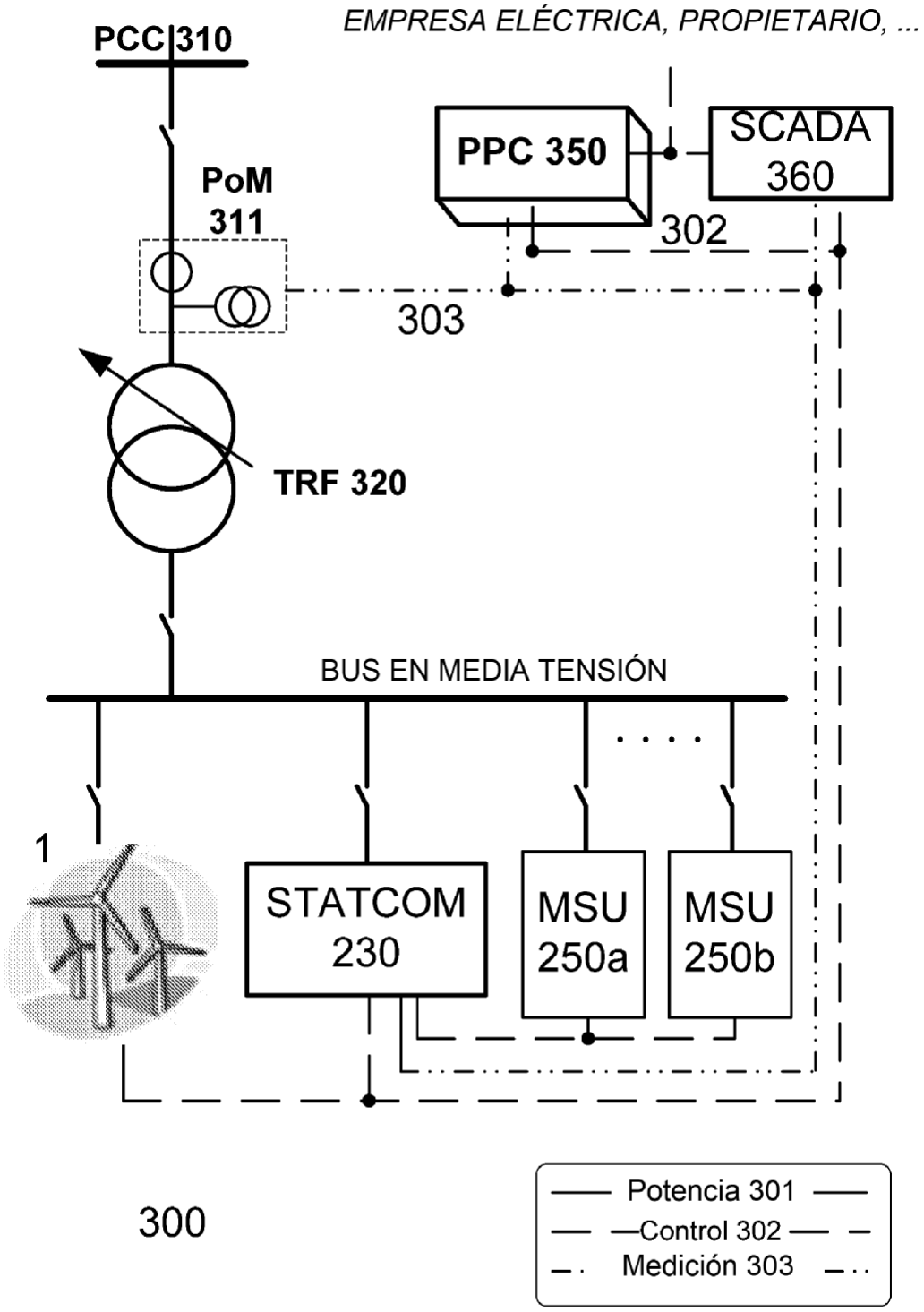

EMPRESA ELÉCTRICA, PROPIETARIO, ...
PCC 310
PPC 350
SCADA 360
PoM 311
302
303
TRF 320
BUS EN MEDIA TENSIÓN
1
STATCOM 230
MSU 250a
MSU 250b
300
Potencia 301
Control 302
Medición 303

Figura 3

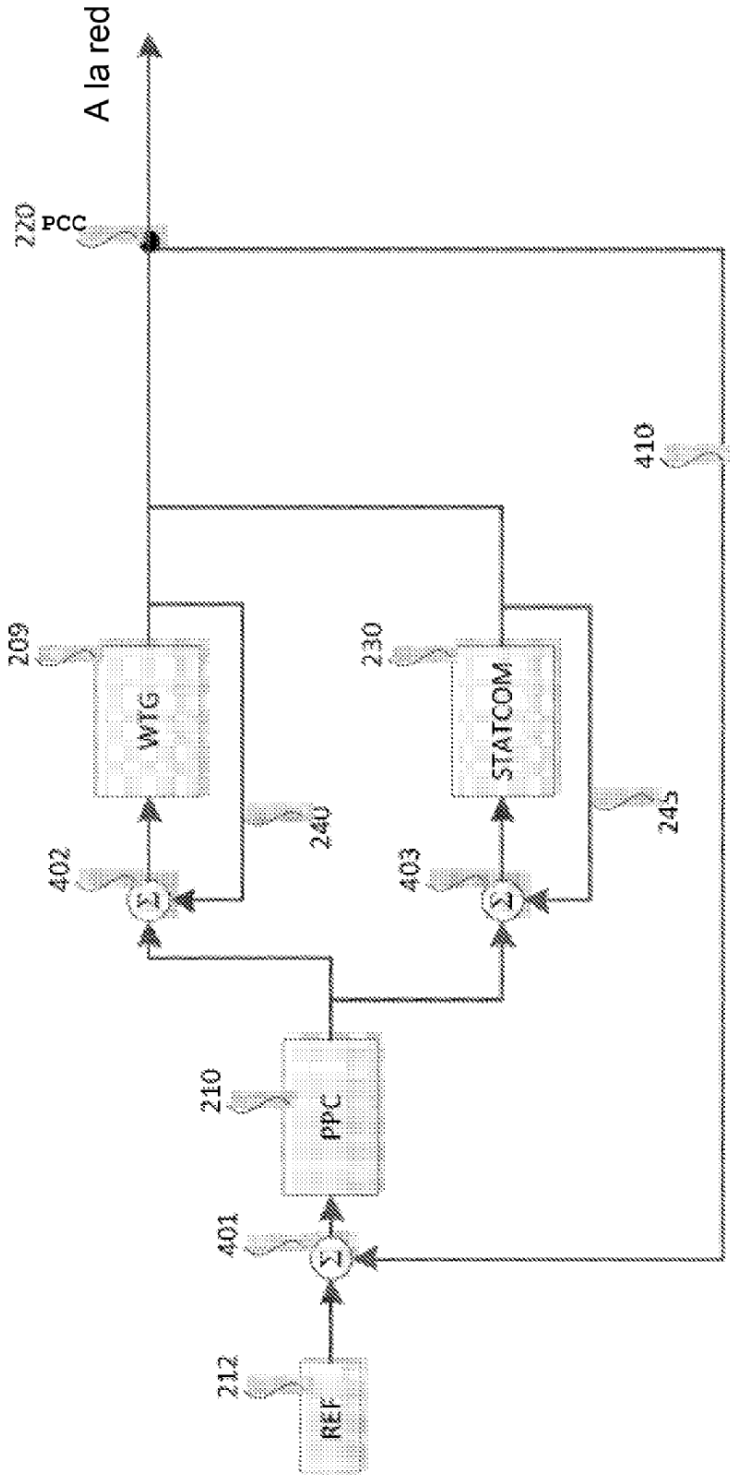

A la red
220
PCC
410
209
WTG
230
STATCOM
240
245
402
403
210
PPC
401
212
REF

Figura 4

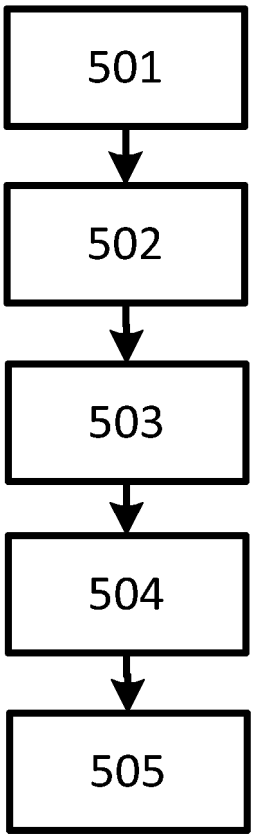


Figura 5