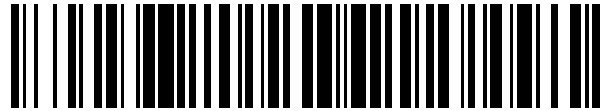


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 545 606**

51 Int. Cl.:

**H02J 3/38**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.06.2009 E 09772364 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.07.2015 EP 2294672**

54 Título: **Procedimiento y sistema para operar una planta de energía eólica que comprende un número de generadores de turbina eólica**

30 Prioridad:

**30.06.2008 DK 200800900**

**30.06.2008 US 76919 P**

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

**14.09.2015**

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)**

**Hedeager 42**

**8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:

**GARCIA, JORGE MARTINEZ**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

**ES 2 545 606 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

Procedimiento y sistema para operar una planta de energía eólica que comprende un número de generadores de turbina eólica

### Campo técnico

- 5 La presente invención se refiere a un procedimiento y a un sistema para operar una turbina eólica, ya sea una planta de energía eólica o una agrupación de plantas de energía eólica, comprendiendo cada planta de energía eólica una variedad de generadores de turbinas eólicas, estando la(s) planta(s) de energía eólica conectada(s) a una red eléctrica externa.

### Antecedentes de la invención

- 10 Una planta de energía eólica (también llamada parque eólico) comprende una variedad de turbinas eólicas. Cada turbina eólica incluye un rotor que convierte la energía cinética del viento en energía mecánica. La energía mecánica luego es convertida a electricidad mediante un 20 generador, el cual también está incluido en la turbina.

- 15 Cuando la planta de energía eólica se conecta a una red eléctrica, la electricidad generada por los generadores es suministrada a la red eléctrica, la cual transmite la electricidad a diferentes consumidores/cargas. Esta conexión se realiza a través de por lo menos un punto de conexión.

La administración de la red eléctrica es una tarea difícil para proporcionar a los consumidores un cierto nivel de calidad de la electricidad. Es deseable que la red eléctrica tenga parámetros bien definidos y constantes, tal como una cierta tensión nominal de la red y una frecuencia nominal, por ejemplo, 50 Hz en Europa y 60 Hz en Estados Unidos.

- 20 La red eléctrica une diferentes instalaciones eléctricas, es decir cargas o generadores, tales como plantas de energía, cada una de las cuales tiene un comportamiento como se observa desde la red. Por ejemplo, algunos consumidores/cargas se comportan como impedancias y algunas plantas de energía de generación utilizan generadores síncronos con diferentes turbinas y controladores.

- 25 Sin embargo, la estabilidad de los diferentes parámetros de la red es dependiente de una diversidad de variables que incluyen el equilibrio entre la energía generada y la energía consumida en la red en tiempo real. Cualquier desequilibrio conduce a cambios en, por ejemplo, la frecuencia de la red. Cuando se genera más energía que la consumida en la red, la frecuencia tiende a incrementar. Cuando se consume más energía que la generada, la frecuencia tiende a disminuir.

- 30 Un problema con las plantas de energía eólica es que éstas trabajan generalmente de una manera imprevista, desde un punto de vista de la red eléctrica, debido a variaciones en, por ejemplo, la velocidad del viento. Como resultado, es difícil asegurar que la planta de energía eólica interactuará óptimamente con la red eléctrica.

- 35 Cuando la proporción de energía eléctrica producida por las plantas de energía eólica se incrementa en comparación con la energía eléctrica total producida desde las plantas de energía convencionales en una red eléctrica, la red eléctrica es influenciada cada vez más por la manera en que trabajan las plantas de energía eólica. Por lo tanto, esto vuelve en cada vez más importantes las plantas de energía eólica en la contribución para ayudar a mantener las características de la red eléctrica al controlar, por ejemplo, la salida de energía real de una planta de energía eólica. Esto haría posible una utilización más eficiente de todas las unidades de producción y mejoraría las posibilidades para la planificación de la red eléctrica.

- 40 El documento EP1467463 describe una planta de energía eólica y un procedimiento para operar la planta de energía eólica, cuyo procedimiento incluye controlar la salida de energía real de la planta de energía eólica dependiendo de una frecuencia medida en la red eléctrica a la cual está conectada la planta de energía eólica. La salida de energía real de la planta de energía eólica es regulada o controlada de acuerdo con la frecuencia medida de la red.

- 45 El documento W02006120033 divulga una planta de energía eólica y un procedimiento para operarla, cuyo procedimiento incluye controlar el factor de energía o la potencia reactiva de la planta de energía eólica dependiendo de una tensión medida en la red eléctrica a la cual está conectada la planta de energía eólica. En la invención de acuerdo con el documento W02006120033, la salida de energía real o potencia reactiva de la planta de energía eólica es regulada o controlada de acuerdo con la tensión medida de la red.

- 50 De esta manera, el documento EP1467463 y el documento W02006120033 describen procedimientos de control que dependen únicamente de un parámetro de la red (frecuencia y tensión, respectivamente). En cada uno de los procedimientos, la elección del parámetro está predeterminada y no se puede cambiar. Adicionalmente, el procedimiento de control es fijo y siempre se realiza de la misma manera.

Sin embargo, existe el deseo de plantas de energía eólica que sean controladas de una manera más flexible, de tal forma que la manera en que las plantas de energía eólica se comportan pueda variar con el tiempo. También existe

la necesidad de un procedimiento donde la elección del parámetro que se utiliza para controlar la planta de energía eólica pueda variar con el tiempo.

**Sumario**

5 En vista de lo anterior, un objetivo de la invención es proporcionar un procedimiento para operar una planta de energía eólica, cuyo procedimiento mitiga los problemas mencionados anteriormente con los procedimientos de la técnica anterior.

10 En particular, un objetivo es proporcionar un procedimiento para operar una planta de energía eólica, cuyo procedimiento es flexible, de tal manera que es posible que la planta de energía eólica se comporte eléctricamente de manera diferente con el tiempo. Por ejemplo, el procedimiento debe hacer posible que una planta de energía eólica se comporte eléctricamente como una carga en ciertos momentos y que se comporte eléctricamente como una planta de energía síncrona en ciertos momentos.

15 Un objetivo adicional de la invención es proporcionar un procedimiento para operar una planta de energía eólica, cuyo procedimiento es flexible, de tal manera que dependiendo de los valores de un parámetro de entrada la planta de energía eólica puede comportarse eléctricamente de diferentes maneras. Por ejemplo, el procedimiento debe hacer posible que una planta de energía eólica se comporte eléctricamente como una carga si un parámetro de entrada tiene un cierto valor y que se comporte eléctricamente como una planta de energía síncrona si el parámetro de entrada tiene otro valor, o dependiendo de otro parámetro de entrada.

20 Un objetivo aún adicional es proporcionar un sistema para operar una planta de energía eólica, cuyo sistema es flexible de tal manera que es posible que una planta de energía eólica se comporte de manera diferente con el tiempo.

Todavía otro objetivo es proporcionar un sistema para operar una planta de energía eólica, cuyo sistema es flexible de tal manera que dependiendo de valores de un parámetro de entrada la planta de energía eólica puede comportarse eléctricamente de diferentes maneras.

25 Otro objetivo es proporcionar un sistema y un procedimiento para operar una planta de energía eólica que sea económicamente ventajosa para un operador de la red eléctrica o para el propietario de la planta de energía eólica.

Todavía otro objetivo de la invención es proporcionar un sistema y un procedimiento para operar un parque eólico que mejora el uso de los recursos de producción en una red eléctrica.

30 De acuerdo con un primer aspecto, la presente invención se realiza mediante un procedimiento para operar una planta de energía eólica conectada a una red eléctrica, cuya planta de energía eólica comprende una variedad de generadores de turbinas eólicas. El procedimiento comprende las siguientes etapas:

establecer una variedad de diferentes modelos, cada modelo emulando un comportamiento eléctrico de un sistema eléctrico, tal como una carga o una unidad de generación de energía, conectada a la red eléctrica,

detectar valores de los parámetros de la red eléctrica;

35 seleccionar uno de la variedad de modelos, en base a una variedad de valores fuera de un conjunto que comprende el(los) valor(es) de parámetros de la red detectado(s) y parámetros ambientales o en base a una señal de instrucción externa;

en el modelo seleccionado, calcular los valores de salida de electricidad del modelo, en base a los valores de los parámetros de la red detectados;

40 calcular los valores de referencia de electricidad para la planta de energía eólica, en base a los valores de salida de electricidad calculados del modelo;

calcular los valores de referencia de electricidad para cada generador de turbina eólica en base a los valores de referencia de electricidad calculados para la planta de energía eólica.

Mediante el término "valor de referencia de electricidad" se entiende el valor de cualquier cantidad eléctrica, tal como corriente, tensión, energía de salida o potencia reactiva.

45 Mediante el término "parámetro de la red" se entiende cualquier cantidad eléctrica que podría ser medida por la red, tal como corriente, tensión, energía de salida, potencia reactiva o frecuencia de la red.

Mediante el término "parámetro ambiental" se entiende cualquier parámetro fuera del sistema de energía que puede influenciar en la selección del modelo, tal como la temperatura  $T_a$ , la velocidad del viento  $W_a$ , el precio de la electricidad, la hora  $T_i$ .

Mediante el término "una señal de instrucción externa" se entiende una señal del exterior de la planta de energía, por ejemplo, del operador de la red, es decir, el administrador del sistema de transmisión o de un consumidor, tal como el propietario de la planta de energía eólica, cuya señal puede ser una instrucción para la selección del modelo.

5 Los modelos establecidos son modelos de software. Cada modelo emula un comportamiento eléctrico de un cierto sistema eléctrico, por ejemplo un tipo de carga o un tipo de unidad generadora de energía, en el supuesto caso de que este sistema eléctrico estuviera conectado a una red eléctrica que tuviera las mismas características que la red eléctrica actual.

10 El término "una planta de energía eólica" no únicamente cubriría una planta de energía individual, sino también una agrupación de plantas de energía eólica conectadas a la red eléctrica. La agrupación de plantas de energía no necesita estar cercana entre sí.

15 Al establecer una variedad de modelos, cada modelo que define un comportamiento eléctrico que podría ser deseable para la planta de energía eólica en la red eléctrica dependiendo de los parámetros de entrada y seleccionar cual de la variedad de modelos utilizar en base a un valor de los parámetros de entrada, un valor de un parámetro ambiental o una instrucción del operador de la red, es posible controlar la planta de energía eólica para que se comporte de acuerdo con un comportamiento ventajoso en un cierto momento. Por ejemplo, si los valores de frecuencia de la red indican que en una etapa podría ser ventajoso operar la planta de energía eólica para que se comporte de manera similar a una planta de energía síncrona, se selecciona un modelo que emule el comportamiento eléctrico de una planta de energía síncrona para calcular los valores de energía de salida del modelo. En el modelo, los valores de parámetros en tiempo real de la red se utilizan como valores de entrada. Los  
20 valores de energía de salida calculados del modelo de planta de energía síncrona entonces se utilizan para calcular los valores de energía de salida de la planta de energía eólica, cuyos valores de energía de salida luego se utilizan para controlar la planta de energía eólica y sus generadores de turbinas eólicas individuales. En un caso especial, los valores de energía de salida calculados del modelo se pueden utilizar sin modificaciones para operar la planta de energía eólica.

25 Además, mediante el uso de valores de parámetros ambientales, es decir, valores del precio de la electricidad, la velocidad del viento, etc. para seleccionar el modelo a utilizar, habrá la posibilidad de operar la planta de energía eólica con propósitos diferentes de, por ejemplo, mejorar las características eléctricas de la red eléctrica, tal como operar la planta de energía eólica de acuerdo con la eficacia en función de los costes para el propietario de la planta de energía eólica y/o el propietario de la red eléctrica.

30 De acuerdo con una realización, los valores de una variedad de parámetros ambientales son valores que predicen un parámetro ambiental, tal como la hora del día, la fecha, la velocidad del viento prevista o el precio de la electricidad. Al detectar valores predictivos de parámetros ambientales, tal como la velocidad del viento prevista y el precio de la electricidad, y utilizar los valores predictivos para seleccionar un modelo, por ejemplo, se podría incrementar la eficacia en función de los costes de la planta de energía eólica.

35 De acuerdo con otra realización, en la que la planta de energía eólica comprende además un sistema de almacenamiento de energía, el procedimiento comprende además la etapa que consiste en calcular los valores de referencia de electricidad para el sistema de almacenamiento de energía, en base a los valores de referencia calculados para la planta de energía eólica. Al equipar la planta de energía eólica con un sistema de almacenamiento de energía puede ser posible operar la planta de energía eólica como una carga, por ejemplo, en  
40 momentos cuando existe una demanda baja en la red eléctrica y almacenar la energía recibida de la red en el sistema de almacenamiento de energía, para ser utilizada posteriormente en la red cuando se incrementa la demanda. Similarmente, la energía producida por la planta de energía eólica se podría almacenar en el sistema de almacenamiento de energía para suministrarse posteriormente a la red eléctrica. En este caso, el modelo seleccionado decide si la energía debe ser suministrada desde o al sistema de almacenamiento de energía.

45 De acuerdo con todavía otra realización, el(los) valor(es) de parámetros de la red eléctrica se detecta(n) en tiempo real. Al utilizar valores en tiempo real como valores de entrada en el modelo seleccionado se logra un control bastante preciso de la planta de energía eólica de acuerdo con el comportamiento requerido, puesto que se actualizan los datos de entrada.

50 De acuerdo con aún otra realización, el(los) valor(es) de los parámetros ambientales se detecta(n) en tiempo real. Al utilizar valores en tiempo real como valores de entrada en el modelo seleccionado se logra un control más preciso de la planta de energía eólica de acuerdo con el comportamiento requerido, puesto que los datos se actualizan. Por ejemplo, si se conoce la velocidad actual del viento, la planta de energía puede ser mejor operada de acuerdo con los valores calculados. Además, puede ser posible predecir el comportamiento en los segundos próximos, información que se puede utilizar cuando se selecciona un modelo. Como resultado, el procedimiento para operar  
55 una planta de energía eólica puede dar por resultado el uso de valores incluso más actualizados y el mejor modelo para el momento.

De acuerdo con otra realización, el valor de parámetro de la red eléctrica detectado es un valor que indica una alteración eléctrica en la red. En base a un valor que indica una alteración eléctrica de la red, tal como una

desviación de frecuencia, será posible seleccionar un modelo que emula el comportamiento eléctrico de una máquina síncrona. Este modelo proporcionará del mismo modo como valores de salida valores de referencia de energía para la planta de energía eólica que cuando se utilizan para controlar la planta de energía eólica que compensarán estas alteraciones eléctricas en la red.

- 5 De acuerdo con un segundo aspecto, la presente invención se realiza mediante un sistema para operar una planta de energía eólica conectada a una red eléctrica, en la que la planta de energía eólica comprende una variedad de generadores de turbinas eólicas. El sistema comprende:

10 Una unidad creadora de modelos para establecer una variedad de diferentes modelos, cada modelo emulando un comportamiento eléctrico de un sistema eléctrico, tal como una carga o una unidad generadora de energía, conectado a la red eléctrica;

Una unidad de detección para detectar valor(es) de una variedad de parámetros de la red eléctrica;

Un selector de modelo para seleccionar uno de la variedad de modelos, en base a una variedad de valores fuera de un conjunto que comprende el(los) valor(es) de parámetro(s) de la red eléctrica detectado(s) y valor(es) de parámetro(s) ambiental(es) o en base a una señal de instrucción externa;

- 15 Un primer medio de cálculo para calcular los valores de salida eléctricos del modelo, en base a los valores de parámetros de la red detectados;

un segundo medio de cálculo para calcular los valores de referencia de electricidad para la planta de energía eólica, en base a los valores de salida de electricidad calculados del modelo;

- 20 un tercer medio de cálculo para calcular los valores de referencia de electricidad para cada generador de turbina eólica en base a los valores de referencia de electricidad calculados para la planta de energía eólica.

De acuerdo con un tercer aspecto, la invención se realiza mediante un producto de programa de software para realizar el procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones del primer aspecto cuando el producto de programa de software se ejecuta en un ordenador u otro dispositivo programable.

- 25 Otros objetivos, características y ventajas de la presente invención aparecerán a partir de la siguiente descripción detallada y de las reivindicaciones adjuntas, así como también de los dibujos.

30 Generalmente, todos los términos utilizados en las reivindicaciones deben interpretarse de acuerdo con su significado ordinario en el campo técnico, a menos que se defina explícitamente lo contrario en este documento. Todas las referencias a "un/una/el/la [elemento, dispositivo, componente, medio, etapa, etc.]" se deben interpretar abiertamente, ya que se refieren a por lo menos un ejemplo del elemento, dispositivo, componente, medio, etapa, etc., a menos que se establezca explícitamente lo contrario. Como un ejemplo, el término "una planta de energía eólica" se debe interpretar como por lo menos una planta de energía eólica, por ejemplo una agrupación de plantas de energía. Además, las etapas de cualquier procedimiento divulgado en este documento no tienen que realizarse en el orden exacto que se divulga, a menos que se establezca explícitamente. El término "una variedad de" se debe interpretar como "por lo menos uno", por ejemplo "una variedad de generadores de turbinas eólicas" se debe interpretar como "por lo menos un generador de turbina eólica".

### Breve descripción de los dibujos

40 Los objetivos, características y ventajas anteriores, así como también objetivos, características y ventajas adicionales de la presente invención serán mejor entendidos a través de la siguiente descripción detallada, ilustrativa y no limitativa de las realizaciones preferidas de la presente invención, con referencia a los dibujos adjuntos, donde los mismos números de referencia se utilizarán para elementos similares, en los que:

La figura 1 ilustra un diagrama de bloques esquemático de un sistema de energía para el cual se podría utilizar un sistema de control de acuerdo con la invención.

La figura 2 ilustra diagramáticamente un sistema de energía con un sistema para operar una planta de energía eólica de acuerdo con una realización de la invención.

- 45 La figura 3 es un diagrama de bloques esquemático que muestra las unidades funcionales de un sistema para operar una planta de energía eólica de acuerdo con una realización de la invención.

La figura 4 es un diagrama de flujo que muestra un procedimiento para controlar una planta de energía eólica, de acuerdo con una realización de la invención.

- 50 La figura 5 ilustra diagramáticamente un modelo de un generador síncrono de acuerdo con una realización de la invención.

**Descripción detallada de las realizaciones preferidas**

5 La figura 1 ilustra un sistema de energía con una planta de energía eólica 1 que está conectada a una red eléctrica 2, en el que la planta de energía eólica es controlada por un sistema de control 3, el cual puede comprender un sistema para operar una planta de energía eólica de acuerdo con la invención. La planta de energía eólica comprende una variedad de generadores de turbinas eólicas (WTGs) 11. La red eléctrica 2 puede comprender una variedad de cargas y plantas de energía.

10 El sistema de acuerdo con la invención se podría colocar de acuerdo con la figura 1, es decir, como un nodo separado que está conectado a la red eléctrica y a la planta de energía eólica, por ejemplo, en un despacho central. Alternativamente, el sistema de la invención se podría colocar como una subunidad en la planta de energía eólica, o incluso en un WTG individual, por ejemplo, si el WTG es un convertidor completo.

Una red eléctrica puede tener todos los tipos de sistemas eléctricos, es decir cargas o generadores (plantas de energía) conectados a la misma. Cada tipo de carga o planta de energía tiene un comportamiento típico para la potencia activa P y la potencia reactiva Q, siguiendo los siguientes coeficientes:

15 
$$\Delta P / \Delta f_{red}$$

$$\Delta P / \Delta V_{red}$$

$$\Delta Q / \Delta f_{red}$$

$$\Delta Q / \Delta V_{red}$$

20 Es decir, si la frecuencia de la red cambia, la energía real producida a partir de un generador cambiará de cierta manera, dependiendo del tipo de generador, una planta de energía síncrona, por ejemplo, puede tener un cierto comportamiento eléctrico.

Debido al hecho de que los generadores de turbinas eólicas de una planta de energía eólica pueden controlar, por lo menos de alguna manera, su potencia activa y reactiva, las plantas de energía eólica son capaces de emular las características de comportamiento P-Q de otras plantas de energía o cargas, por lo menos durante las alteraciones en la red de energía eléctrica.

25 Puede ser ventajoso desde un punto de vista de la red eléctrica operar una planta de energía eólica para emular un cierto comportamiento eléctrico, por ejemplo, de otra planta de energía. Aunque, el mejor comportamiento eléctrico posible para la planta de energía eléctrica puede variar con el tiempo. Por lo tanto, la invención pretende lograr el mejor comportamiento eléctrico posible del parque eólico en cualquier momento.

30 De acuerdo con una realización de la invención, se utiliza un modelo de un cierto tipo de comportamiento eléctrico que en una etapa es ventajoso para la planta de energía eólica, el modelo se ejecuta en tiempo real utilizando datos medidos de la red y la reacción del modelo se utiliza como una referencia de instrucción para la planta de energía eólica y, por lo tanto, para las turbinas eólicas y otros elementos posibles de la planta de energía eólica, tal como un dispositivo de almacenamiento, baterías de condensadores, compensador estático de VAr, etc. Por esta razón, una variedad de modelos de comportamiento eléctrico que podrían ser ventajosos para una planta de energía eólica cuando se utiliza en una red eléctrica se establecen en una primera etapa, cada modelo definiendo un cierto comportamiento eléctrico. Después, en tiempo real, se detectan valores de una variedad de parámetros de la red eléctrica a la cual está conectada la planta de energía eólica. En base a los valores de los parámetros y posiblemente a otros parámetros, se selecciona un modelo de comportamiento eléctrico de la variedad de modelos predefinidos. El modelo se ejecuta y el resultado del modelo se utiliza para controlar el comportamiento eléctrico de la planta de energía eólica.

45 La figura 2 muestra una realización de la invención para un sistema de control para controlar u operar una planta de energía eólica 1 conectada a una red eléctrica 2, ilustrada mediante una impedancia  $Z_{red}$  y una fuente de tensión (21). En esta realización, la planta de energía eólica tiene, o está conectada a, un sistema de almacenamiento de energía 12 u otros sistemas, tales como baterías de condensadores, compensador estático de VAr. Alternativamente, el sistema de almacenamiento de energía puede ser reemplazado por un sistema de disipación de energía. Por esa razón, la planta de energía eólica podría ser controlada de muchas maneras diferentes; por ejemplo, la planta de energía eólica podría emular el comportamiento eléctrico de una carga.

50 El sistema de control tiene una unidad de modelado 31 y una unidad de control 32, un controlador localizado, por ejemplo, en una subestación de Control de Supervisión y Adquisición de Datos (SCADA) o en un Controlador Lógico Programable (PLC). En la unidad de modelado 31 se almacenan una variedad de diferentes modelos para el comportamiento eléctrico, que podrían ser ventajosos para la planta de energía eólica. Además, se puede establecer una variedad de criterios en la unidad de modelado para seleccionar cuál de los modelos se utiliza.

5 Cuando el sistema de control se utiliza en tiempo real, los valores de una variedad de parámetros de la red, por ejemplo, potencia activa  $P_m$ , potencia reactiva  $Q_m$ , tensión de la red  $V_m$ , frecuencia de la red  $f_m$  son detectados o medidos en un punto 2a de la red eléctrica. La unidad de modelado tiene una primera entrada 31a para recibir los valores de parámetros de la red detectados, cuyos parámetros se pueden utilizar para seleccionar qué modelo utilizar. Además, la unidad de modelado tiene una segunda entrada 31b para recibir datos de parámetros ambientales, tales como la fuerza detectada del viento y el precio de la electricidad en la red eléctrica, cuyos parámetros ambientales también se pueden utilizar para seleccionar qué modelo utilizar. En una realización de la invención, la unidad de modelado puede tener una tercera entrada (no mostrada) para recibir una señal de instrucción de entrada externa, cuya señal de entrada se puede utilizar para seleccionar qué modelo utilizar.

10 Cuando se ha seleccionado el modelo a utilizar, el modelo seleccionado se ejecuta en la unidad de modelado 31, en base a los valores detectados de la red o modificaciones de los valores detectados de la red. Los valores de entrada para la unidad de modelado se ilustran en la figura mediante los parámetros  $\Delta f_{\text{pertred}}$  y  $\Delta V_{\text{pertred}}$ , que significan un cambio de frecuencia/tensión en una alteración de la red. En esta realización, los valores de entrada para la unidad de modelado son un cambio de frecuencia y un cambio de tensión en comparación con una frecuencia nominal  $f^*$  y una tensión nominal  $V^*$ . Aunque puede ser posible utilizar los valores detectados de la red directamente en el modelo sin modificación. Cuando el modelo se ha ejecutado, el resultado del modelo es emitido de la unidad de modelado en su salida 31c como los valores de salida de electricidad  $\Delta P_{\text{pertWF}}$ ,  $\Delta Q_{\text{pertWF}}$ , los cuales se utilizarán como valores de entrada para el controlador SCADA 32 para controlar la planta de energía eólica.

20 El controlador SCADA 32 tiene una entrada 32a para recibir los valores de salida de electricidad de la unidad de modelado. Puede ser posible que los valores de salida de electricidad  $\Delta P_{\text{pertWF}}$ ,  $\Delta Q_{\text{pertWF}}$  se modifiquen antes de que sean recibidos en la entrada 32a. De acuerdo con la figura, los valores de salida de electricidad  $\Delta P_{\text{pertWF}}$ ,  $\Delta Q_{\text{pertWF}}$  son modificados al agregar los valores nominales  $P^*$ ,  $Q^*$  a los valores de referencia de electricidad calculados, de acuerdo con lo siguiente:

$$P_{\text{ref}}^* = \Delta P_{\text{pertWF}} + P^*$$

25  $Q_{\text{ref}}^* = \Delta Q_{\text{pertWF}} + Q^*$

30 El controlador SCADA está dispuesto para calcular los valores de referencia de electricidad para cada WTG y para que el sistema de almacenamiento de energía haga que la planta de energía eólica reaccione para producir valores de salida de electricidad (potencia real y potencia reactiva en este caso) de la mejor manera posible para la planta de energía eólica, en base a los valores de referencia de electricidad calculados  $P_{\text{ref}}^*$  y/o  $Q_{\text{ref}}^*$ . Los valores de referencia de electricidad para cada WTG y sistema de almacenamiento de energía también se pueden calcular utilizando los valores medidos de parámetros de la red  $P_m$ ,  $Q_m$ ,  $V_m$ ,  $f_m$  como entrada y/o información de frecuencia nominal  $f^*$  y tensión  $V^*$  y/o datos de WTG tales como el número de WTGs que están en línea o la energía individual de cada WTG. Los valores de referencia de electricidad para cada WTG y para el sistema de almacenamiento de energía son emitidos en la salida 32d y tomados para cada WTG y sistema de almacenamiento de energía, respectivamente.

40 A continuación se explican dos posibles modelos que se podrían utilizar en la invención. En un primer modelo, la planta de energía eólica es emulada como una máquina síncrona. Es decir, el modelo describe una máquina síncrona conectada a una red eléctrica, donde la máquina síncrona tiene la misma inercia que la planta de energía eólica. Una máquina síncrona ofrece ventajas cuando llega a compensar las alteraciones de frecuencia en la red. Este modelo se puede seleccionar si la frecuencia de la red se altera. Si la detección de los parámetros de la red indica una alteración de frecuencia, el primer modelo se seleccionará en tiempo real. El primer modelo se ejecutará, utilizando los valores actualizados, detectados de la frecuencia de la red y una variación de energía de salida se calculará para la máquina síncrona emulada. La variación de la energía de salida calculada entonces se utilizará como valores de entrada para controlar la planta de energía eólica y, en consecuencia, los componentes individuales de la planta de energía eólica, tales como los WTGs. Como resultado, desde el punto de vista de la red, la planta de energía eólica se comportará eléctricamente como una planta de energía síncrona durante la alteración de la frecuencia.

50 En un segundo modelo posible que se puede utilizar en la invención, la planta de energía eólica se emula como una carga, tal como una carga para potencia activa o un tipo de carga de potencia reactiva. Para ser capaz de utilizar los resultados de este modelo en la planta de energía eólica, la planta de energía eólica está equipada con un sistema de almacenamiento de energía o un sistema de disipación de energía. Este segundo modelo se puede seleccionar en base al valor de un parámetro ambiental, tal como en base al precio actual de la electricidad o la hora del día. El segundo modelo también se puede seleccionar si la demanda de electricidad en la red es actualmente más baja que el suministro de electricidad. Si la planta de energía eólica actuara como una carga desde el punto de vista de la red eléctrica, se podrían reducir las fluctuaciones de frecuencia de la red. Si se selecciona el segundo modelo, el segundo modelo se ejecutará utilizando los valores de parámetros de la red detectados. Después, los valores de salida de electricidad que son calculados por el modelo, tal como el nivel de energía que es absorbido/disipado para la carga del modelo, se utilizan para calcular un valor de referencia de electricidad adecuado, de la planta de energía eólica, tal como el nivel de energía que es absorbido/disipado por la planta de energía eólica. Eventualmente, los

WTGs y el sistema de almacenamiento (o disipación) de energía serán controlados para lograr el valor de referencia de electricidad calculado de la planta de energía eólica.

5 El segundo modelo tiene, por ejemplo, las siguientes ventajas: las curvas de salida de energía de las plantas de energía eólica están fácilmente por debajo del 5% de la energía nominal durante el 20% de su vida útil. Al instalar un sistema de almacenamiento o disipación de energía en una planta de energía eólica, la planta de energía eólica puede imitar el comportamiento de ciertas cargas, es decir, la planta de energía eólica consume energía de la red en lugar de suministrar energía a la red, de acuerdo con la invención. Esto podría ser ventajoso económicamente si, por ejemplo, no hay viento y al mismo tiempo la demanda/precio de la electricidad es bajo. La energía almacenada en el sistema de almacenamiento de energía entonces se podría suministrar a la red cuando la demanda/precio de la electricidad es más alto. Es decir, los valores predictivos para el precio de la electricidad junto con la predicción del viento se podrían utilizar con el propósito de optimizar los beneficios económicos del parque eólico. Como resultado, 10 ayudaría a integrar las plantas de energía eólica en los sistemas de energía.

La carga también puede ser una carga para la potencia reactiva, para controlar el equilibrio de potencia reactiva en la red.

15 De acuerdo con una realización, para hacer que la planta de energía eólica funcione como una carga, un sistema de almacenamiento de energía (principalmente para potencia activa) y/o un compensador reactivo de potencia (principalmente para la potencia reactiva) se pueden utilizar en la planta de energía eólica. Como una alternativa, por lo menos uno de los WTGs se puede disponer para funcionar como una carga en lugar de un generador, si es necesario. (El WTG entonces funciona como un "ventilador" o abanico y utiliza electricidad).

20 La figura 3 muestra una realización de un sistema 3 de acuerdo con la invención para operar una planta de energía eólica conectada a una red eléctrica.

El sistema tiene una unidad creadora de modelos 301, en la cual se establece por adelantado una variedad de modelos. Cada modelo describe un cierto tipo de comportamiento eléctrico que puede ser posible y ventajoso para una planta de energía eólica. En otras palabras, cada modelo emula un comportamiento eléctrico de un cierto tipo de sistema eléctrico conectado a una red eléctrica. Un tipo de modelo es un modelo que emula un comportamiento eléctrico de una planta de energía síncrona. Este tipo de modelo es especialmente ventajoso para las alteraciones de frecuencia en la red. Otro tipo de modelo emula el comportamiento eléctrico de una carga. 25

El sistema tiene además una unidad de detección 302 conectada a la unidad creadora de modelos 301 para detectar valores de parámetros de la red, es decir, de cualquiera de los siguientes: potencia activa  $P_m$ , potencia reactiva  $Q_m$ , tensión de la red  $V_m$ , frecuencia de la red  $f_m$ . De acuerdo con una realización, la unidad detectora 302 puede estar dispuesta además para detectar parámetros ambientales, tales como la velocidad del viento o el precio de la electricidad. 30

Además, en el sistema existe un selector de modelo 303 conectado a la unidad detectora 302 para seleccionar uno de la variedad de modelos que se crearon en la unidad creadora de modelos. El selector de modelos está dispuesto para seleccionar qué modelo utilizar para cada momento, en base a una cantidad de información fuera de un conjunto, que comprende los valores de parámetros de la red detectados, los parámetros ambientales y una señal de instrucción externa. Por ejemplo, si un parámetro de precio de la electricidad, que se considera como un parámetro ambiental, señala que el precio de la electricidad está debajo de los costes de operación de la planta de energía eólica, se puede seleccionar este segundo modelo que emula el comportamiento eléctrico de una carga. 35

Un primer medio de cálculo 304, o unidad de modelado conectada al selector de modelos 303 está dispuesto para ejecutar el modelo seleccionado para calcular los valores de salida de electricidad, por ejemplo, valores de energía, del modelo seleccionado en base al valor de parámetro de la red detectado. Un segundo medio de cálculo 305 conectado al primer medio de cálculo 304 está dispuesto para calcular los valores de referencia de electricidad, tales como los valores de energía de salida de la planta de energía eólica en base a los valores de salida calculados para el modelo. De acuerdo con una realización, el cálculo en el segundo medio de cálculo se realiza al tomar simplemente los valores de salida de electricidad que son calculados para el modelo y utilizarlos como valores de referencia de electricidad para la planta de energía eólica. 40 45

El sistema comprende además un tercer medio de cálculo 306 conectado al segundo medio de cálculo 305 para calcular los valores de referencia de electricidad para cada generador de turbina eólica en base a los valores de referencia de electricidad calculados para la planta de energía eólica. Finalmente, el sistema de control comprende un controlador 307 conectado al tercer medio de cálculo 306 para controlar los generadores, de turbinas eólicas de acuerdo con los valores de referencia de electricidad calculados para cada generador de turbina eólica. Alternativamente, el controlador puede estar separado del sistema de acuerdo con la invención, es decir, el sistema puede calcular valores de referencia para los WTGs, cuyos valores de referencia serán utilizados por un controlador separado para controlar los WTGs. 50 55

La planta de energía eólica que es operada por el sistema de la invención también puede comprender un sistema de almacenamiento de energía. En este caso, en una realización, el tercer medio de cálculo 306 puede estar dispuesto adicionalmente para calcular los valores de referencia de electricidad para el sistema de almacenamiento de



energía, en base a los valores de energía de salida detectados para la planta de energía eólica y el controlador 307 puede estar dispuesto adicionalmente para controlar el sistema de almacenamiento de energía de acuerdo con los valores de referencia de electricidad calculados. Alternativamente, o además del sistema de almacenamiento de energía, la planta de energía eólica puede comprender un compensador para potencia reactiva. En este caso, el tercer medio de cálculo 306 puede estar dispuesto adicionalmente para calcular los valores de referencia de electricidad para el compensador para potencia reactiva en base a los valores de energía de salida calculados para la planta de energía eólica y el controlador 307 puede estar dispuesto adicionalmente para controlar un compensador para potencia reactiva de acuerdo con los valores de referencia de electricidad calculados.

Además, el primer, segundo y tercer medios de cálculo se pueden disponer en una y la misma unidad o en diferentes unidades.

La figura 4 ilustra un procedimiento 100 para operar una planta de energía eólica de acuerdo con una realización de la invención. El procedimiento comprende las siguientes etapas: establecer 101 una variedad de diferentes modelos, cada modelo emulando un comportamiento eléctrico de un sistema eléctrico, tal como una carga o una unidad generadora de energía, conectada a la red eléctrica; detectar 102 valores de los parámetros de la red eléctrica; seleccionar 103 uno de la variedad de modelos, en base a una variedad de valores fuera de un conjunto que comprende los valores detectados de parámetros de la red eléctrica y una señal de instrucción externa; en el modelo seleccionado, calcular 104 los valores de salida de electricidad del modelo, en base a los valores de parámetros de la red detectados; calcular 105 los valores de referencia de electricidad para la planta de energía eólica, en base a los valores de salida de electricidad calculados del modelo; calcular 106 los valores de referencia de electricidad para cada generador de turbina eólica en base a los valores de referencia de electricidad calculados para la planta de energía eólica; controlar 107 los generadores de turbinas eólicas de acuerdo con los valores de referencia de electricidad calculados para cada generador de turbina eólica. La etapa que consiste en controlar 107 los WTGs puede estar fuera del procedimiento de la invención, es decir, los valores de referencia calculados para los WTGs se pueden utilizar en un procedimiento separado para controlar los WTGs.

La figura 5 ilustra un sistema de acuerdo con la invención cuando se utiliza un modelo para emular una máquina síncrona. El modelo para emular una máquina síncrona se selecciona, ya que la red eléctrica está experimentando una alteración  $\Delta f_{\text{pertred}}$  de su frecuencia y/o una alteración  $\Delta V_{\text{pertred}}$  de su tensión, cuya alteración puede ser mitigada parcialmente por la planta de energía eólica que actúa como una máquina síncrona. La red se modela como una fuente de tensión 501 y una impedancia de la red  $Z_{\text{red}}$  502, con un valor de impedancia preferiblemente tan cercano como sea posible al valor de impedancia real. Una máquina síncrona se modela con un controlador del generador síncrono 503 que controla un generador síncrono 504 y con una impedancia 505 similar a la impedancia de la planta de energía eólica. Cuando se ejecuta este modelo, los datos en tiempo real detectados  $\Delta f_{\text{pertred}}$ ,  $\Delta V_{\text{pertred}}$  de la red eléctrica a la cual está conectada la planta de energía eólica se utilizan como datos de entrada. Los datos de salida calculados del modelo de generador síncrono  $\Delta P_{\text{pert}}$ ,  $\Delta Q_{\text{pert}}$  se utilizan como valores de referencia para la planta de energía eólica.

De acuerdo con una realización, los parámetros ambientales, tales como el precio de la electricidad, la hora del día, la velocidad del viento, etc. pueden ser detectados por el sistema de la invención o los valores de los parámetros ambientales pueden ser detectados fuera del sistema y recibirse por el sistema, como se describe en la figura 2.

La invención principalmente ha sido descrita anteriormente con referencia a algunas realizaciones. Sin embargo, como se aprecia fácilmente por parte de una persona experta en el campo, realizaciones diferentes de las divulgadas anteriormente son igualmente posibles dentro del alcance de la invención, como se define por las reivindicaciones de patente adjuntas.

**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento para operar una planta de energía eólica conectada a una red eléctrica, comprendiendo la planta de energía eólica una variedad de generadores de turbinas eólicas, comprendiendo el procedimiento las etapas de:
  - 5 establecer una variedad de modelos diferentes, cada modelo emulando un comportamiento eléctrico de un sistema eléctrico, tal como una carga o una unidad de generación de potencia, conectada a la red eléctrica, detectar valor(es) de una variedad de parámetros de la red eléctrica; seleccionar uno de la variedad de modelos, en base a una variedad de valores de un conjunto que comprende el(los) valor(es) de parámetros de la red eléctrica detectado(s) y valor(es) de parámetro ambiental, o en base a una señal de instrucción externa;
    - 10 en el modelo seleccionado, calcular los valores de salida de electricidad del modelo, en base a los valores de parámetros de la red detectados; calcular los valores de referencia de electricidad para la planta de energía eólica, en base a los valores de salida de electricidad calculados del modelo;
      - 15 calcular los valores de referencia de electricidad para cada generador de turbina eólica en base a los valores de referencia de electricidad calculados para la planta de energía eólica.
  2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que los valores de una variedad de parámetros ambientales son valores que predicen un parámetro ambiental, tal como la velocidad del viento prevista o el precio de la electricidad.
  - 20 3. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-2, en el que la planta de energía eólica comprende además un sistema de almacenamiento de energía y/o un compensador reactivo de potencia, comprendiendo además el procedimiento la etapa de:
    - 25 calcular valores de referencia de electricidad para el sistema de almacenamiento de energía y/o el compensador reactivo de potencia, en base a los valores de referencia calculados para la planta de energía eólica.
  4. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3, que también comprende la etapa de:
    - controlar el sistema de almacenamiento de energía y/o el compensador reactivo de potencia de acuerdo con los valores de referencia de electricidad calculados para el sistema de almacenamiento de energía y/o el compensador reactivo de potencia.
  - 30 5. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en el que los valores de la variedad de parámetros de la red eléctrica se detectan en tiempo real.
  6. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en el que los valores de la variedad de parámetros ambientales se detectan en tiempo real.
  - 35 7. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-6, que comprende además la etapa de controlar los generadores de turbina eólica de acuerdo con los valores de referencia de electricidad calculados para cada generador de turbina eólica.
  8. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-7, en el que el valor detectado del parámetro de la red eléctrica es un valor que indica una alteración eléctrica de la red.
  - 40 9. Un sistema para operar una planta de energía eólica conectada a una red eléctrica, comprendiendo la planta de energía eólica una variedad de generadores de turbina eólica, comprendiendo el sistema:
    - una unidad creadora de modelos para establecer una variedad de diferentes modelos, cada modelo emulando un comportamiento eléctrico de un sistema eléctrico, tal como una carga o una unidad generadora de potencia, conectado a la red eléctrica;
    - una unidad de detección para detectar valor(es) de una variedad de parámetros de la red eléctrica;
    - 45 un seleccionador de modelo para seleccionar uno de la variedad de modelos, en base a una variedad de valores de un conjunto que comprende el(los) valor(es) detectado(s) de parámetro(s) de la red eléctrica y valor(es) de parámetro ambiental, o en base a una señal de instrucción externa;

un primer medio de cálculo para calcular los valores de salida de electricidad del modelo, en base a los valores detectados de los parámetros de la red;

un segundo medio de cálculo para calcular los valores de referencia de electricidad para la planta de energía eólica, en base a los valores de salida de electricidad calculados del modelo;

- 5 un tercer medio de cálculo, para calcular los valores de referencia de electricidad para cada generador de turbina eólica en base a los valores de referencia de electricidad calculados para la planta de energía eólica.
10. Sistema de acuerdo con la reivindicación 9, en el que la planta de energía eólica comprende además un sistema de almacenamiento de energía y/o un compensador reactivo de potencia y el tercer medio de cálculo está dispuesto adicionalmente para calcular los valores de referencia de electricidad para el sistema de almacenamiento de energía y/o el compensador reactivo de potencia, en base a los valores de referencia de electricidad calculados para la planta de energía eólica.
- 10
11. Sistema de acuerdo con la reivindicación 10, que comprende además un controlador para controlar el sistema de almacenamiento de energía y/o el compensador reactivo de potencia de acuerdo con los valores de referencia de electricidad calculados para el sistema de almacenamiento de energía y/o el compensador reactivo de potencia.
- 15
12. Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9-11, en el que los valores de la variedad de parámetros de la red eléctrica y/o los valores de la variedad de parámetros ambientales se detectan en tiempo real.
13. El sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9-12, que comprende además:
- 20 un controlador para controlar los generadores de turbina eólica de acuerdo con los valores de referencia de electricidad calculados para cada generador de turbina eólica.
14. Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9-13, en el que el valor detectado del parámetro de la red eléctrica es un valor que indica una alteración eléctrica de la red.
15. Un producto de programa de ordenador para realizar el procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-8 cuando dicho producto de programa de ordenador se ejecuta en un ordenador u otro dispositivo programable.
- 25
16. Un portador de datos que comprende un producto de programa de ordenador para realizar el procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-8, cuando el producto de programa por ordenador se ejecuta en un ordenador.



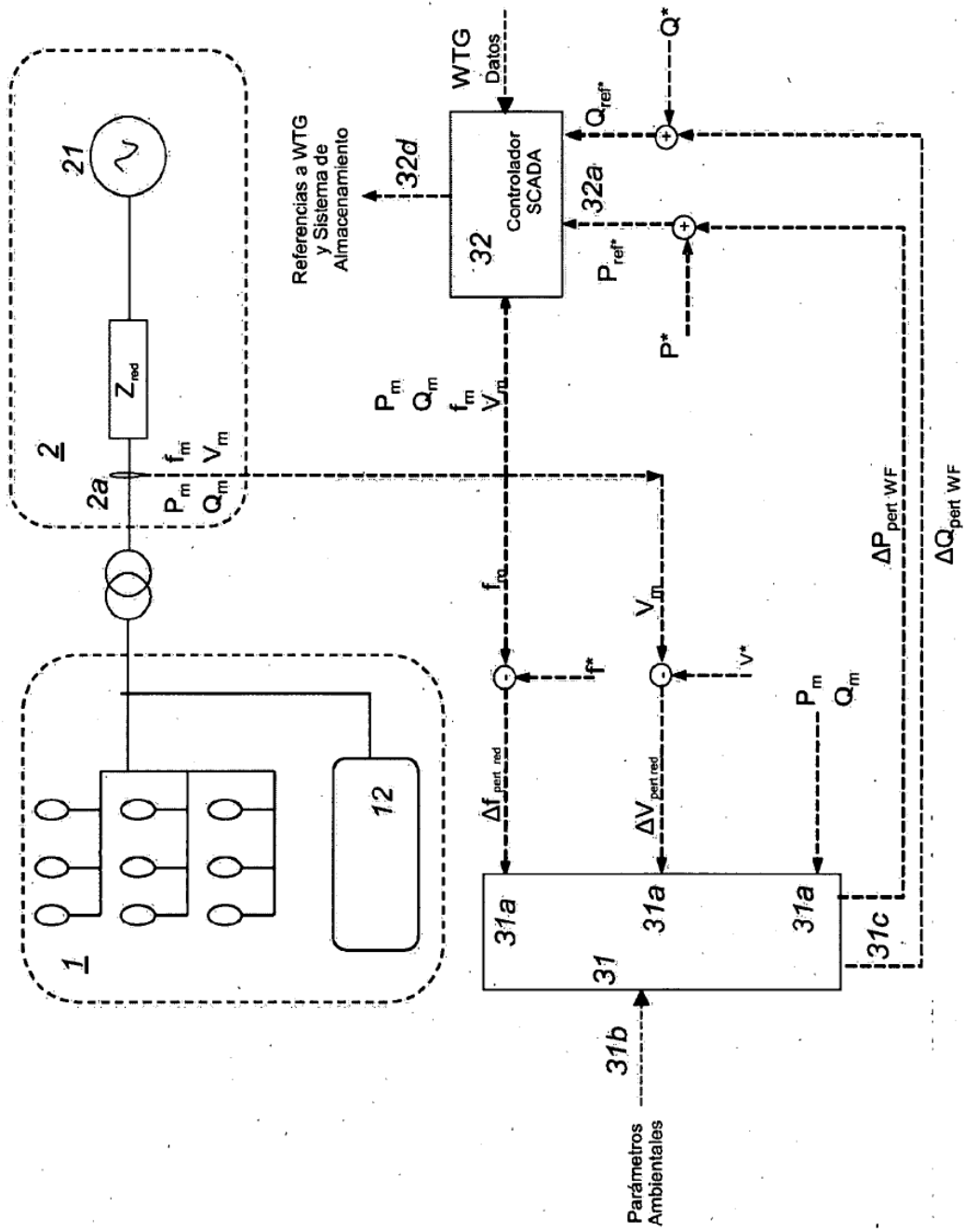


Fig. 2

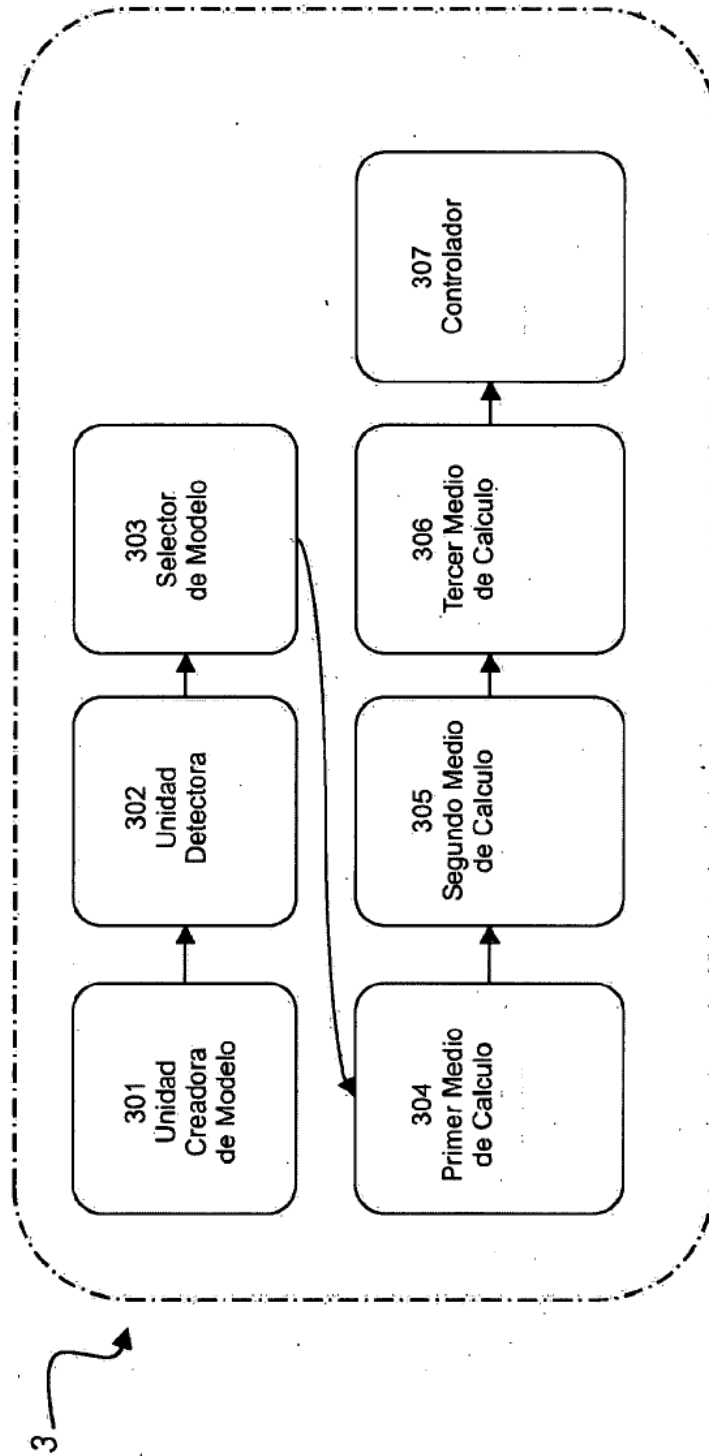


Fig. 3

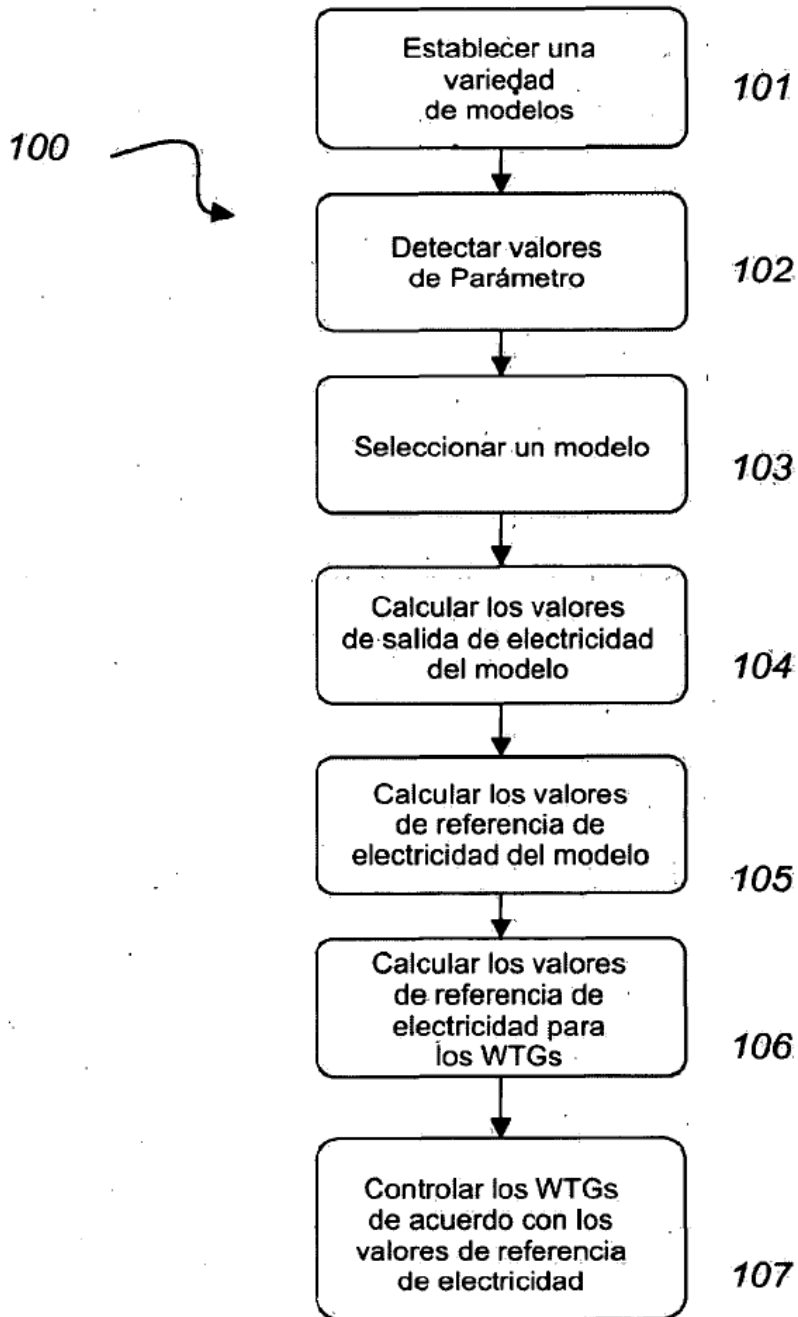


Fig. 4

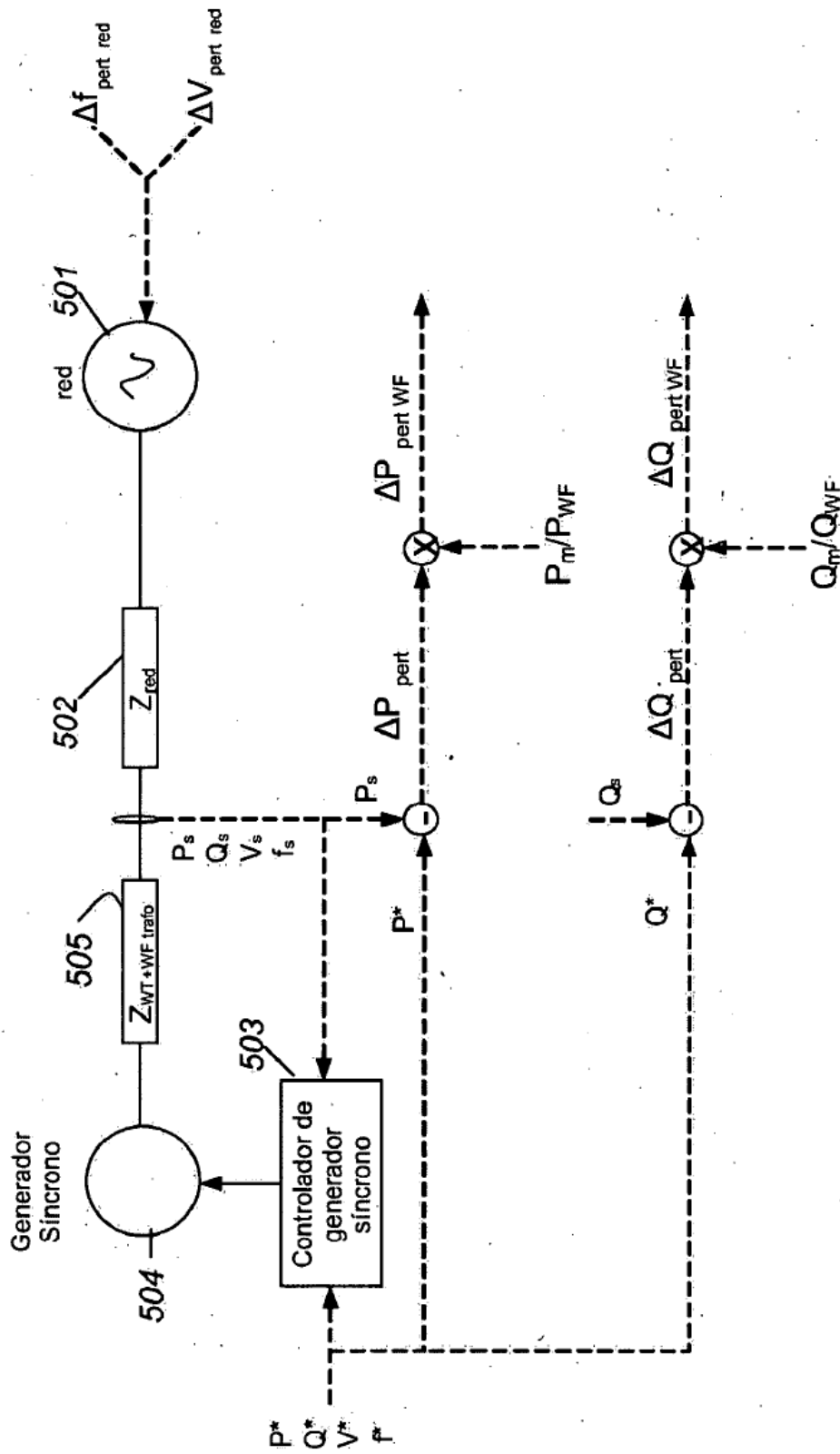


Fig. 5